

Anais do  
**II Congresso  
Brasileiro de  
Rochagem**

Editores  
Suzi Huff Theodoro  
Eder de Souza Martins  
Marcus Manoel Fernandes  
André Mundstock Xavier de Carvalho

Poços de Caldas - MG  
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca UFV - Campus de Rio Paranaíba**

C749a

Congresso Brasileiro de Rochagem (2. : 2013 : Poços de  
Caldas, MG) Anais... / II Congresso Brasileiro de  
Rochagem; editores Suzi Maria de Cordova Huff Theodoro,  
Éder de Souza Martins, Marcus Manoel Fernandes, André  
Mundstock Xavier de Carvalho. - Visconde do Rio Branco:  
Suprema, 2013.

399 p. : il. ; 23cm.

Data do evento: 12 a 17 de maio de 2013.

ISBN: 978.85.8179.061-9

1. Rochagem. 2. Fertilidade do solo. I. Suzi Maria de  
Cordova Huff Theodoro. II. Éder de Souza Martins. III.  
Marcus Manoel Fernandes. IV. André Mundstock Xavier de  
Carvalho V. Título.

CDD 22. ed. 551.38

## **Nota do Comitê organizador**

É crescente o reconhecimento e o interesse despertado pela prática da rochagem em função de resultados obtidos por várias instituições de pesquisa e fomento que confirmam os resultados alcançados em diversos testes em laboratório, a campo e em áreas demonstrativas, em substituição ou complementação aos fertilizantes convencionais. A tecnologia da rochagem já é uma realidade em muitos sistemas de produção agrícola sustentável em diversos estados brasileiros, especialmente em meio aos agricultores familiares, uma vez que atende a três pressupostos importantes, quais sejam: (i) conformidade com os princípios agroecológicos; (ii) produtividades compatíveis e equiparáveis aos fertilizantes convencionais e (iii) facilitação na recuperação dos solos tropicais degradados.

Neste sentido, tornou-se imperativo voltar a discutir o tema da rochagem no Brasil. Transcorridos três anos desde a primeira edição do Congresso Brasileiro de Rochagem, a realização de uma segunda edição teve, portanto, o intuito de consolidá-lo como um evento periódico, que tem a função de fomentar o debate e a difusão da tecnologia da rochagem como uma opção para apoiar o desenvolvimento agrícola sustentável do Brasil.

O II Congresso Brasileiro de Rochagem – II CBR voltou-se para o aprofundamento do debate científico e tecnológico do uso de rochas, minérios e minerais pulverizados para a remineralização dos solos, mas, também, para o estabelecimento de um marco normativo que possibilite a obtenção de registro e comercialização de produtos derivados de rochas moídas. Neste contexto, o evento teve a função de incentivar o aprofundamento das pesquisas e contextualizar o estado da arte em que está sendo discutido e construído o marco científico e legal da tecnologia de rochagem no país, bem como a sua contribuição à produção sustentável de alimentos. Buscou-se igualmente abordar quais são as rotas tecnológicas possíveis para viabilizar a necessária interligação entre o setor mineral e agrícola, já que o primeiro pode se converter em uma excelente fonte de materiais passíveis de uso no segundo, em função do extenso potencial de recursos minerais, distribuídos em todo o território nacional. Assim, nessa segunda edição, introduziu-se a discussão sobre a estruturação de arranjos produtivos locais, de base agrícola-mineral, como instrumento de organização coletiva da produção e

disseminação da tecnologia da rochagem na agricultura e pecuária nacional, em associação com áreas de extração de recursos minerais.

Dessa forma, os principais objetivos do Congresso estiveram relacionados às seguintes questões: (i) subsidiar a formulação de políticas públicas relacionadas à tecnologia da rochagem, como forma de estabelecer estratégias de ação para a regulamentação do registro e comercialização de pós de rocha (remineralizadores) como fonte de nutrientes; (ii) consolidar o potencial do uso de pós de rocha como mecanismo de remineralização/rejuvenescimento de solos degradados; (iii) incentivar a formação de uma rede (ou associação) de pesquisadores e empresas envolvidas com a comercialização de rochas moídas.

O II Congresso Brasileiro de Rochagem ocorreu na cidade de Poços de Caldas, em Minas Gerais, no período de 12 a 17 de maio de 2013. Despertou interesse de inúmeras categorias de profissionais e de instituições públicas e privadas. Tal representatividade fica explícita com a amplitude de pesquisadores das universidades presentes. Foram cerca de vinte Universidades e Institutos Federais Brasileiros, entre as quais se citam: Universidade de Brasília – UnB; Universidade Federal de Viçosa/Campus de Rio Paranaíba – UFV; Universidade de São Paulo – USP/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP; Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG; Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; Universidade Federal de Pelotas – UFPEL; Universidade Federal do Espírito Santo - UFES; Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ; Universidade Federal Fluminense - UFF; Universidade Federal de Uberlândia – UFU; Universidade do Tocantins - UNITINS; Universidade Estadual de Goiás - UEG, Universidade Vale do Rio Doce – UNIVALE, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC; Universidade de Passo Fundo - UPF; Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS; Universidade Estadual Paulista/Campus de Botucatu - UNESP; Centro Universitário La Salle – UNILASALLE; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília/Campus Planaltina - IFB, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro/Campus Nilópolis – IFRJ e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano/Campus Rio Verde – IFGOIANO.

Além dessas Instituições, pesquisadores de três Unidades da Embrapa, de quatro Superintendências do Serviço Geológico do Brasil – CPRM

e do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI - enviaram técnicos para apresentar os resultados de suas pesquisas. A Petrobras, o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM e o SESI SENAI também participaram das atividades científicas do II CBR.

Atentos às novas demandas do País na questão dos fertilizantes, representantes de várias áreas do Governo Federal também participaram do Congresso, em especial os Ministérios de Minas e Energia - MME, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA e da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI.

Apesar de o evento ter um caráter nacional, houve a participação e apresentação de trabalhos de pesquisadores internacionais das Universidades de Yaoundé (Camarões), Guelph (Canadá), New Castel (Reino Unido) e representantes (pesquisadores, ativistas ambientais ou empresários) de Uganda, dos Estados Unidos e do Paraguai.

Nesta segunda edição, a organização do Congresso buscou atender um público mais diversificado, incluindo profissionais de Geociências, Ciências Agrárias, Biotecnologia, Economia, Direito e Segurança Alimentar, bem como de pessoas ou grupos interessados em métodos alternativos e sustentáveis de produção agrícola (produção orgânica ou agroecológica). Além disto, incentivou a participação de estudantes, educadores, agricultores familiares e agroecológicos.

Para tanto, realizou um concurso de redação sobre o tema, sendo que o público alvo - estudantes de graduação - deveria discorrer sobre a importância da rochagem no contexto das novas tecnologias e de oportunidades de pesquisa. Os estudantes, Fernanda de Paula Medeiros e Caio César Vieira Sampaio, foram os vencedores do concurso e receberam, como prêmio, certificados e a cobertura de todos os gastos para participar do evento. As duas redações também estão publicadas nos Anais.

Obviamente a realização de um evento com essas pretensões precisou de apoio, financiamento e patrocínio de diversas instituições. O amplo espectro de patrocinadores mostra que o tema já desperta interesse de pequenas e grandes companhias brasileiras, entre as quais destacamos a Mineração Curimbaba, a Petrobras, a Vale Fertilizantes e a Galvani Mineração. Além dessas Companhias, o II CBR teve o apoio e patrocínio das Superintendências do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas

e Energia - SGM/MME, do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação - SETEC/MCTI e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Além destas Instituições, o apoio e a organização do Evento, mediante o envolvimento de pesquisadores e professores das Universidades de Brasília e de Viçosa/Campus de Rio Paranaíba e do Centro de Tecnologia SENAI CETEC, credenciou ainda mais o Congresso. A GSC Eventos Especiais foi a responsável pela gestão e organização do Congresso em Poços de Caldas.

Ao final do II Congresso de Rochagem avaliou-se que os resultados foram positivos e profícuos, já que os participantes mencionaram que o evento foi um fórum privilegiado, onde se contou com a apresentação de trabalhos de investigação técnico-científicos inéditos, bem como de troca de informações e intercâmbio de conhecimentos na área da rochagem. Importante destacar que foram aceitos para publicação cerca de 70 trabalhos científicos, dos quais 34 foram selecionadas para apresentação oral, 23 na forma de pôster e quatro para apresentação na Mesa Redonda, que tratou a normatização do tema no arcabouço jurídico brasileiro. Desse total, o Comitê Científico selecionou 40, que estão publicados na forma expandida na presente edição dos Anais do Congresso.

Para a execução do Congresso foram criados os seguintes Comitês, os quais foram constituídos por professores, pesquisadores e técnicos de diversas Instituições e por gestores públicos:

#### Comitê Gestor

- Suzi Huff Theodoro - Petrobras/ Universidade de Brasília/UnB - Coordenadora
- Elzivir Azevêdo Guerra - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia - SGM/MME – Vice-Coordenador
- Tássia de Melo Arraes - Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação - SETEC/MCTI
- Cristina Ferreira Correia Silva – Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - SETEC/MCTI

- David Fonseca – Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM
- Éder de Souza Martins - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrados
- Enir Sebastião Mendes - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia - SGM/MME
- Marisa Bezerra de Mello Monte – Centro de Tecnologia Mineral - CETEM
- Hideraldo Coelho - Departamento de Fiscalização de Insumos Agrícolas, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA
- Ruben Sardou Filho – Serviço Geológico do Brasil – CPRM
- Oliveira A. Cavalcante – Serviço Geológico do Brasil – CPRM
- Magda Bergmann – Serviço Geológico do Brasil – CPRM

#### Comitê Executivo

- Marcus Manoel Fernandes - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/Centro de Tecnologia SENAI CETEC – SENAI DR-MG - Coordenador
- André Mundstock X. de Carvalho - Universidade Federal de Viçosa/ Campus de Rio Paranaíba - UFV – Vice-Coordenador
- Rafael Curimbaba – Mineração Curimbaba

#### Comitê Técnico-Científico

- Éder de Souza Martins – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Embrapa Cerrados - Coordenador
- Adão Benvindo da Luz - Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI
- Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Milho e Sorgo
- Andrea Rizzo - Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI
- Carlos Augusto Posser Silveira – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Clima Temperado
- Irene Maria Cardoso – Universidade Federal de Viçosa -UFV
- Léo Afraneo Hartmann – Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS
- Magda Bergmann – Serviço Geológico do Brasil - CPRM
- Marisa Monte - Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

- Othon Leonardos – Universidade Ed Brasília - UnB
- Peter van Straaten – Universidade de Guelph
- Rosemary Hoff – Embrapa Uva e Vinho
- Suzi Huff Theodoro – Petrobras/Universidade de Brasília -UnB

#### Realização

- Gisele Correa Ferreira - Diretora
- Fabio Costa - Coordenador de Eventos

O III Congresso Brasileiro de Rochagem – III CBR ocorrerá no ano de 2016, no estado do Rio Grande do Sul.



## SUMARIO

<b>Plantas, micorrizas e microbiota do solo na disponibilização de nutrientes de pós de rocha.</b> André Mundstock Xavier de Carvalho, Daniely de Cássia Deliberali, Maurício Dutra Costa & Irene Maria Cardoso.	13
<b>Desempenho agrônômico de fontes minerais e orgânicas de nutrientes para as culturas de milho e trigo</b> Adilson Luís Bamberg, Carlos Augusto Posser Silveira, Rosane Martinazzo, Magda Bergmann, João Angelo Toniolo, Matheus Farias Grecco & Mariana da Luz Potes	24
<b>Efeito do uso da técnica de rochagem e adubação orgânica em solos tropicais</b> Suzi Huff Theodoro, Othon Henry Leonardos, kleysson Garrido Rego, Fernanda de Paula Medeiros, Neodir Luiz Talini, Francisca dos Santos & Maria Neuza da Silva Oliveira.	32
<b>Ação de microorganismos em pó de basalto</b> Lucas Dressano Pereira da Silva, Antonio Carlos de Azevedo & Raul A. Filho.	43
<b>Associação da compostagem ao processo de rochagem visando à liberação de potássio</b> Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Ramires Ventura Machado, Felipe Vaz Andrade & Maria Maiara Cazotti	51
<b>Uso de pó de rocha como condicionador de solos e fertilizante em cultura de cana de açúcar</b> Nayra Thaís Ferreira Batista, Vilmar Antonio Ragagnin, Claudia Adriana Görgen, Éder de Souza Martins, Antonio Alexandre Bizão, Lucas Ferreira de Moraes, Eduardo Hack, Andrea Luiza Görgen Marques, Raquel dos Santos Carvalho, Luana Bispo de Assis, Evanielle Clerici Arruda	58
<b>Which rocks for which crops? Ecophysiological and geological factors</b> Peter van Straaten	65
<b>Why do crushed silicate rock fertilisers sometimes not work?</b> David Manning	74
<b>Fertilizing ferralitic soils in Cameroon using basalt powder from the Cameroon Volcanic Line: an application with maize farming in south Cameroon</b> Arliane Nicole Tetchou Tchekambou, Jean Pierre Tchouankoue, Monique Abossolo Angue, Christophe Ngansop & Suzi Huff Theodoro	82
<b>The Potential Of Remineralization As A Global Movement</b> <i>Joanna Campe</i>	91

<b>Efeito de rochas moídas e torta de tungue sobre a concentração e acumulação de nutrientes na parte aérea de plantas de milho (<i>zea mays</i>)</b> Matheus Farias Grecco, Adilson Luís Bamberg, Mariana da Luz Potes, Raquel Louzada, Carlos Augusto Posser Silveira, Rosane Martinazzo & Magda Bergmann	101
<b>Avaliação do uso de pó de rocha no desempenho de duas variedades de mandioca de mesa</b> Fernanda Pereira de Souza, Eder de Souza Martins, Luise Lottici Krahl, Eduardo Alano Vieira, Josefino de Freitas Fialho & Gabriel Soares Ribeiro	109
<b>Correção de acidez de solo utilizando resíduos da indústria de rochas ornamentais</b> Valério Raymundo, Mirna A. Neves Marcos S. N. Cardoso, Izaias S. Bregonci, Julião S. S. Lima & Arthur B. Fonseca	115
<b>Desafios em Soberania e Segurança Alimentar: A Utilização da Rochagem como Fonte Alternativa e Sustentável</b> Luana Bispo de Assis, Nayra Thaís Ferreira Batista, Vilmar Antonio Ragagnin, Claudia Adriana Görgen, Éder de Souza Martins, Antonio Alexandre Bizão, Lucas Ferreira de Morais, Eduardo Hack, Andrea Luiza Görgen Marques, Raquel dos Santos Carvalho & Evanielle Clerici Arruda	125
<b>Produção de fertilizante organomineral a partir de resíduos agroindustriais e rejeitos minerais</b> Juliana Mariano Alves, Fred Newton da Silva Souza, Candice Colombo dos Santos, Marcus Henrique M. Silva & Alianderson P. Santana	133
<b>Potencial de Agrominerais no Escudo do Rio Grande do Sul</b> João Angelo Toniolo, Giovani Parisi, Magda Bergmann, Carlos Augusto Posser Silveira, Adilson Luís Bamberg, Rosane Martinazzo & Matheus Grecco.	141
<b>Rochagem no sul do dos estados do Maranhão e Piauí</b> Valter José Marques & Suely Serfaty Marques	149
<b>Potencial para rochagem de rochas sedimentares da bacia do amazonas no Pará</b> Firmino C. Correia Jr., Marcelo Lacerda Vasquez	160
<b>Basaltos amigdalóides à Zeólitas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná: potencial para uso agrônômico</b> Magda Bergmann, Carlos Augusto Posser Silveira, Rodrigo Bandeira, Adilson Bamberg, Rosane Martinazzo & Matheus Grecco	168
<b>Viabilidade do uso de pó de rocha como fonte alternativa de nutrientes no estado do Tocantins</b> Fred Newton da Silva Souza, Juliana Mariano Alves, Leonel Moreira Nascente & Marcondes Martins.	181
<b>Representação de dados litoquímicos em rochas vulcânicas da formação Serra Geral da Bacia do Paraná</b> Magda Bergmann, Carlos Augusto Posser Silveira, Rodrigo Bandeira, Adilson Luís Bamberg, Rosane Martinazzo & Matheus Farias Grecco	190

<b>Estudo da cinética de liberação de potássio contido no flogopitito da Bahia</b> Silvia França, Célia Maria machado Ronconi e Adriana de Aquino Soeiro da Silva	200
<b>Avaliação Econômica do Uso da Rochagem em Lavoura Comercial no Sudoeste Goiano</b> Antonio Alexandre Bizão, Eduardo Hack, Nayra Thais Ferreira Batista, Claudia Adriana Görgen, Vilmar Antonio Ragagnin, Éder de Souza Martins, Lucas Ferreira de Moraes, Andréa Luiza Görgen Marques, Raquel dos Santos Carvalho &, Luana Bispo de Assis	212
<b>Caracterização de um resíduo da mineração de rocha vulcânica ácida e avaliação do seu potencial de liberação de nutrientes para rochagem</b> Claudete Gindri Ramos, Marcos L. S. Oliveira, Andréia Gislaíne de Mello, Jéssica Maria Gregory Nunes, Cristiane Oliveira Rodrigues & Rubens Müller Kautzmann	220
<b>Rochagem de solos agrícolas empregando se resíduos da indústria extratora de geodos de ametistas e ágatas, Rio Grande do Sul</b> Clarissa Trois Abreu, Edson Campanhola Bortoluzzi, Léo Afraneo Hartmann & Juliano Tonezer da Silva	230
<b>Avaliação de diferentes doses de granodiorito como fonte de potássio na cultura da amora preta</b> Ricardo Milech, Felipe Cassalha Schneider, Carlos Augusto Posser Silveira, Adilson Luís Bamberg, Rosane Martinazzo, Magda Bergmann, Mariana da Luz Potes	237
<b>Seletividade teórica dos basaltos amigdaloides à zeolitas do RS para os cátions <math>\text{NH}_4^+</math>, <math>\text{K}^+</math>, <math>\text{Ca}^{+2}</math> e <math>\text{Mg}^{+2}</math></b> Rodrigo José Bandeira, Rosane Martinazzo, Magda Bergmann, Carlos Augusto Posser Silveira, Adilson Luís Bamberg & Matheus Farias Grecco	246
<b>Uso do rejeito da mineração de esmeraldas da província esmeraldífera entre Itabira Nova Era – MG, como fornecedor de nutrientes a solos agrícolas</b> Amando P. Aguiar, Adolf Henrich Horn, Alexandre Sylvio Vieira da Costa & José Maria Leal	255
<b>Identificação de minerais do grupo das zeólitas por espectroscopia de reflectância</b> Ana Paula Justo, Magda Bergmann, Rosemary Hoff & Mônica Mazzini Perrotta	265
<b>Efeito da Aplicação do Pó de Rocha Na Recuperação de Uma Pastagem Cultivada</b> Fernanda Pereira de Souza, Robélio Leandro Marchão, Eder de Souza Martins, Luise Lottici Krahl, Gabriel Soares Ribeiro, Luiz Fernando dos Santos & Sandro M. Carmelino Hurtado	275

<b>Sistema de Informações Geográficas como Contribuição à Utilização de Pó de Rocha Oriundo da Formação Serra Geral em Áreas de Indicações Geográficas Vitivinícolas no Brasil</b> Rosemary Hoff, Magda Bergmann, André Rodrigo Farias & Rudi César Comiotto Modena.	282
<b>Rochagem com o fonolito para cana planta</b> Ivaniele Nahas Duarte, Gaspar Henrique Korndörfer, Hamilton Seron Pereira & Douglas da Silva Santos	292
<b>Avaliação do desempenho do fonolito via mineral e no enriquecimento da torta de filtro em soqueira de cana-de-açúcar</b> Pedro Henrique de Cerqueira Luz, Celso Eduardo Bonafé Peres, Minoru Yasuda, Marcos Roberto Ferraz, Reginaldo Aparecido Casadei & Leonardo Lunardi	301
<b>Eficiência residual de rocha fonolito moída nas sucessões de culturas soja-trigo-milho e milho-milheto-soja</b> Rogério Peres Soratto & Carlos Alexandre Costa Crusciol	312
<b>Avaliação do desempenho do fonolito via mineral em laranjeiras adultas</b> Danilo Franco, Minoru Yasuda, Rafael Curimbaba Ferreira, Leandro Aparecido Fukuda & Rafael Trombin Ferracini	321
<b>Eficiência de rocha fonolito moída como fonte de potássio para as culturas do arroz, feijão, milho e soja</b> Carlos Alexandre Costa Crusciol & Rogério Peres Soratto	327
<b>Rocha fonolito moída como fonte de potássio para cultura do café arábica</b> Mauricio Antonio Cuzato Mancuso, Rogério Peres Soratto, Matheus Gabriel Palhano & Carlos Alexandre Costa Crusciol	338
<b>Pós de rochas como fonte de potássio para uso agrícola em argissolos vermelhos</b> Augusto Friederichs, Álvaro Luiz Mafra; Jaime Antonio de Almeida; Luiz Paulo Rauber & Andréia Patricia Andrade	351
<b>Uso de pó de rocha para tratamento físico químico de efluentes – Auxipó</b> Rodrigo Augusto Franco de Oliveira Zawadzki, Alessandra Rosa Vieira, Francisco Soveral Zanella & Patricia Barbosa dos Santos	359
<b>Proposta de classificação de rochas silicáticas como fontes de nutrientes e condicionadores de solo</b> Eder de Souza Martins	368
<b>Normatização do uso dos remineralizadores: limitações e perspectivas</b> Suzi Huff Theodoro	379
<b>Regulamentação de fertilizantes no MAPA</b> Hideraldo Coelho, Rubim Almeida Gonczarowska & Mariana Coelho de Sena	388
<b>Normas de autorização do DNPM</b> David Siqueira Fonseca	392

# PLANTAS, MICORRIZAS E MICROBIOTA DO SOLO NA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE PÓS DE ROCHA

*André Mundstock Xavier de Carvalho<sup>1</sup>*

*Daniely de Cássia Deliberali<sup>2</sup>*

*Maurício Dutra Costa<sup>3</sup>*

*Irene Maria Cardoso<sup>4</sup>*

## Resumo

A busca por uma alternativa social, ambiental e economicamente mais vantajosa às fontes convencionais de nutrientes faz do estudo do potencial de rochas silicatadas para emprego na agricultura especialmente importante. Além disso, no Brasil tem havido uma revalorização da rochagem impulsionada pela situação de dependência estrangeira por fontes solúveis de nutrientes, o que gera demandas crescentes por pesquisas. No entanto, alguns trabalhos têm sido realizados em ambientes controlados simplificados, negligenciando a ação de organismos do solo, de fungos micorrízicos ou mesmo da planta sobre a magnitude da disponibilização de nutrientes pelas rochas. Neste sentido, conhecer o papel da planta, da microbiota do solo e dos fungos micorrízicos arbusculares na disponibilização de nutrientes de pós de rocha pode ser importante na seleção de práticas ou manejos de solo e cultura visando melhorar a utilização dessas fontes. O objetivo principal do trabalho foi, portanto, avaliar o papel da planta, da microbiota do solo e em particular dos fungos micorrízicos arbusculares na disponibilização de elementos pelos pós de charnockito, esteatito e gnaiss após cultivos sucessivos. O trabalho foi estruturado em um esquema fatorial 4x4, em blocos casualizados, em condições de casa de vegetação, sendo quatro “agentes de solubilização” (apenas a planta ( $A_{Zm}$ ); planta em associação micorrízica ( $A_{FM}$ ); planta em associação micorrízica e na presença de outros

---

<sup>1</sup> Professor do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba, Rio Paranaíba, MG, andre.carvalho@ufv.br; <sup>2</sup>Mestranda em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, ddeliberali@yahoo.com.br; <sup>3</sup>Professor do Departamento de Microbiologia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, mdcosta@ufv.br; <sup>4</sup>Professora do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, irene@ufv.br.

microrganismos do solo ( $A_{Mb}$ ) e apenas solo estéril ( $A_{So}$ ) combinados com a adição das três rochas moídas na dose correspondente a  $10 \text{ t ha}^{-1}$  e um controle sem pó de rocha. Os pós de rocha aplicados demonstraram-se como fontes efetivas de nutrientes para as plantas e não restringiram a atividade biológica do solo nem a atuação dos fungos micorrízicos arbusculares. O esteatito mostrou-se como fonte expressiva de Mg e Si, o charnockito de Cu e o gnaiss e charnockito de K para as plantas. Embora a atividade biológica seja importante para a disponibilização de nutrientes de rochas, neste estudo a planta demonstrou ser igualmente capaz de atuar sobre a disponibilização de elementos das rochas quando comparada com a presença conjunta da planta com a microbiota do solo ou em associação micorrízica. O solo, isoladamente, demonstrou ter uma capacidade muito inferior de disponibilizar os nutrientes das rochas, indicando a necessidade de mais estudos na presença de plantas em detrimento àqueles com apenas incubação em solo.

**Palavras-chave:** gnaiss, charnockito, esteatito, biodisponibilização

## Introdução

Os fertilizantes solúveis possuem custos elevados associados ao beneficiamento e ao transporte a longas distâncias, podem criar problemas ambientais como eutrofização de águas superficiais e subsuperficiais ou liberação de gases poluentes na atmosfera (Tilman et al., 2001; Martins et al., 2010), necessitam de fontes não renováveis de energia no seu processamento e dependem da utilização de recursos minerais não renováveis, escassos e mal distribuídos entre os países (Foley et al., 2005; Fixen & Johnston, 2012). Estes problemas tem exigido a busca de alternativas e uma delas tem sido a utilização de pós de rocha.

No Brasil, rochas silicatadas comuns como gnaisses, granitos, charnockitos e basaltos, são amplamente utilizadas para diversos fins não agrícolas e os resíduos da moagem (materiais finos) podem ser aproveitados a baixos custos por agricultores como fonte de nutrientes. Contudo, a maioria das pesquisas utilizaram apenas rochas silicatadas máficas ou materiais com especial riqueza em algum macronutriente, de menor abundância e distribuição mais restrita pelo mundo (Leonardos et al., 2000; van Straaten, 2006). O estudo de outros materiais, incluindo as rochas silicatadas mais



comuns, pode incentivar a utilização de recursos locais abundantes e, assim, contribuir para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis.

As rochas silicatadas possuem maior diversidade de elementos em relação aos fertilizantes químicos solúveis, mas com uma lenta disponibilização. Esta característica é vista como a principal limitação da utilização destes materiais (Bolland & Baker, 2000). No entanto, este fato, juntamente com a composição heterogênea de nutrientes, torna-se uma opção interessante nos agroecossistemas tropicais visto que possuem solos altamente dessilificados, oxidícos e naturalmente bem drenados, o que favorece sobremaneira processos de lixiviação e de adsorção específica de elementos (Leonardos et al., 2000; Martins et al., 2010). Entretanto, para uma utilização mais generalizada de pós de rocha silicatadas na agricultura há a necessidade de pesquisas visando melhorar o aproveitamento dos nutrientes dessas fontes (Leonardos et al., 2000; Hinsinger et al., 2001; Martins et al., 2010).

Neste aproveitamento, é preciso atentar-se para práticas de manejos de solo que criem condições para a potencialização da capacidade solubilizadora dos organismos do solo em geral, e dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em particular, pois os mesmos podem exercer papéis importantes na disponibilização de nutrientes de rochas. No entanto, alguns trabalhos têm sido realizados em ambientes controlados simplificados, negligenciando a ação desses organismos, dos fungos micorrízicos ou até mesmo da planta sobre a magnitude da disponibilização de nutrientes pelas rochas.

A ação dos organismos pode ir da simples fragmentação de partículas a alterações complexas na superfície dos minerais, modificando suas características químicas. Algumas plantas podem ser muito efetivas na indução do intemperismo de silicatos (Hinsinger et al., 2001). As raízes das plantas podem aumentar a dissolução de minerais por meio de mudanças de pH na rizosfera devido à liberação de  $H^+$ ,  $OH^-$  e  $HCO_3^-$  resultantes da respiração e da absorção de íons (Neumann & Romheld, 2012). A diferença de pH na rizosfera pode chegar a duas unidades de pH em relação ao solo não rizosférico (Neumann & Romheld, 2012).

Entretanto, Wang et al. (2011) observaram que o mecanismo mais importante para aumentar a eficiência de utilização de formas não-trocáveis de K por plantas foi a capacidade de absorver K à baixas concentrações (menor  $C_{min}$  para absorção de K). Esse resultado vai de encontro ao princípio exposto por Harley & Gilkes (2000), de que a efetividade dos pós

de rocha silicatadas tende a aumentar quando os níveis iniciais de nutrientes no solo são baixos.

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) também podem ser agentes importantes no intemperismo das rochas, sendo o uso de culturas altamente micorrízicas interessantes para o melhor aproveitamento de rochas silicatadas na agricultura. Além dos mecanismos baseados na liberação de ácidos orgânicos e na extrusão de  $H^+$ , é provável que o  $CO_2$  liberado durante a respiração fúngica possa aumentar a degradação de silicatos através do ataque do ácido carbônico. Vale lembrar que os FMAs são os componentes frequentemente majoritários da biomassa microbiana em ecossistemas agrícolas e contribuem significativamente para o aumento na liberação de  $CO_2$  no solo (Johnson et al., 2002).

## Objetivos

Diante da escassez de informações sobre o tema em solos tropicais, os objetivos deste trabalho foram avaliar o papel da planta, da microbiota do solo e, em particular, dos fungos micorrízicos arbusculares na disponibilização de elementos pelos pós de charnockito, esteatito e gnaiss após cultivos sucessivos.

## Metodologia

O experimento foi montado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado e em arranjo fatorial 4 (presença ou ausência de “agentes” de solubilização - A) x 4 (presença ou ausência dos pós de rocha), com três repetições. Os tratamentos foram então denominados  $A_{So}$  (apenas solo sem cultivo de milho), solo cultivado com milho ( $A_{Zm}$ ), solo cultivado com milho e inoculado com FMAs ( $A_{FM}$ ) e solo cultivado com milho, inoculado com FMAs e com reintrodução da microbiota do solo ( $A_{Mb}$ ). Os solos foram fertilizados ou não (apenas solo sem rocha, controle) com três rochas moídas distintas (gnaiss, charnockito e esteatito) na dose correspondente a  $10 t ha^{-1}$ .

As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos contendo o correspondente a 4 kg de solo seco, onde foram cultivadas duas plantas de milho por vaso até o início do florescimento, quando então as plantas foram cortadas e um novo cultivo realizado, totalizando três cultivos de milho.



O pó de gnaiss foi adquirido junto ao comércio local, sendo obtido pela separação das frações finas resultantes da moagem da rocha para obtenção de brita para a construção civil. O charnockito (uma variedade de hiperstênio-granito) foi adquirido a partir do resíduo de corte e acabamento em empresas locais de beneficiamento de rochas ornamentais. O esteatito (pedra-sabão), uma rocha metamórfica maciça muito comum na região do Quadrilátero Ferrífero (MG), foi adquirido de resíduos da produção de artesanatos da região de Mariana, MG.

Os pós de rocha foram secos ao ar e peneirados, sendo utilizadas apenas as porções que passaram na peneira de malha de 0,105 mm e que foram retidas na de malha de 0,053 mm de abertura. Para a caracterização química e mineralógica, subamostras foram secas, moídas em almofariz e passadas totalmente pela peneira de malha de 0,053 mm de abertura. Os elementos principais foram analisados por espectrometria de fluorescência de raios-X e os demais por espectrofotometria de emissão de plasma após digestão triácida (Silva, 2009) (Tabela 1). A análise mineralógica foi realizada por difração de raios-X.

**Tabela 1.** Caracterização química e mineralógica dos pós de rocha

Elementos principais	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
	..... % .....									
Gnaiss	54,7	14,8	12,3	6,1	2,4	2,5	3,7	2,2	1,1	0,2
Charnockito	60,4	13,6	8,0	5,1	3,0	2,7	2,2	2,3	1,4	0,1
Esteatito	47,2	4,2	8,6	2,3	24,3	0,01	0,01	0,1	0,02	0,1
Outros elementos	Cd	Co	Cr	Cu	La	Li	Ni	Pb	V	Zn
	..... mg kg <sup>-1</sup> .....									
Gnaiss	< 3	16	13	11	138	15	< 3	< 8	179	148
Charnockito	< 3	68	24	323	74	15	74	11	167	134
Esteatito	< 3	87	869	39	< 20	< 3	1513	< 8	68	84
Composição mineralógica										
Gnaiss	Quartzo, ortoclásio, andesina (plagioclásio), anfíbólios, micas, rutilo e apatita.									
Charnockito	Quartzo, ortoclásio, andesina, ortopiroxênios (hiperstênio), diopsídio, micas e anfíbólios.									
Esteatito	Talco, cloritas, dolomita e anfíbólios.									

O solo utilizado no experimento foi uma amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. O solo foi previamente tamisado, separado em porções de 4 kg em sacos plásticos e recebeu uma adubação básica com vermicomposto. Logo após a adubação com vermicomposto, os solos (dentro dos sacos) foram esterilizados duas vezes em autoclave por 2 horas a 121 °C. Uma parte do solo foi mantida umedecida e não esterilizada para servir de inóculo para a reintrodução da microbiota. O inóculo micorrízico (isolado de solos sob uso agrícola) foi desinfestado para garantir que a inoculação com FMAs não estivesse associada a adição de outros organismos ou contaminantes químicos no solo. A inoculação com FMAs deu-se pela adição de um volume do extrato desinfestado, lavado e homogeneizado, correspondente a 300 esporos por vaso. O inóculo microbiano para reintrodução da microbiota do solo foi obtido a partir da agitação em água de uma massa de solo não estéril com posterior tamisação do sobrenadante com peneira de malha 0,053 mm, visando excluir propágulos de FMAs. A reintrodução da microbiota consistiu da aplicação de 200 mL de sobrenadante (obtido de o equivalente a 150 g de solo seco) em cada vaso.

O crescimento das plantas foi avaliado pela matéria seca da parte aérea ao longo dos três cultivos. Para isto, a parte aérea das plantas no estágio de início do florescimento foi coletada, lavada, secada e pesada (matéria seca). Em seguida, o material seco foi submetido às análises químicas. Os teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu, Cr, Cd, Pb e Ni foram determinados após digestão nitroperclórica, sendo os teores de P e Si determinados colorimetricamente, os de K por fotometria de emissão de chama e os demais por espectrofotometria de emissão de plasma (Silva, 2009). A biomassa microbiana foi avaliada pelo método de irradiação-extração, conforme Mendonça & Matos (2005), a partir de amostras de solo coletadas ao final do experimento e mantidas sob refrigeração a 4°C até o momento da análise. Para a avaliação da colonização micorrízica por FMAs, foram coletadas amostras do sistema radicular fresco. A colonização radicular por FMAs foi avaliada pelo método da contagem em placa reticulada.

Ao final do experimento (final do terceiro cultivo) foram avaliadas também as disponibilizações de elementos no solo conforme Silva (2009). A disponibilização total dos elementos foi estimada pelo somatório dos conteúdos nas plantas ao final de cada cultivo mais os teores disponíveis no solo ao final do experimento. Os dados foram submetidos à análise de



variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 %. A interação na ANOVA foi considerada significativa quando  $p \leq 0,10$ .

## Resultados e Reflexão

A matéria seca da parte aérea acumulada nos três cultivos não diferiu entre os tratamentos (dados não mostrados). A semelhança observada entre os dados de matéria seca da parte aérea do milho acumulada nos três cultivos sucessivos sugere que algum nutriente tenha limitado o crescimento das plantas. Esta situação é similar à observada por Resende et al. (2006), em experimentos em casa de vegetação, com pós de rocha utilizados como única fonte de nutrientes às plantas. Os pós de rocha, possivelmente, não liberaram os nutrientes com a velocidade requerida pela planta ou não continham em quantidade suficiente e balanceada todos os nutrientes requeridos pelo milho.

A biomassa microbiana do solo foi, como esperado, significativamente afetada pelos agentes de solubilização, mas não foi afetada pela presença ou não dos diferentes pós de rocha. De modo semelhante, a colonização pelos fungos micorrízicos também não foi afetada pela presença dos pós de rocha, mantendo-se acima de 50% nos tratamentos inoculados.

Os conteúdos de nutrientes nas plantas acumulados ao longo dos três cultivos foram pouco alterados pela aplicação ou não das rochas, exceto quanto aos conteúdos de K. Os agentes de solubilização promoveram alterações nos conteúdos de P, K, Mg e Cu nas plantas (dados não mostrados). Os incrementos nos conteúdos de K, promovidos pelos pós de gnaiss e charnockito em relação ao controle, apenas nos tratamentos  $A_{Zm}$  e  $A_{FM}$  sugerem que os microrganismos do solo (mas não os FMAs) tenham influenciado positivamente a aquisição de K presente em formas menos disponíveis do elemento no solo (como por exemplo, formas de K não-trocáveis retidas em poros entre lâminas adjacentes de minerais de argila), mascarando o efeito destas rochas em  $A_{Mb}$ .

A disponibilização total de elementos, obtida pelo somatório dos conteúdos nas plantas com o disponibilizado no solo ao final do experimento, foi altamente influenciada pela presença das plantas de milho ( $A_{Zm}$ ,  $A_{FM}$  e  $A_{Mb}$ ), que promoveram incrementos gerais em relação aos tratamentos com apenas solo ( $A_{So}$ ). A disponibilização total de Si foi incrementada em média

em 401 %, a de P em 98 %, a de Mg em 17 % e a de K em 16 % pela presença da planta ( $A_{Zm}$ ,  $A_{FM}$  e  $A_{Mb}$ ) em relação à sua ausência ( $A_{So}$ ).

Apesar da grande diversidade dos minerais quanto à susceptibilidade ao intemperismo, os incrementos mais expressivos na disponibilização de elementos decorrentes da aplicação de determinado pó de rocha mostraram-se fortemente ligados ao teor total destes elementos na rocha, como evidenciado pelos teores de Mg e Ni no esteatito e de Cu no charnockito (Tabela 2 e dados não mostrados). Nesta mesma direção, mas em menor magnitude, os maiores teores totais de Fe e K no gnaiss em relação ao esteatito também refletiram em maior disponibilização destes elementos, ainda que tal resposta tenha sido dependente do agente de solubilização. O não incremento na matéria seca das plantas pelos pós de rocha, embora condizente com os poucos incrementos nos conteúdos de nutrientes nas plantas, não refletiu bem a disponibilização total de nutrientes, uma vez que os elementos disponibilizados pelos tratamentos são diferentemente requeridos pelas plantas. Mesmo sob condições de pH de solo mais elevadas, os incrementos nas disponibilizações de P, K, Mg e Si nos tratamentos sob a presença da planta foram muito superiores aos tratamentos com apenas solo ( $A_{So}$ ).

Dessa forma, embora para a maioria dos nutrientes a disponibilização pelo solo ( $A_{So}$ ) tenha sido eficiente indicadora da disponibilização de elementos pelos tratamentos, a magnitude da liberação de nutrientes pelas rochas foi consideravelmente maior na presença das plantas. Isso deve estar ligado à capacidade ativa da planta em disponibilizar nutrientes no solo (Hinsinger et al., 2001; Akter & Akagi, 2005), seja através da liberação de ácidos orgânicos, sideróforos, quelantes orgânicos, entre outros, ou por meio do deslocamento dos equilíbrios de dissolução dos minerais pela absorção de elementos (Harley & Gilkes, 2000; Wang et al., 2011). Tal fato sugere também que, em trabalhos envolvendo seleção de rochas para utilização como fontes alternativas de nutrientes devem-se evitar experimentos apenas com incubação em solo tal como os de Escosteguy & Klamt (1998), Gillman et al. (2001) ou Silva et al. (2005) e priorizar aqueles em que diferentes plantas são também comparadas quanto à suas capacidades de biodisponibilização (Wang et al., 2000), de modo a não subestimar o potencial das rochas.

**Tabela 2.** Disponibilização total de nutrientes (matéria seca das partes aéreas + disponível no solo ao final dos três cultivos sucessivos de milho em casa de vegetação). Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha ou maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de SNK à 5 %.

		Gnaíse	Charnockito	Esteatito	Controle	<i>médias</i>	
<b>P</b> (mg vaso <sup>-1</sup> )	A <sub>So</sub>	270,4	303,3	305,7	326,7	301,5	C
	A <sub>Zm</sub>	564,7	514,7	511,0	494,7	521,2	B
	A <sub>FM</sub>	556,0	694,0	620,7	715,3	646,5	A
	A <sub>Mb</sub>	605,6	692,0	617,4	592,0	626,7	A
	<i>médias</i>	499,2	a 551,0	a 513,7	a 532,1	a	
<b>K</b> (mg vaso <sup>-1</sup> )	A <sub>So</sub>	676,0	Ba 650,7	Bab 581,3	Bb 580,0	Bb 622,0	
	A <sub>Zm</sub>	800,7	Aa 767,8	Aa 641,2	ABb 713,8	Aab 730,9	
	A <sub>FM</sub>	763,2	Aa 762,3	Aa 682,7	Aab 645,9	ABb 713,5	
	A <sub>Mb</sub>	677,9	Ba 764,4	Aa 681,1	Aa 731,9	Aa 713,8	
	<i>médias</i>	729,4	736,3	646,6	667,9		
<b>Ca</b> (mg vaso <sup>-1</sup> )	A <sub>So</sub>	4400,8	4809,6	4905,8	4307,3	4605,9	A
	A <sub>Zm</sub>	4541,4	4419,0	4504,2	4335,7	4450,1	AB
	A <sub>FM</sub>	4377,0	4467,8	4177,8	4285,5	4327,0	B
	A <sub>Mb</sub>	4261,4	4282,7	4415,3	4120,6	4270,0	B
	<i>médias</i>	4395,2	a 4494,8	a 4500,8	a 4262,3	a	
<b>Mg</b> (mg vaso <sup>-1</sup> )	A <sub>So</sub>	1212,0	1150,4	1349,7	1043,5	1188,9	B
	A <sub>Zm</sub>	1386,5	1370,7	1511,4	1310,1	1394,7	A
	A <sub>FM</sub>	1381,3	1414,7	1465,2	1290,8	1388,0	A
	A <sub>Mb</sub>	1360,7	1386,1	1496,8	1339,8	1395,9	A
	<i>médias</i>	1335,1	b 1330,5	b 1455,8	a 1246,1	c	
<b>Si</b> (mg vaso <sup>-1</sup> )	A <sub>So</sub>	161,2	154,5	162,1	158,3	159,0	C
	A <sub>Zm</sub>	842,3	795,3	822,7	840,2	825,1	A
	A <sub>FM</sub>	793,9	813,3	831,2	745,8	796,1	AB
	A <sub>Mb</sub>	776,6	764,3	768,1	775,0	771,0	B
	<i>médias</i>	643,5	a 631,8	a 646,0	a 629,8	a	



## Conclusões

Quando aplicado diretamente no solo, o esteatito mostrou-se como fonte efetiva de Mg e Si, o charnockito de Cu e o gnaiss e charnockito de K para as plantas. Embora a atividade biológica seja importante para a disponibilização de nutrientes de rochas, neste estudo a planta demonstrou-se igualmente capaz de atuar sobre a disponibilização de elementos das rochas quando comparada com a presença conjunta da planta com a microbiota do solo ou em associação micorrízica. O solo isoladamente demonstrou-se com uma capacidade muito inferior de disponibilizar os nutrientes das rochas, indicando a necessidade de mais estudos na presença de plantas em detrimento àqueles com apenas incubação em solo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

## Referências Bibliográficas

- AKTER, M.; AKAGI, T. Effect of fine root contact on plant-induced weathering of basalt. *Soil Science and Plant Nutrition*, 51: 861-871, 2005.
- BOLLAND, M.D.A.; BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 59–68, 2000.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22: 11-20, 1998.
- FIXEN, P.E.; JOHNSTON, A.M. World fertilizer nutrient reserves: a view to the future. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92: 1001-1005, 2012.
- FOLEY, A.F. et al. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309: 570-575, 2005.
- GILLMAN, G.P.; BURKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effect on soil cation chemistry. *Australian Journal of Soil Research*, 39: 799-811, 2001.
- HARLEY, A.D.; GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 11–36, 2000.
- HINSINGER, P.; BARROS, O.N.F.; BENEDETTI, M.F.; NOACK, Y.; CALLOT, G. Plant-induced weathering of a basaltic rock: experimental evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65: 137–152, 2001.



JOHNSON, D.; LEAKE, J.R.; OSTLE, N.; INESON, P.; READ, D.J. In situ  $^{13}\text{CO}_2$  pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist*, 153: 327–334, 2002.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 3-9, 2000.

MARTINS, E.S.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA, C.G.; FURTINI NETO, A.E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: FERNANDES, F.R.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Eds). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380p.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. *Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises*. Viçosa: 2005, 81p.

NEUMANN, G.; ROMHELD, V. Rhizosphere chemistry in relation to plant nutrition. In: MARSCHNER, P. (Ed.). *Marschner's - Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3 ed. Academic Press. 2012. 650p.

RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SENA, M.C.; NASCIMENTO, M.T.; SILVA, L.C.R.; LINHARES, N.W. Rochas como fontes de potássio e

outros nutrientes para culturas anuais. *Espaço & Geografia*, 9: 135:161, 2006.

SILVA, F.C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, M.T.B.; HERMO, B.S.; GARCIA-RODEJA, E.; FREIRE, N.V. Reutilization of granite powder as an amendment and fertilizer for acid soils. *Chemosphere*, 61: 993-1002, 2005.

TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W.H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292: 281-284, 2001.

van STRAATEN, P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78: 731-747, 2006.

WANG, H.Y.; SHEN, Q.H.; ZHOU, J.M.; WANG, J.; DU, C.W.; CHEN, X.Q. Plants use alternative strategies to utilize nonexchangeable potassium in minerals. *Plant Soil*, 343: 209-220, 2011.

WANG, J.G.; ZHANG, F.S.; CAO, Y.P.; ZHANG, X.L. Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 37-44, 2000.

# DESEMPENHO AGRONÔMICO DE FONTES MINERAIS E ORGÂNICAS DE NUTRIENTES PARA AS CULTURAS DE MILHO E TRIGO

*Adilson Luís Bamberg<sup>1</sup>*

*Carlos Augusto Posser Silveira<sup>1</sup>*

*Rosane Martinazzo<sup>1</sup>*

*Magda Bergmann<sup>2</sup>*

*João Angelo Toniolo<sup>2</sup>*

*Matheus Farias Grecco<sup>3</sup>*

*Mariana da Luz Potes<sup>4</sup>*

## Resumo

Uma combinação de fontes minerais e orgânicas de nutrientes foi utilizada em experimento de campo, tendo como objetivo avaliar seu efeito sobre atributos químicos do solo e a produtividade de milho e trigo. Os dados demonstraram, claramente, o potencial de uso do Calcário de Xisto como fonte de Ca, Mg e S, do Granodiorito como fonte de K e da torta de tungue como fonte de N.

**Palavras-chave:** granodiorito, calcário de xisto, torta de tungue.

## Introdução

O uso de rochas moídas, tidas como de liberação mais lenta de nutrientes em relação aos fertilizantes de alta solubilidade, ainda é motivo de resistência por parte de pesquisadores e agricultores, tendo como argumento principal sua baixa eficiência agrônômica. Entretanto, é de conhecimento geral que, com exceção do Nitrogênio, os demais nutrientes requeridos pelas plantas são ou foram de alguma forma derivados do intemperismo de

<sup>1</sup> Embrapa Clima Temperado, BR 392 km 78, 96010-971, C.P. 403, Pelotas, RS, Brasil. [adilson.bamberg@embrapa.br](mailto:adilson.bamberg@embrapa.br); [augusto.posser@embrapa.br](mailto:augusto.posser@embrapa.br) e [rosane.martinazzo@embrapa.br](mailto:rosane.martinazzo@embrapa.br); <sup>2</sup> Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - CPRM - Serviço Geológico do Brasil. [magda.bergmann@cprm.gov.br](mailto:magda.bergmann@cprm.gov.br); [joao.toniolo@cprm.gov.br](mailto:joao.toniolo@cprm.gov.br); <sup>3</sup> Projeto Xisto Agrícola, convênio Embrapa-FAPEG-Petrobras, BR 392 km 78, 96010-971, C.P. 403, Pelotas, RS, Brasil. [grecco.eg@hotmail.com](mailto:grecco.eg@hotmail.com); <sup>4</sup> Projeto Agroenergia, convênio Embrapa-FAPEG, BR 392 km 78, 96010-971, C.P. 403, Pelotas, RS, Brasil. [marianapotes@yahoo.com.br](mailto:marianapotes@yahoo.com.br).





minerais primários (Landeweert et al., 2001). Muitos tipos de rochas podem ser considerados fontes multielementares de nutrientes, principalmente quando aplicadas na forma de matrizes de rochas de composição distinta. A eficiência agronômica de cada tipo de rocha depende, dentre outros fatores, da adequação de sua granulometria, a qual está, na maioria dos casos, diretamente relacionada à liberação dos nutrientes. Em alguns casos a disponibilização dos nutrientes pode ser muito rápida quando o material é finamente moído. É o caso dos calcários agrícolas, de modo que esse tempo pode ser inferior a um mês (Pandolfo & Tedesco, 1996).

Diversos fatores têm contribuído para estimular a caracterização e validação de fontes não convencionais de nutrientes à agricultura brasileira. A dependência do país por insumos importados, o aumento do custo dos fertilizantes, a busca pela diversificação da oferta de insumos para a agricultura e por fontes com menores riscos de contaminação do ambiente têm estimulado a parceria entre a Embrapa Clima Temperado e a Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM, que vêm realizando estudos de prospecção e avaliação do desempenho agronômico de agrominerais e co-produtos de atividades agroindustriais no sul do Brasil. Os estudos levam ainda em consideração o impacto da aplicação dessas fontes sobre a segurança do ambiente e a qualidade dos alimentos produzidos. Dentre os materiais disponíveis na região com potencial para uso agrícola podem ser destacados os rejeitos de mineração e os co-produtos de agroindústrias, tais como rejeitos de granodiorito explorado para atender a construção civil e as tortas de oleaginosas como mamona e tungue.

O estudo de novas fontes de nutrientes oportuniza a formulação e aplicação de matrizes organominerais multielementares, com vantagens como a liberação gradual de nutrientes e o estímulo a microbiota do solo. Para isso, torna-se fundamental compreender o potencial de liberação de elementos oriundos de tais matrizes para a solução do solo. O uso de colunas de lixiviação fornece subsídios para se determinar o potencial de liberação e a fração da constituição total das rochas disponível para as plantas (Bamberg et al., 2011). Para compreender e avaliar a eficiência agronômica de agrominerais é também comum o uso de experimentos em condições controladas e em casas de vegetação e os testes de incubação, além do uso em laboratório de soluções extratoras que se correlacionam com

a fração disponível e a produtividade de culturas agrícolas (Pereira et al., 2003). Todavia, a forma mais contundente de análise de fontes de nutrientes ainda parece ser a sua avaliação através de experimentos em campo. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agrônomico de fontes minerais e orgânicas de nutrientes para as culturas de milho e trigo em experimento de campo em um Planossolo Háplico distrófico típico.

## Metodologia

A combinação de fontes minerais e orgânicas de nutrientes foi utilizada em um experimento de campo instalado na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS. O solo do local é classificado como um Planossolo Háplico distrófico típico. A caracterização química do solo da área experimental é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização química das camadas 0-20 e 20-40 cm do Planossolo Háplico distrófico típico solo da área experimental utilizada no presente estudo. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013

Profundidade (cm)	pH água (1:1)	Índice SMP	H+Al Al Ca Mg				Saturação (%)		Argila (%)	MO (%)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K (mg dm <sup>-3</sup> )	CTC (cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup> )	
			cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup>				Al	Bases					efetiva	pH 7
0-20	4,9	5,9	4,7	0,8	2,26	0,74	20,4	40,3	16	1,7	11,4	52	4,0	7,8
20-40	4,9	5,7	5,9	1,2	2,09	0,88	28,2	34,1	17	1,2	3,9	32	4,3	9,0

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com nove tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: T1 - Controle (Sem Calagem e sem adubação); T2 - Calagem (1 SMP via Calcário Dolomítico - CD); T3 - Calagem (1 SMP via Calcário de Xisto - CX); T4 - Calagem (1 SMP via CX) + 1/2 dose P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> via Fosfato Natural Arad – FNA + 1/2 dose P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> via Superfosfato Triplo - SFT; T5 - Calagem (1 SMP via CX) + 1 FNA; T6 - Calagem (1 SMP via CX) + 1 FNA + Granodiorito - Grd; T7 - Calagem (1 SMP via CX) + 1 FNA + torta de tungue (TT); T8 - Calagem (1 SMP via CX + Enxofre elementar) + 1 FNA + Granodiorito + torta tungue (TT); e T9 - Calagem (1 SMP via CX) + NPK solúvel recomendado para a cultura. As doses de Grd e TT foram dimensionadas considerando-se os teores de potássio e nitrogênio, respectivamente. As doses das demais fontes de nutrientes foram baseadas

nas recomendações da CQFS-RS/SC (2004) (Tab. 2), tendo como referência a análise química do solo, o teor total de nutrientes das fontes (Tab. 3) e a expectativa de produtividade de 10 t ha<sup>-1</sup> de grãos para o primeiro cultivo (milho). Os tratamentos foram incorporados na camada arável do solo (0,0-0,2 m) com uma grade aradora e imediatamente após procedeu-se a semeadura do milho em meados de dezembro de 2011 (Fig. 1).



**Figura 1.** Aplicação manual dos tratamentos e incorporação superficial com grade aradora.

**Tabela 2.** Doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aplicadas em cada tratamento a partir de diferentes fontes minerais.

Solo	Nitrogênio		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O
	Recomendação (kg ha <sup>-1</sup> )	nível no solo	Recomendação (kg ha <sup>-1</sup> )	nível no solo	Recomendação (kg ha <sup>-1</sup> )
Planossolo	170	Muito baixo*	175	médio	120

\*neste caso também foi levado em consideração o nível de fósforo da camada 20-40 cm.  
Fonte: CQFS-RS/SC (2004).

Para avaliar o efeito imediato e o efeito residual das fontes de nutrientes sobre os parâmetros químicos do solo foram realizadas duas coletas e respectivas análises químicas de amostras de solo da camada 0,0-0,2 m, aos 90 dias e aos 360 dias após a aplicação dos tratamentos, bem como a avaliação da produtividade de grãos de milho na safra 2011/2012 e de trigo na safra 2012/2012. Os dados das variáveis-resposta foram analisados quanto à presença de valores discrepantes e submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar se as variáveis seguem uma distribuição normal de probabilidade.

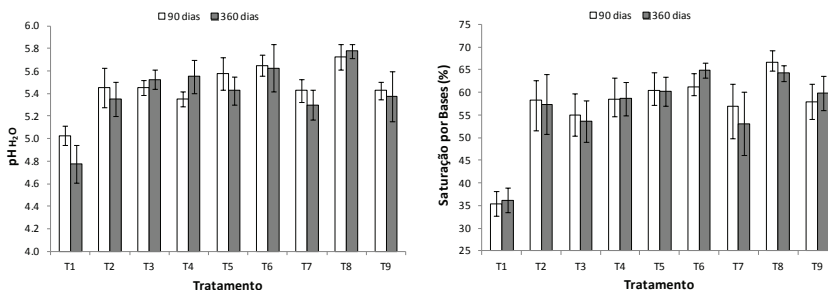
**Tabela 3.** Concentrações totais de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO e S das diferentes fontes de nutrientes utilizadas neste estudo. Empresa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013

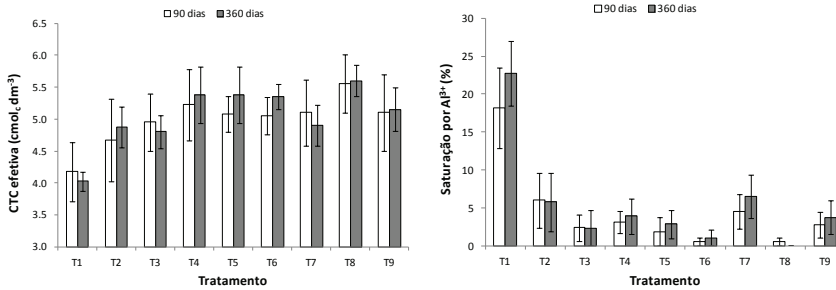
Matérias-primas	Nutriente Fornecido (%)					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S
Calcário Dolomítico (PRNT=60,8%)				20,94	15,82	
Calcário de Xisto (PRNT=60%)		0,20	0,60	20,50	13,60	1,10
Granodiorito		0,15	4,33*	2,42	1,00	
Fosfato Natural ARAD		13,93	0,24	54,00	0,24	1,09
Torta de Tungue	2,7	0,58	3,60	0,35	0,40	
NPK (Ourofertil)	5,0	20,0	20,0	7,00		4,0
S elementar						99,0

\* Para efeito de cálculo da dose de aplicação considerou-se que 50% do K<sub>2</sub>O adicionado pode ser disponibilizado nos primeiros dois cultivos.

## Discussão dos Resultados

Após a aplicação de corretivos de acidez os atributos químicos do solo pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, saturação por bases, CTC efetiva e saturação por Al<sup>3+</sup> foram significativamente alterados pela aplicação de CD e CX, quando analisados aos 90 dias após sua incorporação no solo (Fig. 2-A; 2-B; 2-C e 2-D). No tratamento sem aplicação de calcário (T1) observou-se uma tendência de aumento da saturação por Al<sup>3+</sup> e redução do pH do solo (Fig 2-A e 2-D) aos 360 dias após a incorporação dos tratamentos.



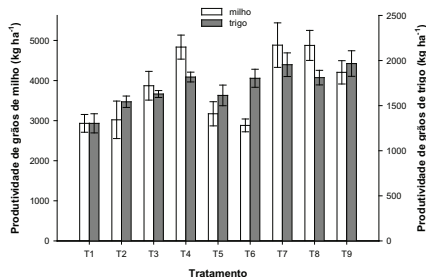


**Figura 2**

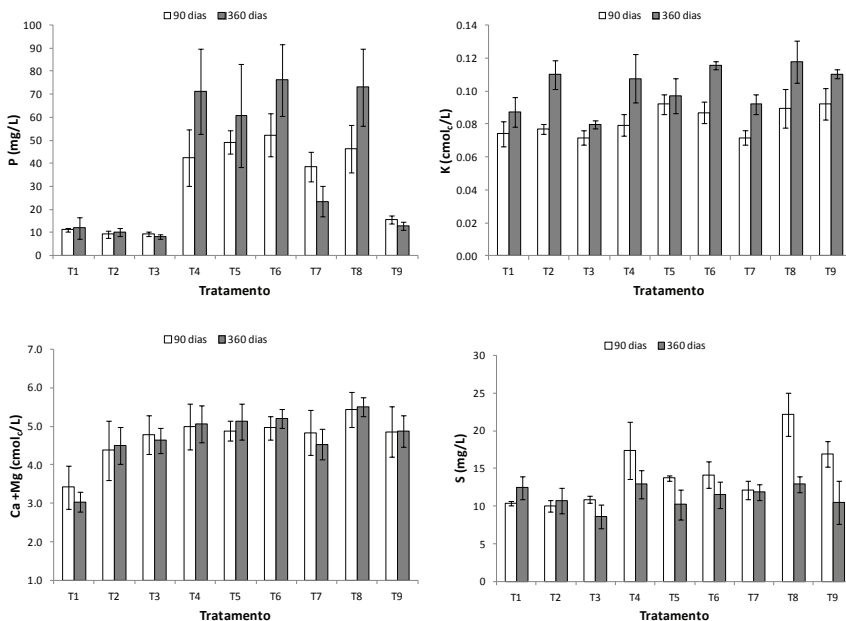
Considerando as adubações alternativas propostas nos tratamentos T7 e T8, pode-se inferir que elas apresentaram desempenho igual ou superior à adubação solúvel convencional (T9), tanto para o rendimento de grãos de milho e de trigo (Fig. 3), quanto para atributos do solo como a saturação por bases, a qual reflete a quantidade de nutrientes que é acessível às plantas. Por outro lado, a associação entre o CX e FNA apresentou efeito negativo sobre a produtividade de grãos de milho e de trigo (Fig. 3).

Os tratamentos que receberam FNA (Fig. 4-A) até apresentaram maiores teores de P extraível via Mehlich-1, mas, por se tratar de um fosfato natural, as plantas ainda não tiveram acesso a boa parte desse nutriente. Assim, a produtividade de grãos da cultura do milho foi reduzida significativamente, possivelmente pela diminuição da solubilidade do FNA decorrente da elevação do pH do solo e/ou formação de compostos pouco solúveis entre os íons  $\text{Ca}^{2+}$  liberados por CX e FNA e os íons  $\text{PO}_4^{-3}$  liberados pelo FNA. O mesmo efeito não ocorreu para os tratamentos T4, T7 e T8, pois nestes houve um aporte significativo de fósforo mais prontamente disponível às plantas, proporcionado pelo SFT no caso do T4 e pela TT, que forneceu adicionalmente cerca de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para T7 e T8.

Quanto ao desempenho do CX em relação à testemunha absoluta, nota-se que houve efeito significativo sobre a produtividade de grãos de milho e de trigo (Fig. 3) e sobre os atributos do solo como: elevação do pH, aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ; aumento da saturação por bases e diminuição da saturação por  $\text{Al}^{3+}$ . Quando comparado ao CD, o CX apresentou desempenho similar, tanto para as variáveis relacionadas à acidez quanto para a produtividade de grãos de milho e trigo.



**Figura 3.** Efeito de fontes orgânicas e minerais sobre a produtividade de grãos de milho e trigo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013.



**Figura 4.** Efeito de fontes orgânicas e minerais sobre atributos químicos do solo após 90 e 360 dias da aplicação e incorporação superficial: a) P extraível via Mehlich-1 ( $\text{mg L}^{-1}$ ); b)  $\text{K}^+$  trocável ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ); c)  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$ ); e S ( $\text{mg L}^{-1}$ ). Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013.



## Considerações finais e recomendações

Este estudo mostra que certas fontes orgânicas e minerais podem apresentar efeito imediato no fornecimento de nutrientes para as culturas, resultando em produtividades de grãos que se assemelham às obtidas com fertilizantes de alta solubilidade. Entretanto, apesar de já ser de conhecimento geral, cabe ressaltar o efeito negativo da aplicação concomitante de calcário e fosfatos naturais sobre a produtividade de grãos. Tal problema pode ser contornado com a aplicação de parte da dose de  $P_2O_5$  com uma fonte orgânica ou mineral de maior solubilidade.

A utilização de rejeitos de Granodiorito obtidos na Pedreira Silveira de Pelotas (RS) como fonte de potássio e outros nutrientes na agricultura se mostrou como uma alternativa viável em âmbito regional. Mesmo que necessite de doses maiores em relação às fontes de alta solubilidade, fica claro o seu potencial de liberação de K para as plantas, até mesmo para culturas anuais de ciclo curto como o milho e o trigo. A dose necessária para a correção total mais a manutenção de culturas como o milho pode ser elevada (em torno de  $7 \text{ t ha}^{-1}$ ), principalmente quando se deseja corrigir imediatamente níveis baixos ou médios de K, como é caso do Planossolo deste estudo. Nesta condição, há a opção de correção gradual do nível da fertilidade, aplicando-se doses anuais de  $3 \text{ t ha}^{-1}$  que aportariam cerca de  $65 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , considerando o teor de 4,33 % de  $K_2O$  e uma eficiência de liberação de 50% do  $K_2O$  adicionado anualmente.

## Referências Bibliográficas

- BAMBERG, A.L., SILVEIRA, C.A.P., POTES, M.L., PILLON, C.N., LOUZADA, R.M., CAMPOS, A.A. Dinâmica de liberação de nutrientes disponibilizados por diferentes tipos de rochas em colunas de lixiviação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33. 2011. In: Anais.Uberlândia, MG, 2011.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400p.
- LANDEWEERT R., HOFFLUND E., FINLAY R.D., VAN BREEMEN N. Linking plants to rocks: Ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. Trends in Ecology and Evolution. v.16, p.248-254, 2001.
- PANDOLFO, C.M.; TEDESCO, M.J. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n. 10, p. 753-758, 1996.
- PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; MOURA, W.F.; CORREA, G.F. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.265-274, 2003.
- TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

# EFEITO DO USO DA TÉCNICA DE ROCHAGEM ASSOCIADA À ADUBAÇÃO ORGÂNICA EM SOLOS TROPICAIS

*Suzi Huff Theodoro<sup>1</sup>*

*Othon Henry Leonardos<sup>1</sup>*

*Kleysson Garrido Rego<sup>2</sup>*

*Fernanda de Paula Medeiros<sup>3</sup>*

*Neodir Luiz Talini<sup>4</sup>*

*Francisca dos Santos<sup>4</sup>*

*Neuza Oliveira<sup>1</sup>*

## Resumo

Este trabalho apresenta os resultados parciais de uma pesquisa que tem como principal meta averiguar o potencial do uso de rochas como remineralizadores de solos. Foram avaliados cinco tipos de rochas (kamafugito, micaxisto carbonático, rocha metamórfica hidrotermalizada, basalto fresco e basalto intemperizado) com ou sem a adição de compostos orgânicos (esterco bovino). A área experimental foi implantada em Planaltina/DF. Os remineralizadores foram testados em cinco culturas agrícolas (milho, feijão, alho, cenoura e quiabo) em pelo menos duas safras ao longo de dois anos, na forma de rotação. Os resultados preliminares mostram que os diferentes tipos de rochas apresentam comportamentos diferenciados em termos de alteração dos níveis de fertilidade, bem como de produtividade agrícola. Porém, todos os resultados foram altamente positivos quando comparados às parcelas controle. De modo geral, o tipo de rocha que apresentou o melhor desempenho foi o micaxisto carbonático, mas em todas as parcelas que continham somente pós de rocha, a produtividade foi superior àquela obtida nas parcelas controle. Os parâmetros de fertilidade (pH, CTC e C orgânico total) também foram positivamente alterados com o uso de rochas. A disponibilidade dos principais macronutrientes (K, P, Ca e Mg) aumentou em todas as parcelas. Esses indicadores mostram que o uso de rochas na produção de alimentos em solos tropicais pode contribuir com a

<sup>1</sup> Pesquisadores da Universidade de Brasília / Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília/DF [suzitheodoro@unb.br](mailto:suzitheodoro@unb.br); [othonleonardos@unb.br](mailto:othonleonardos@unb.br) e [mneuzaoliveira@hotmail.com](mailto:mneuzaoliveira@hotmail.com) <sup>2</sup>Coordenador ambiental da Fundação Sonia Ivar [kleysson@gmail.com](mailto:kleysson@gmail.com) <sup>3</sup>Bolsista de Iniciação Científica. UnB/ Departamento de Engenharia Florestal [fefah2801@gmail.com](mailto:fefah2801@gmail.com) <sup>4</sup>Bolsistas de Iniciação científica. Instituto Federal de Brasília/Campus Planaltina/DF. [nl.talini@uol.com.br](mailto:nl.talini@uol.com.br) e [ticadossantos@yahoo.com.br](mailto:ticadossantos@yahoo.com.br)





erradicação da pobreza e soberania alimentar do Brasil, além de assegurar a produção de alimentos sem o uso de fertilizantes químicos.

**Palavras-chave:** rochagem; agroecologia, remineralização e sustentabilidade.

## Introdução

A produção de alimentos e a conservação dos recursos naturais, em especial o solo e a água, são os grandes desafios a serem enfrentados para assegurar a manutenção da vida no planeta. O uso de tecnologias cada vez mais especializadas e com alta carga de dependência em conhecimento, insumos e implementos mecanizados torna a atividade agrícola um negócio de risco e extremamente dispendioso. Estes fatos têm limitado o uso das tecnologias pelos agricultores familiares.

De modo geral, os recordes das safras obtidos a cada ano no Brasil têm como efeito colateral a necessidade de maior carga de insumos - os quais, em sua grande maioria, são importados (cerca de 70%) - e o aumento dos processos erosivos, já que as técnicas de manejo e conservação dos solos não são frequentemente observadas.

Para se contrapor a tais desafios e problemas, será necessário o uso de tecnologias acessíveis e de baixo impacto, bem como a incorporação de novas rotas tecnológicas, em especial para os agricultores que desejarem se manter nas atividades segundo pressupostos mais sustentáveis. A rochagem é uma técnica de fertilização que pode ser definida como uma prática de rejuvenescimento de solos de baixa fertilidade (Kromberg et al, 1987). Trata-se de uma tecnologia que se baseia na adição de pó de determinados tipos de rocha e que pretende reverter o uso desmedido de fertilizantes solúveis, bem como tornar-se uma prática facilmente assimilada por agricultores, especialmente os familiares, em função dos seus princípios e, especialmente, de seus custos (Theodoro, 2000).

Portanto, o acréscimo de rochas moídas aos solos intemperizados viabiliza sua remineralização, por meio da adição de uma vasta quantidade de macro e micronutrientes que foram perdidos pelos solos ao longo dos processos intempéricos ou antrópicos (Formoso, 2006; Leonardos et al., 1976, 1999; Theodoro, 2000, Theodoro e Leonardos, 2011 Theodoro, et al., 2013). Pode-se dizer que este insumo (disponibilizado generosamente pela natureza em vários pontos do planeta) comporta-se como um banco de

nutrientes (multinutrientes ou agrominerais). Além disso, a adição de pós de rocha facilita um rearranjo das características físicas dos solos, facilitando também a alteração dos parâmetros de porosidade e permeabilidade (permporosidade ou porosidade efetiva). Esta característica vai ao encontro do que advertem Petersen e Almeida (2008), que mencionam que não se pode pensar na fertilidade dos solos somente segundo a oferta de nutrientes disponíveis, mas sim dentro de uma estratégia que permita orientar o desenvolvimento de métodos produtivos que se reproduzam em outras bases, tais como a reciclagem biológica de nutrientes e a conservação dos recursos naturais.

Tão importante quanto os aspectos de nutrição e rearranjo dos solos (e, portanto, sua fertilidade e a conservação dos recursos naturais), o preço é outro fator a ser considerado. Estudos realizados por Theodoro et al. (2000, 2009) indicam que os custos para aquisição de pós de rocha são cerca de 60 a 70% menores que os dos insumos convencionais. Soma-se a isso o fato de que o Brasil é detentor de uma imensa geodiversidade, o que garante a ocorrência de vários tipos de rochas (basaltos, kamafugitos, carbonatitos, fonolitos, serpentinitos, xistos, filitos, margas e alguns tipos de granitos e gnaisses, etc.) com potencial adequado para este fim em todas as regiões do país.

## Metodologia

O experimento foi implantado em 2011, no Campo Experimental do Instituto Federal de Brasília, na área de campo do curso de Agroecologia, localizado na cidade satélite de Planaltina/DF. A área experimental situa-se nas coordenadas 25° 23' S; 51° 30' W, a 1.026 m de altitude. O clima é tropical, com duas estações bem definidas (seca, de abril a setembro e chuvoso, de outubro a abril, com precipitações médias anuais entre 1.200 e 1.700 mm). O solo foi classificado como Latossolo (EMBRAPA, 2006). Os procedimentos metodológicos, nas várias fases, foram feitos da seguinte forma:

- (a) seleção dos tipos de rochas;
- (b) coleta, moagem, quarteamento das amostras e divisão em várias partes para diferentes tipos de análises;
- (c) identificação do pH de abrasão;

- (d) Caracterização geoquímica das rochas selecionadas;
- (e) Descrições petrográficas das rochas;
- (f) Caracterização de argilo-minerais ou minerais secundários (Difratometria de Raio X);
- (g) Estudo pedológico dos solos - dados secundários;
- (h) Análises de fertilidade dos solos e das rochas com três diferentes tipos de extratores (Mehlich -  $\text{HCl}$  0,05M +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125M, ácido cítrico a 2% e ácido oxálico a 5%);
- (i) Determinação dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Zn, Cu, Mn e Fe) prontamente disponíveis (leitura dos resultados em ICP - plasma indutivo acoplado);
- (j) Determinação da dos teores de matéria orgânica pelo método colorimétrico;
- (k) Determinação da acidez potencial e da CTC (Capacidade de Troca Catiônica) em solução de Acetato de Cálcio a pH 7,0;
- (l) Implantação das parcelas que foram preparadas mecanicamente e tiveram um delineamento inteiramente casualizado, com parcelas de  $6\text{m}^2$  e quatro repetições. Como foram feitos os testes em três culturas ao mesmo tempo, a área experimental total do experimento foi de  $1.402\text{m}^2$  se somados os espaços entre as parcelas, com 138 parcelas;
- (m) foram implantados doze tratamentos (cinco tipos de rocha - kamafugito, micaxisto carbonático, rocha metamórfica hidrotermalizada, basalto fresco e basalto intemperizados), com e sem a adição de composto orgânico, obtido a partir da compostagem de esterco bovino, parcelas controle e parcelas adubadas somente com composto orgânico. A proporção de rocha e composto foi de 1:2, seguindo as indicações das pesquisas anteriores (5 t/ha de pó de rocha e 10 t/ha de composto orgânico), o que equivaleu a 3 kg de rocha e 6 kg de composto por parcela. A incorporação dos pós de rocha e de composto (ou da mistura de ambos) foi feita a lanço e de forma superficial no solo;
- (n) os tratamentos foram denominados da seguinte forma: testemunha/controle (T); composto orgânico (CO); rocha metamórfica hidrotermalizada (RH); micaxisto (X); kamafugito (K); basalto fresco (Bf); basalto intemperizado (Bi); rocha metamórfica hidrotermalizada + composto (RH+C); micaxisto + composto (X+C); kamafugito + composto (K+C); basalto fresco + composto (BF + C); Basalto intemperizados+ Composto (Bi + C) - a Figura 1 apresenta, de forma esquemática o delineamento da área;

- (o) introdução de cobertura morta - palhada triturada - com a finalidade de reduzir a ocorrência de espécies espontâneas ou invasoras, diminuir a necessidade de irrigação e manter a umidade dos solos<sup>5</sup>;
- (p) Acompanhamento do desenvolvimento das plantas;
- (q) Manejo e controle sistemático de plantas invasoras;
- (r) Colheita das plantas;
- (s) Separação das raízes, frutos e das partes aéreas ou da palhada;
- (t) Comparação do desenvolvimento (tamanho e quantidade) das raízes;
- (u) Aferição dos dados de produtividade (peso, qualidade dos produtos, e comparação entre os diversos tratamentos);
- (v) Elaboração de histogramas, gráficos e tabelas comparativas da produtividade em relação as médias de produtividade da região ou do país;
- (x) Repetições sistemáticas e periódicas das análises de fertilidade dos solos para averiguar as mudanças no perfil de fertilidade e as possíveis incorporações de nutrientes derivados das rochas moídas, bem como na alteração da quantidade de matéria orgânica disponível, além do perfil de acidez dos solos.

---

<sup>5</sup> Após o plantio da primeira safra houve uma intensa infestação de uma espécie invasora típica de áreas degradadas, a tiririca (*Cyperus rotundus* L). Nas parcelas de milho o controle da tiririca foi manual e sistemático, já nas parcelas com cenoura e beterraba foi necessário o replantio e substituição de uma das culturas (em lugar da beterraba, o quiabo). Como forma de controle da planta invasora foi necessário o uso de cobertura com palhada triturada - margaridão ou flor do mel (*Tithonia diversifolia*) e capim elefante (*Pennisetum purpureum*). Essa ação possibilitou o controle da planta invasora e facilitou o acréscimo de uma fonte adicional de nitrogênio ao solo.

FEIJÃO	T	RH+CO	X+CO	BF+C	K+CO	BI+C	BF+C	RH+CO	BI+C	X+CO	K+CO	T	
OCENOURA	T	RH+CO	X+CO	BF+C	K+CO	BI+C	BF+C	RH+CO	BI+C	X+CO	K+CO	T	
BOFEIJÃO	T	RH+CO	X+CO	BF+C	K+CO	BI+C	BF+C	RH+CO	BI+C	X+CO	K+CO	T	
FEIJÃO	T	RH	X	BF	K	BI	BF	RH	BI	X	K	T	CO
OCENOURA	T	RH	X	BF	K	BI	BF	RH	BI	X	K	T	CO
BOFEIJÃO	T	RH	X	BF	K	BI	BF	RH	BI	X	K	T	CO
FEIJÃO	T	X+CO	BF+C	BI+C	RH+CO	K+CO	X+CO	RH+CO	K+CO	BI+C	BF+C	T	CO
OCENOURA	T	X+CO	BF+C	BI+C	RH+CO	K+CO	X+CO	RH+CO	K+CO	BI+C	BF+C	T	CO
BOFEIJÃO	T	X+CO	BF+C	BI+C	RH+CO	K+CO	X+CO	RH+CO	K+CO	BI+C	BF+C	T	CO
FEIJÃO	T	X	BF	BI	RH	K	X	RH	K	BI	BF	T	
OCENOURA	T	X	BF	BI	RH	K	X	RH	K	BI	BF	T	
BOFEIJÃO	T	X	BF	BI	RH	K	X	RH	K	BI	BF	T	

**Figura 1.** delineamento da área de testes/tratamentos

T: testemunha; X:xisto; RH: rocha metamórfica hidrotermalizada; BF: basalto fresco; BI: basalto intemperizado; K: kamafugito.

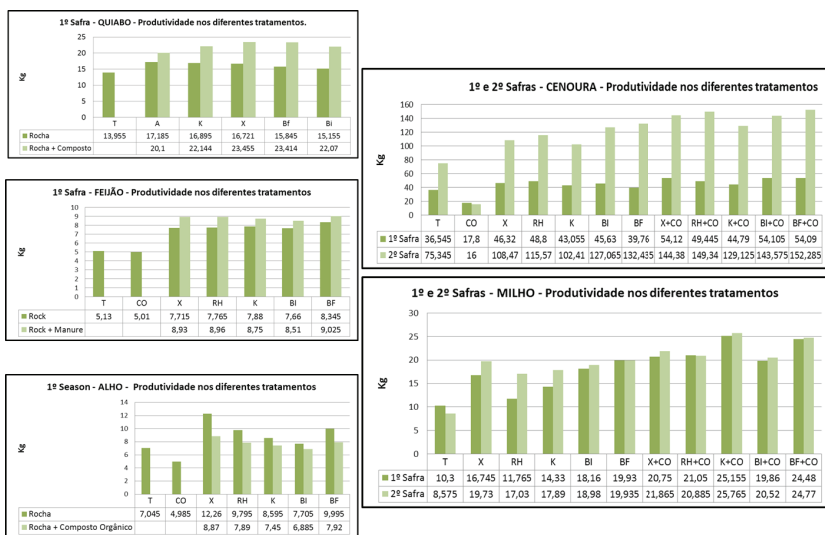
## Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos têm sido extremamente positivos. Após um ano e meio de testes com cinco tipos de culturas (milho, feijão, quiabo, alho e cenoura), em cinco tipos de rochas (basaltos fresco e intemperizado, micaxisto, rocha metamórfica hidrotermalizada e kamafugito) com ou sem mistura de adubação orgânica, os resultados indicam que o uso de diferentes tipos de pós de rochas pode suprir a necessidade nutricional das culturas testadas.

As análises petrográficas revelaram que as rochas testadas eram constituídas dos seguintes minerais: basaltos (plagioclásios, piroxênios, material vítreo e zeolitas), rocha metabásica hidrotermalizada (piroxênios, feldspatos, apatitas e carbonatos); kamafugito (olivinas, piroxênios e flogopitas, imersos em uma matriz de olivinas, diopsídio, perovskita, richterita, kalsilita, apatita, melilita e zeolitas e o micaxisto carbonático (muscovita, clorita, dolomita, albita e quartzo). Análises complementares para identificação dos minerais de alteração pelo intemperismo, efetuadas por meio de Difractometria de Raio X, mostraram que os basaltos se compõem preferencialmente de esmectitas, plagioclásio e augita, mas o quartzo

aparece como constituinte menor do basalto fresco. O kamafugito possui quantidades apreciáveis de esmectitas, carbonatos e hidroxiapatita. Os latossolos presentes na área são formados por caulinita, gibbsita e goethita.

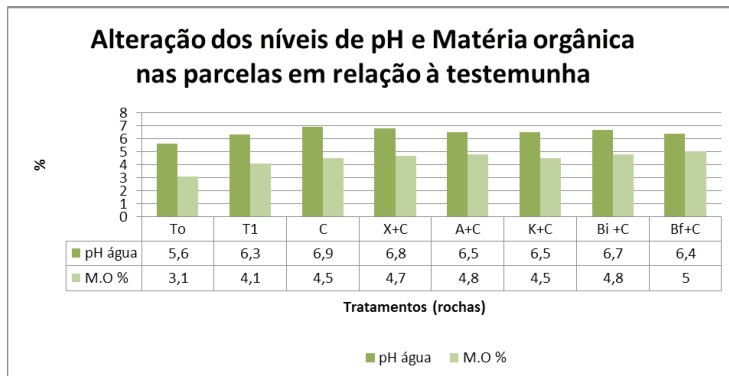
Como esperado, os cinco tipos de rochas (com ofertas distintas de nutrientes) apresentaram resultados diferenciados em termos de alteração dos níveis de fertilidade, bem como de produtividade agrícola. Mas, em todos os casos considerados, a produtividade das diferentes parcelas foi superior às parcelas controle. De modo geral, o micaxisto apresentou o melhor desempenho para as culturas do alho, feijão e quiabo; o kamafugito proporcionou melhores resultados para o milho e a rocha metamórfica hidrotermalizada teve melhores resultados para a cultura da cenoura. Pode-se constatar que a mistura com composto orgânico (mistura organomineral) melhora a *performance* de produtividade de quatro das cinco culturas testadas (milho, feijão, cenoura e quiabo). A única exceção ocorreu nas parcelas onde se cultivou alho, já que as melhores produtividades foram obtidas nas parcelas sem adição de composto orgânico. Mas, é importante destacar que, nas parcelas que continham somente pós de rocha, a produtividade também foi superior àquela obtida nas parcelas controle (Figura 02).



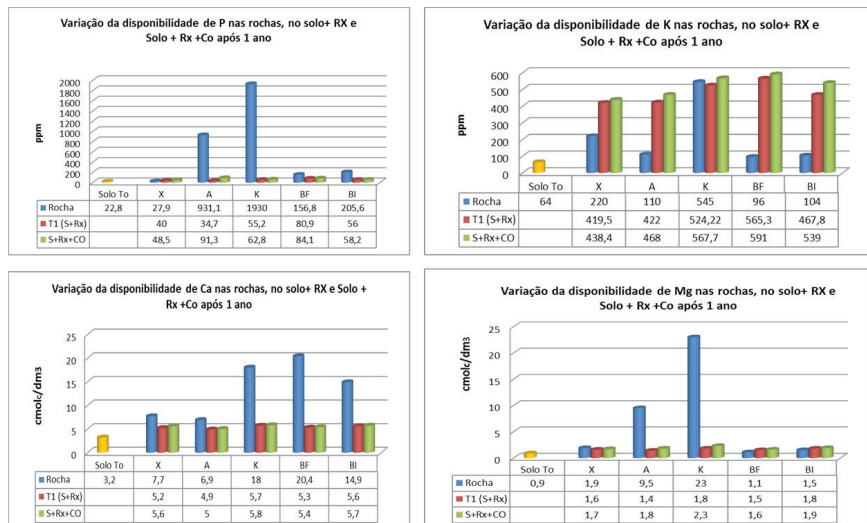
**Figura 2.** Produtividade das culturas avaliadas (milho, feijão, quiabo, alho e cenoura) segundo os diferentes tratamentos na primeira safra

A produtividade na segunda safra foi superior para as culturas do milho e da cenoura. A produtividade menor para as culturas do quiabo e do feijão, na segunda safra, deve-se a problemas de irrigação no período de floração dessas culturas. Para o alho, os resultados ainda não foram finalizados. Apesar dos problemas de irrigação que mascararam os resultados, pode-se averiguar que o uso de rochas moídas melhorou o desempenho da produção nos cinco tipos de culturas testadas, mesmo nos casos onde não houve adição de compostos orgânicos.

Os parâmetros de fertilidade (pH e matéria orgânica) também foram positivamente alterados com o uso de rochas (Figura 03). A disponibilidade dos principais macronutrientes (K, P, Ca e Mg) aumentou em todas as parcelas, mostrando que a interação dos pós de rocha com o solo e as plantas ocorre rapidamente, especialmente se houver matéria orgânica disponível (Figura 04).



**Figura 3.** Alteração do pH e da matéria orgânica 18 meses após a aplicação dos tratamentos



**Figura 4.** Alteração da disponibilidade dos principais macronutrientes (K, P, Ca e Mg) nas parcelas controle, de solo + rocha e solo + rocha + composto

A partir da análise dos dados, foi possível concluir que a disponibilidade dos principais macronutrientes poderá ocorrer ao longo de um período maior do que o analisado, uma vez que a quantidade disponível nas rochas é superior ao que foi encontrado nos solos após um ano de interação rocha/solo. Além disso, é possível que o acréscimo de matéria orgânica compostada tenha ampliado a oferta dos macronutrientes das rochas, possivelmente devido à ação dos ácidos e microrganismos presentes neste tipo de material.

O somatório das análises petrográficas, pedológicas, de fertilidade e de difratometria de Raio X forneceram importantes indicadores sobre a potencialidade das diferentes rochas para os distintos tipos de culturas. Portanto, rochas ricas em potássio e cálcio (como os micaxistos e kamafugitos) são indicadas para as culturas do feijão, alho, quiabo e milho. Já os hidrotermalitos, ricos em P e Ca, apresentaram uma melhor associação com a cultura da cenoura. Os basaltos (intemperizado ou fresco) tiveram desempenhos igualmente interessantes para todas as culturas, mas com destaque para o milho e o feijão. Estes indicadores precisam ser melhor estudados, uma vez que a influência da matéria orgânica (flor do mel e capim elefante triturados) contribuíram para a obtenção dos resultados.





## Conclusões

Certamente, a obtenção de produtividades compatíveis com as médias obtidas nos plantios convencionais é uma forte indicação do grande potencial que as rochas representam para fertilizar o solo segundo padrões recomendados para as diversas culturas. Os resultados em todos os parâmetros avaliados asseguram que os nutrientes (agrominerais) presentes nas rochas podem atender à necessidade nutricional dos solos para as diferentes culturas. Mas, acima de tudo, tais resultados garantem que o Brasil dispõe de alternativas para diminuir a dependência na importação de insumos químicos, que são caros e concentrados em poucos países. A abundância de rochas no Brasil, em diferentes regiões, garante que a produção de alimentos, e mesmo de energia, pode ser obtida segundo padrões mais sustentáveis incluindo as perspectivas econômicas, mas principalmente, garantirá a soberania alimentar no Brasil, com a vantagem de produzir alimentos saudáveis e sem o uso de fertilizantes químicos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

## Referências Bibliográficas

- FORMOSO, M. L. L. Some Topics on Geochemistry of Weathering: A Review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Brasil, v. 78, n.4, p. 809-820, 2006.
- KRONBERG B. I.; LEONARDOS O. H.; FYFE W. S. The chemistry of some Brazilian soils element mobility during intense weathering. *Chemical Geology*, 60: 361-370, 1987.
- LEONARDOS O. H.; THEODORO S. H. (1999) Fertilizing tropical soils for sustainable development. In: FORMOSO M.L.L. and Cerri C.C. (eds) *Proceedings International Workshop on Tropical Soils*, RJ. *Anais da ABC*. p: 143-153.
- LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S. & KRONBERG, B. I. (1976) Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. *Anais 29 Congresso. Brasil. Geol., BH*, p: 137 – 145.
- PETERSEN, P.; ALMEIDA, E. Revendo o conceito de fertilidade: conversão ecológica do sistema de manejo dos solos na região do Contestado. *Agriculturas*, v. 5, n. 03, 2008.
- THEODORO, S.H.C; LEONARDOS, O.H. (2011) Rochagem: uma questão de soberania nacional. In *XIII Congresso brasileiro de geoquímica*. Gramado/RS.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM  
12 A 17 DE MAIO DE 2013 – POÇOS DE CALDAS/MINAS GERAIS

---

THEODORO, S. H. (2000). A Fertilização da Terra pela Terra: Uma Alternativa de Sustentabilidade para o Pequeno Produtor Rural. Ph.D. Thesis, University of Brasília, 231 p.

THEODORO, S. H., LEONARDO, O. H. & ALMEIDA, E. (2010). Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. Brasília. Embrapa. p. 173-181.

THEODORO, S.H. & LEONARDOS, O.H. (2006). Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. Anais da Acad. Bras. de Ciências. Rio de Janeiro/RJ. Vol.78 no.4 pp. 715 – 720.

VAN STRAATEN P. (2007). Agrogeology: The use of rock for crops Enviroquest Ltd. 440 p.

VAN STRAATEEN, P. (2009) Geodiversity, biodiversity and the origin of crops. In: MARTINS, E. & THEODORO, S. H. - Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Brasília – Embrapa.

# AÇÃO DE MICROORGANISMOS EM PÓ-DE-BASALTO

*Lucas Dressano Pereira da Silva<sup>1</sup>*

*Antonio Carlos de Azevedo<sup>2</sup>*

*Raul A. Filho<sup>3</sup>*

## Resumo

A rochagem é a aplicação de rochas moídas no solo. O objetivo desse trabalho foi observar a ação dos microorganismos (inoculados e nativos) na mineralização do pó-de-basalto e medir a liberação de elementos no solo. A avaliação foi feita comparando-se a decomposição de partículas de pó-de-basalto aplicado ao horizonte A húmico de um solo derivado de granito. O pó-de-basalto utilizado foi coletado na Pedreira Cavinatto, situada Limeira-SP. O experimento está sendo realizado *in vitro*, em recipientes plásticos isolados com os seguintes tratamentos: 1) solo; 2) solo esterilizado; 3) solo sem esterilização mais adição de inóculo de microorganismos; 4) idem tratamento 1) mais pó de basalto; 5) idem tratamento 2) mais pó de basalto e 6) idem tratamento 3) mais pó de basalto. O pó de basalto foi aplicado em dose única de 4t/ha. As unidades experimentais são mantidas com 60% capacidade de campo, e lixiviadas a cada 30 dias. O lixiviado é coletado e os elementos Zn, Fe, Ca, Mg e K são determinados. Os resultados sugerem que os tratamentos com pó-de-basalto apresentam maior liberação da maioria dos nutrientes citados acima. Os tratamentos que possuem o inóculo de microorganismos mostram uma maior solubilização dos nutrientes envolvidos em relação ao solo esterilizado e ao tratamento que continha apenas o solo e a microbiota nativa. Assim, os resultados parciais indicam a tendência de aumento no teor de nutrientes em solução na presença de pó-de-basalto, sendo que a inoculação de microorganismos em adição à microbiota do solo parece

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrônoma, Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo - ESALQ-USP, Av. Pádua Dias, 11 CEP: 13418-900, Piracicaba-SP, lukasdressano@hotmail.com; <sup>2</sup>Professor Doutor, Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo - ESALQ-USP, Av. Pádua Dias, 11 CEP: 13418-900, Piracicaba-SP, aazevedo@usp.br; <sup>3</sup>Pós-Graduando em Ciência do solo e Nutrição de Plantas, Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo -ESALQ-USP, Av. Pádua Dias, 11 CEP: 13418-900, Piracicaba-SP, raulagronomo@hotmail.com.

estimular esta liberação. Estes resultados sugerem que o uso combinado de pós de rocha e microrganismos possui potencial para uso comercial em sistemas de produção vegetal.

**Palavras-chave:** dissolução, mineralização, absorvância atômica, rochagem

## Introdução

As práticas de rochagem mais comuns na atualidade são a calagem (aplicação de calcário) e fosfatagem (aplicação de materiais fosfáticos, geralmente com algum pré-tratamento para acelerar sua solubilização).

O **basalto** é uma rocha ígnea extrusiva, cuja granulação é fina (afanítica). Os minerais mais abundantes no basalto são piroxênios, plagioclásios, e em alguns casos, olivina. É uma rocha básica e pouco resistente ao intemperismo químico, sendo importante fonte de Ca, Mg e micronutrientes nos solos dele derivados. Normalmente as rochas compostas por aluminossilicatos possuem diferentes quantidades de vários nutrientes que são disponibilizados em função da solubilidade de cada mineral que os contém, do teor total e da cinética de dissolução dos minerais (MACHADO et al., 2005).

O uso de basalto como material de construção e pavimentação é muito amplo no Brasil, particularmente nos domínios da Bacia do Paraná, pela abundância desta rocha na Formação Serra Geral. Durante o processamento da rocha para produção de brita, a principal forma como este material é usado, a rocha é triturada em granulações mais finas. Durante este processo há produção de poeira que possui potencial para causar problemas ambientais (sólidos em suspensão), trabalhistas (gerando ambiente insalubre aos trabalhadores das estações de britagem e aos moradores do entorno) e no sistema de produção (diminuição da eficiência das máquinas, aumento no número de quebras, desgaste aumentado por abrasão, etc.). Este pó pode ser aproveitado na agricultura como fonte de nutrientes para as culturas, através da rochagem.

Com o aumento acentuado do preço dos fertilizantes nos últimos anos, o Brasil tem buscado alternativas para seu uso na agricultura. Além disto, houve um aumento do mercado consumidor devido à expansão da Agricultura Orgânica e outros sistemas de produção que não usam fertilizantes sintéticos



como fonte de nutrientes para as plantas. No entanto, ainda não existem modelos adequados para estimar a quantidade e a taxa de liberação de elementos desta rocha para as plantas. Sabe-se que os microorganismos possuem um papel fundamental, principalmente em ambientes tropicais, na solubilização das rochas aplicadas ao solo (NAHAS, 1999; SANTOS, 2002).

Sabe-se que alguns gêneros de bactérias são mais eficientes na solubilização de fosfatos inorgânicos, como os gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium* (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999), enquanto entre os fungos se destacam os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (SILVA FILHO et al., 2002). As espécies *Penicillium rugulosum* (REYES et al., 1999) e *Penicillium radicum*, se destacam na solubilização de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{FePO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{AlPO}_4$  em meio líquido (WHITELAW et al., 1999).

Visando colaborar com o esforço para melhor entendimento e difusão do uso da rochagem, no âmbito do Estado de São Paulo, o presente projeto analisa a influência dos microorganismos nativos do solo e inoculados no que diz respeito à mineralização do pó de basalto no solo.

## Objetivo

Medir a liberação de elementos no solo pela mineralização de pó-de-basalto por microrganismos (inoculados ou nativos). A avaliação é feita comparando-se a decomposição de partículas de pó-de-basalto aplicado a um horizonte A húmico de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, correlacionando a atividade com a presença de microorganismos no solo.

## Metodologia

As amostras foram coletadas no dia 14 de Julho de 2011, na localidade de Pedra Bela, a 1220 metros de altitude, em 22°46'43.0" S e 46°27'09.4" W. O granito é o material de origem do Argissolo Vermelho-amarelo distrófico coletado. O local tem uma declividade de 26-50% e é uma área de preservação constituída por Mata Atlântica. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar durante dois dias, peneiradas e homogeneizadas a fim facilitar o armazenamento e possibilitar análises laboratoriais.

O pó de basalto foi obtido na Pedreira Cavinatto, na cidade de Limeira-

SP. O experimento foi realizado *in vitro*, em seções de cano de PVC 5” (12 mm) e altura (12 cm), com uma das extremidades fechada. Na extremidade fechada foi perfurada uma abertura de aproximadamente 1 cm de diâmetro, para saída das soluções lixiviadas. Dentro destas unidades experimentais colocou-se gaze e papel de filtro no fundo para permitir a passagem das soluções lixiviantes, obtidas pela aplicação de pressão negativa gerada pela aplicação de vácuo.

Os tratamentos utilizados foram (com 6 repetições):

- 1) Solo com microorganismos nativos, adicionado de inóculo de microorganismos, mais pó-de-basalto (SM+);
- 2) Solo esterilizado, mais pó de basalto (SE+);
- 3) Solo com microorganismos nativos, mais pó de basalto (SO+);
- 4) idem tratamento 1) menos pó-de-basalto (SM-);
- 5) idem tratamento 2) menos pó-de-basalto (SE-);
- 6) idem tratamento 3) menos pó-de-basalto (SO-).

SM+1	SE+1	SO+1	SM-1	SE-1	SO-1
SM+2	SE+2	SO+2	SM-2	SE-2	SO-2
SM+3	SE+3	SO+3	SM-3	SE-3	SO-3
SM+4	SE+4	SO+4	SM-4	SE-4	SO-4
SM+5	SE+5	SO+5	SM-5	SE-5	SO-5
SM+6	SE+6	SO+6	SM-6	SE-6	SO-6

SM = Solo com microorganismos nativos + microorganismo inoculado (Bokashi Korin); SE = Solo + esterilização; SO = solo com microorganismos nativos; - = sem pó-de-basalto; + = com pó-de-basalto (4t/ha)

As unidades experimentais foram mantidas em 60% da capacidade de campo. Nos eventos de lixiviação, feitos de 30 em 30 dias, adicionou-se água destilada suficiente para atingir a capacidade de campo (CC) e aplicou-se uma pressão de -290 mmHg (aproximadamente 0,38 atm) com uso de uma bomba de vácuo e a solução foi coletada em um kitassato, durante aproximadamente 1min. O volume lixiviado de cada unidade foi etiquetado e armazenado em geladeira, para posterior análise. A análise realizada abrangeu os seguintes elementos, estimados pela sua quantidade em  $\text{kg m}^{-3}$ : K, Mg, Ca, Fe e Zn.

## Resultados e Reflexão

As Figuras abaixo representam a liberação de elementos nos tratamentos SM (Solo com microorganismos nativos + microorganismo inoculado) e SO (solo com microorganismos nativos), ambos com (+) e sem (-) adição de basalto. O tratamento SE (solo + esterilização) foi comprometido pela contaminação posterior e crescimento de microrganismos dentro das unidades experimentais. Até o momento, a liberação de elementos pelo tratamento SE foi bastante similar ao SO e, portanto, não será discutida aqui. A numeração de 1ª a 8ª significa a sequência de lixiviação, sendo realizado um pulso de lixiviação a cada mês.

Estes resultados parciais sugerem que os tratamentos com pó-de-basalto apresentam maior liberação da maioria dos nutrientes analisados. Os tratamentos que possuem o inóculo de microorganismos mostram uma maior solubilização dos elementos envolvidos em relação ao tratamento que continha apenas o solo e a microbiota endêmica.

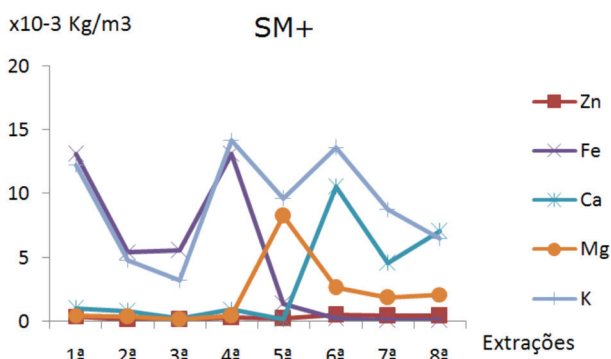


Figura 1. Solo com inóculo e pó-de-basalto.

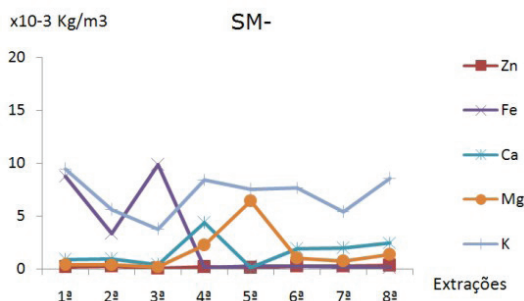


Figura 2. Solo com inóculo e sem pó-de-basalto.

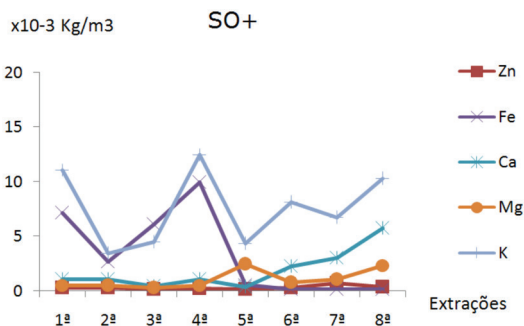


Figura 3. Solo com microbiota endêmica com pó-de-basalto.

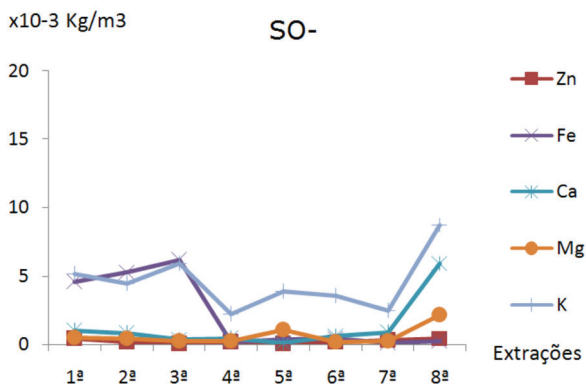


Figura 4. Solo com microbiota endêmica sem pó-de-basalto.





O potássio (K) liberado é, provavelmente, proveniente das micas potássicas do granito que é material de origem do solo utilizado. Ainda assim, observa-se que o estímulo à atividade microbiana promoveu um aumento da liberação deste elemento no solo. Este solo foi escolhido para este experimento por possuir um A húmico, bastante rico em matéria orgânica e microrganismos.

Cálcio (Ca) e Ferro (Fe) são provavelmente oriundos da dissolução de feldspatos cálcicos, piroxênios e anfibólios do pó-de-basalto, respectivamente.

A liberação de magnésio parece depender mais da presença do inóculo de microrganismos que da presença do pó-de-basalto.

Análise de difratometria de raios X em andamento deve identificar ou pelo menos sugerir quais os minerais estão sendo mais intensamente dissolvidos em cada tratamento. Trabalhos com avaliação de atividade microbiana possuem, tipicamente, uma grande variação, sendo esta uma variável bastante difícil de controlar.

## **Conclusões ou recomendações**

De modo geral, estes os resultados parciais indicam uma tendência de aumento no teor de nutrientes em solução na presença de pó-de-basalto, sendo que a inoculação de microrganismos em adição à microbiota do solo parece estimular esta liberação. Outro aspecto interessante é o estímulo aos microrganismos para solubilização de minerais provocado pela presença de pó-de-basalto, resultando em uma maior liberação de K, que provavelmente é proveniente da mica/ilita do granito que se constitui no material de origem do solo estudado. Estes resultados sugerem que o uso combinado de pós de rocha e microrganismos pode ser bastante interessante em sistemas de produção vegetal.



## Referências Bibliográficas

MACHADO, C. T. T. et al. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de K para culturas anuais: II. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. Resumos... Recife: SBCS/UFRPE, 2005. CD-Rom.

NAHAS, E. Solubilização microbiana de fosfatos e de outros elementos. In: SIQUEIRA, J.O.; et al. (Eds.). Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. p. 467-486.

SANTOS, K.S. Atuação de fosfato natural com adição de enxofre com *Acidithiobacillus* na solubilização de fósforo e no desenvolvimento de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) em solo de tabuleiro. 2002. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2002.

RODRIGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, New York, v.17, p.319-339, 1999.

SILVA FILHO, G.N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de Pinus e Eucalyptus de Santa Catarina. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 6, p. 847-854, 2002.

REYES, I. et al. Effect of nitrogen source on the solubilization of different inorganic phosphates by an isolate of *Penicillium rugulosum* and two UV-induced mutants. *FEMS Microbiology Ecology*, Amsterdam, v. 28, p. 281-290, 1999.

WHITELAW, M.A.; HARDEN, T.J.; HELYAR, K.R. Phosphate solubilization in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum*. *Soil Biology and Biochemistry*, Elmsford, v. 31, p.655-665, 1999.

# ASSOCIAÇÃO DA COMPOSTAGEM AO PROCESSO DE ROCHAGEM VISANDO A LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO

*Roberto Carlos Ribeiro<sup>1</sup>*

*Ramires Ventura Machado<sup>2</sup>*

*Felipe Vaz Andrade<sup>3</sup>*

*Maria Maiara Cazotti<sup>4</sup>*

**RESUMO:** Este trabalho avalia a associação da compostagem para liberação de potássio em resíduos de rochas, por meio de ensaios em casa de vegetação, utilizando-se esterco bovino, vermicomposto e material vegetal associados aos resíduos. Os resultados indicaram que a compostagem aumentou a disponibilização de potássio para o solo.

**Palavras-Chave:** rochagem; compostagem; resíduos de rochas.

## Introdução

A lavra e o beneficiamento de rochas ornamentais e a produção agropecuária se caracterizam pela alta geração de resíduos, seja na forma mineral ou na forma orgânica, e isso vem cada vez mais se tornando um problema de grandes proporções ambientais devido ao descarte inadequado dos resíduos gerados. Entretanto, esses materiais têm possibilidades de serem aproveitados de diversas formas, e na agricultura não é diferente, podendo ser utilizados como corretivos da acidez do solo e como fonte de nutrientes para as plantas, principalmente em relação ao cálcio, ao magnésio e ao potássio presentes nos resíduos de rochas.

<sup>1</sup> Pesquisador do CETEM, Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequenas Empresas - CATE; Av. Pedro Calmon, 900, Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ; rcarlos@cetem.gov.br; <sup>2</sup>Aluno de doutoramento da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Centro de Ciências Agrárias, Alto Universitário – Alegre/ES; <sup>3</sup>Professor da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Centro de Ciências Agrárias, Alto Universitário – Alegre – ES; <sup>4</sup>Aluna de mestrado da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Centro de Ciências Agrárias, Alto Universitário – Alegre/ ES.

A compostagem é o conjunto de técnicas aplicadas para controlar a decomposição aeróbica de materiais orgânicos onde há um desprendimento de gás carbônico e água. O composto, produto da compostagem, é um material homogêneo e relativamente estável (Peixoto *et al.*, 1989), com atributos químicos, físicos e microbiológicos superiores àqueles encontrados em matérias primas. Segundo Lima *et al.* (2008), a melhoria na qualidade de compostos orgânicos pode ser obtida mediante o enriquecimento mineral dos mesmos.

O composto pode também passar por um processo de vermicompostagem, que é o resultado da combinação da ação de minhocas e dos microrganismos que habitam seus intestinos, dando origem ao vermicomposto (Albanel *et al.*, 1988), embora as metodologias sejam diferentes, os processos têm o mesmo objetivo.

## Objetivos

O presente estudo tem como objetivo avaliar a disponibilidade de nutrientes, como cálcio, magnésio e potássio, presentes em resíduos oriundos do corte e beneficiamento de rochas ornamentais associados ao processo de compostagem.

## Metodologia

Os resíduos de rochas ornamentais são oriundos de tanques de decantação de serrarias de rochas ornamentais da região de Cachoeiro de Itapemirim – ES. Como fontes de materiais orgânicos, para o processo de compostagem, foram utilizados três tipos de resíduos orgânicos que são esterco bovino, vermicomposto, e material vegetal proveniente de capim colônio picado, todos coletados na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, na cidade de Alegre - ES. As análises químicas dos resíduos de rochas foram realizadas no Laboratório de Química e Física do Solo do Centro de Ciências Agrárias da UFES (CCA-UFES). Os materiais orgânicos foram analisados no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

## Experimento de Compostagem

O experimento seguiu um esquema fatorial 2x3x4 em que os fatores em estudo foram: dois resíduos de rochas ornamentais (R1 e R2), três tipos de materiais orgânicos (esterco bovino, vermicomposto, e material vegetal denominados de MO1, MO2 e MO3 respectivamente), e quatro doses de materiais orgânicos, na proporção de 10, 20, 40 e 80 toneladas/ha. As misturas dos compostos orgânicos e resíduos de rochas (10 t/ha) foram homogêneas e adicionadas em recipientes de 40 ou 60 L com perfurações laterais possibilitando a sua aeração e mantida sua umidade no decorrer da compostagem, os recipientes foram mantidos em casa de vegetação e foram secos em temperatura ambiente para aplicação dos tratamentos. Amostras com 250g foram retiradas e mantidas em laboratório sendo retiradas sub-amostras de 15 em 15 dias e secas em temperatura ambiente para análise de Ca, Mg e K, conforme recomendação da EMBRAPA (1997).

## Experimento com Planta (Pinhão manso)

Este experimento seguiu um esquema em que os fatores em estudo foram o produto da compostagem do experimento anterior tendo 24 tratamentos, com três repetições. As doses dos compostos foram determinadas de acordo com Prezoti *et al.* (2007), a partir de prévia caracterização química dos solos (EMBRAPA, 1997).

Amostras de 4 dm<sup>3</sup> de terra fina seca ao ar (TFSA) do solo foram acondicionadas e homogêneas em sacos plásticos onde se realizou a aplicação dos produtos da compostagem na dose de 40 t/ha, sendo plantadas 3 sementes de pinhão manso. Após a germinação duas sementes foram eliminadas deixando-se apenas uma planta por vaso, totalizando 72 unidades experimentais conduzidas em casa de vegetação.

O experimento foi conduzido por 90 dias, após o plantio. Ao fim deste período, as plantas foram coletadas, seccionadas a cerca de 1 cm do solo, e em seguida acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 – 72 °C, determinando-se o peso da matéria seca (MS), a produção de matéria seca da parte aérea (folha e caule), e a quantidade de nutriente absorvido pela planta principalmente cálcio, magnésio e potássio, da parte aérea. Para determinação desses três nutrientes o material vegetal

foi seco, moído e submetido à digestão nitroperclórica. O potássio foi determinado pelo método de espectrofotometria de chama.

## Resultados e Discussão

O resultado da análise dos resíduos de rochas ornamentais mostra que os mesmos apresentam um poder relativo de neutralização total (PRNT) de 23,84% e 16,72%, e um poder de neutralização (PN) de 26,95% e 24,96% para os resíduos 1 e 2 respectivamente (Tabela 1). Segundo Machado *et al.* (2009), o Poder de Neutralização (PN) depende do tipo e teor de neutralizantes no corretivo, que são as mais importantes qualidades do corretivo a ser avaliada. Esses dois parâmetros são englobados num valor único que define a qualidade do corretivo, é denominado de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT). Observam-se maiores quantidades de cálcio no resíduo 1 e magnésio no resíduo 2, possivelmente devido à diferença na composição mineralógica do resíduo de rocha.

**Tabela 1.** Composição elementar dos resíduos de rochas ornamentais

Resíduos	Composição Elementar			
	CaO	MgO	PN*	PRNT**
	----- dag.kg <sup>-1</sup> -		------(%)-----	
Resíduo 1	8,96	4,4	26,95	23,84
Resíduo 2	6,72	5,2	24,96	16,72

\*PN - poder de neutralização; \*\* PRNT - poder relativo de neutralização total

A Tabela 2 mostra a composição química dos materiais orgânicos onde se observa que os materiais orgânicos 1 e 2 (estercos bovino e o vermicomposto, respectivamente) possuem concentração de nutrientes maiores frente ao material orgânico 3 (material vegetal), por serem materiais com maiores teores de matéria orgânica e carbono total, favorecendo a atividade microbiana e produzindo um composto mais estável e com maiores teores de substâncias húmicas. O material orgânico 1 apresenta maiores teores de cálcio e magnésio (0,25 e 0,06 dag.kg<sup>-1</sup> respectivamente) e o material orgânico 2 maiores teores de potássio, nitrogênio e fósforo (0,62, 0,77 e 0,62 dag.kg<sup>-1</sup> respectivamente), essa diferença nos teores de nutrientes é devido à natureza dos diferentes materiais analisados.

**Tabela 2.** Composição química dos compostos orgânicos

Amostra	----- Umidade -----		Total	----- 110 °C -----		
	65°C	110 °C		MO	Cinzas	C Total
Mat. Org. 1	10,34	2,95	13,29	63,36	36,64	31,73
Mat. Org. 2	40,24	3,48	43,72	68,84	31,16	34,91
Mat. Org. 3	7,38	1,06	8,44	7,00	93,00	2,06

Amostra	Densidade	pH	Ca	Mg	K	N	P
	mg.cm <sup>3</sup>						
Mat. Org. 1	0,67	8,86	0,25	0,06	0,46	0,61	0,40
Mat. Org. 2	0,68	6,33	0,19	0,04	0,62	0,77	0,62
Mat. Org. 3	0,29	6,89	0,06	0,02	0,23	0,24	0,13

MO – matéria orgânica; Mat. Org. – material orgânico.

Analisando o efeito da aplicação dos resíduos de rochas ornamentais, em relação à concentração de cálcio, magnésio e potássio, no processo de compostagem, observa-se na Tabela 3 diferenças significativas para o cálcio e magnésio para todas as coletas realizadas, sendo que o resíduo 1 foi superior para a concentração de cálcio, e o resíduo 2 apresentou-se superior para a concentração de magnésio presente nos materiais compostados. Estes resultados estão em consonância com os resultados apresentados na Tabela 1, onde apresenta maiores teores de cálcio, na forma de CaO, para o resíduo 1 e maiores teores de magnésio, na forma de MgO, para o resíduo 2, possivelmente devido ao material de origem dos resíduos de rocha ou dos insumos utilizados para o seu beneficiamento. Os resíduos não apresentaram diferença significativa para a concentração de potássio em função das coletas realizadas.

**Tabela 3.** Concentração de nutrientes na compostagem x diferentes resíduos aplicados.

Tratamento	Cálcio						
	1ª Col.	2ª Col.	3ª Col.	4ª Col.	5ª Col.	6ª Col.	7ª Col.
	----- cmol.dm <sup>-3</sup> -----						
Resíduo 1	7,14 a	11,16 a	8,41 a	7,55 a	8,50 a	8,43 a	9,70 a
Resíduo 2	6,23 b	10,44 b	7,20 b	6,48 b	7,50 b	7,09 b	8,19 b

Tratamento	Magnésio						
	1ª Col.	2ª Col.	3ª Col.	4ª Col.	5ª Col.	6ª Col.	7ª Col.
	----- cmol.dm <sup>-3</sup> -----						
Resíduo 1	7,83 b	7,53 b	7,80 b	7,70 b	8,09 b	7,96 b	12,50 b
Resíduo 2	10,91 a	10,78 a	10,36 a	10,41 a	11,31 a	10,89 a	16,29 a

Tratamento	Potássio						
	1ª Col.	2ª Col.	3ª Col.	4ª Col.	5ª Col.	6ª Col.	7ª Col.
	----- mg.dm <sup>-3</sup> -----						
Resíduo 1	2500,66 a	2369,58 a	2379,66 a	2732,58 a	2500,66 a	2409,91 a	2490,58 a
Resíduo 2	2662,00 a	2551,08 a	2520,83 a	2803,16 a	2611,58 a	2450,25 a	2369,58 a

As médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Intervalo de 15 em 15 dias da 1ª a 7ª coleta.

O efeito da aplicação dos diferentes materiais orgânicos em relação à concentração de cálcio, magnésio e potássio no processo de compostagem, apresentou diferença significativa entre os tratamentos. A concentração de cálcio, magnésio e potássio para os materiais orgânicos 1 e 2 foram superiores a do material orgânico 3, devido ao maior teor de carbono total e maior quantidade de nutrientes presente nos materiais orgânicos 1 e 2, o que favorece a atuação de microorganismos, possibilitando maior atuação na disponibilidade de nutrientes.

A concentração de cálcio, quando se avalia a aplicação do material orgânico 1 e 2 na compostagem, foi de maneira geral semelhante, mostrando que a ação dos microorganismos no processo de decomposição e humificação dos materiais foi semelhante nos dois materiais orgânicos, e dentre os materiais orgânicos utilizados ambos podem ser usados quando o nutriente que se tem prioridade é o cálcio. Para a concentração de magnésio pôde-se notar que o material orgânico 2 apresentou diferença significativa ao longo de todas as coletas (Tabela 4), mostrando-se superior aos demais materiais orgânicos utilizados. Este fato pode estar relacionado às características deste material orgânico, com maiores teores de carbono total e nutrientes (Tabela 2) favorecendo a ação de microorganismos, que atuam na decomposição do material e, conseqüentemente, na disponibilização do nutriente.

Analisando a concentração de potássio o material orgânico 1 (esterco bovino) apresentou diferença significativa, mostrando teores de potássio superiores quando comparado aos demais materiais orgânicos (Tabela 4). Este fato se deve, possivelmente, às características químicas do material orgânico que proporcionou maior liberação de potássio do resíduo de rocha.

**Tabela 4.** Concentração de nutrientes na compostagem x diferentes materiais orgânicos.

Material Orgânico	Cálcio													
	1ª Col.	2ª Col.	3ª Col.	4ª Col.	5ª Col.	6ª Col.	7ª Col.							
	cmol...dm <sup>-3</sup>													
Mat. Org. 1	8,58	a	11,07	b	10,36	a	9,41	a	11,03	a	10,45	a	11,79	a
Mat. Org. 2	8,52	a	16,64	a	9,57	a	8,65	a	9,42	b	9,62	a	10,69	b
Mat. Org. 3	1,96	b	4,69	c	3,49	b	2,99	b	3,56	c	3,22	b	4,36	c
Material Orgânico	Magnésio													
	1ª Col.	2ª Col.	3ª Col.	4ª Col.	5ª Col.	6ª Col.	7ª Col.							
	cmol...dm <sup>-3</sup>													
Mat. Org. 1	5,45	b	5,55	b	6,16	b	6,31	b	7,59	b	6,88	b	10,78	b
Mat. Org. 2	18,49	a	18,21	a	17,65	a	17,50	a	17,59	a	18,43	a	27,23	a
Mat. Org. 3	4,16	b	3,71	b	3,41	c	3,36	c	3,92	c	2,97	c	5,16	c
Material Orgânico	Potássio													
	1ª Col.	2ª Col.	3ª Col.	4ª Col.	5ª Col.	6ª Col.	7ª Col.							
	mg.dm <sup>-3</sup>													
Mat. Org. 1	5324,00	a	4658,50	a	4961,00	a	5747,50	a	5263,50	a	5051,75	a	4961,00	a
Mat. Org. 2	1648,62	b	1815,00	b	1694,00	b	1739,37	b	1573,00	b	1421,75	b	1467,12	b
Mat. Org. 3	771,37	c	907,50	c	695,75	c	816,75	c	831,87	c	816,75	c	862,12	c

As médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Intervalo de 15 em 15 dias da 1ª a 7ª coleta.





Notou-se ainda que, de maneira geral, houve aumento na disponibilidade de cálcio, magnésio e potássio ao longo do tempo (coletas), para as doses aplicadas, mostrando que o processo de compostagem e a atividade microbiana ajudam a liberação de nutrientes por meio da decomposição e mineralização dos compostos orgânicos no decorrer do tempo, e que possivelmente o processo de compostagem pode ser utilizado para ajudar a liberação mais rápida dos nutrientes presentes nos resíduos de rochas ornamentais.

## Conclusões

A associação de compostagem com resíduos de rochas indicou maior liberação de cálcio, magnésio e potássio, se comparado à utilização de resíduos de rochas diretamente no solo.

## Referências Bibliográficas

ALBANELL, E.; PLAIXATS, J.; CABRERO, T. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. **Biology and Fertility of Soils**, v.6, p.266-269, 1988.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Ministério da Agricultura e do abastecimento: Rio de Janeiro, 1997. 212p.

LIMA, C.C.; MENDONÇA, E.S.; SILVA, I.R.; SILVA, L.H.M.; ROIG, A. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.13, n.3, p.334-340, 2009.

MACHADO, R.V.; RIBEIRO, R.C.C.; ANDRADE, F.V. **Nutrição Mineral e a Utilização de Resíduos de Rochas Ornamentais**. In: XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2009, Rio de Janeiro, Brasil.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADATO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Espírito Santo** – 5ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p

# USO DE PÓ DE ROCHA COMO CONDICIONADOR DE SOLOS E FERTILIZANTE EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

*Nayra Thaís Ferreira Batista<sup>1</sup>  
Vilmar Antonio Ragagnin<sup>2</sup>  
Claudia Adriana Görge<sup>3</sup>  
Éder de Souza Martins<sup>4</sup>  
Antonio Alexandre Bizão<sup>5</sup>  
Lucas Ferreira de Morais<sup>6</sup>  
Eduardo Hack<sup>7</sup>  
Andrea Luiza Görge Marques<sup>8</sup>  
Raquel dos Santos Carvalho<sup>9</sup>  
Luana Bispo de Assis<sup>10</sup>  
Evanielle Clerici Arruda<sup>11</sup>*

## Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização da rocha micaxisto moída, na cultura de cana-de-açúcar, visando a produção de biocombustíveis. Foram definidos quatro tratamentos: finos de mica xisto, areia de mica xisto, testemunha absoluta e testemunha padrão adubação da empresa. Os tratamentos foram aplicados em sistema de faixas, com quatro repetições. Os resultados foram obtidos a partir da ATR/ha, que é a moeda de comercialização da cana-de-açúcar. Os resultados apresentaram um incremento de produção e qualidade industrial para o tratamento com fino de mica xisto se comparado aos demais tratamentos.

**Palavras-Chave:** Micaxisto, rochagem, remineralização do solo.

<sup>1</sup> Discente do Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal, UFG, Campus Jataí, nayrathais88@gmail.com; <sup>2</sup> Docente de Agronomia, UFG, Campus Jataí, vilmar.ragagnin@gmail.com; <sup>3</sup> Engenheira Agrônoma, Mestre em Agronomia, claudiadrianagorgen@gmail.com; <sup>4</sup> Doutor em Geologia, Embrapa Cerrados, eder.martins@embrapa.br; <sup>5</sup> Discente de Mestrado em Agronomia, IFGoiano, Rio Verde, aabizao@gmail.com; <sup>6</sup> Discente em graduação de Engenharia Florestal, UFG, Campus Jataí; <sup>7</sup> Administrador de Agronegócio, agrodudas@hotmail.com; <sup>8</sup> Técnica Agrícola e Discente em graduação de Química Licenciatura, UFG, Campus Jataí, andrealuizagorgen@gmail.com; <sup>9</sup> Bióloga, Mestre em Agronomia - Produção Vegetal, raquelbioufg@yahoo.com.br; <sup>10</sup> Bacharel em Direito – CESUT, luanabispoadvogada@gmail.com; <sup>11</sup> Pós Graduada Agronomia, MBA Agroenergia, evanielle@hotmail.com



## Introdução

A cana-de-açúcar é historicamente uma importante atividade geradora de energia, com alta capacidade de desenvolver diversos setores dentro de uma economia (Alves, 2009). É matéria-prima para múltiplos produtos, sendo os de destaque, pelo grau de participação no consumo desse insumo, o etanol e o açúcar (Barbosa & Júnior 2012). Em 1975 ocorreu uma expansão da área cultivada com cana-de-açúcar através do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) que trouxe benefícios econômicos e prejuízos sociais (Sousa, 1987; Carvalho & Carrijo, 2007). Este programa levou essa cultura às áreas marginais da agricultura com solos de menor fertilidade e, conseqüentemente, maior consumo de fertilizantes e de corretivos do solo (Leite et al., 2008).

Recentemente a ocupação agrícola na região tem ocorrido predominantemente em áreas antes ocupadas por pastagens, seguida pelas áreas destinadas à produção de grãos. A demanda de biocombustíveis, apoiada pelo Programa de Aceleração do Crescimento, intensificou a expansão da atividade sucroalcooleira (Lima, 2010). A produção de energia pela biomassa também corrobora para a implantação e manutenção da atividade. A substituição das áreas de pastagem e produção de grãos pela cana-de-açúcar pode ser um dos fatores de expansão e abertura de novas fronteiras agrícolas no Brasil (Vieira Júnior et al., 2008).

O crescimento na demanda por cana-de-açúcar está previsto no Plano Decenal de Energia Elétrica com expectativa de aumento de aproximadamente 90% na demanda de etanol entre 2010 e 2019, e 3% ao ano na de açúcar (Barbosa & Júnior, 2012). No cenário econômico e social brasileiro o cultivo de cana-de-açúcar tem desempenhado importante papel devido à geração de divisas, na expansão de novas fronteiras agrícolas e no uso intensivo de forma direta e indireta de mão de obra (Leite et al., 2008). O Estado de Goiás emerge como um dos polos produtores de álcool, em função dos baixos preços das terras em relação à região Sudeste, boa qualidade do solo, condições climáticas favoráveis, disponibilidade de áreas, de força de trabalho, incentivos fiscais e principalmente uma localização estratégica que facilitará o escoamento da produção aliado aos fatores geográficos como topografia plana (Carvalho & Carrijo, 2007).

De acordo com Theodoro et al. (2006) a agricultura em geral, assim como a mineração são setores produtivos que causam grandes impactos

ao meio ambiente. O primeiro, apesar de ter uma atuação pontual (no entorno das jazidas), causa uma série de transformações e gera uma grande quantidade de rejeitos. A agricultura moderna, dependendo do tipo de cultura e de manejo, também causa enormes transformações, pois necessita de extensas áreas para tornar-se uma atividade lucrativa. Contudo, há que se harmonizar os diversos interesses econômicos com a preservação do meio ambiente, o que não significa inviabilidade, mas, sim desenvolvimento com geração de renda e valorização dos recursos naturais.

O uso de fertilizantes para a produção de biocombustíveis é criticado internacionalmente, uma vez que dependemos da importação de setenta por cento dos fertilizantes utilizados na agricultura nacional sendo assim, uma forma sustentável de reposição dos nutrientes do solo removidos pela cultura e para o resgate da fertilidade é o uso da rochagem, que é uma tecnologia que prevê o uso de rochas moídas no solo, que fundamenta-se na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produção sustentável (Martins et al., 2007). A necessidade de busca por produtos de baixo custo que possam ser utilizados como fontes de nutrientes, a escassez de fertilizantes aplicáveis a sistemas agroecológicos de cultivo, e a crescente importação de fertilizantes pelo país fazem do uso de pó de rochas na agricultura uma alternativa importante para a fertilização de nossos solos (Leonardos et al., 1987; Theodoro et al., 2006; Martins et al., 2007). Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo a utilização de subprodutos de mineradoras (pó de rocha - micaxisto) na cultura de cana-de-açúcar, visando o incremento da produção de biocombustíveis.

## Metodologia

O trabalho foi realizado no município de Jataí-GO em uma área de lavoura comercial arrendada pela Raízen, nas coordenadas S 17° 48' 00,75" O 51° 45' 23,78" a uma altitude de 743 m, que anteriormente era ocupada por pecuária extensiva com pastagem degradada. A área experimental foi correspondente a 12 ha, em Latossolo Vermelho formado a partir de basalto do Grupo São Bento, Formação Serra Geral. Foram utilizados os seguintes tratamentos: finos de mica xisto (FMX) (5 t/ha), areia de mica xisto (AMX) (5 t/ha), testemunha absoluta (test. A) e testemunha padrão com adubação utilizada pela empresa Raízen (test. B) (600 kg/ha de NPK na fórmula 10-25-25, 1900 kg/ha de gesso e 5500 kg/ha de calcário recomendados pela



análise de solo). O FMX possuía 80% do total em massa na fração menor que 0,3 mm. O AMX possuía 25% do total em massa na fração menor que 0,3 mm, e com uma ampla distribuição nas outras faixas granulométricas. A aplicação do pó de rocha foi em dezembro de 2010 a lanço em sistemas de faixas com quatro repetições, sem incorporação em área previamente gradeada, assim como nas testemunhas absoluta e padrão. Permanecendo em pousio com o desenvolvimento natural de braquiária, produziu matéria seca superior a 12 t/ha, sendo esta incorporada antes do plantio da cana-de-açúcar realizado em junho de 2011. A variedade utilizada foi RB855453 de ciclo precoce, onde foram distribuídos 600 kg/ha de mudas em sulcos.

Todos os tratos culturais foram realizados de forma homogênea na área do experimento. Realizou-se a aplicação de duas irrigações de salvamento, utilizando aspersor do tipo canhão, nos dias 08 de julho e 05 de agosto de 2011 com 30 mm e 40 mm respectivamente. Foram efetuadas avaliações semanais na área para acompanhamento do desenvolvimento da cultura. As avaliações, realizadas por ocasião da colheita, em julho de 2012 apresentaram a produtividade calculada a partir da quantidade de toneladas por hectare multiplicado pelo ATR (açúcares totais recuperáveis), obtendo-se assim, ATR/ha.

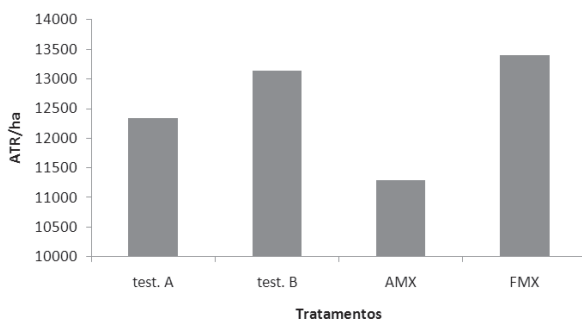
## Resultados e Reflexões

Durante as visitas de acompanhamento foram observadas diferenças visuais entre os tratamentos FMX e testemunha padrão especialmente quanto ao período de maturação. O tratamento com pó de rocha apresentou um prolongamento do período vegetativo e enchimento de colmos, em função do atraso no florescimento em duas semanas, contribuindo com a produtividade e qualidade industrial da cana-de-açúcar. Pois, os danos consequentes do florescimento são ocasionados pelo consumo do açúcar pela respiração, utilizando o açúcar para a formação das panículas ao invés de armazenar na forma de sacarose nos colmos. Esse consumo de sacarose provoca a perda de água dos entrenós, ocorrendo o fenômeno conhecido por isoporização (ou chochamento) da cana-de-açúcar, no sentido do topo para a base (Segato et al., 2006).



**Figura 1.** Tratamento com mica xisto filler à direita e testemunha padrão à esquerda.

Os resultados apresentaram um maior incremento para o tratamento com FMX se comparado aos demais tratamentos, sendo FMX com 13.409 ATR/ha, a testemunha padrão da Raízen, 13.155 ATR/ha, e testemunha absoluta com 12.346 ATR/ha (Figura 2). Estes resultados mostram um comportamento diferente quando comparados aos resultados de Leite et al. (2008) que usando silicato de cálcio não observou diferença entre os tratamentos com rochas ou adubação convencional para a variável ATR, o que pode ser explicado pela fato das rochas de silicato de cálcio, usadas pelos autores, serem ricas em Si, Ca e Mg, enquanto que o FMX apresenta também outros nutrientes, como observado na Tabela 1, sendo estes elementos de grande importância na fertilização e remineralização do solo (Leonardos et al., 1987).



**Figura 2.** Produtividade (ATR/ha) de cana-de-açúcar em função dos tratamentos.

**Tabela 1.** Composição química em porcentagem dos elementos presentes no micaxisto

Rocha	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	PF <sup>8</sup>	Total
Mica xisto	57,8	17,4	8,6	1,8	4,6	2,3	3,4	0,2	0,05	0,9	2,9	100

8 – Voláteis estruturais nos minerais (perda ao fogo)

O tratamento com AMX apresentou menor valor de ATR (11.293 ATR/ha) quando comparado com os demais tratamentos (Figura 2). Esse resultado pode estar relacionado à faixa granulométrica, diminuindo assim a solubilização dos nutrientes em comparação com o tratamento com FMX. Contudo, espera-se que o mesmo tenha valores de produção melhores nos anos subsequentes pelo efeito residual.

## Conclusões

A aplicação de FMX na cana-de-açúcar proporcionou incremento produtivo em ATR/ha, o que representa um ganho econômico, pois esta variável constitui a moeda corrente no negócio da cana-de-açúcar.

## Agradecimentos

Financiamento: FINEP - Projetos Demonstrativos do Uso de Novas Fontes e Rotas Tecnológicas de Agrominerais na Produção de Biocombustíveis Líquidos (ROCKBIOCOM), Projetos Pilotos do Uso de Novas Fontes e Rotas Tecnológicas de Agrominerais na Produção de Biocombustíveis Líquidos (ROCKAPL); Sociedade Ecológica de Jataí (SEJA); Itaforte; Pedreira Araguaia; Raízen, Universidade Federal de Goiás-Campus Jataí (UFG).

## Referências Bibliográficas

- ALVES, N. C. G. F. Competitividade da produção de cana-de-açúcar no Cerrado Goiano. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Regional – Faculdade Alfa. Goiânia, 2009.
- BARBOSA, A. P. P. L.; JÚNIOR, W. G. Cenários tecnológicos para a demanda por cana-de-açúcar. Future Studies Research Journal. São Paulo, v. 4, n. 1, p. 92-113, 2012.
- CARVALHO, S. P.; CARRIJO, E. L. O. Produção de álcool: do Proálcool ao contexto atual. XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociedade Rural. UEL, Londrina – PR, 2007.



GOLDEMBERG, JOSÉ. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia. São Paulo Perspec. [online]. 2000, vol.14, n.3, pp. 91-97.

LEITE, G. M. V.; ANDRADE, L. A. B.; GARCIA, J. C.; ANJOS, I. A. Efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar SP80-1816. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1120-1125, 2008.

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. The use of ground rocks in laterite systems – an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. Chemical Geology, v.60, p. 361-370, 1987.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F.; Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura/rochas e minerais industriais – CETEM/2007.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; Pinto, A. S.; Jendiroba, E. Nóbrega, J. C. M. (org.) Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 19-36.

SOUSA, M. C. S. Avaliação econômica do programa nacional do álcool (PROÁLCOOL): uma análise de equilíbrio geral. Pesq. Plan. Econ. 17 (2) ago. 1987.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como nutrientes. Espaço & Geografia. v. 9, n.2, p.263-292, 2006.



# WHICH ROCKS FOR WHICH CROPS? ECOPHYSIOLOGICAL AND GEOLOGICAL FACTORS

*Peter van Straaten<sup>1</sup>*

## **Abstract**

Ecophysiological aspects of the growth of crops focuses on environments in which crops naturally grow and natural adaptation of plant physiology to environmental conditions. Climate and edaphic conditions are crucial for the growth of various crops, together with specific nutrient availability. All nutrients taken up by plants with the exception of nitrogen are derived from geological sources. The release of plant nutrients from minerals and rocks to soils to plants are part of the rock-soil-plant continuum.

Phytogeographic distribution of centres of crop biodiversity and domestication in South America are grouped into geological and soil related ‘geo-edaphic ecosystems’, from West to East: The Andean Mountain Belt, the flanks of the Andean Mountain Belt, the Foreland Basins, the Shield area, the Shield Edge area and the sedimentary basins and coastal sands along the Atlantic. South American crops and their geo-edaphic habitats include: tomato, potato and quinoa; beans, cacao, peanuts, peach palm (pupunha); cassava (mandioca), sweet potato; pineapple, cashew nut trees and various fruit trees.

Agrogeological information on rock compositions of numerous sedimentary, igneous and metamorphic rock types are documented along with advantages and disadvantages of their use. Which rocks to use for which crops provide a practical, science-based platform for economically viable soil fertility regeneration approaches.

**Key words:** Evolution, crop distribution, soil, rock types, climate, crop selection.

---

<sup>1</sup> School of Environmental Sciences, University of Guelph; Guelph, Ontario, Canada; pvanstra@uoguelph.ca



## Introduction

The growth of plants including agricultural crops depends on the interplay of genetic and environmental factors. Ecophysiological aspects of the growth of crops focus on ecosystems in which crops naturally grow and adaptation of plant physiology to environmental conditions. Specific climatic conditions (temperature, light, and water availability) are crucial for the growth of crops, together with nutrient availability. All nutrients taken up by plants with the exception of nitrogen are derived from geological sources. The release of plant nutrients from minerals and rocks to soils to plants are part of the rock-soil-plant continuum.

It is widely accepted that climate exerts major controls on the distribution of vegetation patterns. Ecosystem properties such as biomass and net primary productivity vary along climatic gradients. Edaphic factors and geological parent material factors as a control for vegetation distribution are less commonly reported, and then only from local scales.

However, on a worldwide scale, tectonic events clearly influenced climatic parameters, such as changing altitudinal related temperature gradients and changes to atmospheric cycling. The case of the development of  $C_4$  grasses after major tectonic events and the resulting climatic changes is an illustration of the complex interplay of geological and climatic changes and the resultant changes on biological species distribution and development (Osborne and Beerling 2006).

The search for diversity centres ends most of the time with glacial events or events with major climatic disturbance. But plants developed in a longer – geological – framework and to get a more complete picture fossil data are incorporated in molecular phylogenetic tracing studies as well as geotectonic studies, for example the emergence of the Andes or the Himalayas as driving forces for speciation. Geological events such as mountain building and volcanism also create new materials for plant growth. While the processes of mountain building are usually in the range of several million years, volcanic events are usually rapid and the distribution of fluvial and airborne deposits relatively fast. The weathering of these new fresh materials provide new macro and micro nutrients and substrate for anchorage and growth of plants and crops. Some volcanic ashes are, in the short term, toxic (e.g. F, S-gases) and physically detrimental to plant growth, but fertile in the long term.



The weathering rate of minerals at the surface of the Earth depends on climate and the mineral dissolution rates of differing minerals. Higher temperatures and the presence of organic matter generally enhances the weathering rates. A complex interplay of nutrient availability and competition for nutrients near the root surface and the specific plant physiology finally influences the uptake of nutrients by plants/crops.

Phytogeographic distribution of centres of crop biodiversity and domestication of some South American crops are documented based on the basis of floristic surveys (Clement *et al.* 2000) and molecular phylogenetic studies using AFLP and DNA fingerprinting methods along with ecosystem information on climate and soil nutrients requirements of the crops. These data show us under which geo-edaphic conditions crops originate in geological times and provides us with important evolutionary information on the original climatic and nutrient environments in which crops grew.

‘Which crops grow originally on which rocks’ and soils is grouped into geological and soil related ‘geo-edaphic ecosystems’ in South America, from West to East: The Andean Mountain Belt, the flanks of the Andean Mountain Belt, the Foreland Basins, the Shield area, the Shield Edge area and the sedimentary basins and coastal sands along the Atlantic. Which crops originate from which rocks (and soils) will follow an agro-ecosystems – ecophysiological approach. Eco-habitat groupings according to geotectonic settings are provided for the centres/sites of biodiversity/origins and domestication centres of major South American crops.

The groupings follow a hypothetical West to East section across South America:

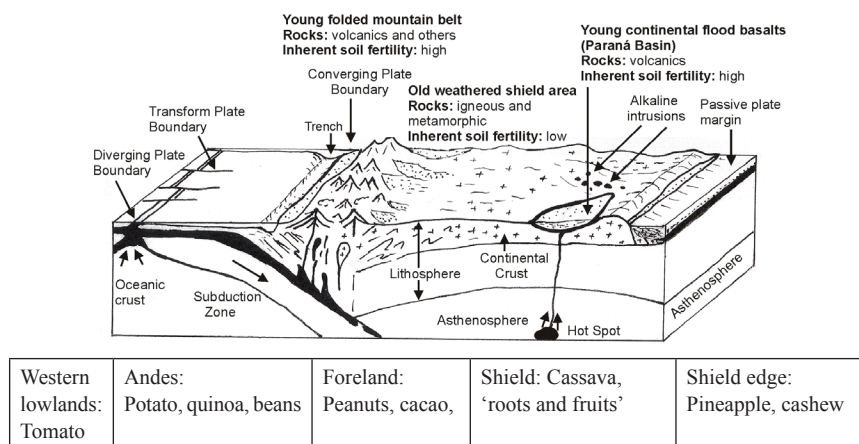
Lowland, between Andes and Pacific Ocean: Tomato (hot climate, Ca rich, neutral soils), high K requirement, some K can be replaced by Na (coastal adaptation)

Andean highland: Potato, Quinoa (K- rich, light soil – cold; Quinoa = salt tolerant, K can be replaced by Na)

Eastern Foreland basin: Peanut (hot, very dry, Ca, P rich, fertile) – Cacao – Peach palm (*Bactris gasipaes* - popunha) grow best on fertile – deep soils, shade – wet, humid hot);

Infertile Shield area: Cassava (mandioca) – pequi - ‘fruits and roots’, requires K.

Infertile shield edge: (Passive margin) Pineapple (abacaxi), sandy sediments with acid soil; Cashew (infertile coastal sands, salt tolerance).



**Figure 1.** Distribution of South American crops in different geotectonic settings

When planning agricultural use of ‘rocks for crops’ it is not only important to understand the best climatic conditions for plant growth but also suitable soil conditions (moisture regime, texture, pH, soil nutrient concentration before the rock intervention). Apart from knowing the edaphic conditions it is important to also understand plant/crop nutrient needs and relative sensitivities to soil acidity, Al tolerance, and salinity as they are different for different agricultural crops. Understanding the plant specific nutrient requirements during critical growth conditions, mechanisms of nutrient acquisition as well as rock composition and release rates are needed to increase the success rates of ground rock remineralization practices. For example, it is important to understand the inherently different calcium needs of monocot (low) and dicot plants (high), the nitrogen and potassium needs of annual and perennial crops as well as the phosphorus, sulphur, magnesium, trace element and silicon needs of different crops.

In the rock-soil-crop continuum it is firstly important to understand rocks. Which rocks to choose for agrogeological intervention depends on the availability and distances (transport costs) of suitable rocks for crops. A preliminary list of sedimentary, metamorphic and igneous rock types to be considered is given below. Rocks differ in their mineralogy and lithochemistry and thus have different nutrient release rates. The following



preliminary list of rock types includes some of the potential rock types for use in agrogeological applications, if possible in combination with organic materials.

**Table 1.** Potential rock types for use in agrogeological applications

Sedimentary rock type	Advantage	Potential disadvantage
Glauconitic sandstone	K source (up to 10% K <sub>2</sub> O)	High amount of inert quartz
Black bituminous shales	Often contain clays rich in K (e.g. illites) and micronutrients Cu; Zn; Se; B (in marine shales)	May contain detrimental elements such as As
Shales	Contain clay minerals with high CEC (e.g. smectite, saponite, chlorite)	Can create water logging and low oxygen environment
Phosphatic black shales	P and various clay minerals	
Phosphorites (marine phosphate sediments) P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> >18% (commonly 20-36%)	Principal P source	May contain low concentrations of heavy metals, Cd, Ra etc.
Gypsum, anhydrite	Reduces Al toxicity, improves sodic soils, principal sulfate source; high Ca + S	
Limestone, dolostone	Principal liming material, Ca and Mg sources	Overliming can cause micronutrient deficiencies
Chalk	Very porous limestone, good drainage, soft	
Marl (mixture of clay and carbonate)	Liming material, plus clay minerals	
K-evaporate – ‘Potash’	Principal K source (KCl)	High Cl content, 63% K <sub>2</sub> O
K-Mg evaporate	Carnallite, kainite	K concentration 17-19% K <sub>2</sub> O
K-sulfate (SOP)	Principal K sulfate source (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Synthetic K fertilizer, reaction KCl + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Nitrate evaporite	Principal nitrate rock source	Very rare
Borate deposits	Principal rock B source	Rare

Metamorphic rock types	Advantage	Potential disadvantage
Glauconitic quartzite (verdete)	K source (up to 10% K <sub>2</sub> O)	Contains high amounts of inert quartz
Marble	Principal liming material, Ca and Mg source	



**II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM**  
**12 A 17 DE MAIO DE 2013 – POÇOS DE CALDAS/MINAS GERAIS**

Phlogopitic marble	Liming material, Ca, Mg and K source	
Biotite schists, biotite-bearing gneiss	K source	High amounts of feldspar and inert quartz
Amphibolite	pH >8, provides Ca, Mg	
Low grade metamorphic greenstone 'waste rock'	Ca, Mg	Check for heavy metals
Talc schist	Mg source	
Wollastonite deposit, 'wastes'	Ca + Si source	
Eclogite	High pressure and temperature Ca+Mg source	

Igneous rock type	Advantage	Potential disadvantage
Basalt	Ca, Mg and Fe source, liming material	Low in K
Olivine basalt, olivine gabbro	Ca, Mg and Fe source, liming material	
Hydrothermally altered basalt	Ca, Mg source (may contain celadonite, K-source)	
Phonolite	K source	Check on Na concentration
Hydrothermally altered phonolite	K source (> 10% K <sub>2</sub> O), low Na source <sup>2</sup>	
Foidite (leucite, nepheline) bearing volcanics	K source (leucite c. 20% K <sub>2</sub> O)	High Na in nepheline
Smectite-rich/ glass-rich volcanic ash	Si <sup>2</sup> and smectite source	Check on Na concentrations when applying in semi-arid areas
Volcanic tuffs	Fe, Mg sources, Si (?)	Check on Na concentrations, allophane with high P fixing properties
Pumice deposits	High Water holding capacity, aeration, potential Si source (?)	
Pumice – sulphur beds	High water holding capacity, aeration, S source	
Zeolites bearing volcanoclastics	High CEC, cation specific (K, NH <sub>4</sub> ) <sup>4</sup>	Check on Na concentrations
Mica -pyroxenite	K-Mg source, may contain low grade P	
Kimberlite waste	Mg source	Check for composition of Cr minerals



Lamproite	High K (6-8% K <sub>2</sub> O), Ca, Mg sources, low Na and low Al	Check Ni and Cr minerals
Ugandite/kamafugite	Ca, Mg and K + low P sources	
Carbonatite	P-source (mainly F-apatite), Ca, Mg sources, vermiculite	Cannot be applied directly to soil to provide P due to Ca common ion effect
Syenite related P sources	P source	Not common
Anorthite-gabbro Ti-mineral related P sources	P source	

Which rocks to use for which crops will be discussed as part of practical, science-based and economically viable soil fertility regeneration approaches needs to also know crop specific nutrient requirements. A general scheme grouped according to crop families provide some insight of specific nutrient needs, largely based on crop evolution and environmental adaptation.

**Table 2.** Major crop families and their macro- and micronutrient requirements

Crop family	Important macro- and micronutrient requirements
<b>Dicots</b>	
<b>Brassicaceae</b> , including cabbages, oilseed rape,	N, Ca, K/Na – S, + P; micro: B, Mo
<b>Amaranthaceae/Chenopodiaceae</b> including sugar beet, chard, quinoa	N, K, Na tolerant; micro: Mn, Mo
<b>Solanaceae</b> , including tomatoes, potatoes etc,	N, high K requirement, Ca; micro: Mo, Zn
<b>Fabaceae</b> , including soybean, peanuts, beans etc	No or little N, high Ca+P requirements; micro: B, Mo, Zn
<b>Rosaceae</b> , including apples, plums, cherries etc	N, high K, Ca and Mg requirements, (P in plant hole); micro: B, Mn
<b>Rubiaceae</b> , including coffee	N, high K, Ca and Mg need, (P in plant hole); micro: B, Zn
<b>Rutaceae</b> , including citrus,	N, high K, Ca and Mg need, (P in plant hole); micro: B, Cu, Mo, Zn
<b>Vitaceae</b> , grapes	N, high K, Ca and Mg need, (P in plant hole); micro: B, Zn
<b>Monocots</b>	
<b>Poaceae</b> , including major cereals	N, K + Si, + P, micro: Zn,



Eco-system and edaphic studies of selected crops show that crops have specific nutritional requirements. Tailoring the application of rocks to the specific crop needs of various crop families are part of a new science based agrogeological – ecophysiological approach. Plant specific requirements should be considered when planning rock based soil fertility interventions. Examples of plant specific rock application should take into consideration the following nutrient requirements of crops:

**High Ca** requiring plants: Dicots, incl. legumes, and fruit trees,

**Low Ca requiring**, low pH plants: pineapple, tea,

**High P** requiring plants: Peanuts (+Ca), beans, soybeans, other legumes, *Brassicaceae*, maize/corn, celery, pyrethrum, papaya, lettuce,

**High K** (+Ca, Mg) requiring crops: Banana, *Solanaceae* (potato, tomato), most fruit trees,

**High Si** requiring plants: Rice, sugar cane, millet,

**K-Si** plants: Grasses, including rice, sorghum, millet, sugarcane, plus tomato, strawberry,

**High S** requiring plants: *Brassicaceae*, oil crops,

**High B** requiring plants: *Brassicaceae* (cabbage, Brussels sprout, cauliflower, broccoli), *Amaranthaceae* (sugar beet, chard, quinoa), potato, grapes,

**Low B** requiring plants: Most grasses, including wheat, oats, barley.

In the application of rocks to soils to grow legumes (*Fabiaceae*/ *Leguminosae*) for example the use of ground basalt should be supplemented by P and K sources as *Fabaceae*/*Leguminosae* require these nutrients. Other potential rock types that should be tested are other K-Ca, Mg silicates such mica-pyroxenite, lamproites, ultrapotassic rocks and ugandite/kamafugites as well as K bearing sediments (e.g. glauconite bearing rocks, e.g. ‘verdete’) in combination with Ca+Mg+P sources. When contemplating the growth of peanuts or other legumes for example it is important to grow them on soils with suitable physical soil conditions and satisfy their specific nutrient needs for Ca and P through the application of phosphatic sources, both sedimentary or igneous. Obviously the solubility of the various minerals differs and the co-application with low molecular weight organic acid producing organic matter is strongly advised in order to increase nutrient release or with micro-organisms that enhance the breakdown and transport of nutrients to plants (bioweathering).





High K, Ca, Mg requiring crops include fruit trees, coffee, cacao and grapes. Rock material suitable for application for these crops are for example ultra-potassic rocks, lamproites, ugandites/kamafugites, and hydrothermally altered basalts (with celadonite) or a combination of K-rich rocks, e.g. phonolites, glauconite or biotite rich rocks with basalts.

Brassicaceae originate from near coast environments, often from growing on limestones. Cabbages, oilseed rape as well as beta crops (Chenopodiaceae) have thus a high tolerance for Na and Cl and require S as well as B as micronutrient. The best growing conditions are on soils with a pH of 6. Geological liming material, including rock types with elevated Na release can be applied on these crops.

The application of Si-rich glass and K – silicate rocks should be considered for the fertilization of forage grasses, rice, cucumber, sugar cane, sorghum, millet, and oats, as these are crops with elevated K and Si requirements.

Sulphur-rich rocks, e.g. gypsum containing sediments can be considered for the growth of peanuts, cauliflower, soybean, oilseed rape (canola), and Brassicaceae.

Bananas and most fruit trees as well as tomatoes have high K and Ca requirements (apart from N) and relatively low P requirements (except for early root growth) and ultra-potassic volcanic rocks, K-rich phonolites should be considered as rock fertilizing material. Near neutral pH, fertile soils benefit wheat, maize, peas, soybean, tomato and if needed the soils need liming materials including most rock fertilizers that provide Ca and Mg.

To apply rock materials to poor soils more successful and sustainable it will be important to tailor the rocks to be applied to the climate-edaphic conditions from which these crop originate from as well as to specific water and nutrient requirements of the specific crops.

## References

- Clement CR, de Cristo-Araujo M, Pereira AA, and Picanco-Rodrigues D 2000: Origin and Domestication of Native Amazonian Crops. *Diversity* 2:72-106; doi:10.3390/d2010072.
- Osborne and Beerling 2006. Nature's green revolution: the remarkable evolutionary rise of C4 plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 361:173-194.
- Van Straaten 2007. *Agrogeology – the use of rocks for crops*. Enviroquest Ltd. Cambridge, ON, Canada, 440p.

# WHY DO CRUSHED SILICATE ROCK FERTILISERS SOMETIMES NOT WORK?

*David A. C. Manning<sup>1</sup>*

## **Abstract**

Research on the use of crushed silicate rocks (stone meal) as a fertiliser in many cases suggests that these are ineffective as sources of plant nutrients. The reason for this appears to be that the mineralogical composition of the soil is a key factor, often not taken into account in experimental studies or crop trials. Theoretical considerations suggest that crushed silicate rocks are unlikely to have a significant effect on the composition of the soil solution in soils dominated by minerals derived from mechanically-weathered silicate rocks. In contrast, crushed silicate rocks are far from equilibrium within deeply weathered soils dominated by Al-Fe oxy-hydroxides, and are predicted to react more quickly in these. Rapid mineral reaction (i.e. the rate of reaction) as a consequence of being far from equilibrium appears to be the key factor that accounts for observed responses in plant growth in published trials.

## **Introduction**

The use of crushed silicate rocks and minerals as sources of plant nutrients dates back many decades, and has led to the development of a number of products. However, their use has not become widespread, and academic studies of the application of crushed rocks to soils in general have yielded poor results. The purpose of this paper is to consider some of the fundamental reasons why this is the case, and to suggest possible solutions.

In a major review of the role of crushed silicate rock as a fertiliser, Harley and Gilkes (2000) consider the geochemical principles that underpin the stability of silicate minerals in soil environments. They conclude that there is little agronomic benefit. Focusing specifically on potash (K), Manning (2010) reviewed research papers on the use of feldspar (usually

<sup>1</sup> School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU.david.manning@ncl.ac.uk

microcline), nepheline and biotite-bearing rocks as sources of K. Although feldspar gave no statistically significant improvements in yield, some benefit was observed (Sanz Scovino and Rowell, 1988). The use of nepheline syenite gave clear increases in yield over 3 years in the production of grass (Bakken et al., 1997; 2000). This is due to the very high dissolution rate of nepheline, which exceeds that of microcline by a factor of 100 times under neutral pH conditions (Manning, 2010). Use of biotite also gave increased yields, probably due to its inherent cation exchange capacity. More recent papers have demonstrated an improvement in yield for olives grown semi-hydroponically with the application of a glauconitic sandstone (glauconite, like biotite, is a mica; Karimi et al., 2011) and for wheat with the application of the mica zinnwaldite (Madaras et al., 2012).

The use of a commercial crushed rock product as a general source of plant nutrients has been investigated by Ramezani et al (2012). In this study, the product consists of a milled basalt and was used in grass growth experiments in Sweden. No effect was observed. The published studies referred to above yield negative or contradictory evidence that needs to be explained. Key variables concern (a) the mineralogy of the material used as a fertiliser and (b) the mineralogy of the soil.

## Mineral sources of nutrient

Examples of the major rock forming minerals, their chemical formulae and their dissolution rates are given in Table 1.

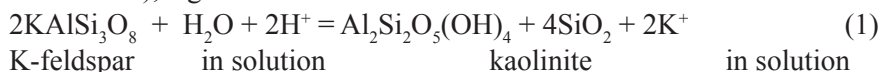
**Table 1.** Major rock forming silicate minerals and examples of rocks in which they occur, assuming acid dissolution mechanism (e.g. reaction 1) except for quartz<sup>1</sup>. Data from Palandri and Kharaka (2004).

Mineral	Chemical formula	Dissolution rate (acid mechanism) log k; mole m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Relative dissolution rate; quartz = 1	Typical rock types
Olivine	(Fe,Mg) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	-6.85	10 <sup>6</sup>	Peridotites, basalts
Pyroxene (enstatite)	Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	-9.02	10 <sup>4</sup>	Basalts
Amphibole (tremolite)	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	-8.40	10 <sup>5</sup>	Metamorphic rocks, andesites
Biotite mica	KFe <sub>3</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	-9.84	10 <sup>4</sup>	Granite, metamorphic rocks



Muscovite mica	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	-11.85	$10^2$	Metamorphic rocks
Anorthite	$CaAl_2Si_2O_8$	-3.50	$10^{10}$	Basalts
Albite	$NaAlSi_3O_8$	-10.16	$10^3$	Granite
Orthoclase, Microcline	$KAlSi_3O_8$	-10.06	$10^3$	Granite
Nepheline	$(Na,K)AlSiO_4$	-2.73	$10^{11}$	Syenite, carbonatite
Quartz	$SiO_2$	-13.41 <sup>1</sup>	1	Granite, metamorphic and sedimentary rocks

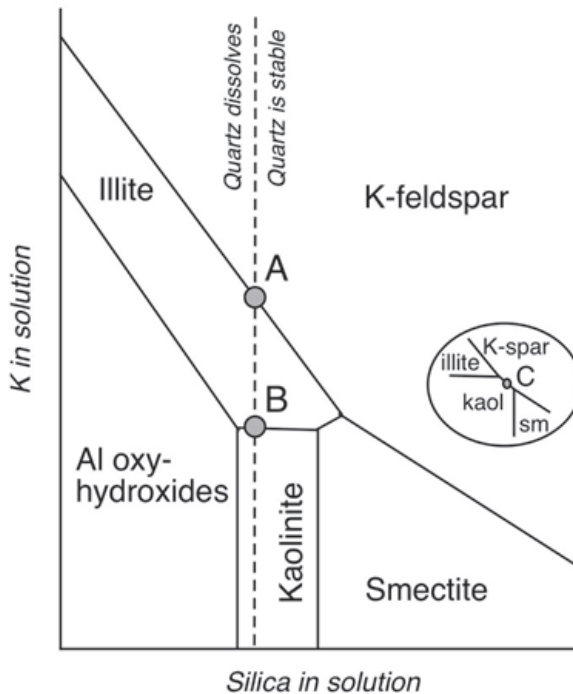
Importantly, a single rock generally will contain more than one silicate mineral. The mineral assemblage found in igneous and metamorphic rocks is likely to have formed at equilibrium at high temperatures and pressures. On exposure to Earth surface conditions, most silicate minerals are unstable, and react through weathering to produce new minerals that are stable (Curtis, 1976). Weathering reactions typically produce clays or oxides through reaction with hydrogen ions in solution (the acid dissolution mechanism), e.g.:



Alternatively, the neutral dissolution mechanism simply involves reaction with water (Palandri and Kharaka, 2004). As shown in Table 1, the rates of weathering are very different from one mineral to another. Those with a high rate of dissolution will release the nutrients that they contain more quickly than a similar mineral with a lower rate of dissolution.

## Mineralogy of the soil

The effect of soil mineralogy on the behavior of a silicate rock fertiliser can best be illustrated with reference to potassium. Figure 1 shows a diagrammatic summary of the phase diagram that shows the relative stability of K-feldspar, illite (or muscovite – they can be regarded as identical in chemical formula), kaolinite, smectite (in this case pyrophyllite), and aluminium oxy-hydroxides.



**Figure 1.** Schematic phase diagram to illustrate the weathering of feldspar. Point A represents the composition of a soil solution at equilibrium with K-feldspar, illite (or muscovite) and quartz. Point B represents the composition of a soil solution at equilibrium with illite (or muscovite), kaolinite and quartz. The insert shows an alternative topography for direct reaction of K-feldspar to form kaolinite, with the corresponding soil solution composition denoted by Point C.

In Figure 1, the mineral stabilities are expressed as a function of the amount of K in solution (strictly the ratio of the activities of  $K^+$  and  $H^+$ ), and the amount of silica in solution. Thus the stability of quartz is defined by the solubility of quartz; it is independent of K and is expressed in the diagram as a vertical line – to the left of this line, quartz dissolves, and to the right it is stable.

Figure 1 allows us to predict the behavior of a feldspar-bearing crushed rock fertiliser that is added to soils with differing mineralogy. In a temperate soil whose mineralogy is inherited from processes of mechanical weathering of basement rocks (which typically include granites and gneisses), the soil is likely to contain quartz as a dominant mineral, with K-feldspar and muscovite if present in the parent material. The soil solution in this case, if at equilibrium, will have a composition that plots at Point A in Figure 1. It will stay fixed at that point until reaction has progressed to remove one of the mineral phases. So, if conditions permit all of the feldspar to be removed, but quartz persists, further chemical weathering will follow the dashed line down until it reaches the kaolinite field at Point B. The soil solution composition will then be fixed at Point B. Data from a number of observational studies have shown that sediment solution compositions are indeed defined by the phase boundaries in diagrams of this type (e.g. Garrels, 1984; Rosenberg et al., 1995), controlling ammonium in solution as well as K (Manning and Hutcheon, 2004).

In some circumstances, feldspar weathers directly to produce kaolinite, in which case soil solution compositions lie to the right of Point B, as summarized in the insert in Figure 1 (Point C). Quartz is predicted to be stable in this example.

The implications of the phase diagram shown in Figure 1 for the use of crushed rock mineral fertilisers are important. In general terms, soils represent the product of a dynamic reaction between soil minerals, water and plants, and the associated microbial/invertebrate communities. If a soil already contains feldspars, the addition of feldspar to the soil has no effect on the reaction between the minerals and the soil solution, it simply restocks one of the reactants. An analogy with boiling water in a kettle is appropriate – it doesn't matter how much water you put in a kettle, it always boils at the same temperature.

If, in contrast, a crushed feldspar-bearing rock is added to a soil that is dominated by Al oxy-hydroxides, the feldspar (and other minerals) will be unstable. Moving towards the bottom left of Figure 1, it will react at rates governed by kinetic factors until all of the K and Si within the mineral have been removed to the soil solution.

## Implications for the use of crushed rock fertilisers

In simple terms, the use of the phase diagram shown in Figure 1 illustrates the importance of understanding the soil as a dynamic reacting system that involves the three key active participants – minerals, water and biology. The intention of adding a fertiliser is to provide plants with the mineral nutrients that they require for growth. Plants participate in the dynamic system by removing K and other nutrients from the soil solution, and by doing so they drive weathering reactions (e.g. Reaction 1) to the right. This causes the reactants to be consumed, but as long as some of the reacting phases remains, an equilibrium will be maintained as defined (for K) in Figure 1, and the soil solution composition will remain constant.

We are now in a position to predict the behavior of a crushed rock fertiliser. In a deeply leached tropical soil that contains no quartz, and is dominated by Al-Fe oxy hydroxides, the situation is similar to that on the left of Figure 1. Any primary rock-forming silicate mineral added to such a soil will be out of equilibrium, and will react to give Al-Fe oxy-hydroxides, liberating silica and other solutes to the soil solution. In these circumstances, plant growth is expected to show a response. In contrast, if a crushed silicate rock is added to a soil that is dominated by similar minerals, there will be little observed effect on plant growth, as no change has been made to the mineral assemblage that occurs within the soil. In these circumstances, plant growth is expected to show little or no response.

Observations from field studies tend to confirm these predictions, although very few authors report the details of the mineralogy of the soils they have used. One exception is a report by Ramezani et al (2012) on the use of a basaltic rock dust on Swedish soils. These authors report that the use of the rock dust had no measurable effect on the growth of wheat, rye grass and red clover. They also report the mineralogical compositions of the soils, which qualitatively are very similar to the rock dust with the exception of containing amphibole instead of pyroxene. In these experiments, the addition of rock dust essentially restocked the existing soil mineral assemblage, and no effect on soil solution composition should be expected. Similarly, Gillman et al (2002) describe improvements in soil properties when crushed basalt was added to oxisols dominated by kaolinite, gibbsite and goethite.

Other studies have shown the value of adding nepheline to soils, as a constituent of nepheline syenite (e.g. Bakken et al., 1997; 2000). In these studies, plant growth (grasses) was shown to respond to the application of nepheline in the form of nepheline-bearing carbonatite fines. Nepheline is a sodium and potassium-bearing aluminosilicate, and is rarely found in soils. Importantly, nepheline's dissolution rate is several orders of magnitude greater than that of feldspar for the acid weathering mechanism, and 100 times greater for the neutral mechanism (no protons involved; Manning, 2010). It is highly reactive in soils. It is almost certain that the response observed by Bakken et al (1997; 2000) is due to the relatively rapid dissolution of nepheline, with associated release of K.

## Conclusions

There are sound reasons that explain why crushed silicate rocks give a response in some circumstances and not in others. These relate to the way in which reactions with silicate minerals affect the composition of the soil solution. In general, if the mineralogical composition of the soil is similar to that of the crushed rock that is added, there will be little change in the composition of the soil solution, and plant growth may show no response. In contrast, if the mineralogy of the soil is very different to that of the crushed rock, the added rock is expected to react and will release nutrients to the soil solution. The addition of silicate rocks is likely to be most effective when used in systems where the soil does not contain primary silicate minerals, especially those that are dominated by Al-Fe oxy-hydroxides, which are typical of deeply leached tropical soils. It is vital that studies of the application of crushed silicate rocks to soils take into account and report the mineralogy of the soil.





## References

- Bakken, A. K., Gautneb, H. and Myhr, K. (1997) Plant available potassium in rocks and mine tailings with biotite, nepheline and K-feldspar as K-bearing minerals, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 47, 129-134.
- Bakken, A. K., Gautneb, H., Sveistrup, T. and Myhr, K. (2000) Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilisers on grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56, 53-57.
- Curtis, C. D. (1976) Stability of minerals in surface weathering reactions: a general thermochemical approach. *Earth Surface Processes*, 1, 63-70.
- Garrels, R. M. (1984) Montmorillonite/illite stability diagrams. *Clays & Clay Minerals* 32, 161-166.
- Gillman, G. P., Burkett, D. C. and Coventry, R. J. (2002) Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. *Applied Geochemistry* 17, 987-1001.
- Harley, A. D. and Gilkes, R. J. (2000) Factors influencing the release of plant nutrients from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56, 11-36.
- Karimi, E., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R. and Aminei, A. (2011) The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive plants. *Archives of Agronomy and Soil Science*, doi:10.1080/03650340.2011.557369
- Madaras, M., Mayerová, M., Kulhánek, M., Koubová, M. and Faltus, M. (2012) Waste silicate minerals as potassium sources: a greenhouse study on spring barley. *Archives of Agronomy and Soil Science*, doi:10.1080/03650340.2012.667079
- Manning, D. A. C. (2010) Mineral sources of potassium for plant nutrition: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 281-294, doi 10.1051/agro/2009023.
- Manning, D. A. C. and Hutcheon, I. E. (2004) Distribution and mineralogical controls on ammonium in deep groundwaters. *Applied Geochemistry*, 19, 1495-1503.
- Palandri, J. L. and Kharaka, Y. K. (2004) A compilation of rate parameters of water-mineral interaction kinetics for application to geochemical modeling. U.S. Geological Survey Open File Report 2004-1068, Menlo Park, 64pp.
- Ramezani, A., Dahlin, A. S., Campbell C. D., Hillier S., Mannerstedt-Fogelfors B. and Öborn, I. (2012) Addition of a volcanic rock dust to soils has no observable effects on plant yield and nutrient status or on soil microbial activity. *Plant and Soil* DOI 10.1007/s11104-012-1474-2
- Rosenberg, P. E., Kittrick, J. A. and Sass, B. M. (1995) Implications of illite/smectite stability diagrams: a discussion. *Clays and Clay Minerals*, 33, 561-562.
- Sanz Scovino, J. I. and Rowell, D. L. (1988) The use of feldspars as potassium fertilizers in the savannah of Columbia. *Fertilizer Research*, 17, 71-83.

# FERTILIZING FERRALITIC SOILS IN CAMEROON USING BASALT POWDER FROM THE CAMEROON VOLCANIC LINE: AN APPLICATION WITH MAIZE FARMING IN SOUTH CAMEROON

*Arliane Nicole Tetchou Tchekambou*<sup>1</sup>

*Jean Pierre Tchouankoue*<sup>\*1</sup>

*Monique Abossolo Angue*<sup>1</sup>

*Christophe Ngansop*<sup>2</sup>

*Suzi Huff Theodoro*<sup>3</sup>

## **Abstract**

An evaluation of the fertilization potential of pyroclastic basalts from the Cameroon Volcanic Line in the Mbos and Noun plains was carried out through petrographic and geochemical study and field tests for maize (*Zea mays*) farming on ferralitic soils formed on gneissic rocks in equatorial south Cameroon (Yaounde area). Petrographically, the Mbo plain basalts are trachy-basalts (Ekoh cone) and trachy-andesites (Ndon cone) with similar microlitic and vacuolar texture and constituted plagioclases, olivine, basaltic hornblende, and opaque oxides. In the Noun plain, basalts are of microlitic porphyritic texture (Mfeusset cone) and microlitic texture (Pouolom cone). Vacuoles are a common structure in Noun plain basalts and the mineralogy is mainly plagioclases, augite, olivines and opaque oxides. Great amounts of glass (30%) exist in all studied basalts and the petrographic difference in both regions is the restriction of basaltic hornblende and augite to the Mbos and Noun plains respectively. Mother rock in the farming area is the Gneiss with a grano-lepidoblastic to porphyro-poecilo-granoblastic texture and its main mineral composition is composed of garnet, kyanite, biotite, orthoclase and quartz. Geochemically, basaltic rocks are alkaline and sodic; rocks from the Mbo plain are more acidic ( $\text{SiO}_2 = 50.35 \text{ wt } \%$ ) than those of the Noun plain ( $\text{SiO}_2 = 46.13 \text{ wt } \%$ ) and  $\text{SiO}_2$  content of the gneiss is  $61.98 \text{ wt } \%$ . Field experiments tested additions of 150g, 300g and 450g of basalt powders

<sup>1</sup>University of Yaounde I, Department of Earth Sciences, P.O. Box 812 Yaounde-Cameroon; <sup>2</sup>Ministry of agriculture and rural development, P.O. Box 4888 Yaounde-Cameroon and <sup>3</sup> Center for Sustainable Development, University of Brasilia, 70910-900, Brasilia DF, Brasil \*[tchouankoue@uy1.uninet.cm](mailto:tchouankoue@uy1.uninet.cm)



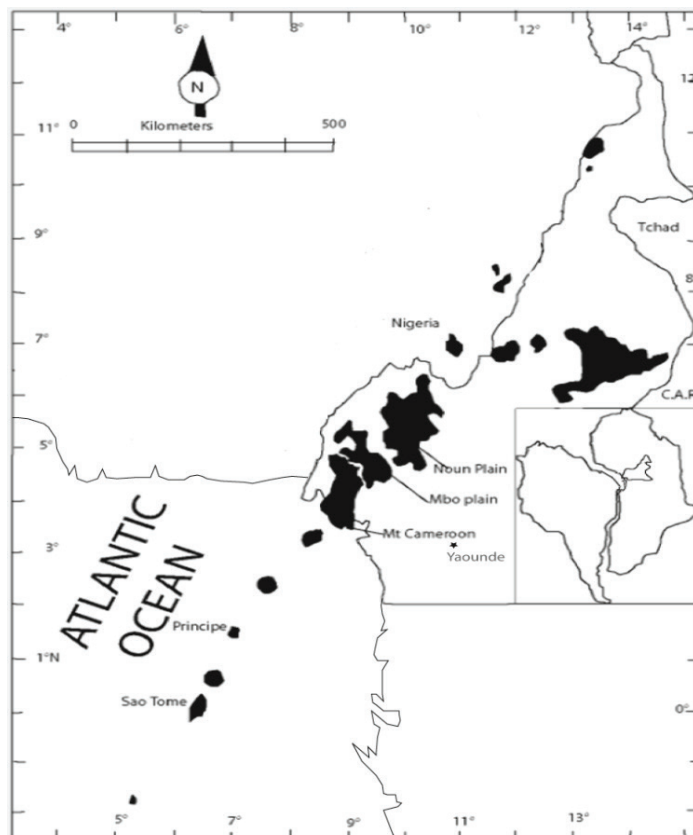
to plots of 0.25 m<sup>2</sup> and revealed a noticeably increasing pH (5.2 to 6.4) in the soil during the early stages of growth of maize plants. Parameters such as leaf length, weight of dry biomass, weight of maize cobs, and weight of corn kernels were recorded at harvest. The results indicate the average output with respect to the cultivated plots: 1.28 t/ha, 0.36 t/ha, 0.28 t/ha, and 2.855 t/ha for Ekoh, Ndon, Pouolom and Mfeusset basalts respectively, and 0.274 t/ha for the control plot. From an economic standpoint, the best production (2.498 t/ha) was obtained with an addition of 06 t/ha of basalt powder from -Mfeusset cone in the Noun plain.

**Key words:** Cameroon Volcanic Line, basalts, fertilizers, maize, ferralitic soils

## Introduction

Cameroon is the breadbasket of Central Africa and the three main agricultural production basins are the Foubot, Mbos and Tombel plains which are covered by recent basaltic rocks. In these areas, the intensive agriculture farming zones (tomatoes, banana, coffee, rubber, palm tree, papaya) are located in the volcanic plains (Theodoro et al., 2013). Basalts in these areas are likely to be used for fertilization of lateritic soils that occupy most of the country. This can provide small farmers with fertilizer at low cost and provide long-term soil fertility, whose direct benefits include increased agricultural productivity, environmental protection, and saving the country the costs of imported chemical fertilizers.

This work characterizes the physico-chemical types of basalt that could be optimally used for remineralizing (fertilizer) for lateritic soils. Petrographic and geochemical properties of basalt samples from the Cameroon Volcanic Line (in the regions of Foubot and Melong) were studied and a field trial with maize was conducted in the Yaounde region (Fig. 1) in order to assess the fertilizing power of each of these basalts.



**Figure 1.** Location of sampling areas (Noun and Mbos plains in the Cameroon Volcanic Line) and experimental site (Yaounde).

## Methodology

Geochemical analyses of our samples were performed at the University of Brasilia in Brazil. The technique used was the XRF (X-Ray Fluorescence).

The field experiment was conducted with maize (*Zea mays*), Maize Cameroon Selection (CMS) type 8704 variety. The experimental plots at Akak (N 03 ° 59'26''N/011 ° 33'30''E) were 4m<sup>2</sup> in area. The basalt



samples were applied in varying proportions on these plots. Subsequently corn kernels were planted at a spacing of 25 cm.

Four different experimental plots were distinguished: Po = soil + 0g of basalt powder, P1 = soil+150g of basalt powder, P2 = soil+300g of basalt powder, P3 = soil +450g of basalt powder. Measurements were made of: The number of leaves per stem; the length of the leaves; The weight of ears; The weight of dry biomass; Seed weight. At harvest, samples collected were packaged, labeled and weighed.

## Results

Analytical results include the study of basalts in petrographic thin section slides, evaluation of their contents in terms of major and trace elements, and field experimentation of basalt powder and lateritic soil mix for maize farming.

## Petrography

In the Noun plain, basalts were sampled in the Mfeusset and Pouolom areas where explosive volcanism produced basalts in the form of ash, lapilli and volcanic bombs (Fig. 2). The rock is dark gray-black ash-gray, and vacuolated. Under the microscope, the rock has a porphyritic texture, as well as microlitic with olivine (25 wt.%), augite (15 wt.%), plagioclase (50 wt.%) and opaque minerals all embedded in a glass representing less than 5% of the rock.

In the Mbo plain, samples were collected at Ekoh and Ndon, two volcanic cones with coarse block forms, generally angular, with sizes ranging from centimeters to several meters. The rocks, brownish in color, consist of olivine (5%), brown hornblende (5%), plagioclase (15%) and opaque oxides (5%), defining a dominant microlitic texture.

Soils of the experimental site were generally very deep lateritic with thicknesses sometimes exceeding 10m in the Yaounde region (Onguene Mala, 1993).



**Figure 2.** Outcropping conditions of pyroclastic basalts deposits in the Noun plain

## Geochemistry

Geochemical analyses of basalt samples indicated: Silica variations from 46.13% to 50.35%, being higher in the Mbos plain (50.31%) and lower in the Noun plain (46.13%); Cones in the Mbo plain are richer in  $K_2O$  (1.93%  $<K_2O < 1.99\%$ ) than in the Noun plain (1.08%  $<K_2O < 1.27\%$ ); Higher aluminum values (15.70%-15.37%) are typical of the Mbos plain, which is consistent with the presence of brown hornblende; MgO higher

in the Noun plain (7.74%) than in the Mbos plain (3.98%) and reflects the abundance of olivine in rocks of the Noun plain.

$P_2O_5$  values are similar for the Mbos ( $0.76\% < P_2O_5 < 0.85\%$ ) and Noun plains ( $0.60\% < P_2O_5 < 0.62\%$ ). The Noun plain basalts exhibit high levels of Calcium ( $9.68\% < CaO < 9.70\%$ ) compared to those of the Mbos plain ( $6.33\% < CaO < 7.64\%$ ). Amounts of Sr, Cr, Zn, Ni, and V are higher in the Noun plain samples while Pb and B are higher in the Mbos plain samples.

## Description of the experiment

Maize growth monitoring (Fig.3) was carried out after one week, two weeks, one month, two months and three and a half months (harvest). One week after planting, we saw that the corn stalks in the control plot were less developed than in plots with powdered basalt. The most advanced plots were respectively those who received 150g, 300g and 450g of powder. Two weeks after planting, all plots that received the rock powder had leaves that were less dark in color (light yellow) than control plots, and plots with 450g of rock powder in Foubot Melong showed good growth in size and leaves. One month after planting, plots with powdered basalt showed a green to yellowish color while those in the control plot were colored green. Overall, corn stalks with powdered basalt from the Foubot plants were much more developed than the rest of the field. At harvest, we measured the size of the leaves, the weight of dried maize plants, the weight of ears and the weight of maize kernels. Crops on basalt powder plots showed significantly better results than plots with no basalt powder, and relative to the efficiency of the basalt powders, samples from Mfeusset (Noun plain) gave the best results (Table).



**Figure 3.** Experiment field. a) Spreading the powder onto plots b) Seed (seed used from the central part of the ear of corn), c) Weeding field d) Green leaves of maize having received powdered basalt compared to e, e) Leaves with purple veins plants in the control plot f) Corn in the control plot (left) and maize plot of 300 g of powdered basalt Mfeusset (right).

**Table.** Crop yield (t/ha)

Treatment	0 g	150 g	300 g	450 g
Ekoh	0.274	0.083	0	1.286
Ndon	0.274	0	0	0.361
Pouolom	0.274	0.281	0	0.029
Mfeusset	0.274	2.498	2.855	1.96

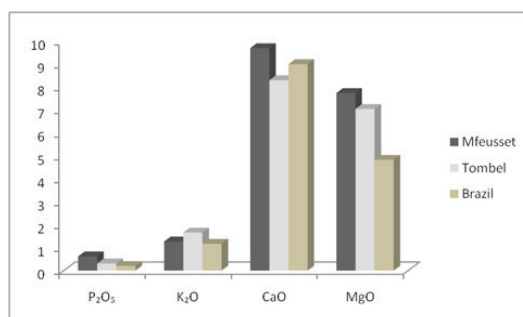


## Discussion

The results of field trials have shown that addition of powdered basalt to soils developed on gneiss results in higher yields. Based on the overall results we discuss below: the influence of pH on yields, the color of leaves throughout the experiment, the relationship between petrography, geochemistry and fertilization potential, the influence of basalt powder grain size, the toxicity of trace elements, yields, the economic significance of the results, and a comparison with results obtained using similar materials.

Nkouathio et al. (2007) performed tests in pots with powdered basalt from Tombel for corn grown in the soil of the region of Yaoundé. Tested over twelve weeks, the results showed that addition of pyroclastics increased pH (5.2 to 6.4). This addition also increased the amount of exchangeable cations (2.4 to 6.8) and the exchangeable acidity decreased (0.4 to 0.15). Although the experiment did not continue through harvest, the results were close to those we obtained after two months, indicating that use of basalt powder as fertilizer has a definite effect on the corn crop yields.

In southern Brazil, yields of the order of 128-253% were obtained by adding the rock powder to maize (Knapik et al., 2007, Almeida et al., 2007; Silva, 2005). The source of the rock was Parana basalts, dated at 125 million years. Comparing the levels of essential elements for basalts from Mfeusset (Noun plain), Tombel and Brazil (Fig. 4), the basalts from Mfeusset have the best content of chemical elements essential to the growth of corn.



**Figure 4.** Comparison of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Cao and MgO contents of basalts from Mfeusset (Foumbot plain) and data from parana basalts (Brazil). Mfeusset (Tetchou Tchekambou, 2012), Tombel (Nkouathio et al., 2007), Brazil (Knapik et al., 2007).



## Conclusion

Petrographic and geochemical studies have been conducted on pyroclastic basaltic samples from the Mbo (hawaiites and mugearites) and Noun (basalts) volcanic plains in Cameroon. Basalt powders were tested with maize crops planted in poor lateritic soils developed on gneisses in the Yaounde area. The rocks studied were brown amphibole from the Mbo plain, while olivine came from the Noun plain. Geochemically, they are basic ( $46.13\% <SiO_2 < 50.35\%$ ) and alkaline with  $Na_2O > K_2O$ . Additions of these basalts to lateritic soils led to soil pH increase in the initial stages of growth, and most likely caused chemical elements (such as phosphorus) to be released from the rock powder after the second month of planting. Harvest data indicate that the samples from Mfeusset gave the best result (2.498 t / ha).

## References

- Almeida, E., Silva, F.J.P.da., Ralish, R., 2007. Revitalização dos solos em process de ransiação agroecologica no sul do Brazil. *Agriculturas*, Rio de Janeiro, Vol. 4, n°1, 7-10
- Bagnouls, F., Gaussen, H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Géog.* 2, XXVI, 335,183-220.
- Knapik, B., Pereira da silva, F., Knapik, J.C., 2007. Po de basalto: experimentos no Médio Iguaçu. *Annals, Univ Federal Parana-brazil*, 90 p.
- Onguene Mala, 1993. Différenciation pédologique dans la région de Yaoundé (Cameroun). Transformation d'un sol rouge ferralitique en sol à horizon jaune et relation avec l'évolution du modèle. *Thèse, Univ. Paris VI*, 253 p.
- Silva, F.P. da., 2005. Uso de Pó de basalto em producao de milho com principios agroecologicos. *Monografia (Post-graduação)*, Universidade da Uniao da Victoria, 41 p.
- Theodoro S.H., Tchouankoue J.P., Gonçalves A.O., Leonardos O., Harper J., 2013. A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. *Revista Brasileira de Geografia Física* 06 (2012) 1390-1407.
- Tetchou Tchekambou A.N. (2012).

# THE POTENTIAL OF REMINERALIZATION AS A GLOBAL MOVEMENT

*Joanna Campe<sup>1</sup>*

## **Abstract**

Soil remineralization can play a critical role in sustainable agriculture, ecological restoration, carbon sequestration and climate stabilization while addressing major social issues. History, current developments and potential future directions explored briefly here will address these ecological and social challenges on a global scale.

**Keywords:** Soil remineralization, sustainable agriculture, nutrient density, ecological restoration, carbon sequestration

## **History**

Soil remineralization has been researched and explored by three distinct groups:

First, German nutritional biochemist, Julius Hensel, pioneered soil remineralization in the 1880s with his book *Bread from Stones*, and with it a modest agricultural movement came into being. Industrial rock grinding made remineralization more feasible on a larger scale, and much research has been done, particularly in Germany, Austria, and Switzerland, through universities, commercial companies, and the Natural Stone Industry based in Bonn, Germany. Peter von Fragstein and others have researched remineralization as a slow-release fertilizer with many different rock types. The Carl Duisberg Gessellschaft e. V., in partnership with the Technische Universität Berlin, the University of Abidjan, the Societe pour le Developpement Minier de Cote d'Ivoire, and the German Federal Ministry of Cooperation organized regional workshops in the Ivory Coast in 1991 on *Rock Fertilizers: A Chance for West Africa's Food Production*.

Second, the field of agrogeology has been explored and carried out mainly in Canada, Brazil, Tanzania, the Canary Islands, and West Africa, especially on laterite soils. Due to the intense tropical rainfall in these regions,

<sup>1</sup>[jcampe@remineralize.org](mailto:jcampe@remineralize.org)



NPK fertilizers are washed out in only a few weeks and cannot be stored by the soils, making them especially toxic to groundwater. In contrast, rock fertilizers not only supply nutrients to cultivated plants over longer periods, but also improve the ion exchange capacity of soils by forming new clay minerals during the weathering of the fertilizer. Researchers include William Fyfe, Ward Chesworth, Peter van Straaten, Othon Leonardos, Suzi Theodoro, and many other notables. Othon Leonardos originally initiated research in Brazil on his own and later began working together with agrogeologists. The First International Conference on Rocks for Crops, was held in Brasilia in 2004. In September 2009 a conference on remineralization was held in Brasilia, the Primeiro Congresso Brasileiro de Rochagem, attended by 170 participants, hosted by researchers from the University of Brasilia. The Second Congress will be held in May 2013.

Third, the grassroots movement concerned with the premise of John Hamaker in the book *The Survival of Civilization* asserts that soil remineralization is not only the key to restoring soils and forests but, in the larger context, absolutely necessary and urgent to reduce levels of carbon dioxide in the atmosphere and stabilize the climate. This movement has expanded into a global grassroots community consisting of ecologically-concerned individuals and organizations, farmers and gardeners, scientists and policy makers, including Remineralize the Earth (RTE), based in Northampton, Massachusetts USA and incorporated as a 501(c)(3) nonprofit organization since 1995, and the Seer Centre, a permaculture-focused center with ongoing demonstration plots in Scotland. RTE's mission is to educate and facilitate a worldwide movement dedicated to the application of land (rock dust), sea-based minerals, and other natural means to promote sustainable farming and forestry, and ensure a healthier soil, food, and environment. Through research, education, advocacy, partnerships, and implementation, RTE is contributing to healthy soils and forests around the world, increasing the nutritional quality and yield of food production, and stabilizing the climate.

## **Reversing Desertification and Climate Change**

Forests can grow much more rapidly when limiting factor minerals are replaced, bringing eroded and desertified lands back to life. Most importantly for humanity, and potentially the environment, soil remineralization can



dramatically increase crop yields, disease resistance, pest resistance, and nutritive levels of agricultural lands. There is a potential to bring atmospheric carbon to pre-industrial revolution levels in five years through targeted use of the world's agricultural lands. This would not only bring global CO<sub>2</sub> levels down to safe levels, but facilitate the revitalization of soil and biological life on the planet and significantly increase human nutrition and health levels, strategically diminishing numerous, seemingly unending, crises (Alan Yeomans, 2005).

## Forests

The following is a small sample of selected research: Long-term experiments in central Europe have shown that the wood volume was 4 times higher in a forest area where pine seedlings were remineralized than in an untreated area after 24 years. One application lasted for 60 years before the benefits tapered off (Sauter & Foerst, 1987). This was traced back to the increasing content of easily accessible potassium, calcium, and phosphorus.

The Men of the Trees organization based in Western Australia did trials with many species of trees in Australia, resulting in 5 times the growth of tree seedlings for one variety of eucalyptus, *E. gomphocela*, over the untreated controls. The nursery potting out time was shortened from 5 months to 6 weeks, with the use of a local granite dust (Oldfield, 1991).

Studies are now needed to determine the feasibility of soil remineralization techniques in improving tree health and augmenting carbon sequestration in forested areas, especially those forests that are showing decline (Klinger, 2005).

In Panama a recent study compared tree growth rates over 5 years in highly infertile soils to those grown in basalt rock dust. No chemical fertilizer or compost was added. The results were an 8-fold increase in biomass, 2.17 increase in the height of the trees, and 4 times the survivability from the trees on basalt. The trees on the local soil did not survive. It was concluded that even better results would have been achieved if biochar had been used. Several studies are now being set up in various countries, including Brazil, China, and the US, to test various mixtures of rock dust, biochar, and compost. Researcher of the study, Dr. Tom Goreau, recommends performing a large-scale research project to further optimize use of various



rock powders, plants, soil types, climate regimes, and management practices (Goreau et al., 2011).

### Agroforestry Project in Costa Rica: Food, Fuel, and Income to Sustain Local Communities

As a project of Remineralize the Earth, John Todd of Ocean Arks International intercropped native commercial hardwoods, fruit trees, and *Jatropha* (a sustainable, biofuel-producing oil plant) on abandoned cattle pastures in the Guanacaste region of Costa Rica, using local basalt dust as a fertilizer. Over 1,000 trees of more than 20 species were planted. *Jatropha* receiving rock dust produced larger and more bountiful seeds, and all the trees grew more vigorously. Marginal soils planted with *Jatropha* sustainably could be restored to agricultural food production in a few years. *Jatropha* as a biofuel could replace firewood harvesting and expensive imported kerosene in rural areas in Africa. It could provide sustainable livelihoods in areas now severely damaged by drought, desertification, and hunger (Todd, 2008).

## Agriculture

### Nutrient Density

In a seminal study by John Hamaker in *The Survival of Civilization*, Hamaker applied glacial moraine dust to Michigan soils and raised corn yields from 25 bushels/acre to 65 bushels/acre, greatly increasing its nutritional value. Protein increased by 28%, calcium by 47%, phosphorus by 57%, magnesium by 60%, and potassium by 90% (Hamaker, 1982).

Today in large-scale organic agriculture, the largest carrot grower in the world, California-based Grimmway Farms, and the largest blueberry grower, Purewal Blueberries in British Columbia, have remineralized thousands of acres with a source of rock dust from the southwest of the United States. Nutrient-dense foods have higher levels of vitamins, carbohydrates, minerals, enzymes, antioxidants, and trace minerals essential to human health.

RTE's Real Food Campaign (2008-2012), now the Bionutrient Food Association (BFA), has trained over 700 growers on how to produce high quality crops based on biological soil management that includes remineralization, and focuses on nutrient density. BFA is now researching



the development of a supermarket model scanner that can provide accurate readings of nutritional quality to consumers and growers (Kittredge, 2013).

## **Alternative to pesticides**

In the short-term, rock dust sprayed on plants deters insects and in the long-term, silica in rock dust strengthens plant tissue (which contain silica granules called phytoliths) and makes them less susceptible to drought, insects, and diseases (Fragstein, 1995). A farmer spraying insecticides on his fields is unintentionally breeding weak plants and strong insects. Any responsible approach to short-term pest control must be safe, practical, and inexpensive. Rock powders physically repel pests, disrupt their reproductive cycles, and abrade them. These small particles disable and discourage insects by causing various forms of mechanical discomfort. It does not obliterate insect life in a way that produces ecological imbalances and rapidly breeds resistant pests. This facilitates the creation of a healthy agricultural ecosystem that will gradually require fewer palliative solutions to pest problems. Insect populations are brought into balance and crop damage is reduced. Silica eventually strengthens plant tissue and the vigorous growth deters insects, nature's recyclers of weaker plants. Rock dust is the ideal soil amendment for promoting improved immunity to pests and disease.

## **Brazil**

Brazil has a top-down approach that is dedicated to creating accessibility to small family farms. Their emphasis is on sustainable development, economic empowerment, and social justice, with the end goal of creating a local, nutrient-dense food supply and a commitment to improving health and generating livelihoods within communities. Brazil is dedicated to creating energy independence. With deficient soils but large resources of rock types available, Brazil has the opportunity to regenerate soils for agriculture, agroforestry, and the production of sustainable biofuels.

A research project in Bahia has shown soil remineralization to be an effective adjunct strategy for remote, impoverished communities to produce higher yields of quality crops while remaining independent from chemical fertilizers and government subsidies. A team of Brazilian scientists led by Suzi Huff Theodoro, PhD, and first initiated by Othon Leonardos, PhD,



work in Sustainable Development at the University of Brasilia and have been specializing in remineralization research and project implementation for the past 15 years.

In their projects, rock powders were mixed with organic matter, manure, and other affordable, natural, and locally materials and applied to soils where primary food crops for the region were planted. In the first two years of testing, yields increased by 10-30%. Soil pH shifted from highly acidic to mildly acidic to mildly alkaline, and the nutrient availability in the soil was greatly improved. Farmers noted that the most significant aspect of the project for them was the improved capacity of remineralized soil to hold water, as shortages and droughts are common during the dry season (Theodoro and Leonardos, 2006). This model has carried over to Africa by Dr. Theodoro who is coordinating a project funded by CNPq that aims to integrate Brazilian and African research.

Several research institutions (such as Embrapa, UnB, UFV, and CPRM) have confirmed that soil remineralization is an alternative and/or complement to standard fertilizers in research and demonstration trials that have since taken place. Since it is in agreement with agroecological principles, soil remineralization has become a viable alternative for regenerating degraded soils. Agroecology is an interdisciplinary science founded in Brazil that applies ecological concepts and principles to the design, development, and management of sustainable agricultural systems, and includes mineral cycles, energy transformation, biological processes, and socioeconomic relationships.

## **Mexico**

Zacatecas is the state with the highest production of beans in Mexico, accounting for 35% of national production. In a span of only five years, yields of beans dropped from 1,200-1,400 kilos per hectare in 2002 to 300 kilos per hectare in 2007, a clear example of soil depletion and over-cultivation leading to increasingly low crop production. Jorge Villaseñor Garibi and Agro Insumos Nova Terra SA participated in a governmental program to support the farmers of Zacatecas and other regions in which urea was replaced by rock dust. Consequently, 22,200 hectares were remineralized in 2008-2009. The results were outstanding, with a bean yield three times





higher than the previous year's. Production of corn, grape, peach, nopal, and several varieties of chile pepper also increased.

In 2011, a government campaign supported farmers in the township of Zapopan, Jalisco, and in the summer of 2010 it provided farmers with rock dust to fertilize 1,250 hectares of crops including corn, nopal, agave, and fruit trees. Farmers are being trained to use rock dust in 28 towns throughout Zapopan as an integral part of the program to support the remineralization of depleted soils. The governmental initiative included public parks, gardens, and a forest area of about 1500 ha and estimated to contain 700 trees. Around 500 children from several elementary schools in Zapopan attended a workshop in which they were taught how to remineralize trees with rock dust (Ruiz Castro, 2010).

Bernardo Castro Medina founded Eco-Agro in 1997, a company formed as a farmers' collaborative dedicated to the research and commercialization of organic alternatives to industrial fertilizers, and is providing farmers with organic fertilizers supplemented with hard silicate rock dust to ensure the sustainability of Sinaloa's producers. Based in Guamúchil, Sinaloa, Eco-Agro has been at the forefront of campaigns promoting the use of rock dust.

## Colombia

The Western Andes Range has one of the richest mineral deposits of volcanic origin in the Andes Mountains. Agrempacados makes available a diabase rock dust for Colombian farmers, specifically small producers, to improve the production and nutritional properties of their crops. Corn, which has received the most study, has shown an increase in germination rate of 20-50% and an increase in production of 10% compared to areas without rock dust. Corn from fields treated with rock dust also exhibited improved resistance to humidity. Additional good results have been recognized for tomatoes, bananas, avocados, vegetables, and flowers. In one striking example, coffee plantations that had stopped producing regained fertility in one year after they were treated with diabase rock dust (Ruiz Castro, 2011).



## Cameroon

Experimenting with rock fertilizer technology on small-scale farms in Cameroon, contributing to food security and sustainable agriculture is a current project proposal by RTE and the Research and Education Centre for Development (CREPD), and will include participation of the Peace Corps/Cameroon. The goal is to reduce the food insecurity of rural, small-scale farmers in the Cameroon Volcanic Line (CVL). The anticipated result will be to: increase small-scale farmers' income through improved agricultural output and increased crop productivity and nutrient density; make locally-available rock fertilizers an alternative to expensive conventional fertilizers and pesticides; increase knowledge of small-scale rural farmers in sustainable agriculture, agroforestry, remineralization, and business techniques; and enhance nutrition in the crops produced using these sustainable techniques to reduce food insecurity in rural areas.

Geotherapy: Innovative Methods of Soil Fertility Restoration, Carbon Sequestration, and Reversing CO<sub>2</sub> Increase is a scientific technical book on remineralization and biochar being published by CRC Press (In Press 2013). Papers from Brazil, Cameroon, and all continents except for Antarctica are included, and this book will assist in funding and policymaking.

## From Current to Future Directions

Brazil is paving the way for soil remineralization on a national scale through its longer-term development of research and policymaking, its plans to create a regulatory agency, and in potentially creating distribution hubs that will make rock dust available to farmers throughout the country. In Mexico, government partnerships and subsidies on the local, state, and national levels have covered large tracts of farmland, as well as remineralizing public spaces and forests.

Remineralize the Earth has developed an agroforestry model in Costa Rica that can potentially sustain local communities with food, fuel, and income, particularly appropriate to international development on the local community stakeholder level in semitropical and tropical environments, leading to availability of rock dust for small farmers and farmer cooperatives and contributing to self-sufficiency, the flourishing of farmers markets, and



the overcoming of poverty and malnutrition, similar to Brazilian models and initiatives.

RTE is partnering with New Harmony Farm, a Community Supported Agriculture (CSA) organic farm in West Newbury, MA, to find the most efficacious ratios of compost, rock dust, and biochar, and to take the results one step further by analyzing not only plant and soil nutrients and biological activity, but also the effects on soil carbon storage and greenhouse gas emissions. The project is being supervised by Dr. Tom Goreau, with testing on soil carbon storage done by Dr. Jim Tang of the Woods Hole Institute. This research is evolving into a larger project, potentially with the New England Small Farms Institute and the University of Massachusetts and Remineralize the Earth is looking to expand the project through more partners.

Reforestation with rock dust has the potential to create healthy drought and fire resistant forests so that trees can store carbon rather than give off CO<sub>2</sub>, especially in places such as Australia, Greece, Southern California, and New Mexico where prevention of forest fires is of paramount importance. The rock dust can be applied as part of community projects by volunteers, hydraulically from trucks, or sprayed by plane or helicopter.

There are numerous other applications of remineralization, from bioremediation of chemicals and radiation in soils and for people (rock dust taken internally and affected by Fukushima); dairy and livestock operations, and many possibilities that have the potential of creating a more humane and sustainable relationship between people, flora and fauna, and the biosphere. From carbon credit programs, such as the Carbon Farming Initiative (CFI) in Australia, to remineralization of forests, carbon can be sequestered on a massive scale to stabilize the climate.

## Conclusion

The techniques of soil remineralization are simple, easily and intuitively learned, and can be rapidly scaled to the community level. The materials are readily available as an inexpensive byproduct that can be found wherever there is building and road construction using stone aggregates or concrete, and can also be sourced from the ocean; rocks and sea minerals are the most abundant resources on Earth. Often, no extra energy is needed to grind rocks up since they are a waste byproduct of gravel plants. Soil



Remineralization will create abundance in an era of diminishing resources and shift us away from fossil fuels. Remineralization is nature's way of regenerating soils, and is needed on a large scale, as mismanagement is causing us to lose soils far faster than they can naturally regenerate, and this innovative method will contribute to the increased storage of carbon in our soils and forests.

## References

- Fragstein, P. v., 1995, Silicate Rock Dusts as Natural Fertilizers, p. 73-76 in J. Campe (Ed.) *Remineralize the Earth*, Northampton, Massachusetts.
- Goreau, T. J., M. Goreau, F. Lufkin, C. A. Arango, G. Despaigne-Matchett, G. Despaigne-Ceballos, R. Solis, & J. Campe, 2011, Basalt powder restores soil fertility and greatly accelerates tree growth on impoverished tropical soils in Panama, *Proceedings of the World Conference on Ecological Restoration*, Merida, Yucatan, Mexico.
- Hamaker, J. D., & D. Weaver, 1982, *The Survival of Civilization*, 219p., Hamaker-Weaver Publishers, Michigan.
- Kittredge, Dan. "Organic vs. Conventional: A Scanner May Say Which Is Healthier." *Bionutrient.org*. BIONUTRIENT Food Association, n.d. Web. 18 Apr. 2013. <<http://bionutrient.org/news/organic-vs-conventional-scanner-may-say-which-healthier>>.
- Klinger, L.F. *Bryophytes and Soil Acidification Effects on Trees: The Case of Sudden Oak Death*©. *Combined Proceedings International Plant Propagators' Society* 55, 493-503. 2005. Print.
- Oldfield, B., 1991, *Men of the Trees in Western Australia* <<http://remineralize.org/research/men-of-trees-in-western-australia>>.
- Ruiz Castro, Pedro A. "RTE's Coordinator Jorge Villasenor Garibi Researcher and Promotes The Use of Rock Dust Throughout Mexico." *Remineralize the Earth* 15 Sept. 2010: n. pag. Web. 6. Apr. 2013. <<http://remineralize.org/blog/magazine/rtes-coordinator-jorge-villasenor-garibi-researches-and-promotes-the-use-of-rock-dust-throughout-mexico>>.
- Ruiz Castro, Pedro A. "RTE Coordinator Daniel Giraldo Promotes the Use of Rock Dust in Colombia." *Remineralize the Earth* 17 Mar. 2011: n. pag. Web. 6. Apr. 2013. <<http://remineralize.org/blog/magazine/rte-coordinator-daniel-giraldo-promotes-the-use-of-rock-dust-in-colombia>>.
- Sauter, Von U., & K. Foerst, 1987, *Hinweise für den Einsatz von Silikatgesteinsmehlen zur Waldbodenverbesserung*, *Der Forst- und Holzwirt*, 42: 27-30.
- Theodoro, Suzi H., Leonardos, , Othon, 2006. *The use of rocks to improve family agriculture in Brazil*. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. Vol. 78. p. 721-730.
- Todd, J., 2008, *Restoring the land: Building durable economies*, *ANNALS OF EARTH*, 26: 14-15.
- Yeomans, A. J., 2005, *Priority One: Together We Can Beat Global Warming*, 500p., Keyline Publishing, Australia <<http://www.yeomansplow.com.au/priority-one.htm>>.

# EFEITO DE ROCHAS MOÍDAS E TORTA DE TUNGUE SOBRE A CONCENTRAÇÃO E ACUMULAÇÃO DE NUTRIENTES NA PARTE AÉREA DE PLANTAS DE MILHO (*ZEA MAYS*)

*Matheus Farias Grecco<sup>1</sup>*

*Adilson Luís Bamberg<sup>2</sup>*

*Mariana da Luz Potes<sup>3</sup>*

*Raquel Louzada<sup>1</sup>*

*Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>*

*Rosane Martinazzo<sup>2</sup>*

*Magda Bergmann<sup>4</sup>*

## Resumo

O trabalho apresenta os efeitos da aplicação de quatro rochas moídas e torta de tungue sobre as quantidades de nutrientes acumuladas na matéria seca da parte aérea de plantas de milho em curto prazo. O calcário de xisto mostrou-se como uma fonte de liberação rápida de Ca e Mg, atuando de forma equivalente ou superior ao calcário dolomítico comercial utilizado como referência para esse estudo. A torta de tungue apresentou desempenho igual ou superior ao encontrado com a adubação com fontes convencionais de NPK de alta solubilidade.

**Palavras-chave:** rochas moídas, torta de tungue, milho

## Introdução

A utilização de rochas moídas vem sendo postulada como uma forma eficiente de fornecer nutrientes para as plantas, além de corrigir deficiências por meio da remineralização de solos. Os fatores que favorecem essa prática

<sup>1</sup> Projeto Xisto Agrícola, convênio Embrapa-FAPEG-Petrobras, BR 392 km 78, 96010-971, C.P. 403, Pelotas, RS, Brasil. grecco.eg@hotmail.com; raquel.louzada@hotmail.com. <sup>2</sup>Embrapa Clima Temperado, BR 392 km 78, 96010-971, C.P. 403, Pelotas, RS, Brasil. adilson.bamberg@embrapa.br; augusto.posser@embrapa.br e rosane.martinazzo@embrapa.br <sup>3</sup>Projeto Agroenergia, convênio Embrapa-FAPEG. marianapotes@yahoo.com.br <sup>4</sup>Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - CPRM – Serviço Geológico do Brasil. magda.bergmann@cprm.gov.br

são a crescente demanda da agricultura brasileira por insumos e a viabilidade econômica devido ao seu baixo custo de beneficiamento (Melamed & Gastapar, 2005). Entretanto, a maioria das litologias empregadas no país carece de estudos quanto à dinâmica de liberação de nutrientes para o solo e sua disponibilidade às plantas, sendo aplicadas de forma empírica, algumas vezes, rochas que não são capazes de disponibilizar quantidade condizente de nutrientes para um ciclo de uma determinada cultura.

A composição química e textural das rochas é muito variada em termos de espécies minerais. Cada mineral possui uma dinâmica de liberação dos elementos de constituição, a qual é condicionada por processos intempéricos a que estarão submetidos quando aplicados no solo. A fim de potencializar o efeito de uma determinada litologia para rochagem é essencial que seja realizada a identificação dos minerais e análise da composição química (Theodoro et al., 2010). Outros fatores que devem ser considerado são a análise de solo e a demanda nutricional da cultura. Com essas informações, a dose a ser aplicada de rocha moída em um solo pode ser corretamente dimensionada (Bamberg et al., 2011).

Estudos conduzidos com algumas litologias não obtiveram bons resultados para a liberação de nutrientes (Hinsinger et al., 1996; Carvalho et al., 2009). Bolland & Baker (2000) testaram em casa de vegetação uma rocha granítica visando a liberação do nutriente potássio (K) nas culturas de trevo e trigo. Os autores concluíram que essa rocha não possui eficiência agrônômica em curto e longo prazo, tornando-a economicamente inviável como fertilizante alternativo.

Porém, Bamberg et al. (2011), em um experimento em colunas de lixiviação, encontrou liberação rápida de nutrientes a partir de migmatito, basalto, granodiorito e dacito, observando uma liberação em curto e médio prazo de K, desde que aplicadas na forma de pó com partículas  $100\% < 0,3\text{mm}$ . Pandolfo & Tedesco (1996) também identificaram rápida liberação de Ca e Mg a partir de um calcário finamente moído, onde houve reação plena das partículas de tamanho inferior a  $0,053\text{mm}$  no período de tempo de apenas um mês. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de quatro tipos de rochas moídas e da torta de tungue sobre as quantidades de nutrientes acumulados na matéria seca da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays*).

## Metodologia

O estudo foi realizado em casa de vegetação, na Embrapa Clima Temperado, Estação Experimental Terras Baixas, município do Capão do Leão-RS. O experimento foi instalado com três repetições, sendo a parcela experimental constituída de três vasos de dez litros para cada tipo de solo. Foram utilizados três tipos de solo: Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico (PVAe), coletado na Fazenda da Palma, Capão do Leão-RS; Neossolo Quartzarênico (RQ), coletado na localidade de Domingos Petrolina, Rio Grande-RS; e Planossolo Háptico Eutrófico arênico (SXe), coletado na Estação Experimental Terras Baixas, Capão do Leão-RS. Os dados da análise química dos três tipos de solos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Teores de macro e micronutrientes de três tipos de solos utilizados no presente estudo

Tipo de solo	pH	Índice SMP	Argila MO (%)		P K Na mg dm <sup>-3</sup>			H+Al Al Ca Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				Saturação (%)		CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
			Al	Bases	Al	Bases	Efetiva	pH 7							
PVAe	5,9	6,6	16	1	2,7	30	10	2,3	0,1	2,0	0,9	3,2	57	3,1	5,3
RQ	5,0	6,3	10	0,9	12,3	24	54	3	0,4	0,8	0,3	22,2	33	1,8	4,4
SXe	5,0	6,7	13	0,7	32,2	51	7	2	0,1	1,3	0,5	5	49	2	3,9

PVAe: Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico típico; RQ: Neossolo Quartzarênico; SXe: Planossolo Háptico Eutrófico arênico

Os tratamentos foram: T1 - Controle (Sem Calagem); T2 - Calagem (1 SMP via Calcário Dolomítico); T3 - Calagem (1 SMP via Calcário de Xisto - CX); T4 - Calagem 1 SMP via CX + Fosfato Natural Arad - FNA (P); T5 - Calagem 1 SMP via CX + Fosfato Natural Arad + Migmatito (Mig); T6 - Calagem 1 SMP via CX + FNA + Granodiorito (Grd); T7 - Calagem 1 SMP via CX + FNA + Dacito (Dac); T8 - Calagem 1 SMP via CX + FNA + Basalto Hidrotermalizado (BaH); T9 - Calagem 1 SMP via CX + FNA + torta de tungue (fonte orgânica de K e N); T10 - Testemunha Padrão - Calagem 1 SMP via CX + Super Fosfato Triplo (P) + Cloreto de Potássio (K). As necessidades de N foram supridas via Uréia para todos os tratamentos, sendo 1/3 da dose na base e o restante em cobertura dividido em 2 parcelas. O tamanho das partículas das rochas moídas foi 100% < 0,3 mm, com exceção do Migmatito que foi 100% < 0,105 mm. Os valores de óxidos maiores das litologias estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Composição litoquímica com os teores de óxidos maiores (em %) das rochas migmatito (Mig), granodiorito (Grd), dacito (Dac) e basalto hidrotermalizado (BaH)

Elementos	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI*	Total
Mig	70,29	0,49	13,24	4,23	0,07	0,99	2,42	2,87	4,33	0,15	0,002	1,6	99,872
Grd	67,45	0,73	12,44	6,02	0,22	0,72	2,22	2,44	4,63	0,22	<0,002	0,7	99,9
Dac	64	0,5	14,71	5,82	0,09	2,35	3,35	3,43	3,67	0,21	0,004	2,4	99,924
BaH	48,26	3,57	12,45	15,4	0,23	4,34	8,42	2,83	1,12	0,57	0,005	2,7	99,655

\* Loss on ignition

As doses aplicadas para suprir os macronutrientes NPK foram calculadas de acordo com a necessidade de cada solo e da cultura do milho, considerando a expectativa de produtividade de 10 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 3). As doses de calcário aplicadas foram baseadas no Índice SMP, buscando elevar o pH do solo para 6,0. As variáveis mensuradas foram as concentrações e acumulados dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) na parte aérea das plantas, realizadas segundo Tedesco et al. (1995). A massa seca da parte aérea das plantas de milho foi determinada com as plantas coletadas aos 45 dias após a emergência. Os dados foram avaliados quanto à presença de valores discrepantes e, posteriormente à análise da variância e o teste de comparação de médias pelo teste de Duncan (5% probabilidade de erro).

**Tabela 3.** Doses e fontes de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O aplicados em cada tratamento a partir de diferentes fontes minerais

Tipo de solo	Recomendação de adubação e calagem (CQFS RS/SC, 2004)												
	Rec. de calagem pH 6 (tha <sup>-1</sup> ) Cálculo dolomítico PRNT 100%	Doses e fontes de N (kg ha <sup>-1</sup> )		Interpretação, doses e fontes de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )			Interpretação, doses e fontes de K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )						
		N	Uréia	Interpretação no solo	Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fosfato natural de Arad	Interpretação no solo	Dose de K <sub>2</sub> O	KCl	Mig	Grd	Dac	BaH
PVAe	0,5	170	378	Muito Baixo	215	652	Baixo	130	217	3542	3002	2808	11607
RQ	2	170	378	Baixo	175	530	Baixo	130	217	3542	3002	2808	11607
SXe	0,3	140	378	Alto	135	409	Médio	120	200	3270	2771	2592	10714

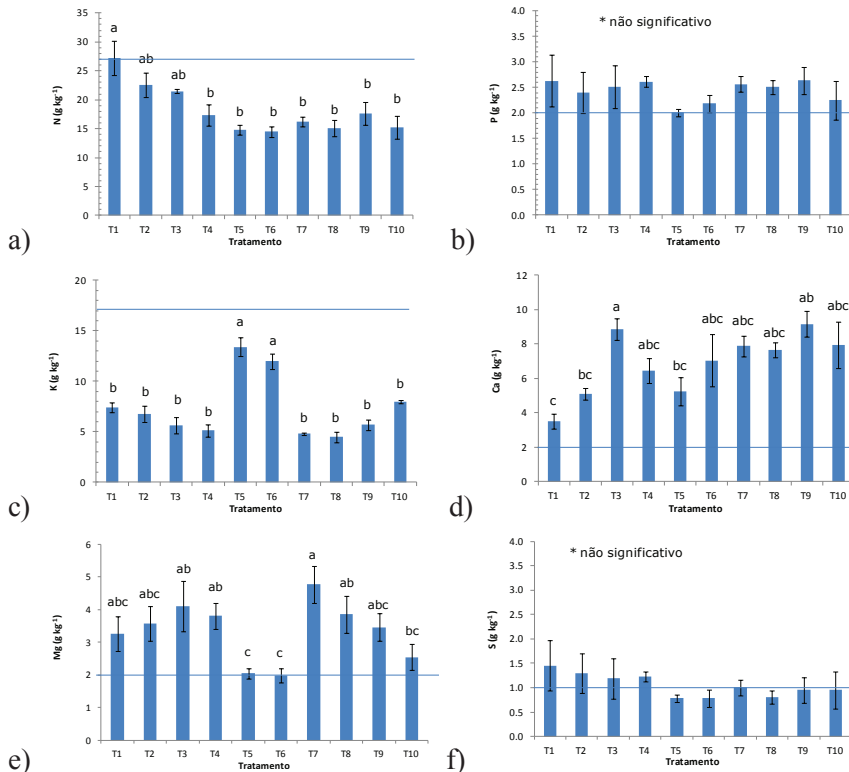
PVAe: Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico típico; RQ: Neossolo Quartzarênico; SXe: Planossolo Háptico Eutrófico arênico

## Discussão dos Resultados

Na Fig. 1 são apresentados os dados médios das concentrações de macronutrientes na parte aérea das folhas de plantas de milho. Nas Figs. 1-A e 3-A observa-se que as plantas extraem a quantidade máxima possível de N do solo, resultando em concentrações maiores de N em T1, T2 e T3. Porém, quando a concentração de N é multiplicada pela produção de



massa seca das plantas obtém-se os totais acumulados, observando-se que somente T9 e T10 apresentaram desempenho significativamente superior aos demais tratamentos, evidenciando a capacidade da torta de tungue de fornecer N às plantas (Fig. 3-A). Verifica-se também que o aumento na extração de N resultou em sinergismo na extração de S (Campbell, 2007), onde os tratamentos T1 e T2 (sem calagem e sem adubação, calagem + N; consecutivamente) apresentaram os valores mais altos das concentrações de N e S. Também pode ser ressaltado que o N atingiu o nível de suficiência apenas no tratamento T1 (sem calagem e sem adubação), pois, na ausência de outros elementos, provavelmente, a planta concentrou proporcionalmente mais N do solo em relação aos demais nutrientes.

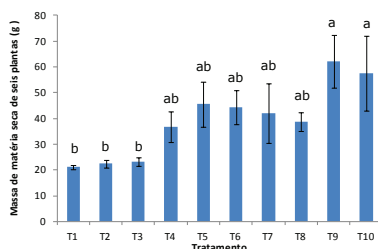


**Figura 1.** Concentrações de macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>) de A) Nitrogênio; B) Fósforo; C) Potássio; D) Cálcio; E) Magnésio; e F) Enxofre na parte aérea de plantas de milho

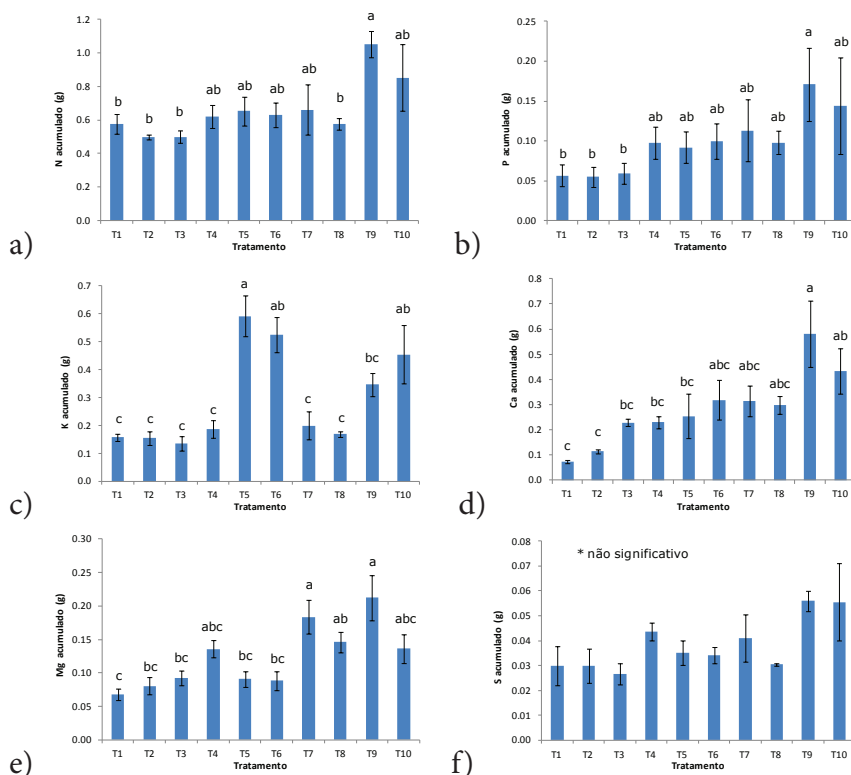
Na Fig. 1-D observa-se que as plantas de milho que receberam CX extraíram quantidades de Ca significativamente superiores às aquelas com CD comercial utilizado como referência. Isso fica evidente nas Figs. 3-D e 3-E, quando são comparados os tratamentos que receberam CX (T3 a T9) como aquele que recebeu CD (T2), demonstrando a alta reatividade do CX. Entretanto, a aplicação concomitante de FNA e CX não apresentaram efeito positivo sobre a disponibilização de P em T5 e T6 (Fig. 1-B), possivelmente pela formação de complexos pouco solúveis com os íons de Ca liberados pelo CX, atenuando a disponibilização desse nutriente às plantas.

Quanto à concentração de K na parte aérea das plantas de milho (Fig. 1-C), os tratamentos T5 (Migmatito) e T6 (Granodiorito) apresentaram resultados superiores em relação aos demais tratamentos, demonstrando a capacidade de fornecimento rápido de K por essas duas fontes às plantas. Observa-se que o fornecimento de K pelo Migmatito às plantas pode estar mais relacionado à granulometria do material, que apresenta 100% das partículas < 0,105mm. Consequentemente, esses tratamentos apresentaram resultados inferiores quanto à concentração de Ca e Mg (Figs. 1-D e 1-E consecutivamente). Esse processo possivelmente ocorre quando dois elementos competem pelo mesmo sítio ativo do carregador, de forma que altas doses de K no meio inibem parcialmente a absorção de Ca e Mg (Malavolta et al., 1997).

Com relação ao efeito das fontes de nutrientes sobre a produção de matéria seca de plantas de milho (Fig. 2), colhidas aos 45 dias após a emergência das sementes, pode-se constatar que somente a torta de tungue foi capaz de se equivaler à produção obtida pela adubação solúvel. Isso mostra a importância da fonte orgânica como fornecedora multielementar de nutrientes, podendo ser afirmado que a liberação de seus nutrientes é tão rápida quanto para as fontes de alta solubilidade.



**Figura 2.** Massa de matéria seca da parte aérea de plantas de milho (g)



**Figura 3.** Acumulados de macronutrientes de A) Nitrogênio; B) Fósforo; C) Potássio; D) Cálcio; E) Magnésio; e F) Enxofre na parte aérea de plantas de milho

## Conclusões

As fontes migmatito e granodiorito tiveram o melhor desempenho para fornecimento rápido de K às plantas. Sua granulometria pode inclusive ser ajustada com o objetivo de reduzir a liberação rápida de K, pois esta inibe parcialmente a absorção de Ca e Mg. O calcário de xisto mostra-se como uma fonte de liberação muito rápida de Ca e Mg, atuando de forma equivalente ou superior ao calcário dolomítico comercial utilizado como referência para esse estudo. A torta de tungue apresenta desempenho igual ou superior ao encontrado com a adubação com fontes convencionais de NPK



de alta solubilidade (T10), com liberação rápida de nutrientes, mostrando-se como uma importante fonte orgânica de nutrientes.

## Referências Bibliográficas

BAMBERG, A.L., SILVEIRA, C.A.P., POTES, M.L., PILLON, C.N., LOUZADA, R.M., CAMPOS, A.A. Dinâmica de liberação de nutrientes disponibilizados por diferentes tipos de rochas em colunas de lixiviação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011. In: Anais... Uberlândia, MG, 2011.

BOLLAND, M. D. A., BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.56, p.59–68, 2000.

CAMPBELL, I.B. Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. 113f.

CARVALHO, A.M.X., DELIBERALI, D.C., CARDOSO, I.M. Efeito da rochagem no crescimento e nutrição de plantas de soja sob manejo agroecológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2009. In: Anais... Brasília, D.F., 2009. Embrapa, p.183-189.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400p.

HINSINGER P., BOLLAND M. D. A., GILKES R. J. Silicate rock powder: effect on selected chemical properties of a range of soils from Western Australia and on plant growth as assessed in a glasshouse experiment. *Fertility Research*, v.45, p. 69–79, 1996.

MALAVOLTA, E; VITTI, G.C; OLIVEIRA, S.A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, p. 115-230,1997.

MELAMED, R. & GASPAR, J.C. Eficiência de pó de rocha na bio-disponibilidade de potássio em sistemas de produção agrícola sustentáveis. XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa – Natal, RN, v. 2, p. 546-552, 2005.

TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

THEODORO, S. H., LEONARDO, O. H., ALMEIDA, E. de Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. Brasília. Embrapa. p. 173-181, 2010.

# AVALIAÇÃO DO USO DO PÓ DE ROCHA NO DESEMPENHO DE DUAS VARIEDADES DE MANDIOCA DE MESA

*Fernanda Pereira de Souza<sup>1</sup>*

*Eder de Souza Martins<sup>2</sup>*

*Luise Lottici Krahl<sup>3</sup>*

*Eduardo Alano Vieira<sup>4</sup>*

*Josefino de Freitas Fialho<sup>5</sup>*

*Gabriel Soares Ribeiro<sup>6</sup>*

## Resumo

Foi avaliado o efeito do uso de pó de rocha no desempenho agrônômico de duas variedades de mandioca de mesa. O estudo foi conduzido na Embrapa Cerrados em Planaltina-DF. Foram testadas quatro fontes de potássio, e o fertilizante solúvel KCl, representando o tratamento convencional completo. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com três repetições. Aos doze meses após o plantio foram feitas avaliações agrônômicas. Foi detectado que as médias da variedade Japonesinha sob adubação com todas as rochas avaliadas foram superiores às médias dos demais tratamentos, incluindo o tratamento da variedade com adubação convencional. Este fato demonstra que os efeitos das rochas silicáticas também dependem das características genéticas das plantas cultivadas.

**Palavras-Chave:** mandioca de mesa, pó de rocha, potássio, latossolo

## Introdução

Na região do Distrito Federal e Entorno, o cultivo de variedades de mandioca de mesa apresenta potencial de expansão, uma vez que o mercado consumidor é crescente, a rentabilidade é alta e os produtores têm tradição

<sup>1</sup> Estudante de Geografia da Universidade Estadual de Goiás – UEG, UnU Formosa – GO, fernandasouza92@gmail.com; <sup>2</sup> Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF, eder.martins@embrapa.br; <sup>3</sup> Mestre pela Universidade de Brasília – UnB, luisekrahl@yahoo.com.br; <sup>4</sup> Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF, eduardo.alano@embrapa.br; <sup>5</sup> Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF, josefino.fialho@embrapa.br; <sup>6</sup> Graduado em Química pela Universidade Estadual de Goiás – UEG, UnU Formosa – GO, gabrielsurgeon.s@gmail.com.

com a produção de mandioca (Aguiar *et al.*, 2005). Apesar dos solos nas condições de Cerrado apresentarem baixos índices de fertilidade natural e elevada acidez, tais características podem ser contornadas com o uso de corretivos e fertilizantes para o cultivo da mandioca, com maiores respostas à adubação com potássio (K), fósforo (P), nitrogênio (N) e zinco (Zn) (Fialho & Vieira, 2011). Por essa razão, a utilização de rochas silicáticas finamente moídas com teores expressivos de potássio pode ser uma alternativa para a produção de mandioca de mesa por serem fontes de nutrientes e condicionadoras de solo, beneficiando as características físico-químicas dos mesmos (Nascimento & Loureiro, 2004). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de pó de rocha no desempenho agrônômico de duas variedades de mandioca de mesa.

## Material e Métodos

O estudo foi conduzido na safra 2010/2011, nas imediações da Embrapa Cerrados em Planaltina-DF, em solo classificado como Latossolo Amarelo (pH = 5,8; P = 0,6 mg dm<sup>-3</sup>; K = 44 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 2,24 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg = 0,64 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e SB = 2,99 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Foram testadas duas variedades de mandioca de mesa (Japonesinha e Amarela Rio) e quatro fontes de potássio, as rochas Biotita Xisto, Fonolito e Termopotássio e o fertilizante solúvel KCl, representando o tratamento convencional completo (Tabela 1).

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela foi constituída por cinco linhas com 12 plantas, em espaçamento de 1,20 x 0,80 m, sendo a área útil composta pelas 24 plantas centrais.

**Tabela 1.** Descrição dos tratamentos empregados no trabalho.

Variedades		Adubações	
V1	Japonesinha	A1	Biotita Xisto
V2	Amarela Rio	A2	Fonolito
		A3	Termopotassio
		A4	Convencional

O tratamento convencional visou aplicar doses de adubação normalmente empregadas para a cultura da mandioca, de acordo com as

necessidades do solo ( $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ). Os tratamentos com rocha receberam uma dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , equivalente à aplicação de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  da rocha Biotita Xisto e  $1 \text{ t ha}^{-1}$  para o Fonolito e o Termopotássio. A adubação com P foi constante em todos os tratamentos, com a aplicação de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Os adubos foram aplicados na linha de plantio e incorporados (Figura 1).



**Figura 1.** Implantação do experimento. (a) aplicação das rochas teste; (b) aplicação de KCl.

Aos doze meses após o plantio foram avaliadas a altura da primeira ramificação em metros (APR), altura da planta em metros (AP), produtividade de raízes em  $\text{kg ha}^{-1}$  (PR) e porcentagem de amido nas raízes por meio do método da balança hidrostática (AM). Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e ao teste de comparação de médias de Scott e Knott.

## Resultados e Discussão

Os resultados revelaram que não houve variação entre os tratamentos para a altura da planta e que para os caracteres altura da primeira ramificação e teor de amido nas raízes, as diferenças detectadas foram de ordem genética, apenas em função do efeito variedade (Tabelas 2 e 3), uma vez que para todos os tratamentos a variedade Amarela Rio evidenciou altura da primeira ramificação e teor de amido superiores a variedade Japonesinha.

Para a variável produtividade de raízes, foi detectado que as médias da variedade Japonesinha sob adubação com todas as rochas avaliadas

foram superiores às médias dos demais tratamentos (Figura 2), incluindo o tratamento da variedade com adubação convencional, apontando no sentido de um possível efeito positivo das rochas na produção dessa variedade (Tabela 3). Em média a variedade Japonesinha revelou um ganho de produtividade de 5000 kg ha<sup>-1</sup> sob adubação com rochas em relação aos demais tratamentos avaliados (Tabela 2).

**Tabela 2.** Análise de variância dos caracteres altura da primeira ramificação em metros (APR), altura da planta em metros (AP), produtividade de raízes em kg ha<sup>-1</sup> (PR) e porcentagem de amido nas raízes (AM) determinados em duas cultivares de mandioca de mesa avaliadas sob adubação convencional e com pó de rocha.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		APR	AP	PR	AM
QM <sub>tratamentos</sub>	7	0,16*	0,18	4577723*	17,93*
QM <sub>residuo</sub>	14	0,003	0,009	4958276	0,44
CV (%)		10,90	6,56	12,96	2,53





**Tabela 3.** Comparação de médias dos caracteres altura da primeira ramificação em metros (APR), produtividade de raízes em kg ha<sup>-1</sup> (PR) e porcentagem de amido nas raízes (AM), determinados em duas cultivares de mandioca de mesa avaliadas sob adubação convencional e com pó de rocha.

Acessos	Caracteres		
	APR	PR	AM
A3V1	0.28 B*	20500 A	24.03 B
A1V1	0.25 B	20320 A	23.85 B
A3V2	0.67 A	14069 B	28.53 A
A2V1	0.22 B	19320 A	23.63 B
A4V1	0.25 B	17458 B	24.30 B
A2V2	0.67 A	15458 B	28.22 A
A4V2	0.63 A	16195 B	28.70 A
A1V2	0.73 A	14174 B	28.58 A
Média geral	0.46	17187	26.23
Amplitude <sup>#</sup>	0.51	6431	5.07

\* Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem entre si a 5% de significância pelo teste de separação de médias de Scott-Knott;

<sup>#</sup> diferença entre a maior e a menor média.



**Figura 2.** Detalhe das variedades cultivadas e avaliação da produtividade.

## Considerações Finais

Os resultados obtidos revelaram que a adubação potássica com rochas não influenciou a altura das plantas de mandioca, altura da primeira ramificação e teor de amido nas raízes. As avaliações indicaram uma resposta positiva quanto a produtividade de raízes da variedade Japonesinha sob adubação com rochas potássicas, justificando mais estudos sobre a influência da adubação com pó de rocha na produtividade e qualidade de raízes de mandioca de mesa e mostrando que é dependente das características das variedades.

## Referências Bibliográficas

AGUIAR, J.L.P.; BARRETO, B.; SOUSA, T.C. Cadeia produtiva da mandioca no Distrito Federal: caracterização do consumidor final. In: Congresso Brasileiro de Mandioca, 11. Resumos. Campo Grande: Embrapa Agropecuária Oeste. 2005.

FIALHO, J.F.; VIEIRA, E.A. Manejo do solo no cultivo de mandioca. In: FIALHO, J.F.; VIEIRA, E.A. (Ed.). Mandioca no Cerrado: orientações técnicas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. p. 37-57.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F.E.L. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, 66p, (Série Estudos e Documentos, 61).

# CORREÇÃO DE ACIDEZ DE SOLO UTILIZANDO RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

*Valério Raymundo<sup>1</sup>*

*Mirna A. Neves<sup>2</sup>*

*Marcos S. N. Cardoso<sup>3</sup>*

*Izaías S. Bregonci<sup>4</sup>*

*Julião S. S. Lima<sup>5</sup>*

*Arthur B. Fonseca<sup>6</sup>*

## Resumo

O objetivo do trabalho foi investigar a possibilidade de uso de resíduos de serragem de mármore como corretivo de acidez de solo. Os resíduos elevaram as concentrações de Ca e Mg e o pH do solo, eliminando a toxicidade de Al. Comprovou-se, portanto, que os resíduos possuem a reatividade adequada para serem utilizados como corretivo de acidez de solos.

**Palavras-chave:** calagem, mármore, agrominerais.

## Introdução

Durante o processo de beneficiamento de rochas ornamentais, os blocos de rocha extraídos da pedreira são serrados em chapas, que posteriormente são polidos e cortados para a fabricação de ladrilhos e outros produtos. A serragem de blocos é feita em dois tipos de teares: um deles usa lâminas de aço e o outro usa lâminas ou fios diamantados (Calmon e Silva, 2006). O processo que usa lâminas de aço, também conhecido como sistema convencional, ainda é o mais utilizado no Brasil (Almeida, 2002). Neste processo, os teares são dotados de lâminas com movimento pendular

<sup>1</sup> SINDIROCHAS, valerio30@gmail.com; <sup>2</sup>Departamento de Geologia/CCA/UFES, mirna.neves@ufes.br; <sup>3</sup>SAAE/Alegre, marcos.snc@gmail.com; <sup>4</sup>INCAPER, izaiais@incaper.es.gov.br; <sup>5</sup>Departamento de Engenharia Rural/CCA/UFES, julio.lima@ufes.br; <sup>6</sup>Departamento de Geologia/CCA/UFES, arthurbazoni@yahoo.com.br

por onde circula uma polpa de serragem, também conhecida como “lama abrasiva”, composta por granalha de aço (grãos milimétricos facetados), cal e água. Após o desgaste, a lama é descartada, compondo um resíduo constituído por pó de rocha, cal e finos metálicos provenientes do desgaste das lâminas e da granalha (Braga et al., 2010). No sistema de serragem com lâminas diamantadas não é necessário o uso de granalha e cal, utilizando apenas água no processo; assim, o resíduo gerado é composto basicamente por pó de rocha e água.

Trabalhos realizados relatam a possibilidade de utilização de pó de rocha no enriquecimento mineral e correção de acidez de solos, processo conhecido como rochagem (Fyfe et al., 2006; Theodoro e Leonardos, 2006). A rochagem tem mostrado efeitos positivos sobre a qualidade química de solos degradados (Silva et al., 2008) e representam uma alternativa de baixo custo e ambientalmente segura para agricultores dos países em desenvolvimento (Straaten, 2006). É importante destacar que a demanda por corretivos agrícolas no sul do estado do Espírito Santo é grande, colocando a calagem como uma boa alternativa para utilização dos resíduos de serragem de mármore.

## Objetivos

O objetivo deste trabalho foi investigar a possibilidade de utilização de resíduos de serragem de mármore da região de Cachoeiro de Itapemirim (ES) como corretivo de acidez de solo. Para isso, definiu-se, como objetivos específicos, a realização de um experimento de correção de pH de um solo ácido utilizando-se calcário comercial (CC), resíduo de mármore serrado em tear convencional com lâminas de aço (LA) e outro serrado em tear diamantado (LD).

## Metodologia

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial de  $3 \times 4 + 1$  (testemunha) com 4 repetições, totalizando 52 unidades experimentais. O cálculo da dosagem para correção de acidez foi feito com base no PRNT dos materiais utilizados como corretivo e nos dados da análise do solo (CFSEMG, 1999) (Tabela 1). Os ensaios de peneiramento

e medição dos teores de Ca e Mg para determinação do Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) foram feitos de acordo com a metodologia oficial (Brasil, 1983). Os valores obtidos para o PRNT dos resíduos LA e LD mostram que eles possuem granulação de calcário “filler”, mais fina que 0,3 mm (peneira ABNT50), com reatividade igual ou superior a 100%, ultrapassando o valor obtido para o CC.

**Tabela 1.** Caracterização dos resíduos e do calcário comercial usados no experimento como corretivo de acidez de solo (LD = resíduo do tear de lâmina diamantada, LA = resíduo do tear de lâmina de aço, CC = calcário comercial)

Material testado	PRNT (%)	PN (%)	CaO (%)	MgO (%)	Peneira ABNT		
					2,0 (mm)	0,84 (mm)	0,3 (mm)
LD	102,72	103,05	34,34	16,77	100%	99,91%	99,29%
LA	99,55	99,85	35,01	14,99	100%	99,97%	99,28%
CC	86,11	92,00	32,00	14,00	100%	89%	85%

A necessidade de calcário foi calculada em 1.490 kg por hectare e, a partir desse valor, foram definidas doses de 75, 100, 150 e 300% da dose recomendada (Tabela 2), além da testemunha, sem dosagem de corretivo.

**Tabela 2.** Doses de resíduos (LD e LA) e de calcário comercial (CC) com base no PRNT e nas características do solo e os tratamentos do experimento (QC=quantidade de calcário)

	PRNT	QC (t ha <sup>-1</sup> )	Doses (t ha <sup>-1</sup> )			
			75%	100%	150%	300%
LD	102,72	1,45	1,09	1,45	2,17	4,34
LA	99,55	1,49	1,12	1,45	2,24	4,48
CC	86,11	1,73	1,29	1,73	2,59	5,18

O solo usado (Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico) é representativo da natureza ácida e topografia acidentada da região sul do estado do Espírito Santo. A coleta de solo foi feita com utensílio de aço à profundidade de 20 cm em um percurso “zig-zag”; o material foi seco ao

ar, peneirado em malha de 2 mm e armazenado em sacos plásticos. Após o quartejamento, foram recolhidas amostras para caracterização química (Tabela 3).

**Tabela 3.** Atributos químicos do solo determinados antes da realização do experimento

pH <sub>H2O</sub>	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	ISNa
	--- (mg dm <sup>-3</sup> ) ---			----- (cmol dm <sup>-3</sup> ) -----				-----		----- (%) -----		
4,7	1,0	27,0	4,0	0,2	0,1	0,6	4,3	0,38	4,71	8,1	11,0	0,4

As análises do solo seguiram a metodologia da EMBRAPA (1997). Os materiais testados como corretivo foram pesados e incorporados a amostras de 2 dm<sup>3</sup> de solo. As amostras foram armazenadas em sacos de polietileno e umectadas com água destilada a 70% da capacidade de campo. Após 30 dias de incubação, as amostras de solo foram analisadas novamente. A análise estatística dos dados foi feita com o programa SAEG 9.1 (SAEG, 2007). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. Os efeitos dos tratamentos estudados foram: tipo de material utilizado como corretivo, doses aplicadas e as interações entre ambos. Foram realizadas análises de regressão para os dados quantitativos e o Teste de Tukey a 5% de probabilidade foi aplicado nos dados qualitativos. Os dados quantitativos que não tiveram ajuste pela análise de regressão também foram analisados pelo Teste de Tukey.

## Resultados e reflexão

Os atributos químicos do solo pH, Mg, Al, H + Al, m, V e CTC responderam significativamente à aplicação do corretivo evidenciando interação pela análise de variância; a SB apresentou significância isoladamente em relação aos materiais testados como corretivo e às doses aplicadas e o Ca evidenciou significância apenas para a dose.

## Influência dos materiais testados como corretivo

Na dosagem de 100%, recomendada pelo método adotado nesse trabalho, todas as fontes de corretivo utilizadas (LA, LD e CC) foram suficientes para neutralizar a acidez trocável (Al) e corrigir o pH para a faixa

mínima ideal para o desenvolvimento da maioria das culturas agrícolas, que varia de 5,5 a 6,5, conforme constatado na literatura nacional e estando de acordo com resultados encontrados por Della Flora et al. (2007). No entanto, o fornecimento de Ca e Mg e a elevação da saturação de bases (V) só ocorreu de forma satisfatória na dosagem de 300%, ou seja, três vezes acima da dosagem recomendada (Tabela 4).

**Tabela 4.** Médias dos parâmetros do solo tratado com resíduo e calcário comercial (CC). Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 5\%$ )

Parâmetro	Dose				Parâmetro	Dose			
pH	75%	100%	150%	300%	m (%)	75%	100%	150%	300%
LA	5,4 <sup>A</sup>	5,5 <sup>A</sup>	6,0 <sup>A</sup>	6,6 <sup>B</sup>	LA	8,2 <sup>A</sup>	3,5 <sup>A</sup>	0,6 <sup>A</sup>	0,0 <sup>A</sup>
LD	5,4 <sup>AB</sup>	5,6 <sup>A</sup>	6,0 <sup>AB</sup>	6,9 <sup>A</sup>	LD	9,7 <sup>A</sup>	0,9 <sup>AB</sup>	0,0 <sup>A</sup>	0,0 <sup>A</sup>
CC	5,3 <sup>B</sup>	5,5 <sup>A</sup>	5,9 <sup>B</sup>	6,5 <sup>C</sup>	CC	0,0 <sup>B</sup>	0,0 <sup>B</sup>	0,0 <sup>A</sup>	0,0 <sup>A</sup>
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	75%	100%	150%	300%	V (%)	75%	100%	150%	300%
LA	0,5 <sup>A</sup>	0,5 <sup>AB</sup>	0,7 <sup>A</sup>	0,9 <sup>B</sup>	LA	28,5 <sup>A</sup>	31,6 <sup>A</sup>	43,1 <sup>A</sup>	61,8 <sup>B</sup>
LD	0,5 <sup>A</sup>	0,6 <sup>A</sup>	0,8 <sup>A</sup>	1,1 <sup>A</sup>	LD	27,2 <sup>A</sup>	32,7 <sup>A</sup>	42,1 <sup>A</sup>	70,6 <sup>A</sup>
CC	0,4 <sup>A</sup>	0,4 <sup>B</sup>	0,5 <sup>B</sup>	0,7 <sup>C</sup>	CC	25,0 <sup>A</sup>	29,2 <sup>A</sup>	42,5 <sup>A</sup>	59,2 <sup>B</sup>
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	75%	100%	150%	300%	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	75%	100%	150%	300%
LA	0,1 <sup>A</sup>	0,1 <sup>A</sup>	0,0 <sup>A</sup>	0,0 <sup>A</sup>	LA	4,54 <sup>A</sup>	4,44 <sup>A</sup>	4,46 <sup>A</sup>	4,56 <sup>A</sup>
LD	0,1 <sup>A</sup>	0,0 <sup>AB</sup>	0,0 <sup>A</sup>	0,0 <sup>A</sup>	LD	4,72 <sup>A</sup>	4,39 <sup>A</sup>	4,32 <sup>AB</sup>	3,91 <sup>B</sup>
CC	0,0 <sup>B</sup>	0,0 <sup>B</sup>	0,0 <sup>A</sup>	0,0 <sup>A</sup>	CC	4,36 <sup>A</sup>	4,38 <sup>A</sup>	3,96 <sup>B</sup>	4,25 <sup>AB</sup>
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	75%	100%	150%	300%					
LA	3,3 <sup>A</sup>	3,0 <sup>A</sup>	2,5 <sup>A</sup>	1,8 <sup>A</sup>					
LD	3,4 <sup>A</sup>	3,0 <sup>A</sup>	2,5 <sup>A</sup>	1,1 <sup>B</sup>					
CC	3,3 <sup>A</sup>	3,1 <sup>A</sup>	2,3 <sup>A</sup>	1,7 <sup>A</sup>					

Isso se deve ao fato de o método de recomendação de calagem utilizado ser suficiente para neutralização do Al tóxico às plantas e para elevar os teores de Ca e Mg até valores próximos de 2,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, e não mais. A acidez potencial (H+Al) foi gradativamente reduzida com o aumento da dosagem de corretivo para todas as fontes utilizadas, havendo diferença significativa entre as fontes somente na dosagem de 300%, onde o resíduo LD apresentou a maior redução, provavelmente pelo seu maior PRNT e elevados teores de CaO e MgO, quando comparado ao CC e LA. Outro ponto relevante dessa informação é a acidez não trocável, correspondente ao íon hidrogênio em ligação covalente com as frações orgânicas e minerais do solo, cujo valor é obtido pela subtração do Al e do H+Al.

De acordo com Camargo et al. (1997), a elevação de um ponto na escala de pH é capaz de elevar a CTC em até 50%. Porém, tal fato não foi observado neste experimento, visto que houve aumento do pH mas a CTC não variou muito. Pelo contrário, o uso do CC diminuiu a CTC na dose de 150% e, na dose de 300% houve diminuição da CTC com o uso do LD.

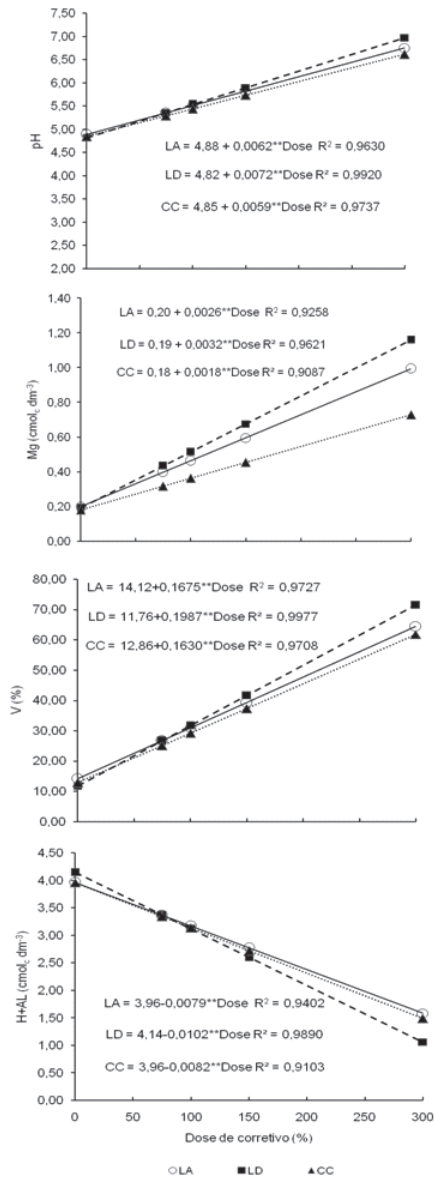
## **Influência das doses aplicadas**

O efeito de todos os materiais testados com relação à dose aplicada é semelhante: causa aumento linear para o pH, Mg e V e decréscimo linear para H+Al (Figura 1).

Com relação ao pH, o ajuste obtido para o resíduo LD evidenciou maior velocidade de reação. Nos teores de Mg, a menor elevação ocorreu com o uso do CC, seguido pelo resíduo LA e tendo como o mais eficaz o LD. Todos os materiais testados agiram de forma semelhante no aumento da saturação de bases, mas neste caso também o LD mostrou maior reatividade. O parâmetro H+Al diminuiu de forma semelhante em função das doses, destacando-se também o LD como o mais eficaz. Estes resultados são concordantes com os dados de caracterização das fontes de corretivo (Tabela 1), que evidenciam o resíduo LD como o mais reativo, com maior PRNT e maior concentração de Mg. Para o Ca e SB não há diferença para as fontes de corretivos utilizadas.

Não houve modelo estatístico que ajustasse os resultados obtidos para o Al, m e CTC de forma satisfatória, sendo assim, optou-se por aplicar o teste de Tukey para estudar o efeito das doses de cada material (Tabela 5). A aplicação do CC reduziu o teor e a saturação de Al a zero na menor dose aplicada e os resíduos necessitaram de doses maiores. O resíduo LD provocou a neutralização do Al na dose recomendada para calagem. Houve redução dos valores de CTC em função da dose do resíduo LD; as amostras tratadas com LA e CC não apresentaram diferenças significativas, mas houve redução entre a testemunha e os tratamentos.





**Figura 1.** Variação pH, Mg, V e H+Al em função da dose (\*\*Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

**Tabela 5.** Valores médios dos parâmetros analisados no solo tratado com resíduo do tear com lâmina de aço (LA), resíduo do tear diamantado (LD) e calcário comercial (CC). Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 5\%$ ) (\*Testemunha)

Doses	CTC ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )		
	LA	LD	CC
0%*	4,74 <sup>A</sup>	4,74 <sup>A</sup>	4,74 <sup>A</sup>
75%	4,54 <sup>B</sup>	4,72 <sup>A</sup>	4,36 <sup>B</sup>
100%	4,44 <sup>B</sup>	4,39 <sup>B</sup>	4,38 <sup>B</sup>
150%	4,46 <sup>B</sup>	4,32 <sup>B</sup>	3,96 <sup>C</sup>
300%	4,56 <sup>B</sup>	3,91 <sup>C</sup>	4,25 <sup>B</sup>
Doses	Al ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )		
	LA	LD	CC
0%*	0,6 <sup>A</sup>	0,6 <sup>A</sup>	0,6 <sup>A</sup>
75%	0,1 <sup>B</sup>	0,1 <sup>B</sup>	0,0 <sup>B</sup>
100%	0,1 <sup>BC</sup>	0,0 <sup>C</sup>	0,0 <sup>B</sup>
150%	0,0 <sup>CD</sup>	0,0 <sup>C</sup>	0,0 <sup>B</sup>
300%	0,0 <sup>D</sup>	0,0 <sup>C</sup>	0,0 <sup>B</sup>
Doses	m (%)		
	LA	LD	CC
0%*	52,5 <sup>A</sup>	52,5 <sup>A</sup>	52,5 <sup>A</sup>
75%	8,2 <sup>B</sup>	9,7 <sup>B</sup>	0,0 <sup>B</sup>
100%	3,5 <sup>C</sup>	0,9 <sup>C</sup>	0,0 <sup>B</sup>
150%	0,6 <sup>CD</sup>	0,0 <sup>C</sup>	0,0 <sup>B</sup>
300%	0,0 <sup>D</sup>	0,0 <sup>C</sup>	0,0 <sup>B</sup>

## Conclusões e recomendações

Os resíduos de mármore serrado com lâmina diamantada (LD) e com lâmina de aço (LA) podem ser classificados como dolomíticos, apresentando características de calcário “filler” por ter granulação mais fina do que 0,30 mm e reatividade igual ou superior a 100%.

Tanto a aplicação dos resíduos e quanto do calcário comercial elevaram as concentrações de Ca e Mg e o pH do solo, eliminando a toxicidade de Al. Portanto, todos os materiais testados possuem a reatividade adequada para serem utilizados como corretivo de acidez de solos.

O resíduo LA forneceu os maiores valores de SB ao solo e o CC, os menores valores. O aproveitamento dos resíduos LA e LD mostra-se potencialmente eficaz para prática de calagem do solo, observando as condições adotadas nesta pesquisa.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao SINDIROCHAS e ao SEBRAE (Convênio 064/07) pelo financiamento do projeto de pesquisa que deu origem a este trabalho.

## Referências bibliográficas

ALMEIDA, S. L. M. Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antonio de Pádua – RJ, Série Rochas e Minerais, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

BRAGA, F. S.; BUZZI, D. C.; COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Caracterização ambiental de lammas de beneficiamento de rochas ornamentais. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.15, p.237-244, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília: MAPA, 1983. 104p.

CALMON, J. L.; SILVA, S. A. C. Mármore e Granito no Espírito Santo: Problemas ambientais e soluções. In: Domingues, A. F.; Bosen, P. H. G.; Alipaz, S. A gestão de recursos hídricos e a mineração. Brasília: Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, 2006. p.199-231. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes\\_2006.asp](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes_2006.asp)>. 20 Abr. 2007.

CFSEM-G - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: UFV, 1999.359p.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto



e calcário. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.1307-1317, 2007.

DELLA FLORA, L. P.; ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C. Mobilidade de cátions e correção da acidez de um Cambissolo em função da aplicação superficial de calcário combinado com sais de potássio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1591-1598, 2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

FYFE, W.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. C. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.4, p.715-720, 2006.

SAEG - Sistema para análises estatísticas versão 9.1. Viçosa: UFV, 2007. Programa computacional.

SILVA, E. A.; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. Revista Árvore, v.32, p.323-333, 2008.

STRAATEN, P. Van. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.78, p.731-747, 2006.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.78, p.721-730, 2006.

# DESAFIOS EM SOBERANIA E SEGURANÇA ALIMENTAR: A UTILIZAÇÃO DA ROCHAGEM COMO FONTE ALTERNATIVA E SUSTENTÁVEL

*Luana Bispo de Assis<sup>1</sup>*  
*Nayra Thaís Ferreira Batista<sup>2</sup>*  
*Vilmar Antonio Ragagnin<sup>3</sup>*  
*Claudia Adriana Görden<sup>4</sup>*  
*Éder de Souza Martins<sup>5</sup>*  
*Antonio Alexandre Bizão<sup>6</sup>*  
*Lucas Ferreira de Morais<sup>7</sup>*  
*Eduardo Hack<sup>8</sup>*  
*Andrea Luiza Görden Marques<sup>9</sup>*  
*Raquel dos Santos Carvalho<sup>10</sup>*  
*Evanielle Clerici Arruda<sup>11</sup>*

## Resumo

A criação de sistemas mais sustentáveis se tornou uma imposição ambiental, econômica e jurídica, sendo destacável a premissa de desenvolver e utilizar fontes alternativas de nutrientes para as culturas, como os biofertilizantes e as fontes minerais naturais. A técnica de rochagem, que é a utilização do pó de rocha no manejo eficiente da fertilidade do solo, pressupõe que a dissolução mais lenta dos nutrientes assegura níveis de produtividade e de fertilidade dos solos por períodos mais longos. Dessa forma, o destino de subprodutos gerados pelo setor mineral seria mais nobre que o atual. A utilização de pó de rocha promove o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo devido à formação de novos minerais de

---

<sup>1</sup> Mestrando em Direito Agrário – UFG. luanabispoadvogada@gmail.com; <sup>2</sup> Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal). UFG - Campus Jataí. nayrathais88@gmail.com; <sup>3</sup> Docente de Agronomia. UFG - Campus Jataí. vilmar.ragagnin@gmail.com; <sup>4</sup> Engenheira Agrônoma - Mestre em Agronomia. claudiadrianagorden@gmail.com; <sup>5</sup> Doutor em Geologia – Embrapa Cerrados. eder.martins@embrapa.br; <sup>6</sup> Mestrando em Agronomia. IF – Rio Verde. aabizao@gmail.com; <sup>7</sup> Graduando de Engenharia Florestal, UFG - Campus Jataí. <sup>8</sup> Administrador de Agronegócio. agrodudas@hotmail.com; <sup>9</sup> Técnica Agrícola e Discente em graduação de Química Licenciatura, UFG - Campus Jataí. andrealuizagorden@gmail.com; <sup>10</sup> Bióloga Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) UFG - Campus Jataí. raquelbioufg@yahoo.com.br; <sup>11</sup> Pós-graduanda Agronomia (MBA Agroenergia). evanielle@hotmail.com.



argila durante seu processo de alteração, bem como a disponibilidade de macro e micronutrientes não disponíveis em fertilizantes químicos solúveis fornecedores de NPK.

**Palavra-chave:** Qualidade do alimento, sustentabilidade, remineralização do solo, rochagem.

## Introdução

Inúmeros estudos mostram as transformações da produção de alimentos, principalmente em relação a produtos que estão presentes diariamente na mesa do consumidor nos últimos anos. Consequentemente, cresce a preocupação com a segurança alimentar – a qualidade e a quantidade dos alimentos. Ao tratar de segurança alimentar, que se estende além do combate à fome e à pobreza, englobam também as ações de políticas públicas voltadas ao sistema agroalimentar, devendo a questão ser abordada de maneira mais abrangente, desde a forma de produção até o consumo. A complexidade do assunto leva a uma série de discussões de suma importância, passando pela definição e conceituação relacionada ao uso intensivo de insumos agrícolas, ao nível de dependência dos agricultores em relação às formas de manejo da fertilidade do solo agrícola e à busca da soberania alimentar. Este processo leva à necessidade de desenvolver e empregar novas técnicas na agricultura onde o processo e uso de recursos naturais, incluindo aí a energia fóssil, seja mais sustentável. Soberania alimentar que implica na busca da autossuficiência regional, para produzir o que a população local necessita ou deseja consumir.

Estima-se que no mundo, exista aproximadamente 816 milhões de pessoas em situação de insegurança alimentar, de forma que quase uma sexta parte ainda não conseguiu se alimentar de forma digna. Essa foi a conclusão dos delegados participantes da Cúpula Mundial da Alimentação organizada pela FAO, em Roma, em 1996. No mesmo evento vários países inclusive o Brasil, comprometeram-se reduzir pela metade o percentual de famintos em seu território até 2015. A técnica de rochagem, que é a utilização do pó de rocha, pode ser entendida como fertilização inteligente, uma vez que parte do pressuposto de que a dissolução mais lenta dos nutrientes assegura níveis de produtividade e de fertilidade dos solos por períodos mais longos. Dessa



forma, o uso de subprodutos gerados pelo setor mineral estaria tendo um uso mais nobre (Theodoro et al., 2010).

Apesar de pouco difundido no Brasil, o uso de rochagem como fonte de nutrientes não é novidade. Segundo Gillman et al. (2002), na década de 30 pesquisadores europeus utilizavam resíduos de pedreiras de basalto em tratamentos de áreas degradadas e no crescimento de florestas, tendo bons resultados. De acordo com Melamed et al. (2007), a utilização de pó de rocha promove o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), devido à formação de novos minerais de argila durante seu processo de alteração, bem como a disponibilidade de macro e micronutrientes não disponíveis em fertilizantes químicos solúveis fornecedores de NPK (Van Straaten, 2006). Outro fator de grande interesse é a disponibilização natural de nutrientes traços, disponibilizados pelas rochas.

A fim de reverter o cenário atual, de pouca utilização de pós de rocha e poucos esclarecimentos sobre o assunto, adotando tecnologias sustentáveis baseadas na agroecologia, a rochagem e os biofertilizantes se tornam, nesse contexto, a solução viável para solos de baixa fertilidade devido a períodos de intemperismo, situação comum nos solos brasileiros e que contribui para a baixa sustentabilidade das práticas agrícolas no Brasil (Theodoro e Leonardos, 2006).

Com tantos benefícios, o uso do pó de rocha deveria estar amplamente disseminado no Brasil. Apura-se que a técnica ainda não é empregada devido a fatores como: a falta de política pública de incentivo à utilização de formas alternativas na adubação, desinformação dos agricultores, falta de crédito para aquisição e transporte e, principalmente, regulamentação para o comércio de pós de rochas, pois ainda não há uma regulamentação clara sobre a forma de uso, especificações técnicas, garantias, limites e fiscalização da rochagem.

## **Metodologia**

Na última década ocorreram alterações significativas do Brasil no cenário global, resultado de diversas iniciativas que favoreceram a geração de empregos e renda, tornando-se um integrante do bloco das nações emergentes, denominado BRIC, que é composto por Brasil, Rússia, Índia e China, e se destacando em liderar negociações relativas ao comércio e à



política internacional<sup>12</sup>. De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia<sup>13</sup>, o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, porém participa com apenas 2% da produção mundial, atuando como grande importador de insumos agrícolas.

Soberania alimentar que, segundo Ferrante & Whitaker (2008), implica na independência total dos países, ou de regiões bem delimitadas, para produzir o que a população local necessita ou deseja consumir, sem depender das transnacionais quanto à produção de sementes, aos pacotes tecnológicos para a agricultura, que são viáveis apenas em grandes cultivos, além da independência do transporte de alimentos que encarece e os torna estéreis.

Por sua vez o sistema agroalimentar surge como uma ferramenta a fim de quebrar paradigmas e nortear ações, visando a uma junção entre a agricultura moderna e a soberania alimentar, focando segurança alimentar por meio de técnicas agrícolas.

Sonnino & Marsden (2006) abrem uma nova perspectiva ao tentar compreender o sistema agroalimentar como uma integração dos mercados locais e instituições, com o intuito de valorizar os recursos locais visando atender nichos de mercado. Com essa visão, os autores veem a oportunidade de “enraizamento”, ou seja, utilização e valorização dos produtos locais.

Segundo o art. 4º da Lei de Segurança Alimentar (LSA), Lei n. 11.346, de 15 de setembro de 2006, deve-se buscar condições de acesso aos alimentos por meio da produção, em especial da agricultura tradicional e familiar, visando, além da exportação, a geração de emprego e da redistribuição de renda. No art 5º da LSA, reforça-se que a consecução do direito humano à alimentação adequada e da segurança alimentar e nutricional requer o respeito à soberania, que “... confere aos países a primazia de suas decisões sobre a produção e o consumo de alimentos”.

Diante de tal cenário, pode-se citar a criação do Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – CONSEA – como um instrumento de articulação entre a sociedade civil e o Estado, com finalidade consultiva, auxiliando o governo na formulação de políticas públicas e nas orientações para que o País garanta o direito humano à alimentação adequada. Ademais, para resguardar que tais garantias sejam asseguradas, foi criado o Sistema

<sup>12</sup> Disponível em: <http://anpege.org.br/revista/ojs-2.2.2/index.php/anpege08/article/viewFile/158/RAE19>

<sup>13</sup> Disponível em: [http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_mineracao\\_brasileira/P29\\_RT53\\_Perfil\\_do\\_Fosfato.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P29_RT53_Perfil_do_Fosfato.pdf)





Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN – através da mesma Lei 11.346/2006, que tem como objetivo primordial promover o monitoramento e a avaliação da Segurança Alimentar e Nutricional do país, estimulando a integração dos esforços entre governo e a sociedade. A atual conjuntura demonstra o anseio do legislador em descentralizar o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, tornando-o um sistema integrado por uma série de órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e Municípios. No entanto, o SISAN é um sistema novo de políticas públicas, em fase de regulamentação. A necessidade de normatização visa assegurar futuros pactos intersetoriais e interfederativos necessária à devida estruturação do Sistema.

Ademais, o Brasil é um grande exportador de alimentos e também um grande produtor mineral, indicando assim uma imensa disponibilidade de fontes de extração de minérios para efeito do uso de rochas moídas para o manejo da fertilidade do solo. Este processo é conhecido como rochagem. Dentre as principais rochas para uso agrícola, citam-se carbonatitos, fonolitos, basaltos, kamaufugitos, xistos, filitos, margas, fosfatos entre outros. Tais rochas são em geral compostas por minerais tais como olivinas, anfibólios, piroxênios, micas, feldspatos e apatitas que são quimicamente formados por compostos carbonáticos, silicatos e fosfatos, com cálcio, magnésio, potássio, fósforo e uma extensa gama de microelementos.

A criação de sistemas mais sustentáveis se tornou uma imposição ambiental, econômica e jurídica, sendo destacável a premissa de desenvolver e utilizar fontes alternativas de nutrientes para as culturas, como os biofertilizantes e as fontes minerais naturais. A técnica de rochagem, que é a utilização do pó de rocha no manejo eficiente da fertilidade do solo, pressupõe que a dissolução mais lenta dos nutrientes assegura níveis de produtividade e de fertilidade dos solos por períodos mais longos. Dessa forma, o destino de subprodutos gerados pelo setor mineral seria mais nobre que o atual. A utilização de pó de rocha promove o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo devido à formação de novos minerais de argila durante seu processo de alteração, bem como a disponibilidade de macro e micronutrientes não disponíveis em fertilizantes químicos solúveis fornecedores de NPK.



## Resultados e reflexões

No Brasil ainda existe muita fome e miséria. Para mudar ainda precisamos de ação. Ações produtivas que leve a criação de alternativas e à construção de novas relações econômicas. A rochagem e os biofertilizantes se tornam, nesse contexto, uma solução viável para solos de baixa fertilidade química, situação comum nos solos brasileiros e que contribui para a baixa sustentabilidade das práticas agrícolas no Brasil. A técnica da rochagem ainda não é empregada devido a fatores como: a falta de política pública de incentivo à utilização de formas alternativas na adubação, desinformação dos agricultores, pesquisa científica ainda incipiente, falta de crédito para aquisição e transporte e, principalmente, regulamentação para o comércio de rochas silicáticas para a agricultura. Ainda não há uma regulamentação clara sobre a forma de uso, especificações técnicas, garantias, limites e fiscalização da rochagem. Todos estes fatores são os pontos que dependem do desenvolvimento de políticas públicas, da atuação dos próprios pesquisadores, das experiências dos agricultores e do desenvolvimento de produtos pelos mineradores.

## Conclusões

Constata-se que a interdependência destes fatores é muito complexa e não pode ser levada por apenas um Setor. A atuação de cada Setor – agricultura, pesquisa, mineração e gestão pública – não apresenta um comportamento necessariamente convergente. A estratégia para a convergência constitui um grande desafio de articulação, ainda sem uma forma definida de gestão compartilhada entre os setores envolvidos.

A fim de reverter o cenário atual, que na agricultura está implantado, adotando tecnologias sustentáveis baseadas na agroecologia, a rochagem e os biofertilizantes se tornam, nesse contexto, a solução viável para solos de baixa fertilidade devido a períodos de intemperismo. Este tipo de Situação é comum nos solos brasileiros e contribui para a baixa sustentabilidade das práticas agrícolas no Brasil (Theodoro e Leonardos, 2006).

O impacto da do uso da rochagem como fonte mineral alternativa no setor da agroalimentação é ambiental, pois o pó de rocha é considerado um fertilizante mineral natural; e econômico, pois que diminuiria a pressão pela



importação de fertilizantes, dos quais o Brasil é dependente. Portanto, ao se utilizar a rochagem, há ganho ambiental e diminuição de custos.

## Agradecimentos

Financiamento: FINEP - Projetos Demonstrativos do Uso de Novas Fontes e Rotas Tecnológicas de Agrominerais na Produção de Biocombustíveis Líquidos (ROCKBIOCOM), Projetos Pilotos do Uso de Novas Fontes e Rotas Tecnológicas de Agrominerais na Produção de Biocombustíveis Líquidos (ROCKAPL); Sociedade Ecológica de Jataí (SEJA); Itaforte; Pedreiras Araguaia; Universidade Federal de Goiás-Campus Jataí (UFG).

## Referências bibliográficas

BRASIL. Constituição Federal de 5 de outubro de 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm). Acesso em: 06 jul. 2008.

\_\_\_\_\_. Decreto n.º 4.105 de 22 de fevereiro de 1868. Disponível em: <http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=74305>>. Acesso em: 20 ago. 2008.

\_\_\_\_\_. Decreto-lei n.º 9.760, de 5 de setembro de 1946. Disponível em: <http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=74305>. Acesso em: 20 ago.2008.

\_\_\_\_\_. Lei n.º 1.507, de 26 de setembro de 1867. Disponível em: <http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=74360>>. Acesso em: 20 ago. 2008.

\_\_\_\_\_. MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/104872861/6-1-PU-Itinga>. Acesso em: 17 out.

\_\_\_\_\_. MAPA. Instrução Normativa 007, de 17 de maio de 1999. Primeiro regulamento brasileiro relativo à agricultura orgânica, relacionam-se entre os insumos permitidos as farinhas e pós de rochas. A oficialização da rochagem na agricultura orgânica brasileira não garante a possibilidade de registro das farinhas e pós de rochas, dentro das normativas atuais. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/104872861/6-1-PU-Itinga>. Acesso em: 17 out.

\_\_\_\_\_. MAPA. Lei 6.894, de 16 de dezembro de 1980. D.O.U. de 17 de dezembro de 1980. Normatiza condicionador de solo como produto que apresente CRA, foi a opção vigente para o registro do MB4. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/104872861/6-1-PU-Itinga>. Acesso em: 17 out.

\_\_\_\_\_. Ministério das Minas e Energia. Contrato nº 48000.003155/2007-17: Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 – 2030) de geologia, mineração e transformação mineral. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_mineracao\\_brasileira/P29\\_RT53\\_Perfil\\_do\\_Fosfato.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P29_RT53_Perfil_do_Fosfato.pdf). Acesso em: 15 out.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM  
12 A 17 DE MAIO DE 2013 – POÇOS DE CALDAS/MINAS GERAIS

---

\_\_\_\_\_. CONSEA. Conselho Nacional da Segurança Alimentar. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/consea/publicacoes/publiuacoes-arquivos/a-seguranca-alimentar-e-nutricional-e-o-direito-humano-a-alimentacao-adequada-no-brasil>. Acesso em: 15 out.

\_\_\_\_\_. Senado Federal. Projeto de lei 212/2012. Proposta de alteração da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Disponível em: [http://www.senado.gov.br/atividade/materia/detalhes.asp?p\\_cod\\_mate=106149](http://www.senado.gov.br/atividade/materia/detalhes.asp?p_cod_mate=106149). Acesso em: 15 out.

D'ANDRÉA, Paulo Antônio. **O uso da rochagem no Brasil: regulamentação**. <http://www.agrolibertas.com/wp-content/uploads/2011/08/ROCHAGEM-NO-BRASIL2.pdf>.

DEVES, Otávio Diel; FILIPPI, Eduardo Ernesto. A SEGURANÇA ALIMENTAR E AS EXPERIÊNCIAS DAS POLÍTICAS AGRO-ALIMENTARES LOCAIS NO FORTALECIMENTO DA AGRICULTURA FAMILIAR. IV Congresso Internacional de La Red SIAL. Argentina, Mar del Plata, 27 al 31 de Octubre de 2008.

EARLY, R. Guide to Quality Management Systems for the Food Industry. London: Blackie Academic and Professional, 1995, p. 306.

FALCÃO, Ismael Marinho. Direito Agrário Brasileiro: doutrina, jurisprudência, legislação e prática. Bauru, SP: EDIPRO, 1995.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001. JONHSTON, B.F.; KILBY, P. Disponível em: [www.aba-groecologia.org.br/ojs2/index.php/rbagroecologia](http://www.aba-groecologia.org.br/ojs2/index.php/rbagroecologia) Acesso em: 25 out. 2012.

MELAMED, Ricardo. O fósforo na agricultura brasileira: uma abordagem minero-metalúrgica. Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_sed/sed-67.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sed/sed-67.pdf). Acesso em: 25 out. 2012.

MORAES, Alexandre de. Constituição do Brasil Interpretada e Legislação Constitucional. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

SANCHEZ, P.A., K.D. Sherpherd, M.J. Soule, F.M. Place and R.J. Izac *et al.*, 1997. Soil Fertility Replenishment in Africa: An Investment in Natural Resource Capital. In: Replenishing Soil Fertility in Africa, Buresh, R.J., P.A. Sanchez and F. Calhoun (Eds.). SSSA and ICRAF, Madison, USA., pp: 1-46. Disponível em: <http://scialert.net/fulltext/?doi=ijss.2011.259.266&org=10>. Acesso em: 25 out. 2012.

CONDICIONADOR DE SOLO PÓ DE ROCHA. Em: <http://www.bonsolo.com.br/produtos/condicionador-de-solo-po-de-rocha/>. Acesso em: 17 out. 2012.

SONNINO, R. & MARSDEN, T.; Beyond the divide: rethinking relationships between alternative and conventional food networks in Europe Journal of Economic Geography, nº06, pp.181-199, 2006. Em: <http://www.cetem.gov.br/agrominerais/novolivro/cap13.pdf>. Acesso em: 20 out. 2012.

VAN STRAATEN, P. Agrogeology – the use of rocks for crops. Enviroquest, Cambridge, Canada, 440p.

WHITAKER, Dulce Consuelo Adreata. Soberania alimentar e assentamentos de reforma agrária. In: FERRANTE, Vera L. S. B.; WHITAKER, Dulce Consuelo Adreata (Org.). Reforma Agrária e desenvolvimento. Desafios e rumos da política de assentamentos rurais. Vol. 01. Brasília/Araraquara: MDA - Ministério do Desenvolvimento Agrário/UNIARA (co-editor), 2008.

# PRODUÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E REJEITOS MINERAIS

*Juliana Mariano Alves<sup>1</sup>  
Fred Newton da Silva Souza<sup>1</sup>  
Candice Colombo dos Santos<sup>2</sup>  
Marcus Henrique M. Silva<sup>3</sup>  
Aliandeson P. Santana<sup>4</sup>*

## Resumo

O presente estudo avalia a utilização de minerais na forma de pó de rocha, fosfato natural e gesso agrícola, em associação com resíduos orgânicos, no processo de compostagem, e o enquadramento dos produtos resultantes aos critérios da legislação para produção e comercialização de adubo orgânico e fertilizante organomineral.

**Palavras-chave:** compostagem, agroindústria, rejeitos de mineração, organomineral.

## Introdução

A Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) – 10004 ABNT (2004) descreve resíduos sólidos como sendo aqueles que resultam de atividades inerentes aos processos industrial, doméstico, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição agrícola. As questões ambientais relacionadas à produção de resíduos têm provocado cada vez mais interesse e preocupação a todos que se envolvem com a atividade industrial e agrícola, isso devido a grande quantidade de resíduos que vem sendo produzida e cuja taxa de geração é muito maior que sua degradação. Na tentativa de equacionar esse problema, Veras e Povinelli (2004) descrevem vários métodos de tratamento e disposição de resíduos pesquisados em todo o mundo, dentre eles a compostagem.

<sup>1</sup> UNITINS/NUDAM, [juliana.ma@unitins.br](mailto:juliana.ma@unitins.br); <sup>2</sup>CNPq/UNITINS/NUDAM; <sup>3</sup>CNPq/PIBIC/UNITINS; <sup>4</sup>CNPq/PIBITI/UNITINS.

Segundo Correia et al. (2003) os resíduos agroindustriais vêm sendo progressivamente reciclados ou reutilizados como alternativa de minimização de impactos ambientais, mas também, de redução dos custos do próprio processo produtivo. Para os autores, o aumento dos custos dos fertilizantes comerciais somados a crescente preocupação com a poluição ambiental torna atrativo o uso dos resíduos sólidos orgânicos na agricultura, desde que adequadamente manipulados.

De acordo com Matos (2005), dentre as técnicas de transformação de resíduos orgânicos, a compostagem é a mais amplamente difundida, sobretudo, devido sua praticidade e resultados alcançados, possibilitando a obtenção de fertilizantes de grande valor para as plantas. A compostagem é um processo biológico aerado de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos, resultando na fragmentação gradual e oxidação dos detritos (Budziak et al., 2004).

O produto da compostagem é mais comumente denominado adubo orgânico, porém, conforme a Lei nº 6.894/80 que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de insumos para a agricultura, o mesmo pode ser classificado como fertilizante orgânico ou condicionador de solo.

No Brasil, os principais resíduos agroindustriais com potencial para uso agrícola, dada a composição e escala de produção, são os resíduos da indústria sucroalcooleira, da produção animal, da indústria de frutas e hortaliças, da produção de carvão vegetal e as palhadas. Neste contexto, o presente estudo soma-se aos objetivos do Projeto Agricultores Experimentadores, executado pelo Núcleo de Desenvolvimento e Avaliação de Desempenho Ambiental – NUDAM/UNITINS, com apoio financeiro do CNPq/MCTI, para avaliar a produção de fertilizantes organominerais a partir da associação de rejeitos de mineração (pó de rocha) a resíduos agroindustriais.

## **Objetivo**

Avaliar o processo de compostagem de diferentes misturas de resíduos orgânicos agrícolas e agroindustriais, e o enquadramento dos produtos resultantes conforme os critérios previstos na legislação para organocompostos e fertilizantes organominerais.

## Metodologia

A pesquisa compreende diferentes fases: i) a caracterização dos resíduos envolvidos; ii) a definição dos tratamentos e amostragens; iii) o monitoramento e avaliação; iv) sistematização e discussão dos resultados.

## Caracterização dos resíduos

A fase inicial da pesquisa envolveu a quantificação dos resíduos na fonte a partir de entrevista com os gestores das empresas, além da revisão bibliográfica sobre a legislação, o processo de compostagem e as características dos resíduos envolvidos. Os resíduos utilizados no experimento de compostagem são oriundos das atividades agroindustriais do setor sucroalcooleiro (Unidade Industrial da Bunge, Pedro Afonso-TO), e da produção de aves (Unidade de Alimentos Frango Norte, Paraíso do Tocantins-TO).

Da unidade de produção de açúcar e bioenergia (Bunge) utilizou-se a palha de cana (PC) pela inexistência de destinação adequada, e a cinza da caldeira (CZ) por não ser totalmente aproveitada na adubação das novas áreas de plantio. Outro aspecto igualmente importante é o volume desses resíduos gerados diariamente: 60 t dia<sup>-1</sup> de palha de cana (PC) e 100 t dia<sup>-1</sup> de cinza de caldeira (CZ).

Da unidade de alimentos (Frango Norte) os resíduos gerados diretamente no abate das aves têm destinação definida pela legislação vigente. Portanto, utilizou-se a cama de frango (CF) resultante da criação das aves nas granjas dos produtores integrados, em grande parte utilizada como fonte de matéria orgânica sem qualquer tratamento, principalmente em cultivos de banana e seringueira. Da mesma forma que os demais resíduos, o volume de cama de frango gerado diariamente é expressivo: 25 t dia<sup>-1</sup> (CF).

Amostras dos resíduos foram coletadas, de forma que as análises de composição química complementam a caracterização dos mesmos, e fornecem informações importantes para a definição das proporções das misturas das pilhas de compostagem – tratamentos.

## Tratamentos e amostragens

Os trabalhos foram realizados no Centro de Ciências Agrárias – CCA/UNITINS, e além dos resíduos orgânicos (cama de frango, palha de cana e cinza de bagaço) foram utilizados como componentes minerais: pó de rocha; fosfato natural; e gesso agrícola. A Tabela 1 resume as proporções dos componentes orgânicos e minerais considerados na pesquisa.

O experimento foi conduzido durante o mês de fevereiro de 2012, em espaço coberto, de maneira a evitar problemas decorrentes da ação das chuvas, com efeitos sobre a evolução do processo de compostagem. Ao todo foram avaliados 17 tratamentos caracterizados por diferentes proporções de misturas de resíduos orgânicos – compostos orgânicos, e desses com os minerais – organominerais (Tabela 1).

Antes de iniciar a montagem das pilhas de compostagem os resíduos foram triturados e, posteriormente, misturados com o auxílio de uma betoneira elétrica 400L. Durante a mistura foi pulverizada água de poço para obter 50-55% de umidade. A quantidade de água aplicada foi calculada com base nos teores de umidade dos resíduos e suas respectivas proporções nas misturas. As leiras de formato piramidal (*windrow*), com 1,2 m de diâmetro por 1,5 m de altura, perfizeram um volume de aproximadamente 0,7 m<sup>3</sup>.

**Tabela 1.** Proporções dos componentes orgânicos e minerais dos tratamentos.

Componentes*	Organocompostos									Organominerais					
	Tratamentos/Proporções da Misturas														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PC	70	50	60	40	40	40	65	50	33	50	50	50	40	40	40
CF	30	50	30	40	40	40	20	30	33	20	20	20	20	20	20
CZ			10	20	20	20	15	20	33				10	10	10
PR										30	15	10	30	15	10
FN											15	10		15	10
GA												10			10
Biotec**				20	0	30									

\* Palha de Cana (PC); Cama de Frango (CF); Cinza de Caldeira (CZ); Pó de Rocha (PR); Fosfato Natural (FN); Gesso Agrícola (GA);

\*\* Produto comercial aplicado diluído na água (L.t-1).



## Monitoramento e avaliação dos parâmetros

O monitoramento dos tratamentos (pilhas de compostagem) levou em conta os parâmetros temperatura e umidade. Para cada parâmetro foram realizadas 03 amostragens em diferentes locais, sendo uma no topo e as outras duas nas laterais da pilha de composto. A temperatura foi medida diariamente duas vezes ao dia, sendo uma aferição pela manhã e a outra no final da tarde, com o auxílio de um Termômetro Soloterm 1200 acoplado a uma sonda de penetração (SOLOTEST: -70 a 1200°C; resolução 0,1°C; 9V; 450 mm). Da mesma forma, a umidade também foi determinada diariamente, sempre pela manhã, com medidor automático de umidade de solo com sensor (Hidrofarm HFM-2030: 0-60%; resolução 0,1%;  $\pm 3\%$ ).

A avaliação dos produtos obtidos em cada tratamento envolveu os seguintes parâmetros: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) carbono (C), matéria orgânica (MO), pH, CTC, relação C/N e metais pesados (Cu, Zn, Cd, Ni e Pb). As análises realizadas em laboratório especializado e certificado atendem as disposições legais do Ministério da Agricultura - MAPA, especialmente das IN 23/2005 e 27/2006.

## Resultados

Diante dos dados de temperatura e umidade obtidos durante o monitoramento das pilhas de compostagem, e dos resultados das análises dos produtos obtidos (Tabela 2), constatou-se que:

- a) todos os tratamentos/misturas atingiram temperatura superior a 50°C entre 3 e 5 dias após a mistura e formação das pilhas, condição considerada ideal para uma satisfatória eliminação dos patógenos (Khiel, 1985; Mukhtar et al., 2004);
- b) quase todas as pilhas tiveram a umidade mantida acima de 40% até o 10º dia após o início da compostagem, garantindo as condições necessárias para promover a atividade microbiana (Merckel, 1981; Pereira Neto, 1987; Khiel, 1985);
- c) as misturas com adição de minerais tiveram a temperatura elevada mais lentamente quando comparadas àquelas que envolveram apenas resíduos orgânicos, porém, apresentaram menor variação de umidade ao longo do período;

- d) o aumento da proporção de cama de frango (CF) na mistura resultou em elevação mais rápida da temperatura (64,8°C às 72 horas), e também nos teores de N, P e K, além de variações positivas na relação C/N e na DQO;
- e) a redução na proporção de palha de cana (PC) e adição de cinza de bagaço (CZ) na mistura não só aumentou os teores de N, P e K, mas também resultou na menor relação C/N e DQO dentre os tratamentos avaliados;
- f) a adição de minerais à mistura resultou em produtos com baixo teor de N e elevada relação C/N, apesar da DQO próxima de 700mg/g indicar que o composto está bioestabilizado;
- g) os tratamentos que envolveram apenas resíduos orgânicos (1, 2 e 4) geraram produtos que preenchem todos os requisitos dispostos na Instrução Normativa N° 25/2009 para enquadramento como produto organocomposto: carbono orgânico  $\geq 8\%$ ; umidade  $\leq 30\%$ ; CTC  $\geq 80$  mmol/kg; e teor de macro e micronutrientes  $\geq 10\%$ .

**Tabela 2.** Resultado analítico dos parâmetros físico-químicos dos diferentes tratamentos.

Parâmetros*	Misturas - Compostos Orgânicos									Misturas - Organominerais						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
pH	CaCl <sub>2</sub>	8,2	8,2	7,2	8,4	8,5	8,8	7	7,1	7,2	7,6	7,4	7,3	7,4	7,3	7,4
M.O.	%	53,0	9,80	33,2	46,8	49,4	50,0	48,8	43,8	51,2	55,6	50,0	42,6	52,4	52,0	49,0
N		0,69	1,56	1,41	1,51	1,07	1,07	0,47	0,52	0,51	0,36	0,47	0,34	0,36	0,52	0,56
P		2,46	3,15	1,72	3,05	2,84	3,43	1,60	2,01	1,42	1,11	4,86	2,97	1,15	3,82	3,14
K		1,91	2,51	1,76	2,41	2,46	2,26	1,36	1,26	1,56	1,96	1,41	1,31	1,36	1,06	1,16
Ca		3,20	2,90	2,40	3,40	3,10	2,90	2,00	2,60	2,20	2,10	4,80	5,30	2,30	4,60	5,40
Mg		0,83	0,81	0,77	0,86	0,86	0,83	0,79	0,76	0,79	0,97	0,89	0,83	0,95	0,84	0,83
S		0,94	0,77	0,53	0,55	0,62	0,54	0,49	0,74	0,59	0,37	0,29	1,40	0,49	0,31	0,63
C		29,4	5,44	18,4	26,0	27,4	27,8	27,1	24,3	28,4	30,9	27,8	23,7	29,1	28,9	27,2
B		51,4	105	53,1	49,9	67,5	67,0	74,3	57,2	54,8	60	42,2	43,7	45,6	59,1	73,9
Cu	74,0	92,3	67	92	83,0	73,5	48	55,8	62,0	44,6	44,2	47,1	48,1	46,5	43,9	
Fe	7556	5387	8963	7189	8021	8223	8589	8300	8317	8463	7786	7377	8345	8132	7304	
Mn	594	652	480	746	686	660	383	407	458	589	742	580	562	686	542	
Zn	433	462	405	457	447	439	336	354	360	271	314	324	287	293	308	
Cd	mg/Kg	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,13	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14
Pb	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Cr	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ni	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
C.T.C.	mE/100g	122	138	114	121	127	119	87,5	110	112	102	101	111	101	94	102
DQO	mg/g	785	145	492	693	732	741	723	649	758	823	741	631	776	770	726
DA	kg/dm <sup>3</sup>	0,48	0,29	0,48	0,38	0,37	0,39	0,39	0,35	0,34	0,56	0,61	0,59	0,50	0,63	0,53
CTC/C		4,1	25,3	6,2	4,7	4,6	4,3	3,2	4,5	3,9	3,3	3,6	4,7	3,5	3,3	3,7
C/N		42,7	3,5	13,1	17,2	25,6	26,0	57,7	46,8	55,8	85,8	59,1	69,6	80,9	55,6	48,6

M.O. = Matéria Orgânica; N = Nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; C = Carbono; B = Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco; Cd = Cádmiu; Pb = Prata; Cr = Cromo; Ni = Níquel; CTC = Capacidade de Troca Catiônica; DQO = Demanda Química de Oxigênio; DA = Densidade Aparente.



## Conclusões

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a adição dos minerais, na forma de pó de rocha, fosfato natural e gesso agrícola, têm efeito positivo sobre o teor de nutrientes dos produtos; esses materiais contribuem para a manutenção da umidade da pilha, mas, por consequência, afetam a taxa de elevação da temperatura da pilha de compostagem; assim, sugere-se a utilização desses materiais na fase final do processo de produção do fertilizante organomineral, depois de concluída a compostagem e obtido o adubo orgânico ou organocomposto.

Os resultados dos tratamentos que envolveram apenas a mistura de resíduos orgânicos revelam que esses materiais são complementares, especialmente quanto a possibilidade de se obter um organocomposto bioestabilizado em 10 dias; da mesma forma, os resultados demonstram que as características dos produtos obtidos atendem os critérios definidos pela legislação vigente (IN 025/2009).

O estudo contribui para comprovar que a compostagem e a produção de fertilizantes organominerais compreende importante alternativa para a destinação adequada dos resíduos agroindustriais e rejeitos da indústria mineral.

## Agradecimentos

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento das pesquisas, especialmente a equipe de pesquisadores, técnicos e estudantes do Núcleo de Desenvolvimento e Avaliação de Desempenho Ambiental – NUDAM/UNITINS.

## Referências Bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. São Paulo, 2004.

BUDZIAK, C. R., MAIA, C. M. B. F. & MANGRICH, A. S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. Química Nova, vol.27, nº3. 2004, p.399-403. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>. Acessado em 20 de abr. 2013.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM  
12 A 17 DE MAIO DE 2013 – POÇOS DE CALDAS/MINAS GERAIS

---

CORREIA, D.; ROSA, M. F.; NOROES, E.R.V. Uso do pó da casca de coco na formulação de substratos para a formação de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce. Revista Brasileira de Fruticultura, 25:557-558, 2003.

KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.

MATOS, A. T. Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se água residuária de suinocultura como fonte de nitrogênio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2: 199-203 n.2. 2005.

MERCKEL, A. J. Managing livestock wastyes. Westport: Avi Publishing Company, 1981.

MUKHTAR, S; KALBASI, A; AHMED, A. Carcass disposal: A comprehensive review. Kansas: EUA, 2004.

PEREIRA NETO, J. T., 1987: "On the Tratment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Technology Aproach". University of Leeds, Inglaterra. p. 839-845.

VERAS, L.R.V.; POVINELLI, J. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.9: 7,2004.

# POTENCIAL DE AGROMINERAIS DO ESCUDO DO RIO GRANDE DO SUL

*João Angelo Toniolo<sup>1</sup>*

*Giovani Parisi<sup>1</sup>*

*Magda Bergmann<sup>1</sup>*

*Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>*

*Adilson Luís Bamberg<sup>3</sup>*

*Rosane Martinazzo<sup>2</sup>*

*Matheus Grecco<sup>4</sup>*

## Resumo

No Escudo Sul-Rio-Grandense o trabalho de prospecção de agrominerais se faz a partir dos dados aerogeofísicos obtidos em levantamento de 2010, executado pela CPRM e do levantamento de geoquímica em sedimentos ativos de corrente, água e solo.

Entre os tipos de rochas favoráveis neste domínio, destacam-se aquelas que apresentam conteúdos elevados de fósforo e potássio, além de outros macro e micronutrientes, e também as rochas ultramáficas, que têm potencial para uso como corretivo de solos.

Os testes de desempenho agrônômico de várias rochas selecionadas estão em andamento na Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. Diversos materiais têm apresentado potencial de utilização na agricultura regional, principalmente quando estes são combinados com outras fontes minerais e orgânicas, formando matrizes multielementares de liberação gradual de nutrientes. Isso confere maior eficiência de utilização dos recursos naturais, redução de custos com o uso de fertilizantes e da dependência externa brasileira por insumos. Dentre os agrominerais analisados destacam-se os carbonatitos, os fonolitos Passo da Capela e rochas anômalas em K.

**Palavras-chave:** prospecção, agrominerais, litoquímica, rochagem, avaliação agrônômica.

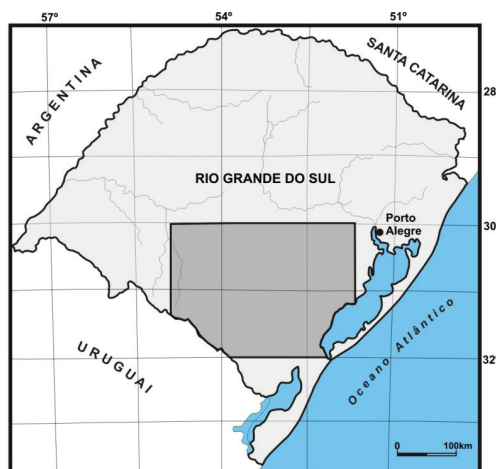
<sup>1</sup> Geólogo, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM – Serviço Geológico do Brasil Rua Banco da Província, 105 90840-030 Porto Alegre, RS, Brasil. joao.toniolo@cprm.gov.br; giovani.parisi@cprm.gov.br; magda.bergmann@cprm.gov.br; <sup>2</sup>Eng. Agrônomo(a), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, BR 392 Km 78, Caixa Postal 403, 96010-971 - Pelotas, RS, Brasil. augusto.posser@embrapa.br; rosane.martinazzo@embrapa.br; <sup>3</sup>Eng. Agrícola, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, BR 392 Km 78, Caixa Postal 403, 96010-971 - Pelotas, RS, Brasil. adilson.bamberg@embrapa.br <sup>4</sup> Acadêmico do Curso Engenharia Geológica – UFPEL. grecco.eg@hotmail.com

## Introdução

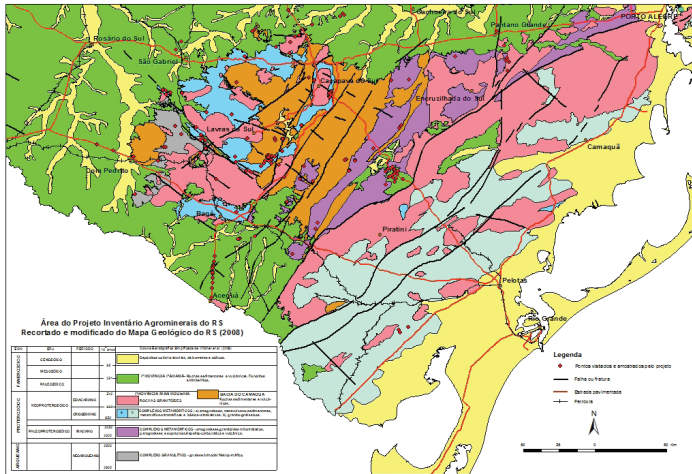
A empresa Companhia de Pesquisas Minerais-CPRM - Serviço Geológico do Brasil desenvolve no Escudo do Rio Grande do Sul (RS) projeto com foco em minerais úteis à agricultura e à agroindústria. A área do escudo, com aproximadamente 50.000 km<sup>2</sup>, (Fig. 1), compreende rochas ígneas, metamórficas, e sedimentares, com conjuntos de litotipos caracteristicamente diversificados, com potencial tanto para produção de fertilizantes como para emprego em remineralização de solos, além de emprego como corretivo de acidez (Figura 2).

## Materiais e métodos

A seleção de áreas-alvos é seguida por verificação de campo e coleta de amostras para litoquímica, acompanhada por medidas de níveis radiométricos discriminados para K, Th e U, bem como do magnetismo remanente das rochas. Os resultados poderão indicar alvos para trabalhos de sondagem e avaliação de reservas. As amostras analisadas integrarão um banco de dados geoquímicos, de maneira a permitir a avaliação dos tipos de rochas destinadas à indústria de fertilizantes bem como à rochagem.



**Figura 1.** Localização da área da prospecção para agrominerais no Escudo Sul-Rio-Grandense



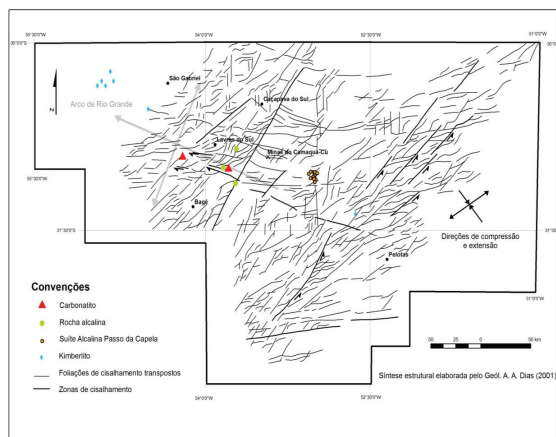
**Figura 2.** Mapa geológico simplificado da área de prospecção para agrominerais no Escudo do RS, modificado de Wildner *et al.* 2008.

## Resultados e Conclusões

A CPRM já identificou dois corpos de rochas carbonatíticas portadoras de fosfato (Figura 3, Toniolo *et al.* 2010 e Parisi *et al.* 2011). A descoberta destes corpos abriu novas perspectivas no potencial e na prospecção de fosfato no Escudo do RS, já observadas pelo início da pesquisa da nova associação carbonatítica por empresas privadas.



**Figura 3.** À esquerda foto do afloramento do carbonatito isotrópico Joca Tavares; à direita testemunhos de sondagem do carbonatito foliado Três Estradas.



**Figura 4.** Síntese estrutural do escudo Sul-Rio-Grandense com a localização das rochas alcalinas e associadas, ao longo do denominado Arco de Rio Grande. In: Toniolo *et.al.* (2007).

Ainda constituem descobertas inéditas diversas ocorrências de rochas com teores de  $K_2O$  entre 7% e 17%, detectados em campo com uso de gama espectrômetro, em afiliações de composição ácida e básica (Figura 5), além de novas ocorrências de rochas ígneas e tufos alcalinos.

Dentre as rochas alcalinas já conhecidas a Suíte Alcalina Passo da Capela (Figuras 4 e 6), no município de Piratini, consiste em uma série de chaminés de natureza alcalina (Figura 6), intrusivas em sedimentos triássicos da Bacia do Paraná, com diâmetros aflorantes da ordem de 150 m e menores, alojados em um extenso vale limitado por zonas de falhas transcorrentes de direção NE e com estruturas distensivas de direção NW, em meio ao Escudo Sul-Rio-Grandense. Esta suíte é importante pela presença de rochas fonolíticas e sieníticas ricas em potássio, e que contam com exemplo já certificado no Brasil para uso como remineralizador de solos. Os fonolitos têm se mostrado eficientes no fornecimento de K às plantas, com a ressalva dos teores de Na que podem limitar seu uso. Por outro lado, por serem desprovidas de quartzo, estas rochas apresentam teores de silício que merecem estudos que identifiquem a solubilidade deste elemento, de maneira a caracterizar também seu potencial como fornecedoras de Si para as plantas.





**Figura 5.** À esquerda, afloramento de rocha básica anômala para potássio; à direita, leitura de 8,7% de K no gama espectrômetro no mesmo afloramento.

Outro corpo alcalino de destaque é o sienito Piquiri, intrusão localizada ao sul de Cachoeira do Sul, que é lavrado para exportação de rocha ornamental e apresenta nas suas lavras grande quantidade de *bota-fora* (Figura 7), embora em blocos grandes e de rocha muito dura. Este corpo apresenta teores de  $P_2O_5$  entre 0,14 e 0,72%. No entanto as rochas sieníticas como esta se revestem de importância especial pela possibilidade da ocorrência de corpos de apatitito nas rochas encaixantes, modelo que é no momento alvo de prospecção pela CPRM. O projeto cadastrou também outras rochas de interesse como fontes de agrominerais, tanto em jazimentos rochosos como em *bota-foras* de lavras de mármore, além de andesitos, basaltos, rochas da associação alcalina como gabros, harzburgitos, lamprófiros e diques de olivina gabros. Ainda foram identificados filonetes e veios de carbonato e de barita.



**Figura 6.** Feição característica dos corpos da Suíte Alcalina Passo da Capela, que se destacam como pequenas elevações isoladas na topografia, com capões de mata nativa nos topos em meio a rochas sedimentares de relevo suave-ondulado.



**Figura 7.** Bota fora do sienito Piquiri que apresenta teores de fosfato em entre 0,14 e 0,72 (Jost 1985).

Dentre as rochas interessantes para remineralização de solos destacam-se os mármore e rochas metabásicas da Mina da Palma, lavra de calcário calcítico situada no município de São Gabriel (Figuras 8 e 9).

O mármore da Mina da Palma no município de São Gabriel - RS é utilizado na fabricação de cimento. O mármore é encaixado por metabasaltos e xistos magnesianos, (rochas de cor escura), que constituem parte dos rejeitos.

Esta mina apresenta pilhas de rejeito de altura em torno de 20 m e extensão em área de vários hectares. Estas pilhas expõem blocos de mármore

calcítico de alto teor de pureza, com porções à wollastonita, bem como descartes da rocha encaixante, como metabasaltos e xistos magnesianos com teores favoráveis de CaO, MgO e  $P_2O_5$ .



**Figura 8.** Piso da Mina da Palma, ao fundo mármore calcítico empregados na indústria de cimento e xistos máficos em intrado de dobra.



**Figura 9.** Aspecto de uma das pilhas de descarte da Mina da Palma, com blocos de mármore calcítico de alto teor e de xistos máficos (rochas escuras).

**Tabela 1.** Litoquímica dos Xistos Máficos

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
CaO	10,05	8,37	6,69
MgO	6,54	4,14	8,92
$P_2O_5$	0,21	0,36	0,4
$K_2O$	0,98	2,68	0,71



Amostras de rocha dos locais supracitados e de outras localidades com tipos de rochas do Escudo encontram-se na Embrapa Clima Temperado Pelotas - RS, onde são caracterizados física e quimicamente e submetidos a diferentes testes agrônômicos como em colunas de lixiviação, experimentos de casa de vegetação e experimentos de campo. Os resultados preliminares obtidos em colunas de lixiviação vêm demonstrando o potencial de liberação de nutrientes para a solução do solo. Como exemplo tem-se o Carbonatito Três Estradas que apresenta rápida liberação de cálcio e magnésio, além de ser um potencial fornecedor de fósforo às plantas. Entretanto, carbonatitos como o Três Estradas costumam não apresentar liberação imediata de P, especialmente em solos pouco ácidos com pH próximo de 6,0. Dentre os fonolitos, potenciais fornecedores de K às plantas, também não foi possível observar rápida liberação de K em colunas de lixiviação, provavelmente pelo fato de o K advir de feldspatos potássicos, minerais considerados como de liberação muito lenta. Todavia, estão em andamento estudos com os fonolitos e carbonatitos com a presença de plantas para contrastar com os resultados encontrados nos experimentos com colunas de lixiviação.

## Referências Bibliográficas

- JOST, H.; BROD, J. A.; HOLZ, M.; KUHN, A.; FLOR, M. A. D.; KRONBAUER, A.; DILLEMURG, S. Geologia estrutural, petrografia e petrologia do sienito Piquiri (Proterozoico Superior), Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2., 1985, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBG, 1985. p. 63-88.
- PARISI, G. N.; TONIOLO, J. A.; GRAZIA, C. A.; PINTO, L. G. R. Prospecção de fosfato no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 2010. p.236.
- TONIOLO, J. A.; GIL, C. A. A.; SANDER, A. **Metagenia das bacias Neoproterozoico-Eopaleozóicas do Sul do Brasil:** Bacia do Camaquã. Porto Alegre: CPRM, 2007. 1 CD ROM. (Informe de Recursos Minerais, Série Metais, Informes gerais, n.1). PROJETO BANEO.
- TONIOLO, J. A.; PARISI, G. N.; GRAZIA, C. A.; REISCHL, J. L. **Prospecção de fosfato na região de Três Estradas, Lavras do Sul, RS.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EXPLORAÇÃO MINERAL, 4., 2010, Ouro Preto. [Sessão Pôster]. Ouro Preto: ADIMB, 2010.
- WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. da C.; IGLESIAS, C. M. da F. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul:** Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2008. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil; Mapas Geológicos Estaduais.

# ROCHAGEM NO SUL DOS ESTADOS DO MARANHÃO E PIAUÍ

*Valter José Marques<sup>1</sup>  
Suely Serfaty-Marques<sup>2</sup>*

## Resumo

O atual modelo produtivo agrícola de grãos praticado nos chapadões do sul dos estados do Maranhão e Piauí, segundo as análises de futuro utilizando-se ferramentas de planejamento estratégico, manifesta-se insustentável no médio-longo prazos. Levantamentos geológicos elaborados nessa região apontam para a extensa ocorrência de agrominerais e corpos rochosos favoráveis à prática da rochagem, o que contribuirá para a conservação dos solos e recursos hídricos.

**Palavras-chave:** rochagem, cenários, desenvolvimento sustentável, agricultura.

## Introdução

A gestão territorial vivencia o impasse gerado pelo embate das visões conservacionista versus desenvolvimentista e as formas disseminadas de planejamento incapazes de gerenciar esse conflito. Com o Renascimento e a Revolução Industrial no século XVIII e o surgimento da ciência econômica, idealizou-se que o futuro das sociedades poderia ser construído por meio de modelos políticos e econômicos. Por mais de dois séculos, imaginou-se ser possível determinar o futuro por meio de formas de governo e gerenciamento que direcionassem a um desejável cenário, caracterizado por um crescimento econômico, com diminuição da pobreza e conforto coletivo.

Não obstante, as sociedades e suas civilizações continuaram dependentes do meio físico-biótico, cuja apropriação causa profundos impactos. Por outro lado, constatou-se que análises ambientais baseadas na capacidade de suporte ambiental são insuficientes para que se alcance

<sup>1</sup> Geólogo da CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belém – PA. [valter.marques@cprm.gov.br](mailto:valter.marques@cprm.gov.br);

<sup>2</sup> Geóloga da CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belém – PA. [suely.marques@cprm.gov.br](mailto:suely.marques@cprm.gov.br)

a sustentabilidade; há de se aliar vontade e a criatividade humanas com as necessidades sociais, material, mental e espiritual – utilizando-se novas ferramentas ao planejamento, no que se convencionou denominar *construções de futuros através de técnicas de cenários prospectivos* (GODET, 1985) – assunto objeto deste trabalho.

## Revisão da Literatura

### Cenários

Cenários examinam, de forma probabilística, os condicionantes que poderão ocorrer em um dado sistema e que o transformarão da cena atual (diagnosticada) para um novo estado futuro. São alicerçados pela aplicação de técnicas bem conhecidas conjugadas através de procedimentos bem testados, por cerca de meio século.

### Visão sistêmica

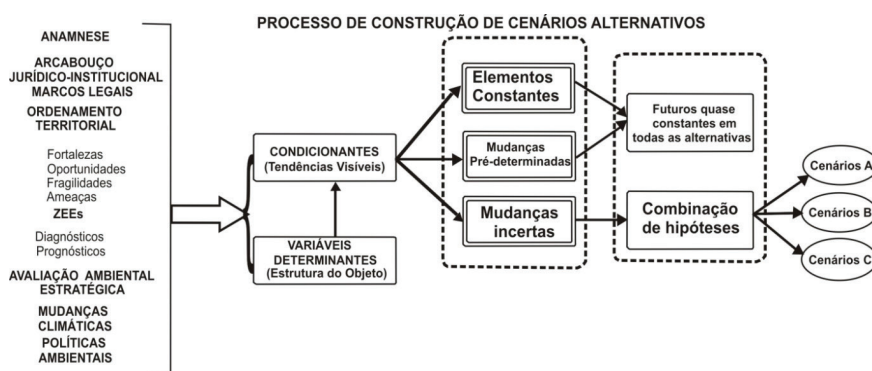
Como premissa, as análises territoriais devem abordar as interações dos múltiplos e complexos sistemas constituídos por fatores estruturantes, operacionalizados por processos já atuantes ou que virão a surgir; dentre os fatores estruturantes mencionam-se o clima e os recursos ambientais ou sociais; já os processos referem-se a mudanças que condicionam o futuro do território, mencionando-se as mudanças climáticas, sociais ou tecnológicas.

### Objetivos e aplicação dos cenários

Dentre os principais objetivos dos estudos de cenarização, mencionam-se:

- Estabelecimento de critérios para a exploração sustentável;
- Avaliação custo/benefícios da exploração econômica;
- Visualização dos impactos cruzados;
- Pré-condicionantes de políticas **públicas**;
- Torna evidentes as medidas preventivas, corretivas ou mitigatórias;
- Atuar como um instrumento viabilizador na formulação de pactos sociais.

No período de 2006 a 2009, os autores desenvolveram trabalhos de inserção da cenarização no Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) dos estados do Piauí e Maranhão, utilizando-se de um esquema metodológico como ilustrado na Figura 01.



**Figura 1.** Metodologia e técnicas de construção de cenários. Modificado de Buarque (2003).

Objetivando estreitar o foco das investigações de cenarização, agruparam-se as informações temáticas em banco de dados, geoprocessando-as, de modo a se identificar situações tipificadas por variáveis essenciais ao planejamento territorial, como: (i) localização das potencialidades; (ii) fragilidades dos diferentes recursos ambientais; (iii) usos atuais e potenciais do território; (iv) áreas de conservação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC); (v) áreas de uso restrito pelo Código Florestal; (vi) áreas de proteção permanente; (vii) zonas de conflitos potenciais ou existentes; (viii) áreas de uso econômico; (ix) áreas destinadas a “reservas de futuro”.

## Usos do Território

Constata-se que os cenários econômicos elaborados para a região analisada negligenciam o papel dos recursos minerais, o que, se justificável ante a pequena contribuição econômica do setor mineral, esconde o fato de que sob a perspectiva sistêmica as atividades minerais são basilares para o surgimento e desenvolvimento de inúmeros outros setores da economia, além de contribuírem para a agregação de valor aos serviços ambientais.



## **Agronegócio**

Além de sediar importantes corredores de exportação de *commodities* agrícolas, Maranhão e Piauí deverão abrigar importantes polos agroindustriais em suas porções centro-meridionais onde já se concentram – e deverão se expandir – as atividades agrícolas (soja e grãos), além da pecuária. Nesse cenário, é previsível o aumento da demanda por agrominerais e recursos hídricos. Às vantagens comparativas representadas pelos posicionamentos geográficos e pela rede logística de transporte sobrepõem-se variadas condições de aptidão agrícola, que incluem vastos territórios com excelentes condições para práticas dos mais diversos tipos de agronegócio. É importante, ressaltar, contudo, que o atual modelo exploratório agrícola aponta para a progressiva degradação dos solos e dos recursos hídricos.

## **Vetores econômicos**

As cenas, nos próximos 20 anos, deverão ser dominadas pelo atendimento às necessidades de produção de grãos para mercados externos – acompanhando as previsíveis estratégias do país. Dentre as oportunidades relativas ao setor mineral, além do ouro, gesso e materiais de construção, o contexto geológico é favorável a descobertas de gemas, minerais industriais e agrominerais (P, K, Ca, Mg) e pó de rocha. Ações conjuntas de órgãos do MME, como o DNPM e a CPRM/SGB, mais bem aparelhados e adequadamente orientados, deverão repercutir na forma de grandes melhorias, capazes de influir no cenário tendencial, em decorrência da exploração desses recursos.

## **Porção Meridional do Maranhão e do Piauí: plantio extensivo de grãos**

A paisagem é dominada por chapadões, chapadas e *cuestas* abrigadas por climas amenos, com estações bem definidas, onde se pratica a agricultura de grãos, sobretudo a soja. A presença de recursos minerais aplicáveis na correção e fertilização dos solos constitui-se em elemento de vantagem comparativa, ao que se somam os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.





Os riscos dizem respeito à suscetibilidade à erosão dos solos e consequente assoreamento das drenagens, com graves impactos sobre as águas superficiais. A potencialidade das águas subterrâneas é expressiva, mas não se dispõem de dados que permitam sua captação e utilização segura. Há de se considerar que as águas subterrâneas constituem um recurso não renovável (em tempos históricos) – no vale do Gurgueia (PI), por exemplo, há cerca de quatro décadas, o uso indiscriminado dos poços subterrâneos tem rebaixado o nível dinâmico a taxas de 1 m/ano – e que sendo uma área de recarga de aquíferos, a prática da agricultura requer o manejo adequado de defensivos agrícolas e corretivos. Nos vales entalhados, o uso econômico mais provável é o desenvolvimento de sistemas agropecuários e florestais.

## Variáveis (Elementos) Determinantes

A economia regional estrutura-se em dois grandes eixos de dinamismo e modernização (i) agronegócio, com destaque para a moderna produção da região sul, onde se expande a soja e a pecuária; (ii) complexo minero-metalúrgico, concentrado no oeste (Açailândia, Imperatriz e Santa Inês), no norte do Maranhão e sobretudo, no entorno de São Luís, com base em produção e beneficiamento de minérios de alumínio e ferro, bem como, (iii) atividades turísticas relacionadas ao potencial da zona costeira e alguns polos interioranos destacados favorecidos pelas grandes belezas naturais do litoral e riqueza cultural, pré-colombiana e oriunda da colonização europeia.

## Infraestrutura

A infraestrutura encontra-se conectada a um conjunto multimodal de transportes, que corresponde ao corredor Centro-Norte do Brasil Central; corredor Norte/Nordeste, por meio da Hidrovia Araguaia-Tocantins, da Ferrovia Norte-Sul; corredor da Estrada de Ferro Carajás, integrado ao sistema rodoviário tradicional e ao sistema ferroviário da Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN).

O Maranhão articula-se, desse modo privilegiado, com extensas regiões do país, abrangendo no todo ou em parte os estados do Piauí, Pará, Tocantins, Mato Grosso e Bahia. O Maranhão articula-se, ainda, com o exterior e o restante do país, via cabotagem, por meio do Complexo Portuário do Itaqui, além do complexo hidroviário formado pelos rios Tocantins,



Araguaia e das Mortes, integrados a segmentos rodoviários e às ferrovias Norte-Sul e Carajás.

## **Fatores Emergentes**

São notáveis fatores recentes (últimas duas décadas) o surgimento da agricultura intensiva, nos chapadões ao sul de Maranhão e Piauí e no Tocantins, bem como o grande desenvolvimento do polo de Carajás (no Pará), com profundas mudanças na economia regional, ademais já impactada com a criação do Estado do Tocantins.

## **Condicionantes**

Merecem destaque as ocorrências de lentes carbonáticas nas bordas das chapadas, onde acontecem as grandes práticas agrícolas, ao que se deve somar que os levantamentos geológicos realizados na Bacia do Parnaíba ressaltam o potencial geológico das formações sedimentares, com respeito a agrominerais, dolomitos, calcários, gipsita e fosfato principalmente.

A ocorrência de extensas formações vulcânicas representadas pelos extensos derrames de basaltos e diques de diabásio das formações Mosquito, no Maranhão, e Sardinha, no estado do Piauí, ilustram o potencial para a produção de pó de rocha com vistas à rochagem; e não se deve descartar a hipótese da descoberta de condutos alcalinos especializados, constituídos por rochas ultrapotássicas (kamafugitos), comuns nesse tipo de terreno. Tendo em vista investigar, mesmo que de forma preliminar, esses ambientes geológicos, em recentes trabalhos de campo de programa voltado ao estudo da geodiversidade regional, foram coletadas amostras para análises químicas, conforme ilustrado no Quadro 1, onde se observam os distintos quimismos e as condições de afloramento da Formação Pastos Bons e dos basaltos Mosquito e Sardinha.

**Quadro 1.** Resultados analíticos de amostras coletadas no projeto levantamento da geodiversidade do Estado do Maranhão.

Amostra	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS	
	TAF980	TAF982
Ambiência	Siltito esverdeado da formação Pastos Bons	Sequência de pelitos na formação Pastos Bons
SiO <sub>2</sub>	60,18	65,37
TiO <sub>2</sub>	0,87	0,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,39	5,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,19	1,54
MnO	0,03	0,06
MgO	4,36	1,78
CaO	0,63	10,42
Na <sub>2</sub> O	0,21	0,27
K <sub>2</sub> O	5,91	1,89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,05
P.F.	5,75	8,48
<b>Soma</b>	102,57	95,77



No que tange aos sedimentos da Formação Pastos Bons, ressalta-se que o registro sedimentar é ainda pouco conhecido e que a extensão e localização de suas potencialidades carecem de estudos complementares. As amostras coletadas apresentaram composição química bastante promissora com vistas à rochagem, inclusive com a presença de carbonato e algum fósforo. A extensão geográfica, a variabilidade faciológica e o fato de que esses sedimentos, pouco consolidados, constituem superfícies planas e elevadas, conferem-lhe uma característica favorável à exploração por meio de bancadas a céu aberto.

No pacote sedimentar destacam-se, ainda, as características composicionais das zeólitas que cimentam os arenitos da Formação Corda, intercalados com os basaltos da Formação Mosquito, Rezende (2002). Conquanto a ocorrência de zeólitas por meio de processos supergênicos em arenitos associados a rochas vulcânicas seja conhecida há bastante tempo, deve-se ressaltar a excelência das condições geológicas que caracterizam o sul do estado do Maranhão, explicitadas por extensa ocorrência em superfície (Figura 2) e em subsuperfície.

Ocorre que a economicidade que se buscou alcançar nas pesquisas precedentes foi direcionada ao uso das zeólitas como espécies puras, o que é dificultado pelo fato de estar-se lidando com um universo de mais de 200 espécies minerais; ademais, no caso da rochagem, fatores referentes ao tipo de grade cristalina decorrentes de pequenas variações nos conteúdos químicos não deverão ter a mesma importância relativa (restrições) se comparados aos usos que requerem monomineralidade.



**Figura 2.** Afloramento de arenitos zeolitizados.

Com respeito aos basaltos, reconhece-se a existência de dois grandes pulsos magmáticos: um com idade entre 160-190 m.a. (Formação Mosquito), que ocupa uma posição mais ocidental dentro da Bacia do Maranhão e outro pulso magmático com 115-122 m.a. (Formação Sardinha), na margem oriental dessa bacia.

Essas duas províncias apresentam características geoquímicas distintas, o que permite prognosticar que a sua utilização como remineralizadores de solos venha a revelar resultados distintos. A salientar, dentre as diferenças, que a província oriental apresenta maiores conteúdos em Fe, Ti, Mn, Na, K e P e menores conteúdos em Mg (Tabela 1).

**Tabela 1.** Comparação entre basaltos das formações Mosquito e Sardinha, amostra deste trabalho.

Elementos	Província Ocidental – Baixo Ti	Província Oriental – Alto Ti	Amostra TAF983 Formação Mosquito
	Formação Mosquito Idade: 160-190 m.a.	Formação Sardinha Idade: 115-122 m.a.	
SiO <sub>2</sub>	51,5-53,5%	49,20-53,00%	49,79%
TiO <sub>2</sub>	1,03-1,8%	2,5-4,14%	1,73%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14-15%	12,8-14,5%	14,83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,5-10,3%	12-13,8%	12,69%
MnO	0,14-0,18%	0,17-0,20%	0,2%
MgO	6,0-8,0%	4,2-5,3%	5,61%
CaO	9,3-11,6%	5,4-9,10%	9,5%
Na <sub>2</sub> O	1,80-2,50%	2,5-4,0%	1,75%
K <sub>2</sub> O	0,60-1,50%	1,5-2,5%	1,88%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14-0,19%	0,5%-1,0%	0,15%

Fonte: Fodor et al. (1990), modificado.



## Mudanças Incertas

Ainda que o desenvolvimento econômico sob a ótica do atendimento às demandas externas por *commodities* nos próximos 20 ou 25 anos venha a se confirmar e que ademais sejam atendidos os pré-condicionantes referendados pelos estudos de ZEE e Cenários Econômicos já propostos, convém que se façam os seguintes questionamentos: As zonificações e os cenários efetuados abrangem todas as facetas de um projeto de desenvolvimento sustentável? b) Como se dará a conservação dos serviços ambientais? c) Quais as estratégias para melhoria dos processos econômicos, com vistas à sustentabilidade ambiental (econômica, social e meio natural)? O presente trabalho enfoca especificamente as pesquisas científicas e o fomento a inovações tecnológicas - como a rochagem - para que se viabilize um futuro que, além de ampliação das oportunidades econômicas incorpore sustentabilidade ambiental ao modelo do agronegócio.

## Considerações Finais e Conclusões

Conjugando todos os elementos de conhecimento da geodiversidade anteriormente tratados, podem-se destacar alguns fundamentos de uma estratégia geral que norteie o desenvolvimento sustentável do Maranhão. O primeiro ponto a considerar é a previsão de que o cenário mais provável, segundo a FAO - *Food and Agriculture Organization*, será marcado por um grande aumento da demanda mundial por alimentos. Tal previsão levou em conta o crescimento econômico das economias emergentes do planeta e a ascensão social dos imensos segmentos sociais mais pobres. Segundo essas previsões, o Brasil deverá contribuir com 40% dessa demanda.

Do ponto de vista estratégico, em nível nacional, o principal gargalo, hoje, é a logística de transporte até os portos de escoamento, já que, regionalmente, a região avaliada está em situação relativamente privilegiada. O agronegócio moderno baseia-se em clima + água + corretivos dos solos e, nesse contexto, a disponibilização de agrominerais clássicos e as descobertas de outros tipos, que começam a ser evidenciados, configuram-se como elementos fundamentais para a sustentabilidade desse eixo econômico. O papel da mineração para a formação de capital e produto interno bruto



(PIB) é bastante conhecida e o estados do Maranhão e Piauí apresentam potencial ainda não revelado devido à falta de conhecimento geológico adequado. A exploração dos materiais de construção, agrominerais e gemas oportunizam políticas públicas que promovam o associativismo e a formação de arranjos produtivos locais, buscando-se atender à demanda política por um desenvolvimento econômico incluyente.

Por último, permeando todas as linhas de desenvolvimento, cabe mencionar o papel estratégico da educação e da pesquisa tecnológica, afinadas ao plano estratégico, sob pena da cena final caracterizar-se por um baixo desenvolvimento social local e os resultados econômicos afluírem para outros núcleos de decisão, restando às populações locais herdar os passivos ambientais.

## Referências Bibliográficas

BUARQUE, S.C. Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2003. (Texto para discussão, 939).

GODET, M. Prospective et planification strategique. Paris: CPE-Economica, 1985.

FODOR, R.V.; SIAL, A.N.; MUKASA, S.B.; McKEE, E.H. 1990. Petrology, isotope characteristics, and K-Ar ages of the Maranhão, northern Brazil, Mesozoic basalt province. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104: 555-567.

MARQUES, V.J.; SERFATY-MARQUES, S.O zoneamento ecológico-econômico como ferramenta do planejamento e da gestão territorial. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. Resumos Expandidos... Belém: SBG-Núcleo Norte, 2001b.

**REZENDE**, N. das G.A. da M. A zona zeolítica da formação Corda, Bacia do Parnaíba. 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

SANTOS, M. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1996.

# POTENCIAL PARA ROCHAGEM DE ROCHAS SEDIMENTARES DA BACIA DO AMAZONAS NO PARÁ

*Firmino C. Correia Jr.<sup>1</sup>  
Marcelo Lacerda Vasquez<sup>1</sup>*

## Resumo

A CPRM tem feito um importante estudo na Bacia do Amazonas no Estado do Pará, e as rochas sedimentares fosfáticas nesse ambiente podem ser importantes no fornecimento de nutrientes às atividades agrícolas locais. Além disso, o governo local tem programas de incentivo à agricultura sustentável, podendo ter a rochagem como um fundamental aliado destes programas.

**Palavras Chave:** Bacia do Amazonas, Paleozóico, Rochas sedimentares, Fosfato, *Rochagem*.

## Introdução

O Projeto Fosfato Brasil, desenvolvido desde 2009 pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), tem como objetivo a ampliação das reservas brasileiras de fosfato, através da avaliação do potencial brasileiro para novos depósitos, sejam eles sedimentares e/ou magmatogênicos. O trabalho aqui apresentado refere-se a dados obtidos nas áreas Altamira - Itaituba e Monte Alegre - Alenquer, referente a municípios do Estado do Pará, inseridos nas bordas sul e norte, respectivamente da Bacia do Amazonas, com o objetivo de se localizar mineralizações de fosfato de origem sedimentar para a produção de fertilizantes. Como este setor produtivo ainda está em desenvolvimento no Brasil, a produção nacional ainda não é autossustentável, o que demanda importações com preços crescentes. Por isso, alternativas consorciadas ou não aos fertilizantes como a calagem, fosfatagem e o pó de rocha são ações ainda usuais.

---

<sup>1</sup> CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência de Belém. [firmينو.correia@cprm.gov.br](mailto:firmينو.correia@cprm.gov.br), [marcelo.vasquez@cprm.gov.br](mailto:marcelo.vasquez@cprm.gov.br)





## Objetivos

No intuito de ampliar as descobertas, foram realizados estudos orientativos de geoquímica e geofísica nas principais mineralizações de fosfato existentes no Brasil, tendo sido destacadas várias anomalias geofísicas como potenciais para a descoberta de depósitos de fosfato magmatogênico, em todo o território nacional. Os resultados até 2010 estão publicados em um informe de Recursos Minerais da CPRM (Abram et al. 2011).

E aliado a este objetivo principal, pretende-se neste trabalho alertar e tornar relevante a possibilidade de ampliar o conhecimento de pequenos depósitos e/ou ocorrências pouco potenciais à produção de fertilizantes, porém muito importantes à produção agrícola de subsistência e de pequenos pólos ainda esquecidos ou desprovidos de grandes créditos agrícolas, tomando como base a estimulação do uso de pó de rocha como insumo importante da produção.

## Metodologia

Uma pesquisa bibliográfica contínua e estudos dirigidos aos alvos potenciais das principais rochas sedimentares clásticas e químicas da Bacia do Amazonas, norteiam e orientam os trabalhos realizados até o momento. Incluindo interpretações de dados aero geofísicos e imagens de satélite e radar, geoquímica de solo e sedimentos de corrente, coleta de dados geofísicos terrestres, além de um mapeamento sistemático na escala de 1:50.000.

## Contexto Geológico

Embasado por terrenos granito-greenstones e cinturões de alto grau metamórficos pré-cambrianos, o arcabouço estratigráfico da Bacia do Amazonas, considerando-se as premissas da Estratigrafia de Seqüências, apresenta duas importantes megasseqüências de primeira ordem, que totalizam cerca de 5.000 m de preenchimento sedimentar e ígneo. São elas: uma paleozóica, constituída por rochas sedimentares de naturezas variadas, associadas a um grande volume de intrusões de diques e soleiras de diabásio mesozóicos, e uma mesozóico-cenozóica sedimentar. (Cunha et al. 2007).

O trabalho desenvolvido pelo Projeto Fosfato nesse âmbito tem trabalhado principalmente nas seqüências clásticas pelíticas e químicas do Devoniano ao Carbonífero, passando pelas formações Barreirinha, Curiri, Oriximiná, Faro e Itaituba, além de seqüências clásticas mais arenosas como as das formações Erere e Maecurú. Mas outras formas de ocorrências podem ser encontradas, por exemplo: magmáticas e supergênicas como visto no contexto tectônico do estado do Pará (Figura 1).

## Contexto Político-Econômico

A atual política agrícola estadual tem como fundamento a mudança de paradigmas de produção por modelos mais eficientes em termos do uso dos recursos naturais, conjugada ao estímulo a atividades e práticas agropecuárias de baixa emissão de carbono, à otimização das áreas já antropizadas, e à preservação da floresta nativa, o que pressupõe a necessária incorporação de conhecimento, informação e tecnologia, em termos de processos produtivos, produtos e gestão.

Com isso, o objetivo fundamental desta política é promover a intensificação, diversificação e verticalização do setor agropecuário e florestal, sob o triplo enfoque de garantir a segurança alimentar da população, orientar a produção para uma economia de baixo carbono e incentivar a recomposição da cobertura florestal de áreas protegidas, sempre na perspectiva de elevar o valor agregado e a competitividade da produção local, e o incremento dos níveis de renda e emprego da população. (Nunes, 2012)

Para os materiais serem usados como agrominerais através do método de rochagem (uso direto de pó de rochas silicáticas e fosfáticas) devem seguir algumas premissas: a maioria das rochas potenciais é a base de silicatos cuja solubilidade de macro e micronutrientes é mais lenta que a dos compostos solúveis (sulfatos, fosfatos, carbonatos, cloretos,...) usados pela indústria de corretivos e fertilizantes; sua exploração deve ser próxima a fonte consumidora, principalmente pólos de agricultura familiar.

Um exemplo interessante e que pode fornecer subsídios para um programa de trabalho em conjunto com a rochagem são os programas de frutas, principalmente cacau e banana, que tem seus maiores pólos agrícolas nas regiões do Baixo Amazonas e Xingu (Figura 2). O mesmo

pode ocorrer para os programas de plantio de florestas, que objetivam a conservação da biodiversidade no entorno dessas regiões bem como na região da Transamazônica.

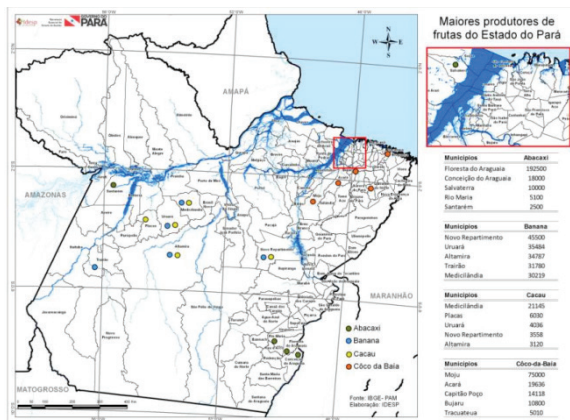
## Resultados

Na Figura 3, tem se cartografada as áreas onde os estudos foram desenvolvidos, e o resultado da escolha dessas localidades refletem, neste momento, as principais áreas com um importante potencial ao estudo da rochagem, não só pelo seu aporte mineral de rochas fosfatadas, mas também porque podem compreender entre outras, rochas básicas também relevantes.

Os resultados analíticos de rochas (Tabela 1), solos e sedimentos de corrente, aliados aos aero levantamentos gama espectrométricos e os levantamentos gama espectrométricos terrestres, têm mostrado predominantemente que as rochas clásticas finas como os pelitos e folhelhos são os principais hospedeiros da mineralização fosfatada, e estas em geral são representadas pela formação Barreirinha. Outras unidades também têm hospedado a mineralização, porém o seu controle e continuidade espacial são menos precisos.

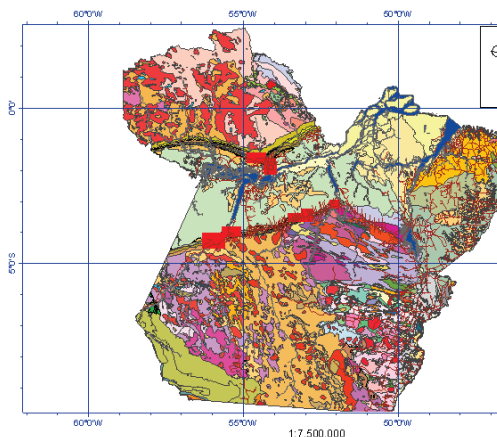
**Tabela 1.** Principais resultados analíticos de rochas encontradas no flanco sul da Bacia do Amazonas.

Sample	Al2O3 %	CaO %	Cr2O3 %	Fe2O3 %	K2O %	MgO %	MnO %	Na2O %	P2O5 %	SiO2 %	TiO2 %	LOI %	Sum %
1	7,72	<b>32,01</b>	<0,01	2,11	1,09	0,26	0,06	0,86	<b>24,69</b>	24,34	0,61	5,78	99,55
2	5,45	<b>10,39</b>	<0,01	39,01	0,5	1,9	0,21	0,28	<b>7,28</b>	9,17	0,21	23,62	98,04
3	13,71	<b>9,75</b>	<0,01	3,78	2,23	0,35	0,02	0,19	<b>9,77</b>	57,71	1,17	4,99	103,68
4	11,58	<b>28,01</b>	<0,01	2,89	1,34	0,3	0,03	0,7	<b>22,1</b>	22,28	0,61	5,94	95,78
5	8,36	<b>23,54</b>	<0,01	24,38	0,58	0,48	0,11	0,19	<b>20,54</b>	9,2	0,31	12,75	100,44
6	10,89	<b>29,34</b>	<0,01	2,51	1,02	0,28	0,02	0,34	<b>24,1</b>	22,46	0,58	4,86	96,38
7	7,85	<b>28,63</b>	<0,01	4,85	1,12	0,43	0,09	0,96	<b>22,26</b>	26,57	0,67	6,32	99,76
8	14,58	<b>9,73</b>	0,03	26,43	<0,01	2,11	0,17	0,08	<b>7,42</b>	35,68	0,72	6,56	103,52
9	19,45	<b>1,72</b>	0,01	25,5	1,34	1,76	0,12	0,08	<b>2,2</b>	41,76	0,99	6,95	101,89
10	7,54	<b>2,29</b>	0,04	8,34	1,92	0,63	0,04	0,05	<b>1,75</b>	71,88	1,14	3,22	98,84
11	7,03	<b>5,21</b>	0,02	11,18	0,25	0,78	0,05	0,04	<b>4,23</b>	70,05	0,8	2,8	102,44
12	15,98	<b>2,33</b>	0,03	22,84	0,8	3,43	0,18	0,05	<b>2,26</b>	48,79	0,83	5,95	103,48
13	13,36	<b>2,68</b>	0,02	27,13	0,06	1,52	0,12	<0,01	<b>4,99</b>	43,2	0,69	7,77	101,52
14	18,39	<b>11,46</b>	0,01	10,56	3,27	1,25	0,03	0,33	<b>9,78</b>	41,69	0,88	5,27	102,92
15	12,37	<b>19,51</b>	0,03	8,11	2,23	0,92	0,03	0,27	<b>15,35</b>	33,8	0,64	4,71	97,98
16	14,97	<b>2,87</b>	0,03	14,96	2,16	2,59	0,19	0,06	<b>3,24</b>	50,92	0,91	6,44	99,34
17	12,61	<b>7,5</b>	0,03	22,34	<0,01	1,79	0,12	<0,01	<b>7,16</b>	41,29	0,64	6,52	99,99
18	13,87	<b>2,81</b>	0,03	31,52	0,02	2,37	0,2	<0,01	<b>3,89</b>	33,73	0,62	9,62	98,67
19	17,69	<b>2,88</b>	0,03	24,8	<0,01	3,4	0,23	<0,01	<b>6,44</b>	33,44	0,61	9,24	98,76
20	15,52	<b>1,26</b>	0,01	25,52	0,95	1	0,08	0,04	<b>3,23</b>	38,13	0,71	10,17	96,63
21	17,35	<b>3,67</b>	0,01	31,72	0,06	2,65	0,17	0,01	<b>5,26</b>	31,15	0,73	9,71	102,48
22	9,72	<b>15,63</b>	<0,01	17,85	0,05	1,16	0,08	0,1	<b>12,56</b>	32,24	0,57	5,3	95,48
23	14,05	<b>12,38</b>	0,01	9,98	2	1,04	0,05	0,3	<b>9,86</b>	44,71	0,8	4,93	100,12
24	14,19	<b>19,02</b>	0,03	9,66	2,03	0,8	0,08	0,22	<b>15,12</b>	32,03	0,68	5,15	98,99



**Figura 2.** Localização dos municípios que mais produzem frutas do estado do Pará. *In:* Nunes, 2012.

Outro fator importante quando se fala em rochagem para as áreas indicadas, é que os folhelhos e pelitos ora mencionados, são rochas de densidades amenas e em geral físeis e de fácil quebra e desagregação, isto é, podem ser transformadas em pó sem a necessidade de uso de explosivos para desmonte.



**Figura 3.** Mapa geológico do Pará (Vasquez & Travassos, 2008) com as áreas potenciais para estudos de rochagem de rochas fosfatadas.



Essa boa correlação do CaO com o  $P_2O_5$  vista em campo, também é retratada nos resultados de geoquímica analítica e acaba por se confirmar através dos resultados analíticos de difração de raios X que indicam a formação de cristais raros mas bem definidos de carbonato-apatita de origem marinha. O resultado analítico das amostras de solos coletados nessas regiões (quase 655 amostras) também mostra resultados interessantes, mesmo compondo perfis intemperizados, cuja média encontrada é de 330 ppm, e nas porções mais anômalas os valores podem oscilar entre 1000 e 2000 ppm de P, com um pico de até 7900 ppm no solo.

Como sabemos o fósforo (P) é o segundo nutriente mais comumente aplicado às culturas. Os solos brasileiros normalmente apresentam baixa quantidade desse elemento e sua mineralogia e pH favorecem a alta capacidade de fixação do fósforo, formando compostos com ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn). Pelo fato desses compostos serem insolúveis e indisponíveis às plantas, aplicações de P superiores às requisitadas pelas culturas tornam-se necessárias.

Um estudo de viabilidade agrônômica nestas amostras ainda não foi realizado, mas espera-se que em pouco tempo esse deverá ocorrer com o apoio de convênios realizados entre a CPRM e intuições especializadas. Conjuntamente a essa ação, as análises dos solos onde serão aplicados o pó de rocha, devem ser realizadas para que se possa estimar a quantidade de fósforo disponível no solo e, assim, orientar os agricultores seja no emprego correto do uso de fertilizantes fosfatados ou mesmo para correta aplicação de fosfato natural ou de rocha diretamente no solo.

A solubilidade do fosfato é muito importante para o crescimento das plantas entre outros benefícios para as flores e frutos. Na busca pelo melhor aproveitamento do fósforo solúvel no plantio, é comum a prática da fosfatagem em solos nos quais tal nutriente é considerado baixo. Na literatura os testes de solubilidade/mobilidade de cátions e de eficiência agrônômica têm mostrado que o uso de pó de rocha responde de modo satisfatório a partir do segundo ano de aplicação no solo. Além disso, pode ser consorciado com uso de fertilizantes comerciais, reduzindo os custos e prolongando a eficiência da fertilização do solo.

A baixa solubilidade das farinhas de rochas fosfatadas faz delas um importante componente para a fertilização de áreas com problemas de salinidade e locais sujeito a chuvas freqüentes, devidos seus nutrientes não serem prontamente lixiviados (Leonardos et al., 2000; Osterroht, 2003) *in*:

Neto e Silva, 2010. A exemplo do que discorreram os autores, entende-se que é de suma importância a aplicabilidade desta tecnologia nas lavouras encontradas nas regiões de abrangência do Projeto Fosfato, para tanto é necessário que os governos estadual e federal iniciem o quanto antes a elaboração de projetos consistentes e voltados a esse fim.

## Conclusões

As principais rochas sedimentares detentoras de fósforo nas áreas de Itaituba-Altamira e Monte Alegre-Alenquer, são representadas pelos folhelhos negros e pelitos cinza-esverdeados da Formação Barreirinha, unidade esta bastante expressiva por sua extensão e espessura. Outro fator importante, com vistas a sua aplicação na rochagem, é que essas rochas, ao contrário das rochas ígneas básicas, são facilmente extraídas das frentes de exploração sem a necessidade do uso de explosivos, dada a sua fissibilidade, o que reduz o custo de extração em relação aos basaltos.

O Estado do Pará vem despontado no cenário nacional principalmente pelas suas culturas de cacau, bananas e grãos, grandes responsáveis pelos recursos financeiros injetados no agronegócio regional. Também se observa que o governo local está difundindo idéias positivas com relação ao agronegócio sustentável, fator este que corrobora para ações que ajudem cada vez mais o pequeno e médio produtor, principalmente com a diminuição de custos na compra de insumos agrícolas.

Dessa forma, o uso de pó de rocha tem despontado como uma alternativa, e as rochas sedimentares fosfatadas podem ser fornecedoras essenciais do elemento “P” importante para o *startup* das plantas, além do desenvolvimento celular para o crescimento das raízes ajudando no fortalecimento das mudas, no estímulo à floração e crescimento de sementes e frutos.

No Pará, as regiões pesquisadas além de potências para o fornecimento de calcário agrícola e pó de rocha básica, podem ter o pó de rocha fosfatada também incluídos neste cenário de sustentabilidade voltada para agricultura, até porque atendem os pré-requisitos das frentes de exploração por estarem próximas a rodovias e portos, bem como dos pólos agrícolas produtores. A CPRM e a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) têm realizado estudos iniciais bastante satisfatórios, mas ainda são necessárias pesquisas que atestem a mobilidade dos nutrientes e a eficiência agrônômica



destes pós de rocha no Estado do Pará, além da sua viabilidade comercial, e o seu reconhecimento como insumos agrícolas nos órgãos oficiais.

## Agradecimentos

Primeiramente a CPRM e a Superintendência de Belém por estimular a pesquisa e a difusão do conhecimento geológico, bem como por ter me concedido a participação neste evento. Ao colega Geólogo Marcelo Vasquez pelas discussões e pelo mesmo pensamento em difundir o tema “rochagem” na comunidade científica e na nossa instituição. A colega Geóloga Maisa Abram pela parceria, direcionamento e compreensão na condução do projeto Fósforo Brasil.

## Referências Bibliográfica

- ABRAM, M.B. et al. 2011. Projeto Fósforo Brasil Parte I. **Informe de Recursos Minerais para Agricultura N. 13**, CPRM, Salvador-BA.
- CUNHA, P.R.C., MELO, J.H.G., SILVA, O.B. 2007. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 227-251, maio/nov. 2007, 227-251p.
- NETO, M.T.C. & SILVA, M.S.. 2010. Utilização da farinha de rocha na produção de fruteiras. In: **I Congresso Brasileiro de Rochagem** (1. : 2010 : Brasília, DF) Anais. 101 – 109p.
- NUNES, H.F.. 2012. Plano ABC Pará. Secretaria de Estado de Agricultura – SAGRI. Belém, Novembro 2012. 20p.
- VASQUEZ, M.L & TRAVASSOS, L.R.C.. 2008. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará**. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008.
- VASQUEZ, M.L. 2009. A situação atual dos jazimentos de calcário e de fósforo no Estado do Pará. **Revista de Estudos Paraense**, IDESP, v.2, n.1, 11-26p.

# BASALTOS AMIGDALÓIDES À ZEOLITAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL DA BACIA DO PARANÁ: POTENCIAL PARA USO AGRONÔMICO

*Magda Bergmann<sup>1</sup>*

*Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>*

*Rodrigo Bandeira<sup>3</sup>*

*Adilson Bamberg<sup>2</sup>*

*Rosane Martinazzo<sup>2</sup>*

*Matheus Grecco<sup>4</sup>*

## Resumo

Os basaltos amigdalóides da Formação Serra Geral no Rio Grande do Sul foram estudados em diversos blocos definidos ao longo do Estado, com o objetivo de determinar a tipologia das ocorrências de zeolitas, as variedades presentes e a persistência lateral das mineralizações, bem como sua quantificação aproximada. Amostras foram encaminhadas para testes agronômicos.

**Palavras-chave:** Zeolitas, basaltos, Formação Serra Geral, uso agronômico de zeolitas.

## Introdução e objetivos

As zeolitas são tectossilicatos de alumínio, cálcio e sódio, com estrutura caracterizada por um ou mais sistemas de poros que podem constituir canalículos interligados. A elevada capacidade de troca catiônica, o potencial para absorção de gases e vapores em sua estrutura cristalina e a capacidade de atuação como “peneiras moleculares” dão aos minerais desta família uma grande variedade de usos. As zeolitas são usadas em sistemas

<sup>1</sup> Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rua Banco da Província 105, 90840-030, Porto Alegre RS. magda.bergmann@cprm.gov.br; <sup>2</sup> Embrapa Clima Temperado, BR 392 Km 78, CP 403, 96010-971, Pelotas, RS. augusto.posser@embrapa.br; adilson.bamberg@embrapa.br; rosane.martinazzo@embrapa.br; <sup>3</sup> Acadêmico do curso de Geologia IG UFRGS. rodrigo.bandeira@ufrgs.br.; <sup>4</sup> Acadêmico do Curso Engenharia Geológica – UFPEL. grecco.eg@hotmail.com





de produção industrial, pecuária, agricultura e como forma de controlar e mitigar a emissão de poluentes, levando inclusive à produção de similares sintéticos de alto custo, projetados para usos específicos.

O aproveitamento econômico dos minérios zeolíticos está atualmente centrado em jazimentos de ambiente diagenético, em sedimentos lagunares costeiros e marinhos e em alteração de vidros vulcânicos. As tecnologias de concentração e uso são definidas para as variedades mais comuns nestas ambiências, como clinoptilolita, mordenita, heulandita e analcima. A ocorrência de zeolitas em cavidades nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral é citada desde a década de 1950, embora seu aproveitamento em escala comercial nunca tenha sido cogitado, em função da dificuldade de separar a matriz de rocha, bem como as diversas espécies de zeolitas que constam nas paragêneses das zonas amigdalóides em rochas vulcânicas, distribuídas por toda a extensão da Formação Serra Geral nas regiões S, SE e Centro-W do Brasil. Os trabalhos de campo do projeto Agrominerais Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul (CPRM) vêm identificando uma grande quantidade de ocorrências de zeolitas, em diversas ambiências da Formação Serra Geral no estado, com teores que podem eventualmente caracterizar jazidas.

Este artigo apresenta a caracterização resumida das ocorrências já levantadas nos diversos blocos do Rio Grande do Sul (RS), e faz considerações sobre o potencial de uso agrônômico dos basaltos amigdalóides à zeolitas da Formação Serra Geral no estado, que eventualmente podem portar também calcita.

## **Materiais e Métodos**

O levantamento das ocorrências de zeolitas tem ocorrido por meio de perfis litoestratigráficos, focados até o momento nos principais prospectos, que são os conjuntos de lobos do Fácies Gramado da Formação Serra Geral sobrepostos ao arenito Botucatu e as brechas de topo em derrames na região W do RS. O trabalho de campo é realizado com apoio de Kappametria e gama-espectrorradiometria para correlação de derrames, e compreende amostragem extensiva destinada a procedimentos de laboratório e testes agrônômicos.

O reconhecimento das zeolitas compreende diversas etapas, e principia pela identificação macroscópica em campo e ordem de deposição de fases minerais em cavidades, seguida pela preparação de amostras (moagem) para



leituras em espectrorradiômetro (*Field Speck*), bem como para difratometria e EDS, os dois últimos métodos em amostras selecionadas. Já a quantificação de zeolitas nos basaltos amigdalóides é efetuada de maneira tentativa em campo, com a descrição detalhada do formato, intervalos de frequência de dimensões e da proporção das cavidades na matriz basáltica, cotejada por cartas comparativas de percentual.

Também é investigada a espessura dos níveis portadores e sua continuidade lateral. Outros métodos de quantificação a serem testados são a contagem de áreas em processamento de imagem com uso do *software* ENVI, sobre fotos de afloramentos e de blocos cortados em 3 dimensões. Os mapas de distribuição dos horizontes mineralizados e outros produtos cartográficos finais do projeto em andamento serão elaborados em ambiente SIG.

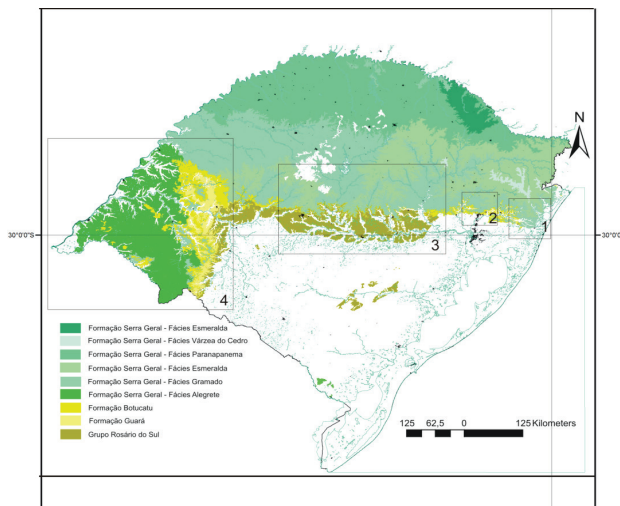
## Ocorrências de zeolitas nos basaltos do Rio Grande do Sul

Além de quartzo, calcedônia, carbonatos e argilominerais da família das esmectitas, as zeolitas são minerais comuns nas paragêneses de preenchimento de cavidades em zonas de topo de derrames da Formação Serra Geral, com maior variedade de espécies reconhecida nos derrames básicos (Simas *et al.* 1999, Frank *et al.* 2006, Frank 2008, entre outros). A mineralização das cavidades é resultante da percolação de fluidos através dos basaltos após sua cristalização, correntemente associada na literatura geológica a fluidos tardimagmáticos, mas também relatada a soluções geradas durante o *emplacement* de derrames sobrepostos na pilha vulcânica (Farjallat e Suguio 1966, In: Frank 2008), bem como às águas meteóricas.

A identificação de cordões e restos de arenito zeolitizado entre lobos basálticos, cavidades de zona de topo de derrames preenchidas por areia, além de injetitos de arenito em parte zeolitizado, comuns nas ocorrências de zeolitas nos basaltos Serra Geral, leva a supor que parte da sílica necessária à cristalização das zeolitas possa ser proveniente do arenito. Por sua vez, o reconhecimento de zeolitização em *intertraps* do arenito Botucatu remete aos modelos de gênese de zeolitas sedimentares, mais especificamente àquele de lagos de regiões desérticas, onde as águas de natureza alcalina e de alta salinidade aprisionadas em sedimentos com contribuição vulcânica permitem a cristalização diagenética de zeolitas (Surdan 1981). Ainda a provável contribuição do Sistema Aquífero Guarani com suas águas calcio-

alcalinas é um dos fatores a serem considerados na gênese das zeolitas nos basaltos, uma vez que a carga introduzida pelos derrames em areias de dunas inconsolidadas seguramente promoveu recalques significativos no aquífero freático à época da colocação dos primeiros derrames. Esta e outras hipóteses vêm sendo consideradas em trabalhos mais recentes, que agregam novas visões sobre os processos de formação e preenchimento de cavidades mineralizadas por sílica e zeolitas nas vulcânicas Serra Geral, a exemplo de Hartmann *et al.* 2011.

Assim, dentre a grande quantidade de ocorrências de zeolitas nos basaltos amigdalóides, identificadas em diversas ambiências da Formação Serra Geral no RS, destaca-se pela abundância e variedades de espécies a extensa zona de contato entre o arenito Botucatu e os primeiros derrames basálticos, contínua ao longo do sopé de toda a *cuesta* por eles configurada. A compartimentação deste domínio maior considerou a tipologia e as paragêneses de agrominerais dominantes, definindo os blocos Litoral Norte (N), Região Metropolitana de Porto Alegre, Central e Fronteira Oeste (W), *Figural*.



**Figura 1.** Posição dos blocos determinados pela pesquisa ao longo do contato Botucatu - Formação Serra Geral: Bloco Litoral Norte (1) Bloco Região Metropolitana de Porto Alegre (2), Bloco Central (3) e Bloco Fronteira Oeste (4). Adaptado de Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, Escala 1:750.000. CPRM/MME

## Discussão dos resultados

Os resultados obtidos pelo projeto Agrominerais Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul são parciais, e em um primeiro momento as paragêneses citadas para os agrominerais dos diversos blocos baseiam-se em referências bibliográficas e na identificação macroscópica das espécies minerais, sendo que estas são as fases predominantes nos afloramentos e que deverão constituir os possíveis minérios a serem caracterizados. Em virtude do grande número de amostras optou-se pelo método da espectrorradiometria para as análises mineralógicas preliminares, que ainda carecem de validação dos resultados.

Com estas restrições, apresenta-se a seguir a caracterização dos diversos blocos:

### Bloco Litoral Norte do RS

Neste bloco conta-se com a exposição de cortes extensos em lavras para saibro e brita entre Santo Antônio da Patrulha e Maquiné, além de cortes na Rodovia BR 290 (*Free Way*), BR 101, RS 30 e Rodovia do Sol. A ambiência predominante ao longo do bloco é a de franjas de corridas de lava do tipo *pahoehoe* do Fácies Gramado, configurando pilhas de lobos do tipo P e S, métricos a submétricos, com grande quantidade (até 30%) de cavidades de 1-2 cm a subcentimétricas, preenchidas por zeolitas. Alternam-se lobos com rochas de tendência hipocristalina. Níveis descontínuos e delgados de arenito, muitas vezes zeolitizado, são comuns entre os lobos. O conjunto atinge espessura de até 100 m, como entre Maquiné e Rolante, e é sobreposto pelo primeiro derrame ácido, aflorante em cotas variáveis ao longo do bloco. Feições dômicas estão associadas às rochas ácidas em alguns locais, Figura 2.

A paragênese mais comum observada no bloco constitui-se em **laumontita, escolecita e heulandita**, com minerais da família da sílica e calcita muito subordinados. Frank *et al.* (2008) descrevem como minerais secundários nos lobos basálticos da Pedreira Britel, em Morro Al-to, a associação laumontita, estilbita-stellerita, heulandita e escolecita-mesolita, além de cha-basita, calcita, dolomita, argilominerais, carbonatos de Mg, Fe e Mn, goethita e óxidos de Mn.

## Bloco Região Metropolitana de Porto Alegre

O bloco é definido pelos contatos dos lobos do Fácies Gramado com os arenitos Botucatu na região de Novo Hamburgo, Morro Reuter, Picada Café, e na parte N do município de Taquara, entre outros locais. As pilhas de lobos têm configuração semelhante às do Bloco Litoral N, com arenitos intertrápicos, e grande incidência de injetitos de areia, atingindo dezenas de metros no conjunto. Os lobos encontram-se bem expostos em lavras para saibro basáltico, onde se constituem no próprio material lavrado, uma vez que seu estado de desagregação pelo intemperismo facilita a atividade extrativa. As paragêneses constatadas incluem **escolecita**, **laumontita** e **heulandita**, bem como minerais da família da sílica e argilominerais. São destaque as crostas centimétricas à escolecita e laumontita observadas entre os lobos, em parte resultantes da zeolitização do arenito. Dresch (2010) menciona escolecita, heulandita, estilbita, e chabazita, além de calcedônia e celadonita em duas saibreiras em Picada Café e Morro Reuter, Figura 3.



**Figura 2.** Basalto amigdalóide à escolecita e heulandita em lobo de saibreira em Picada Café. Notar restos de arenito róseo parcialmente zeolitizado.



**Figura 3.** Brechas cimentadas por laumontita no contato de lobos basálticos e derrame ácido. Pedreira José Inácio, Morro Redondo.

## **Bloco Central do RS**

Este bloco é definido na porção central do estado, com perfis realizados entre as rochas do Grupo Rosário do Sul e os derrames ácidos do Fácies Caxias, que sobrepõe diretamente um conjunto de lobos vesiculados do Fácies Gramado. Na porção central deste domínio (Santa Cruz do Sul, Candelária, Vale do Sol), os arenitos Botucatu são restritos a poucas formas de camadas do tipo dunas eólicas, sobrepondo os sedimentos triássicos, e voltam a constituir pilhas mais expressivas na região de Santa Maria.

Já as observações em lavras para brita na periferia N e S da cidade de Santa Cruz do Sul revelam outro contexto de ocorrências de zeolitas, associadas a um topo de derrame ‘a’a, o primeiro da sequência local do Fácies Gramado.

A sequência de lobos com espessura individual métrica a submétrica com mergulho para N, está colocada acima de um intervalo delgado (poucos metros) de arenitos Botucatu, que apresentam feições de disjunção colunar

por efeito térmico das lavas, além de se encontrarem fortemente perturbados e rompidos por falhas gravitacionais. A espessura da pilha chega a 200 m nos cortes da rodovia BR 153, entre Vale do Sol e Herveiras, comportando paragênese dominante à heulandita, escolecita, argilominerais e calcita, com sílica e mordenita subordinadas (Figuras 4 e 5).

Um intervalo intertrápico ocorre acima do primeiro lobo, com uma pequena duna preservada, expondo arenitos semelhantes aos da Formação Botucatu, em parte zeolitizados. Este lobo mostra-se intensamente injetado por diques de arenito, que percolam também fraturas orientadas em vários sistemas.



**Figura 4.** Detalhe de basalto amigdalóide à heulandita em lobo exposto na Rodovia BR 153.



**Figura 5.** Aspecto da alternância de lobos métricos a submétricos em corte da BR 153, notar lobos mais oxidados e zonas claras (crostas e vênulas à zeolitas).

As ocorrências de zeolitas na ambiência de derrame tipo ‘a’ a encontram-se expostas nas lavras Ouro Preto, a N da zona urbana Santa Cruz do Sul, e na periferia S da mesma cidade (lavras do Bairro Fátima e Linha Frai), onde mostram correlação ao longo de ao menos 3 Km<sup>2</sup>.

A paragênese reconhecida preliminarmente inclui **estilbita, heulandita, escolecita, calcita e mordenita, além de argilominerais e calcedônia** em pequena proporção. A zona de topo do derrame, com brechas e basaltos escoriáceos em bossas irregulares características atinge 2,5 m, portando percentuais de cavidades que podem ultrapassar 30% (Figuras 6 e 7). Inclui ainda crostas à estilbita cimentando clastos de basalto amigadaloide em brechas, na Pedreira Ouro Preto. O topo escoriáceo determina a superfície limitante de aproveitamento do material para britagem no piso das lavras, que extraem rochas de derrame ácido superposto.





**Figura 6.** Bloco de basalto escoriáceo à zeolita retirado do piso da lava Bairro Fátima, com crostas de estilbita.



**Figura 7.** Detalhe de cavidades preenchidas por heulandita e mordenita, zeolita fibrosa com aspecto de “algodão”. Lava Bairro Fátima.

## Bloco fronteira Oeste

É o bloco de terrenos da Formação Serra Geral Fácies Alegrete, situados a W do sistema de falhas Jaguari-Mata. Neste, destacam-se as brechas de topo dos derrames de basaltos andesíticos *Catalán* ('a'a) e *Cordillera* (*pahoehoe*), respectivamente 2º e 3º derrames do Fácies Alegrete (Hartmann et al. 2010), correlacionáveis aos dois derrames produtores de ametista em grandes geodos no Distrito Mineiro de Artigas (DMA) no Uruguai.

No topo do derrame *Catalán* ocorrem paragêneses à **heulandita, calcita, hialita e argilominerais, com estilbita e estelerita subordinadas**. As melhores exposições encontram-se na rodovia Santana do Livramento-Quaraí, e as brechas foram também observadas nas cavas para implantação de geradores eólicos nos parques Cerro Chato II e III, ao tempo de sua abertura, restando como material disperso próximo às torres.

No derrame *Cordillera*, do tipo *pahoehoe*, ocorrem **heulandita, esolecita e calcita**, que pode ser localmente a fase predominante, e **mordenita** subordinada.

Duarte (2008) cita as zeolitas heulandita e clinoptilolita dentre os minerais de alteração hidrotermal nos derrames produtores no DMA. A continuidade lateral das brechas de topo dos derrames *Catalán* e *Cordillera* neste bloco é notável, e as mesmas são seguidas em campo por indicadores como quebras de relevo nas encostas, ao longo de dezenas de km<sup>2</sup>.

Em situação de topos de morro mostram-se como níveis resistentes ao intemperismo, como no Domo do Garupá (Lisboa 1990) no município de Quaraí, onde a brecha de topo do derrame *Cordillera* mostra abundante calcita ótica cimentando clastos de basalto amigdalóide e em venulações do tipo *stockwork*. Neste local a espessura da brecha ultrapassa 7 m, e a quantidade de calcita em estimativa visual é superior a 20% em volume (Figura 8)



**Figura 8.** Brecha de topo do derrame *Cordillera* no Domo do Garupá. Todo o material claro no piso do afloramento é calcita ótica.

## Conclusões

Atualmente, o Brasil usa zeolitas importadas de Cuba (clinoptilolita) em ensaios agronômicos que visam diminuir as perdas de nitrogênio. Em contraposição às zeolitas “puras” importadas para esta finalidade, a mistura de zeolitas observadas nos basaltos amigdalóides apresenta potencial para adsorver diferentes elementos e/ou moléculas, entre eles  $\text{NH}_4$ , K, Ca e Mg, os quais são muitas vezes perdidos do sistema solo. Ainda, a presença de matriz basáltica, rica em materiais devitrificados, pode aportar macro e micronutrientes (P, Ca, Mg, Cu, Zn) para as culturas agrícolas. Amostras dos basaltos amigdalóides a zeolitas se encontram em fase de testes para averiguar a possibilidade de seu uso agronômico, o que pode representar um impacto positivo na diminuição dos custos de produção agrícola bem como aumentar a eficiência dos fertilizantes, especialmente do nitrogênio, a qual geralmente é muito baixa. Também as brechas à calcita deverão ser submetidas a testes agronômicos para investigar seu aproveitamento como material destinado à correção da acidez em solos.



## Referências Bibliográficas

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa geológico do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000.** CPRM/MME, 2008. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/>.

DRESCH, I. C. C. **Caracterização das propriedades macroscópicas de zeolitas na região entre os municípios de Picada Café e Morro Reuter – RS.** 2010. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação)- Curso de Graduação em Geologia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

DUARTE, L. C. **Evolução geológica, geoquímica e isotópica das mineralizações de geodos com ametista, Artigas, República Oriental do Uruguai. 2008.** 162 f. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FRANK, H. T. **Gênese e padrões de distribuição de minerais secundários na Formação Serra Geral (Bacia do Paraná).** 2008. 322 f. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FRANK, H. T.; FORMOSO, M. L. L.; GOMES, M. E. B. Minerais secundários na Formação Serra Geral (Bacia do Paraná). In: Semana Acadêmica dos Alunos de Pós-Graduação em Geociências, 1., 2006, Porto Alegre. [Anais...] Porto Alegre: UFRGS, 2006.

FRANK, H. T.; GOMES, M. E. B.; FORMOSO, M. L. L. Carbonatos de Mg, Fe e Mn e outros minerais secundários de um derrame de lava basáltico da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná, América do Sul): descrição e seqüência de cristalização. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4., 2008. Foz do Iguaçu. **Anais...** Sociedade Brasileira de Geologia, 2008.

FRANK, H. T.; SIMAS M. W.; WAICHEL B. L.; GOMES, M. E. B.; FORMOSO, M. L. L. Phacolite (chabazite-CA) from a basaltic lava flow of the Serra Geral Formation (Paraná Basin, South America). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008. Curitiba. **Anais...** Sociedade Brasileira de Geologia, 2008. p. 565.

HARTMANN, L. A.; WILDNER, W.; DUARTE, L. C.; DUARTE, S. K.; PERTILLE, J.; ARENA, K. R.; MARTINS, L. C.; DIAS, N. L. Geochemical and scintillometric characterization and correlation of amethyst geode-bearing Paraná lavas from the Quaraí and Los Catalanes districts, Brazil and Uruguay. **Geological Magazine**, v. 147, p. 954-970, 2010.

HARTMANN, L. A., DUARTE, L. C.; MASSONNE, H.-J. MICHELIN, C.; ROSENSTENGEL, L. M.; BERGMANN, M.; THEYE T.; PERTILLE, J.; ARENA, K. R.; DUARTE, S. K.; PINTO,

V. M. I.; BARBOSA, E. G.; ROSA M. L.; WILDNER, W. Sequential opening and filling of cavities to form vesicles, amygdalae and giant amethyst geodes in lavas from the southern Paraná volcanic province, Brazil and Uruguay. **Mineralogy and Petrology** 2011.

LISBOA, N. A. Aspectos morfoestruturais e geomorfogenéticos do Extremo Sul-Occidental do Planalto Meridional, Quaraí, RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 12, p. 105-109, 1990.

SIMAS, M. W.; SCHENATO, F.; FORMOSO, M. L. L. Estudo das zeolitas de um derrame de basalto, região de Morro Reuter (Bacia do Paraná, RS). In: SIMPOSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1., 1999. Gramado. **Resumos** Sociedade Brasileira de Geologia, 1999.

SURDAM, R. C. Zeolites in closed hydrologic systems. In: MUMPTON, F. A. (Ed.). **Mineralogy and Geology of Natural Zeolites.** Blacksburg: Southern Printing Company, 1981. (Mineralogical Society of America, Short Course).

# VIABILIDADE DO USO DE PÓ DE ROCHA COMO FONTE ALTERNATIVA DE NUTRIENTES NO ESTADO DO TOCANTINS

*Fred Newton S. Souza<sup>1</sup>, Juliana Mariano Alves<sup>2</sup>,  
Leonel Moreira Nascente<sup>3</sup> e Marcondes Martins*

## Resumo

O presente estudo analisa a viabilidade de uso do pó de rocha obtido pela moagem dos rejeitos de mineração do Garimpo de Monte Santo - TO, a partir dos custos de beneficiamento, do preço das fontes convencionais de K, Ca e Mg e do valor do frete na região, levando em conta duas estratégias de uso - substituição ou complementação as fontes convencionais de nutrientes.

**Palavras-chave:** rochagem; rejeitos de mineração; viabilidade.

## Introdução

O território brasileiro é constituído, na sua maior parte, por solos ácidos, com baixa capacidade de retenção de cátions e pobres em nutrientes (Curi et al., 2005). Conforme bem aponta Wood et al. (2001), dentre os aspectos adversos ligados à baixa fertilidade dos solos tropicais, merecem destaque a alta acidez, frequentemente associada à toxicidade por alumínio-Al e as baixas reservas de potássio-K. Enquanto a toxicidade por Al afeta cerca de 63% dos solos do Brasil (Bot et al., 2000), o suprimento de K, segundo elemento fertilizante mais consumido na agricultura brasileira, resulta em déficit de mais de US\$ 1,5 bilhão para a balança comercial brasileira (DNPM, 2008). No Estado do Tocantins os adubos e as matérias primas fertilizantes compõem 73% do volume total importado, dos quais o cloreto de potássio (KCl) representa mais de 25%, com custos da ordem de US\$ 9,5 milhões (MDIC/SCE, 2012).

---

1 - UNITINS/NUDAM, fred.ns@unitins.br; 2 - UNITINS/NUDAM;  
3 - Rio dos Mangues Mineração e 4 - NEAPL/SEDECT.



Se não bastassem as causas naturais, com efeitos sobre a fertilidade dos solos tropicais, o uso da terra e as técnicas de manejo adotadas afetam ainda mais a manutenção da fertilidade dos solos. De acordo com dados do *International Soil Reference and Information* (ISRIC), o déficit anual médio de nutrientes no Brasil encontra-se entre 25 e 35 kg.ha<sup>-1</sup> de NPK, ou seja, o estoque de nutrientes do solo está sendo esgotado ano após ano. Neste sentido, estima-se que cerca de 240 milhões de hectares de solos no mundo (área equivalente à região dos cerrados brasileiros) estão comprometidos no que diz respeito à sua integridade química, dos quais mais da metade localizam-se na América do Sul (Oldeman et al., 1991).

Os resultados das técnicas e melhoria da qualidade dos solos no Brasil são expressivos, principalmente quanto ao uso eficiente de fertilizantes e corretivos, proporcionando aumento de cerca de 50% na produtividade das culturas (ANDA, 2003; IBGE, 2005).

Segundo a Organização Mundial para a Alimentação e Agricultura – FAO, a produção mundial de alimentos deverá atingir quatro bilhões de toneladas em 2025, com uma produtividade média de 4,5 t.ha<sup>-1</sup>, quando a população mundial deverá atingir a marca de 8,3 bilhões de habitantes. Para a FAO, o Brasil ocupa posição de destaque neste cenário, especialmente pelos crescentes ganhos de produtividade, favorecidos pelas técnicas sustentáveis de produção adotadas, pela possibilidade real de expansão da fronteira agrícola no médio e longo prazo e pela disponibilidade de água aos cultivos irrigados.

Portanto, para um país com reconhecido potencial, além de aumentar a área plantada e a produtividade dos cultivos agrícolas, torna-se igualmente importante e estratégico reduzir sua dependência pelas matérias primas importadas para fabricação de fertilizantes consumidos na agricultura. Com este propósito a Rede AgriRocha articula ações de pesquisa científica e tecnológica, as quais se voltam principalmente à avaliação do potencial de uso de rochas e rejeitos de mineração como fonte alternativa de nutrientes na agricultura. O presente estudo é parte dos esforços articulados pela Rede AgriRocha, e assim, a partir de uma análise da viabilidade econômica de diferentes estratégias de uso de um tipo de rocha moída obtido a partir dos rejeitos de mineração do Garimpo de Monte Santo-TO, contribui para comprovar o potencial da rochagem no Estado do Tocantins.



## Objetivos

Avaliar a viabilidade econômica de uso do pó de rocha (biotita-xisto) a partir das estratégias de substituição ou complementação às fontes convencionais de nutrientes.

## Metodologia

A análise que segue está pautada nos pressupostos que orientam a teoria microeconômica, especialmente quanto à formação dos preços de venda de um produto. Em síntese, a valoração de um produto (*cost-plus*) considera os custos de produção e a margem de lucro definida pela empresa em função da estrutura do mercado na qual ela está inserida (*mark-up*). No caso do mercado de fertilizantes ou condicionadores de solo, a estrutura de mercado se caracteriza pela existência de um pequeno, mas suficiente número de empresas (o que caracteriza um modelo de interdependência). Significa também que as ações individuais de uma empresa afetam as políticas das rivais (Dicionário de Economia, 1985).

A valoração de um produto, segundo Morris & Morris (1994), deve considerar que o principal objetivo do negócio é gerar valor de mercado, enquanto que a função do preço é refletir o valor do produto. Portanto, considerando que os preços devem refletir continuamente as mudanças das condições de mercado, as empresas precisam ser criativas na administração dos preços dos seus produtos. Para esses autores um programa de determinação de preços envolve os seguintes componentes: objetivos e estratégias globais da empresa; custos de produção; demanda real e reprimida; empresas concorrentes e aspectos legais.

De acordo com Marn e Rosiello (1992), o modo mais rápido e eficiente para obtenção de lucro máximo consiste em estabelecer o “preço correto”, mas ressalta-se que tal tarefa pode ser considerada um fenômeno bastante complexo, pois envolve vários aspectos da empresa e do mercado. Em síntese, a composição do preço do produto envolve: i) a oferta e demanda do setor, ou seja, fechamento de plantas, novos competidores, mudanças demográficas, produtos substitutos emergentes etc; ii) a estratégia de mercado do produto, especialmente quanto aos benefícios dos produtos e serviços associados frente os fornecedores disponíveis; iii) as transações

comerciais, em observação à estrutura disponível e aos incentivos fiscais para maximizar o desempenho dos preços dos produtos.

O conceito de “faixa do preço ao cliente” (*pocket price band*) consiste na associação entre os preços praticados e a percentagem do volume de vendas a estes preços relacionados. Para Marn e Rosiello (op cit.) o entendimento da “faixa do preço ao cliente” é crítico para compreender os efeitos do preço sobre os resultados financeiros da empresa, bem como as oportunidades relativas ao preço.

A valoração do pó de rocha como produto comercial leva em conta:

- os custos de beneficiamento do rejeito de mineração, estimados a partir das características de uma indústria de calcário instalada na região;
- os preços comerciais e os teores de K, Ca e Mg das fontes convencionais, no caso o cloreto de potássio e o calcário agrícola; e
- a composição química do pó de rocha em relação aos teores das fontes convencionais, e os resultados dos experimentos agrônômicos.

Em relação ao último aspecto da valoração foram consideradas duas estratégias de uso do pó de rocha, ou seja, em substituição ou em complementação às fontes convencionais de K (cloreto de potássio) e de Ca e Mg (calcário).

## Resultados

### Indústria de calcário agrícola

A produção de calcário agrícola apresenta caráter sazonal, pois a demanda acompanha as atividades do setor agropecuário. O clima é outro fator condicionante da sazonalidade, onde a produção concentra-se no período de seca, entre os meses de abril a outubro.

A sequência operacional envolve a remoção de material estéril, extração da rocha, desmonte, carregamento e transporte. Na produção de calcário com fins agrícolas, o minério sofre apenas modificações físicas, com a utilização de britadores primários, rebitadores e moinhos, que promovem a redução da granulometria para os valores exigidos pelo mercado e pela regulamentação do Ministério da Agricultura. Nos circuitos de cominuição, o sistema de moagem define a capacidade de produção de todo processo e, portanto, é uma fase fundamental na quantidade a ser produzida.





A estimativa do custo de produção de calcário agrícola foi obtida em uma usina do Tocantins, a qual apresenta custo operacional médio por tonelada produzida de R\$ 28,00, sendo 14% referente às atividades de lavra e 86% de beneficiamento. O principal componente do custo de beneficiamento é a energia, principalmente na etapa de moagem, a qual participa com cerca de 20% nos custos totais.

O preço médio (R\$/t) do calcário agrícola (FOB, a granel), posto usina, pago pelos agricultores no Estado do Tocantins, em 2009, foi de R\$ 46,00/t do produto. Entre 2006 e 2009 o preço médio aumentou cerca de 50%, refletindo ampliação da demanda do insumo no estado devido aos altos preços das *commodities* agrícolas (DNPM, 2009a).

Na composição do preço final da tonelada de calcário agrícola para o agricultor o custo de transporte (frete), a partir da usina, é um fator importante devido ao baixo valor por tonelada do produto. Considerando que o transporte de calcário agrícola no Tocantins é realizado por rodovias, os principais fatores levantados para composição do preço do frete foram a distância de deslocamento e o tipo de frete. Sendo assim, o transporte do calcário agrícola na região é geralmente feito por caminhão (7,5 a 18 t) ou carretas (27 t), de maneira que os custos finais de transporte são diferenciados.

Considerando que o custo médio (R\$/t/km) do frete, em 2009, foi de R\$ 0,20/t/km, com variação de R\$ 0,25/t/Km a 0,14/t/Km, a partir de distâncias superiores a 230 km o custo médio por tonelada de calcário agrícola transportada se torna superior ao custo/t do produto, onerando de forma significativa para o agricultor.

## **Cloreto de Potássio**

O potássio-K, assim como outras matérias primas utilizadas na agricultura brasileira, é em grande parte importado. Mais de 90% do potássio advém da importação e esse fato têm reflexos importantes para economia brasileira. Os cloretos e os sulfatos constituem as mais importantes fontes de sais de potássio, pois são muito solúveis em água e podem ser explorados e processados mais facilmente. Cerca de 90% da produção mundial de potássio ocorre na forma de cloreto de potássio (contendo 60 a 62% de  $K_2O$ ).

No Brasil a legislação estabelece o teor de 58% de  $K_2O$  como garantia mínima para a comercialização de cloreto de potássio (91,8% KCl). Além do requisito de pureza, há especificações quanto ao tamanho das partículas, fator que classifica os produtos em quatro tipos em função da granulometria: granular (partículas com diâmetro entre 0,8 a 3,4 mm); coarse (0,6 a 2,4 mm), standard (0,2 a 1,7 mm) e o solúvel (0,15 a 0,4 mm).

De acordo com dados do Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2009b), o preço médio de importação do cloreto de potássio (KCl), em 2008, foi de US\$ 945,18 a tonelada FOB. Dada a máxima valorização do dólar em 2008 (R\$ 2,50), um agricultor no Tocantins desembolsou cerca de R\$ 2.400,00 para adquirir uma tonelada de cloreto de potássio (60%  $K_2O$ ).

### **Estratégias de uso do pó de rocha (biotita-xisto)**

O pó de rocha considerado no presente estudo compreende os rejeitos gerados no Garimpo de Esmeraldas de Monte Santo/TO. Trata-se de rochas silicáticas ultramáficas básicas e ultrabásicas, cuja mineralogia apresenta anfibólios, micas, feldspatos e minerais acessórios, e na composição química de rocha total 3% de  $K_2O$ , 10,3% de CaO e 15,2% de MgO. A granulometria, após britagem e moagem em uma Indústria de Calcário da região, apresenta características semelhantes a do calcário, ou seja: 98,2% < 0,8 mm; 85,6% < 0,3 mm; e 13% < 0,06 mm.

As pesquisas experimentais de avaliação do potencial do pó de rocha como fonte alternativa de nutrientes na cultura da cana de açúcar envolveram duas estratégias de uso: doses crescentes de pó de rocha (60, 120 e 240  $Kg.ha^{-1}$  de  $K_2O$ ) em substituição às fontes convencionais de potássio (KCl), e de cálcio e magnésio (calcário); e dose única de pó de rocha (30  $Kg.ha^{-1}$ ) em complementação ao cloreto de potássio (30  $kg.ha^{-1}$   $K_2O$ ) e calcário (1  $t.ha^{-1}$ ).

Os resultados demonstram que a menor dose de pó de rocha (60  $Kg.ha^{-1}$ ) apresenta a mesma produção ( $t.ha^{-1}$ ) obtida com a fonte convencional; igualmente interessante, a estratégia de complementação resultou em ganhos de produção da ordem de 20%.



## Valoração do pó de rocha

O rejeito utilizado encontra-se lavrado, e por isso o custo de produção do pó de rocha foi de R\$ 24,10, que equivale aos mesmos custos gerados pela etapa de beneficiamento do calcário agrícola (britagem e moagem).

Como a indústria de calcário considerada no presente estudo explora uma rocha que apresenta 31% de CaO e 18% de MgO, e o calcário é comercializado a R\$ 46,00.t<sup>-1</sup>, o valor líquido por tonelada é de R\$ 18,00, de maneira que cada unidade de CaO+MgO é valorada em R\$ 0,04. Com base nos valores de referência das unidades de óxidos, os teores de CaO (10,3%) e de MgO (15,2%) do pó de rocha equivalem a R\$ 10,20 a tonelada.

O cloreto de potássio (KCl) apresenta em média 60% de K<sub>2</sub>O, e foi comercializado a R\$ 2.400,00 a tonelada, o que resulta em R\$ 4,00 a tonelada de K<sub>2</sub>O. Considerando que o pó de rocha apresenta 3% de K<sub>2</sub>O, seu valor pode ser majorado em R\$ 12,00.

Portanto, somando-se os custos de beneficiamento do pó de rocha aos valores de referência dos óxidos CaO, MgO e K<sub>2</sub>O da sua composição, o valor comercial do pó de rocha é estimado em R\$ 46,00 a tonelada na indústria.

Todavia, para o agricultor (consumidor), a viabilidade de uso deve considerar ainda o custo do frete (R\$.t<sup>-1</sup>.Km<sup>-1</sup>), e as doses agronômicas recomendadas para diferentes culturas (t.ha<sup>-1</sup>). Como o frete por tonelada transportada pode variar de R\$ 0,14 a R\$ 0,25, com média de R\$ 0,20.t<sup>-1</sup>. Km<sup>-1</sup>, o custo do pó de rocha para um agricultor situado distante 230 Km da indústria pode variar de R\$ 78,20 a 103,50.t<sup>-1</sup>.

## Conclusões

Considerando as doses avaliadas e resultados obtidos nos experimentos agronômicos, conclui-se que: a estratégia de substituição das fontes convencionais pelo pó de rocha resulta na economia imediata de R\$ 360,00.ha<sup>-1</sup>; a estratégia de complementação resulta em menor redução nos custos de produção por unidade de área (R\$ 126,00.ha<sup>-1</sup>), mas promoveu ganhos da ordem de 20% na produção da cana de açúcar.

A viabilização do uso agronômico do pó de rocha compreende uma solução interessante para a destinação adequada dos rejeitos minerais;



além de uma oportunidade de negócio com lucro líquido semelhante ao do calcário, de R\$ 18,00 por tonelada comercializada.

Os resultados representam importantes contribuições para a descrição dos componentes de valoração do uso do pó de rocha como produto comercial, mas, entende-se ser possível considerar outros aspectos da viabilidade econômica da rochagem. Nos estudos em andamento são considerados aspectos econômicos da região abrangida pelo raio de 230 Km da sede do município de Monte Santo-TO, tais como a área plantada e o itinerário técnico dos cultivos de cana-de-açúcar, abacaxi e banana e, também, sobre o mercado de fertilizantes no Estado do Tocantins.

## Referências Bibliográficas

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2002. São Paulo, ANDA, 2003. 158p

BOT, A. J., NACHTERGAELE, F. O. e YOUNG, A. Land resource potential and constraints at regional and country levels. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization, U.N., Rome, 2000. 114 p.

CURI, N.; KAMPF, N.; MARQUES, J. J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: Yamada, T.; Roberts, T. L. (ed). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 2005. p.71-91.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Potássio. In: Economia Mineral do Brasil - 2008. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2008.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Calcário Agrícola. In: Economia Mineral do Brasil - 2009. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009. 536□545 p.

\_\_\_\_\_. Potássio. In: Economia Mineral do Brasil - 2009. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009. 569□576 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Databases. Agriculture. 2005. Disponível em: <http://www.fao.org/corp/statistics/en/>.



IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. Outubro/2005. [http:// www. ibge. gov.br/home/estatistica/indicadores](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores).

MARN, M. V; ROSIELLO, R. L. Managing price, gaining profit. Harvard Business Review, v. 70, n. 5, p. 84-94, 1992.

MORRIS, MICHAEL H. & MORRIS, GENE. Política de Preços em um Mercado Competitivo e Inflacionado. São Paulo, Makron Books, 1994.

OLDEMAN, L.R., HAKKELING, R.T.A. e SOMBROEK, W.G. World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen; United Nations Environment Programme, Nairobi. Global Assessment of Soil Degradation GLASOD, October 1990, second revised edition October 1991. 35 p.

WOOD, S., SEBASTIAN, K. e SCHERR, S. Soil resource condition. In: Pilot analysis of global ecosystems: agroecosystems. A joint study by the International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, Washington DC, 2001. p. 45-54.

## **Agradecimentos**

Pelo estímulo e incentivo às pesquisas sobre rochagem, nossos agradecimentos ao Professor Claudinei Gouveia (IGD/UnB) e ao Dr. Éder Martins (Embrapa Cerrados). Da mesma forma, agradecemos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento das pesquisas, especialmente a equipe de pesquisadores, técnicos e estudantes do Núcleo de Desenvolvimento e Avaliação de Desempenho Ambiental – NUDAM/UNITINS.

# REPRESENTAÇÃO DE DADOS LITOQUÍMICOS EM ROCHAS VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL DA BACIA DO PARANÁ: UMA FERRAMENTA PARA INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE USO AGRONÔMICO

*Magda Bergmann<sup>1</sup>*

*Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>*

*Rodrigo Bandeira<sup>3</sup>*

*Adilson Luís Bamberg<sup>4</sup>*

*Rosane Martinazzo<sup>2</sup>*

*Matheus Farias Grecco<sup>5</sup>*

## Resumo

Dados da litoquímica de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, do Eocretáceo da Bacia do Paraná, Brasil, são tratados com objetivo de investigar a adequação das rochas ao uso agronômico. Diagramas de fluxo e diagramas ternários são propostos para representar teores de álcalis e restrições quanto a elementos nocivos ou potencialmente nocivos.

**Palavras-chave:** Rochagem, rochas vulcânicas, Formação Serra Geral.

## Introdução e objetivos

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, de idade eo-cretácica, compõem a maior província de basaltos de platô conhecida no mundo, e têm ampla distribuição pelos estados da região Sul S e por partes das regiões Sudeste SE e Centro-Oeste do Brasil. Este fato,

<sup>1</sup> Geóloga, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Rua Banco da Província, 105 90840-030 Porto Alegre, RS; magda.bergmann@cprm.gov.br. <sup>2</sup> Eng. Agrônomo (a), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, BR 392 Km 78, Caixa Postal 403, 96010-971 - Pelotas, RS; augusto.posser@embrapa.br; rosane.martinazzo@embrapa.br. <sup>3</sup> Acadêmico do curso de Geologia, Instituto de Geociências da UFRGS. rodrigo.bandeira@ufrgs.br. <sup>4</sup> Eng. Agrícola, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, BR 392 Km 78, Caixa Postal 403, 96010-971 - Pelotas, RS; adilson.bamberg@embrapa.br e <sup>5</sup> Acadêmico do Curso Engenharia Geológica – UFPEL. grecco.eg@hotmail.com



aliado ao seu uso na forma de agregados para a construção civil, as torna muitas vezes disponíveis na forma de finos de britagem, em locais próximos a boa parte dos polos agrícolas das regiões citadas. Por esta razão, pós de rocha originados dos basaltos e dacitos Serra Geral, embora não certificados, têm aplicação empírica corrente na remineralização de solos, em especial no âmbito da agricultura familiar do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (Knapik, 1987; Almeida e Silva, 2009).

No entanto, o uso de rochas como fonte de nutrientes na agricultura tem pressupostos básicos que vão muito além de favorabilidade de custos de transporte ou do fato de as mesmas estarem disponíveis (muitas vezes na forma de descartes) em empreendimentos já implantados. A aplicação desta técnica deve considerar antes de mais nada as propriedades dos solos a que se destinam os pós de rocha, suas condições físico-químicas e carências nutricionais, além das necessidades específicas dos cultivos a serem introduzidos.

Na caracterização das rochas destinadas à remineralização de solos é importante a quantificação de óxidos maiores e menores, além de teores de elementos traços, que tanto podem ser importantes e benéficos para a fisiologia vegetal como podem extrapolar os limites estabelecidos pela legislação ambiental e de fertilizantes. Ao mesmo tempo, os elementos e compostos detectados e quantificados pela litoquímica podem não corresponder aos totais de cátions disponíveis para assimilação pelas plantas, sendo que os diferentes minerais que caracterizam determinada rocha têm propriedades específicas que respondem pelo seu comportamento no ciclo de intemperismo, e que afetam a abertura dos sistemas cristalinos, condição necessária para a liberação de elementos e compostos úteis à nutrição vegetal. A regra geral determina que minerais cristalizados à temperaturas e pressões mais altas são menos estáveis na superfície da crosta terrestre (ambiente exógeno), o que induz a uma leitura inversa do Ciclo de Bowen, expresso por meio de um diagrama onde os minerais são elencados segundo sua ordem de cristalização, para especular sua susceptibilidade ao intemperismo. Ainda diferentes texturas de cristalização, transformações que podem ocorrer no sistema rocha após diferenciação das fases minerais e/ou eventos de deformação podem levar a fragilidades no sistema cristalino, propiciando condições para a abertura dos minerais. Dentre estes fatores destaca-se o hidrotermalismo em rochas ígneas e metamórficas e a diagênese em rochas sedimentares. Estes processos devem ser necessariamente investigados pela

petrografia, onde secções delgadas de rochas são examinadas ao microscópio petrográfico permitindo o reconhecimento de minerais, sua textura, tamanho de grão e estado de sanidade. Um exemplo prático do raciocínio exposto é o estudo petrográfico de um basalto, que pode determinar a quantidade de vidro que ocorre na rocha (material amorfo muito suscetível ao intemperismo), a mineralogia essencial (minerais que dão nome à rocha), como plagioclásios e piroxênios, a mineralogia acessória como apatitas, e a presença de argilominerais ou outros produtos secundários em fraturas e em manchas sobre grãos, materializando processos hidrotermais (argilização, oxidação, carbonatização) ou intempéricos.

É importante ressaltar que para efeito de aplicação de pós desta rocha a cominuição necessária deve permitir a quebra dos minerais, de maneira a gerar partículas dos mesmos, ao invés de agregados de grãos, o que torna necessário o conhecimento das faixas de tamanho de grão de cada um dos constituintes minerais. De posse das informações petrográficas pode-se determinar a granulometria mais favorável ao intemperismo dos pós de rocha, averiguar quais minerais têm possibilidade teórica (condições de estabilidade físico-química) de liberar determinados óxidos e elementos no ciclo exógeno a prazos compatíveis, avaliar a presença de minerais secundários que indiquem processos hidrotermais e determinar aspectos de textura que facilitem a quebra dos sistemas cristalinos, interferindo no comportamento teórico de cada mineral.

Embora todo este raciocínio seja necessário antes da escolha de determinada rocha como insumo para fertilização de solos, o primeiro passo da investigação costuma ser a litoquímica de rocha total. Ainda que dificilmente uma única litologia venha contemplar todas as carências nutricionais de um determinado solo, neste trabalho é proposta uma sequência para cotejamento entre dados de litoquímica dos basaltos e dacitos da Formação Serra Geral, através de fluxograma para discriminação de termos impróprios, próprios ou mais favoráveis entre estas rochas, com base em elementos traços e diagramas para óxidos maiores.

## **Materiais e Métodos**

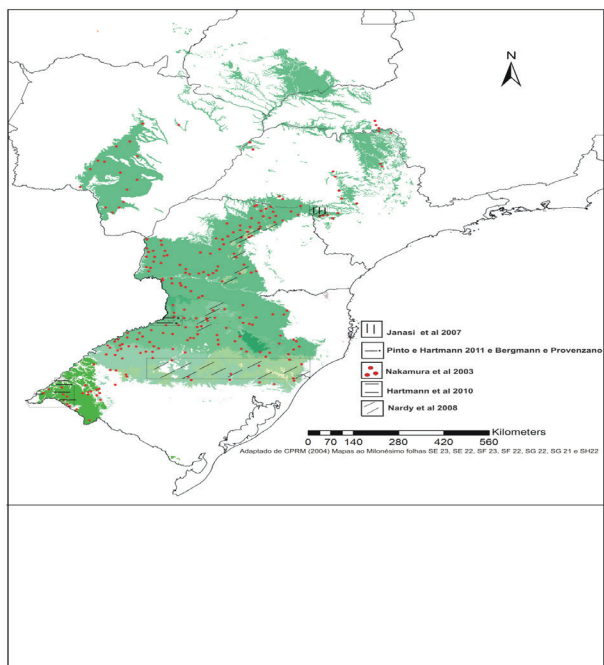
Os dados litoquímicos foram coletados na bibliografia buscando manter a representatividade geográfica, e correspondem aos seguintes trabalhos: Nakamura et al. (2003), Hartmann et al. (2010), Pinto e Hartmann





(2011) e Bergmann e Provenzano (no prelo), com análises para óxidos maiores e elementos traços realizada pelo laboratório ACME do Canadá; a litoquímica realizada pelo Instituto de Geociências da USP contida em Janasi (2007) e pelo Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências UNESP, contida em e Nardy et al. (2008). O conjunto perfaz um banco de dados de 773 amostras, distribuídas ao longo de toda a extensão da Formação Serra Geral, das quais 704 correspondem a rochas de afiliação basáltica (Fig.1).

Teores de todos os elementos nocivos (ou contaminantes) com limites definidos na IN N° 27/2006 do MAPA (As, Cd, Cr, Hg e Pb) são disponíveis apenas para os trabalhos de Nakamura et al. (2003) e Bergmann e Provenzano (no prelo), sendo o primeiro fonte do maior número de dados tratados (n=615), além de reproduzir uma amostragem de distribuição geográfica mais ampla e uniforme para as rochas básicas. Os demais trabalhos utilizados não incluem análises dos elementos traços As, Hg e Cd, sendo que para o Hg não se esperam teores naturais expressivos neste tipo de associação de rochas. O banco de dados inclui ainda uma minoria de amostras de rochas de corpos do tipo sill e dique, que não se enquadram na categoria de rochas vulcânicas, mas que mostram afinidades litoquímicas com os derrames basálticos. O trabalho propõe o uso de um diagrama (Fig. 2) com passos sequenciais para a análise de dados litoquímicos, onde estão discriminados os campos de rochas ácidas e básicas.



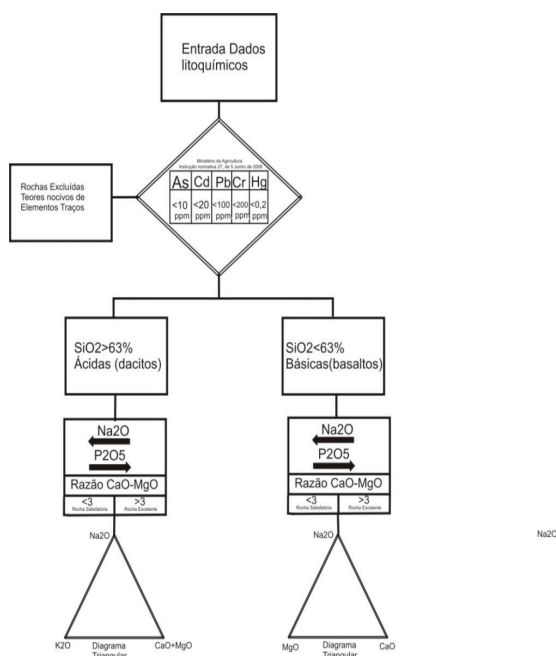
**Figura 1.** Distribuição das amostras ao longo da Formação Serra Geral no Brasil. Para o Rio Grande do Sul encontram-se discriminados vários fácies entre vulcânicas básicas e ácidas, para os demais estados discrimina-se básicas e ácidas (cor mais clara).

### **Compartimentação litoquímica maior das rochas da Formação Serra Geral e fatores petrográficos que podem influenciar na disponibilização de nutrientes**

A Formação Serra Geral compreende rochas vulcânicas e hipoabissais de caráter básico (predominam basaltos e basaltos andesíticos) subdivididas em vários fácies de acordo com sua afinidade química e posição litoestratigráfica; e rochas ácidas, entre as quais predominam dacitos e riolitos, compartimentados entre os Membros Palmas e Chapecó (Nardy et al., 2008). As rochas básicas, que perfazem a maior parte da província ígnea, apresentam teores de sílica médios entre 50 e 53% e teores relativamente mais elevados de Mg, Ca e P. Os dacitos e riolitos, que correspondem a

2,5% em volume do vulcanismo Serra Geral (Nardy et al., 2008) têm teores médios de sílica entre 65 e 72% e quantidades geralmente menores de Mg, Ca e P, embora portem teores de K que podem ser até 9 vezes maiores que aqueles dos basaltos.

Entre os basaltos predominam como mineralogia essencial plagioclásios cálcicos (labradorita e andesina) e piroxênios, minerais suscetíveis ao intemperismo e que podem liberar óxidos de Mg e Ca. A apatita, mineral do grupo dos fosfatos, ocorre como acessório (<3%), em agulhas micrométricas ocas e septadas, incluídas nos demais minerais da rocha ou em domínios devitrificados (Bergmann et al., 2009), fatores que podem contribuir para sua desagregação e incremento de solubilidade no meio exógeno. Acresce que a sílica dos basaltos é em grande parte disponível, já que possuem teores de quartzo pouco significativos, mesmo sendo toleítos.



**Figura 2.** Diagrama para tratamento de dados litoquímicos das rochas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. As setas indicam *trends* desejados, no sentido de acréscimo/decrécimo.

Os dacitos e riolitos diferem dos basaltos essencialmente pelo conteúdo maior de sílica e dos álcalis K e Na, tendo como minerais constituintes de rocha mais comuns os feldspatos potássicos, plagioclásios sódicos (oligoclásio e andesina), piroxênios e quartzo, e entre os minerais acessórios encontram-se igualmente as apatitas. As principais diferenças consistem no maior teor em álcalis das rochas ácidas, além de teores de  $P_2O_5$  um pouco inferiores em relação aos basaltos. As características estruturas de resfriamento rápido e texturas semi-vítreas e granofricas dos dacitos (Nardi et al. 2008, entre outros), apontam para um potencial razoável de liberação de nutrientes.

Além disso, evidências de processos hidrotermais do tipo argilização, albitização e zeolitização são comuns nos basaltos (Gomes, 1996; Duarte, 2008; Hartmann et al., 2011 entre outros), e menos citadas, mas também presentes nos dacitos. Estes processos introduzem importantes modificações na mineralogia primária das rochas e podem provocar a abertura das fases minerais, facilitando a liberação de nutrientes. Nas análises litoquímicas o grau de alteração hidrotermal pode ser estimado preliminarmente pelos valores de perda ao fogo (LOI, *loss by ignition*). Rochas ígneas com valores de perda ao fogo maiores que 3% passaram por alteração hidrotermal ou intempérica.

Para basaltos e dacitos a presença de vidro (material não cristalino, muito suscetível ao intemperismo) e cavidades diktitaxíticas preenchidas por filossilicatos são indicativas de rochas com maior potencial de liberação de nutrientes. Também nos dois conjuntos de rochas a mineralogia essencial é constituída por fases com abertura facilitada em condição exógena, o que inclui o feldspato potássico nos dacitos, dado às texturas vítreas peculiares destas rochas.

## **Discussão dos Resultados**

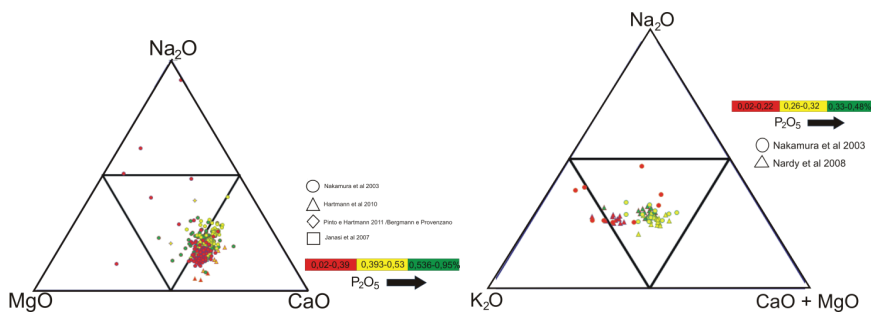
Dentre as 666 amostras que apresentaram dados suficientes para a análise dos elementos traços, 37 resultaram impróprias para uso como fertilizante pela Instrução Normativa N°27/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, sendo 35 excluídas pelos teores de Cr, 3 pelo As, e 1 pelo Pb.

Os campos de plotagem em diagrama triangular para os óxidos maiores CaO,  $Na_2O$ , MgO, para a grande maioria das rochas basálticas,

indica razões favoráveis de CaO/MgO sob o ponto de vista agrônômico, sendo considerada a razão ideal de Ca/Mg como de 3/1 a 4/1 como adequada em solos equilibrados (Figura 3). Os teores de K<sub>2</sub>O ficam abaixo de 3% para 95% das amostras, e 63% delas têm entre 1 e 2% de K<sub>2</sub>O. Quanto ao teor do álcali Na<sub>2</sub>O, indesejado pela possibilidade de salinização do solo ou limitante para culturas sensíveis ao sódio, aproximadamente 85% das amostras mostra Na<sub>2</sub>O < 3,0.

Para os dacitos, foi escolhida a representação no diagrama K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, CaO+MgO, onde fica evidente a importância do óxido de K, em boa parte das amostras superior à soma dos óxidos de Ca e Mg (Fig. 3). Dentre as rochas consideradas, 62% apresentam valores de K<sub>2</sub>O > 4,0, sendo o valor máximo 5,18% de K<sub>2</sub>O. Um total de 60% das amostras acusa Na<sub>2</sub>O > 3,0, com valores que não ultrapassam 3,88% de Na<sub>2</sub>O.

Entre as rochas vulcânicas ácidas, as do tipo Chapecó (Nardy *et al.*, 2008) apresentam maiores teores de álcalis e de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Quanto aos micronutrientes, os dados de Nakamura *et al.* (2003) e Bergmann e Provenzano (no prelo) apontam para teores de MnO entre 0,2 e 0,3% nos basaltos, enquanto nas ácidas os teores são inferiores a 0,14%. Teores de Cu acima de 150 ppm caracterizam a maioria dos basaltos destes bancos de dados, sendo comuns valores entre 200 e 300 ppm. Para o Zn foram constatados teores acima de 100 ppm para a grande maioria das amostras, e o para o Ni 28% delas mostram teores entre 50 e 950 ppm, o que possibilita considerar tais rochas como fontes destes nutrientes para a maioria das espécies agrícolas.



**Figura 3.** Diagramas ternários para os óxidos mais importantes de rochas básicas e ácidas da Formação Serra Geral.



## Conclusões e recomendações

O estudo petrográfico detalhado das rochas vulcânicas deve ser complementado com técnicas e instrumentos como o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), para investigar feições de dissolução em faces de minerais, podendo estabelecer correlações entre estes fatores e o desempenho agrônômico de pós de rocha em experimentos de casa de vegetação e de campo, além de testes em colunas de lixiviação (para extração e avaliação de elementos traços e nutrientes solúveis em água, Bamberg et al. 2011).

Fatores implícitos à litoquímica, mineralogia e textura das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, tanto básicas como ácidas, são fortemente indicativos do potencial que apresentam os finos de britagem destas rochas no uso como remineralizadores de solos empobrecidos em nutrientes. As normas para regularização dos produtos oriundos destas rochas devem considerar todos estes fatores.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a revisão criteriosa da petrógrafa Andréa Sander da CPRM Porto Alegre, bem como as suas sugestões, que contribuíram para a maior clareza do texto.

## Referências Bibliográfica

BAMBERG, A.L., SILVEIRA, C.A.P., POTES, M.L., PILLON, C.N., LOUZADA, R.M., CAMPOS, A.A. Dinâmica de liberação de nutrientes disponibilizados por diferentes tipos de rochas em colunas de lixiviação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011. In: *Anais...* Uberlândia, MG, 2011.

BERGMANN, M., HOFF, R., THEODORO, S.M.C.H. Rochagem: Viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no distrito mineiro de Ametista do Sul, RS, Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2009. In: *Anais...* Brasília, D.F., 2009. Embrapa, p.78-83. Brasil Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 27/2006

BERGMANN, M.; PROVENZANO, C.A. Geologia e recursos minerais da Folha Três Passos - SG.22-Y-C-I, estado do Rio Grande do Sul, escala 1:100.000. PLGB CPRM. No prelo.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. *Cartas Geológicas do Brasil ao Milionésimo. Sistema de Informações Geográficas SIG. Folhas SF 21, 22 e 23; SG 21, 22 e 23; SH 21 e 22.* Brasília CPRM 2004. 7 CDs.

DUARTE, L. C. *Evolução geológica, Geoquímica e Isotópica das Mineralizações de Geodos com*



*Ametista*, Artigas, República Oriental do Uruguai. 2008. Tese (doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

GOMES, M.E.B., *Mecanismos de resfriamento, estruturação e processos pós-magmáticos em basaltos da Bacia do Paraná - Região de Frederico Westphalen (RS)*, Brasil, 1996. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, 1996.

HARTMANN, L.A., DUARTE, L.C., MASSONE H.J., MICHELIN, C., ROSENSTENGEL, L.M., BERGMANN, M., THEYE, T., PERTILLE, J., ARENA, K.R., DUARTE, S.K., PINTO, V.M., BARBOZA, E.G., ROSA, M.L.C.C., WILDNER, W. Sequential opening and filling of cavities forming vesicles, amygdales and giant amethyst geodes in lavas from the southern Pa-rana volcanic province, Brazil and Uruguay. *International Geology Review*, p. 1-14, 2010.

PINTO, V.M., HARTMANN, L.A. Flow-by-flow chemical stratigraphy and evolution of thirteen Serra Geral Group basalt flows from Vista Alegre, southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 82, p. 425-440, 2011.

JANASI, V. A.; NEGRI, F. A.; MONTANHEIRO, T. J.; FREITAS, V. A.; ROCHA, B. C.; REIS, P. M. Geochemistry of the eocretacic basalt magmatism in the Piraju-Ourinhos region, SE Brazil, and implications to the stratigraphy of the Serra Geral Formation. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n.1, p. 148-162, 2007.

HARTMANN, L.A., WILDNER, W., DUARTE, L.C., DUARTE, S.K., PERTILLE, J., ARENA, K.R., MARTINS, L.C., DIAS, N.L. Geochemical and scintillometric characterization and correlation of amethyst geode-bearing Paraná lavas from the Quarai and Los Catalanes districts, Brazil and Uruguay. *Geological Magazine*, v.147, p. 954-970, 2010.

NAKAMURA, K., SHIBUIA, A., NASUTA, K., MURAKAMI, T., WILDNER, W., ROMANONO, S. Mineral exploration of the Cu-Ni PGE deposits in the Paraná basin Southern Brazil: phase II. Japan Mining Engineering Center for International Cooperation-JMEC; CPRM-Geological Survey of Brasil, 2003.

NARDY, A.J.R., MACHADO, F.B., OLIVEIRA M.A.F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Revista Brasileira de Geociências*, v.38,n.1, p.178-195, 2008.

# ESTUDO DA CINÉTICA DE LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO CONTIDO NO FLOGOPITO DA BAHIA

*Silvia Cristina Alves França<sup>1</sup>  
Adriana de Aquino Soeiro da Silva<sup>1,2</sup>  
Célia Maria Machado Ronconi<sup>3</sup>*

## Resumo

Neste trabalho foi estudada a de liberação do potássio contido em uma amostra de flogopitito, rocha que contém o mineral flogopita, da região de Campo Formoso, Bahia. A caracterização mineralógica e química da rocha, feita por meio de difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia no infravermelho e fluorescência de raios-X, mostrou que o mineral flogopita contém em torno de 8% de  $K_2O$ , com os íons potássio nas posições interlamelares. A extração do potássio foi estudada, utilizando-se água, soluções ácidas (ácido nítrico, cítrico, oxálico e solução Mehlich-1) e salina (tetrafenilborato de sódio-NaTPB). Os resultados de extração do potássio ao longo do tempo foram avaliados utilizando-se diferentes modelos cinéticos como o de Elovich, difusão parabólica e uma função exponencial, frequentemente utilizados para avaliar a cinética de troca iônica de solos argilosos. A eficiência de extração do potássio foi de 1,9% (1300 mg/kg) para as solução de Mehlich-1 após 168 horas de extração; o teor máximo de extração de 2,7%  $K^+$  (1800 mg/kg) foi obtido para solução de tetrafenilborato de sódio, para um tempo de 4 horas. Foram determinados parâmetros cinéticos para avaliação de qual dos modelos representa, mais adequadamente, os fenômenos de liberação e troca iônica do  $K^+$  contido no flogopitito.

**Palavras-chave:** fertilizante; potássio; flogopitito; cinética de troca iônica.

---

<sup>1</sup> CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Av. Pedro Calmon, 900 Cidade Universitária, Rio de Janeiro-RJ, Brasil 21941-908, Fone: 55(21) 3865-7273 sfranca@cetem.gov.br. <sup>2</sup>IFRJ – Instituto Federal de Educação Tecnológica/Campus Nilópolis-RJ. <sup>3</sup>IQ/UFF – Instituto de Química – Universidade Federal Flumiennse



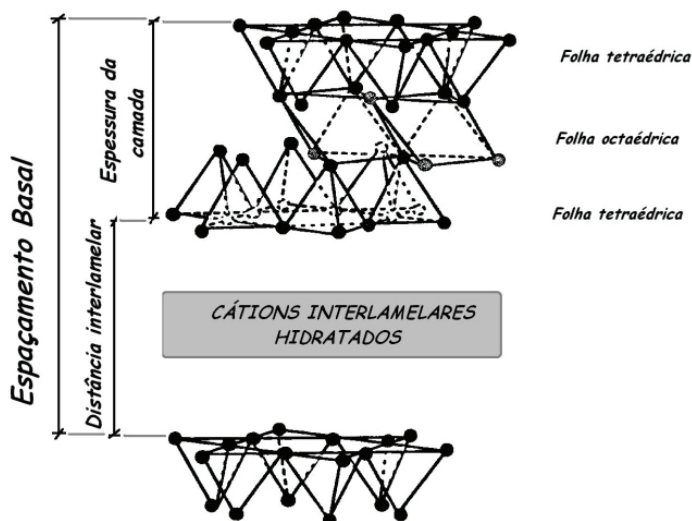


## Introdução

A evidente carência nacional por fertilizantes potássicos, além da sua demanda crescente, reforça a necessidade de se estudar fontes alternativas minerais, para a produção de sais e outros compostos de potássio. Alguns minerais do grupo das micas como a biotita, vermiculita ou flogopita são também fontes potenciais de potássio (Silva, 2009; França *et al.*, 2010).

A unidade estrutural básica das micas consiste numa lamela onde duas camadas tetraédricas de sílica envolvem uma camada octaédrica de alumina (Figura 1). Nas camadas de sílica ocorrem substituições de um quarto do silício por alumínio, gerando um excesso de carga elétrica negativa, que é compensado por átomos de potássio, cálcio, magnésio, lítio, sódio ou ferro, dependendo do tipo de mica.

Na última década, diversos estudos vêm sendo realizados com o intuito de quantificar as taxas de liberação de potássio de fontes minerais para a nutrição de plantas (Castilhos *et al.*, 2001; Silva, 2009; França *et al.*, 2010). Nestes estudos foram utilizadas resinas trocadoras de cátions, soluções salinas diluídas e tetrafenilborato de sódio, ácidos orgânicos de baixo peso molecular como, por exemplo, os ácidos cítrico e oxálico, dentre outros. Estes ácidos, por exemplo, podem facilitar a intemperização de minerais pela formação de complexos metalorgânicos, além de serem naturalmente produzidos pelas plantas na região radicular (rizosfera). A solução de Mehlich-1 também é largamente utilizada para a extração de cátions trocáveis; tem como princípio a solubilização de fósforo, potássio e micronutrientes pelo efeito do pH (faixa 2-3), conforme mencionado por Silva *et al.* (1998) e Valladares *et al.* (2001).



**Figura 1.** Representação da unidade estrutural básica das micas

Para sólidos lamelares, a troca iônica ocorre de maneira mais dificultada, uma vez que dependerá da rigidez e do espaçamento entre essas lamelas. Neste trabalho, foi utilizada a flogopita como mineral de lamela aniônica. A Equação (1) apresenta o equilíbrio que deverá ser obtido quando uma solução contendo um cátion diferente do contra-íon original da flogopita ( $K^+$ ) for colocada em contato com o mineral em estudo.



A amostra estudada é proveniente da Serra de Carnaíba (Bahia), região garimpeira de esmeraldas que tem o flogopitito como rocha encaixante da pedra preciosa. Na região são descartadas grandes quantidades de flogopitito portador de potássio, que é considerado rejeito e causador de problemas ambientais. Assim, avaliar a potencialidade dessa rocha como fertilizante alternativo, por meio da cinética de liberação do nutriente é a contribuição desse trabalho.



## Objetivos

Avaliar a cinética de liberação do potássio contido em amostra de flogopitito da Bahia em diferentes soluções extratoras. Para tanto, buscaram-se os seguintes objetivos específicos:

- avaliação do potássio presente na amostra, por meio de caracterização físico-química e mineralógica da amostra; escolha das soluções extratoras, com base na literatura;
- realização de ensaios de extração de potássio em incubadora de bancada;
- avaliação estatística dos dados obtidos e adequação aos modelos cinéticos.

## Metodologia

As etapas utilizadas nesse estudo são brevemente descritas a seguir.

## Preparação da amostra

A amostra de flogopitito utilizada é proveniente dos garimpos de esmeralda da Serra da Carnaíba, região de Pindobaçu, Bahia. Foram amostrados cerca de 500 kg de rocha, para a realização de diferentes trabalhos de pesquisa em laboratório e usina piloto. A amostra foi homogeneizada, por meio de pilhas cônica e prismática, e quartada em amostras menores de 10 kg. Uma alíquota de 1,0 kg foi coletada, peneirada e separada a fração granulométrica de (-105+74)  $\mu\text{m}$  para os experimentos de extração de potássio.

## Caracterização da amostra

As diferentes técnicas para a caracterização física, química e mineralógica da amostra são citadas a seguir:

- i) a determinação das fases minerais presentes na amostra foi realizada por meio de difratometria de raios-X, DRX, (Bruker-AXS D5005, radiação  $\text{CoK}\alpha$   $\lambda=1,78897 \text{ \AA}$ , 35 kV e 40 mA); a morfologia foi observada em microscópio eletrônico de varredura - MEV (Leica, F440, modelo de alto vácuo);

- ii) as bandas de ligações químicas, que auxiliam na avaliação dos tipos de ligações, foram determinadas por espectroscopia de infravermelho - IV (Bomem-Hartmann & Braun, varredura de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ ); para as análises químicas foram utilizadas a espectrometria de fluorescência de raios-X (Spectra Plus v.1.6).

## Ensaio de liberação de $\text{K}^+$ em diferentes soluções extratantes

Nesses experimentos, 5,0 gramas da amostra de flogopitito foram pesados e transferidos para um erlenmeyer contendo 50 mL de solução extratora; os experimentos foram realizados em triplicata. As soluções extratoras utilizadas foram a água (ensaio em branco), ácido nítrico -  $\text{HNO}_3$ , 0,01 mol/L (MERCK), ácido cítrico -  $\text{H}_8\text{C}_6\text{O}_7$ , 0,01 mol/L (VETEC), ácido oxálico -  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , 0,01 mol/L (VETEC), solução Mehlich-1 ( $\text{HCl}$  0,05 mol/L +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 mol/L, ambos MERCK) e tetrafenilborato de sódio  $\text{NaB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ , 0,2 mol/L (ALDRICH). Os erlenmeyers foram mantidos sob agitação constante de 300 rpm em uma incubadora de bancada, por um tempo máximo de 168 horas.

Para a determinação da concentração de  $\text{K}^+$  liberado em solução foram coltadas, em intervalos de tempo pré-determinados, alíquotas de 5,0 mL de sobrenadante, as quais foram filtradas e analisadas por espectrometria de absorção atômica, em equipamento Varian<sup>®</sup> modelo AA6 (comprimento de onda de 248,3 nm e mistura ar-acetileno).

## Estudo cinético de liberação do $\text{K}^+$

A cinética de liberação do potássio contido no flogopitito foi avaliada por meio do ajuste dos pontos experimentais de extração do potássio, utilizando-se equações matemáticas que sejam capazes de descrever e prever o comportamento da liberação do  $\text{K}^+$  na solução extratante ao longo do tempo (Darunsontaya *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2013). A liberação do potássio pode ser descrita pela equação diferencial (2), resultando na equação (3):

$$\frac{dK_t}{dt} = k_2(K_0 - K_t) \quad (2) \quad h(K_0 - K_t) = h K_0 - k_2 t \quad (3)$$

As variáveis e parâmetros são:  $K_t$  é a concentração de  $K^+$  trocável liberado a qualquer tempo (t) do experimento;  $K_0$  é a concentração máxima de  $K^+$  liberada ao final do experimento, que é determinado experimentalmente;  $k_2$  expressa a taxa de liberação do  $K^+$ . A equação (3) origina outras equações, a partir de simplificações e/ou considerações experimentais. Os modelos matemáticos de cinética de liberação utilizados nesse trabalho são: função exponencial (4), difusão parabólica (5) e Elovich (6), apresentados a seguir.

$$h(K_t) = h(a) + b.h(t) \quad (4)$$

$$K_t = a + b.t^{1/2} \quad (5)$$

$$K_t = a + b.\ln(t) \quad (6)$$

Nas equações,  $a$  e  $b$  são parâmetros, sendo  $b$  relacionado à taxa de liberação do nutriente.

## Resultados e Discussões

### Caracterização da amostra

A composição química da amostra de flogopitito obtida por FRX é apresentada na Tabela 1.

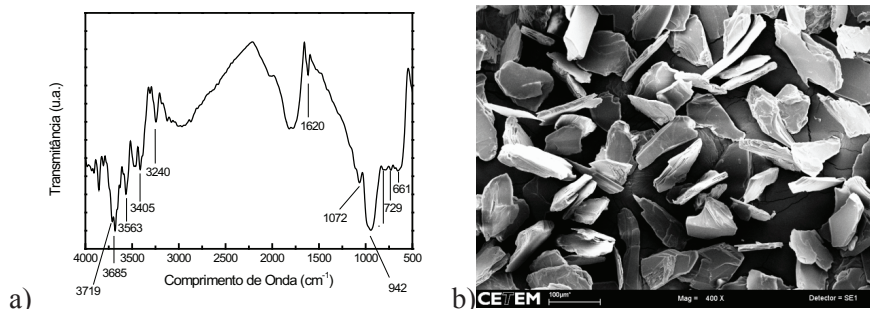
**Tabela 1.** Composição química da amostra de flogopitito

Óxidos	Teor (%)	Óxidos	Teor (%)	Óxidos	Teor(%)	Óxidos	Teor(%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,09	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,60	MnO	0,18	SiO <sub>2</sub>	39,89
CaO	0,54	K <sub>2</sub> O	8,26	NiO	0,14	TiO <sub>2</sub>	0,22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,51	MgO	17,48	Rb <sub>2</sub> O	0,33	P.F.	12,0

P.F. - perda ao fogo

O flogopitito contém um teor de 8,3% de  $K_2O$ , o que corresponde a 6,7% de  $K^+$  em sua composição, equivalente a uma massa total de  $K^+$  de 67.000 mg/kg. O teor de  $MgO$  de 17,5% também torna o minério interessante, já que se trata de outro nutriente importante. A análise por difratometria de raios-X indicou a flogopita e o talco como os principais minerais presentes na amostra de flogopitito, informações que corroboram com os resultados de análises químicas, uma vez que o talco é um mineral portador de  $Mg$ .

A espectroscopia no infravermelho foi utilizada como técnica complementar à difração de raios X. Na Figura 2(a) é apresentado o espectro no IV da amostra de flogopitito, com a identificação das bandas onde estão localizadas as ligações químicas; em (b) por meio da imagem de microscopia eletrônica de varredura nota-se o aspecto lamelar da flogopita. Com relação ao espectro IV da amostra, foram observadas as bandas características de vibração das ligações O-H, Si-O-Si, Al-OH, Al-O-Si e Al-O de  $AlO_4$ . Devido à determinação do espectro de IV na faixa de 4000 a 400  $cm^{-1}$  não foram observadas bandas referentes à ligação dos íons potássio, uma vez que estas ocorrem em faixas de menor comprimento de onda, 120 a 60  $cm^{-1}$  (Silva, 2009).



**Figura 2.** (a) Espectro no infravermelho da amostra de flogopitito; (b) imagem MEV da amostra de flogopitito.

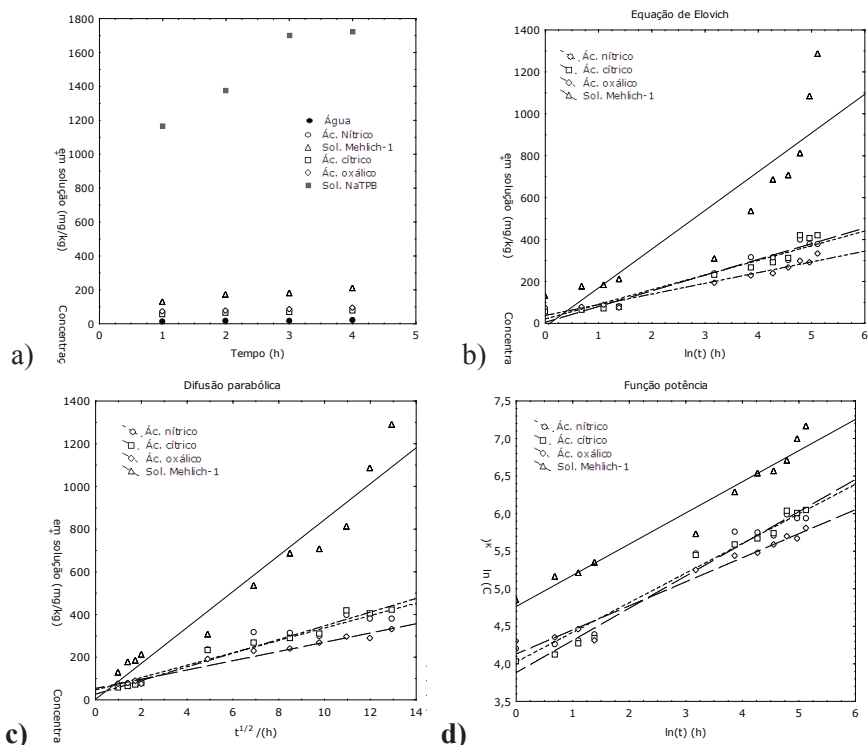
## Estudo cinético de extração de potássio

Os resultados de concentração de potássio ( $K^+$ ) liberado em solução ao longo do tempo de experimento foram plotados e ajustados por equações cinéticas, conforme apresentado na sequência das Figuras 3 (a) a (d).



Na Figura 3 (a) são apresentados os resultados de extração de potássio em água e nas soluções extratoras, para um período de 4 horas de experimento; nota-se que a extração em água é muito pobre, o que pode ser explicado pela dificuldade de remoção dos íons potássio da estrutura interlamelar da flogopita. As soluções de ácidos nítrico, cítrico e oxálico promoveram extrações da ordem de 100 mg K<sup>+</sup>/kg e a solução Mehlich-1 já proporciona valores de concentração de K<sup>+</sup> em solução da ordem de 200 mg/kg.

O potencial extrator da solução de tetrafenilborato de sódio é expresso pelo valor de potássio extraído, cerca de 1700 mg K<sup>+</sup>/kg, sete vezes superior ao desempenho obtido com a solução Mehlich-1. Para a melhor comparação entre os resultados de estudo cinético, nas Figuras 3 (b), (c) e (d) são apresentados os ajustes das equações de equilíbrio de Elovich, difusão parabólica e função exponencial, respectivamente, para as soluções de ácido nítrico, cítrico, oxálico e Mehlich-1. Nota-se na Figura 3 (b) que a equação de Elovich não apresentou um bom ajuste para a extração com solução Mehlich-1, uma vez que esse é um extratante mais forte (mistura ácida) e certamente extrai inicialmente os íons posicionados na parte mais externa das lamelas e, sem seguida, segue a extração dos íons interlamelares, daí o aumento sensível da concentração de K<sup>+</sup> a partir de 80 horas de extração. As equações de difusão parabólica e função exponencial ajustam melhor os dados de extração para a solução Mehlich-1.



**Figura 3.** Ajustes dos modelos cinéticos de extração de  $K^+$  do flogopitito em diferentes soluções extratoras

Para as soluções de ácidos nítrico, cítrico e oxálico os três modelos apresentam resultados semelhantes, pois nos três casos a concentração de equilíbrio é atingida em um curto período de tempo, o que está, provavelmente, relacionado à pequena quantidade de potássio trocável disponível na amostra (Darunsontaya *et al.*, 2010).

A avaliação mais precisa do ajuste e adequação dos modelos deve levar em conta parâmetros estatísticos como o coeficiente de correlação ( $r^2$ ) e o erro padrão inerente às medidas. Esses resultados são apresentados na Tabela 2.

Os resultados apresentados na Tabela 2 apontam que a função exponencial promoveu o melhor ajuste para as soluções ácidas, com valores mais elevados de  $r^2$  e menores erros padrão, destacando-se a solução de



ácido cítrico com maior coeficiente de correlação; resultados semelhantes foram obtidos por Galadima e Silvertooth (1998). Dentre as soluções ácidas, a solução de Mehlich-1 apresentou os maiores valores para o parâmetro  $b$ , que representa a taxa de liberação do potássio.

**Tabela 2.** Resultados da cinética de liberação de potássio – comparação entre os modelos

Soluções extratoras	Modelos cinéticos								
	Função exponencial			Difusão parabólica			Equação de Elovich		
	$b$ [mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	r <sup>2</sup>	Erro padrão	$b$ [mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1/2</sup> ]	r <sup>2</sup>	Erro padrão	$b$ [mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	r <sup>2</sup>	Erro padrão
Ác. nítrico	0,394	0,966	0,0246	29,02	0,931	2,627	69,91	0,957	4,939
Ác. cítrico	0,429	0,983	0,0189	32,02	0,972	1,825	74,99	0,944	6,097
Ác. oxálico	0,320	0,970	0,0186	21,64	0,972	1,221	51,08	0,959	3,512
Mehlich-1	0,415	0,956	0,0284	84,15	0,941	7,027	184,8	0,803	30,48
NaTPB <sup>1</sup>	0,303	0,957	0,0455	606,1	0,944	104,2	434,3	0,945	73,80
Água*	0,233	0,984	0,0209	5,749	0,980	0,584	4,116	0,980	0,418

\*duração do experimento – 4 h

Considerando-se os fenômenos envolvidos nos processos de troca iônica, pode-se inferir que há certa dificuldade de previsão da liberação do potássio da fase não trocável, uma vez que se trata de um mineral lamelar, conforme já foi comentado anteriormente, com parte do potássio contido na fase não trocável. Talvez por esse motivo os erros da estimação do parâmetro  $b$  pelo modelo de Elovich sejam mais elevados.

A eficiência de extração do potássio foi de 1,9% (1300 mg/kg) para a solução de Mehlich-1 após 168 horas de extração; o teor máximo de extração de 2,7% K<sup>+</sup> (1800 mg/kg) foi obtido para extração em solução de tetrafenilborato de sódio, para um experimento de apenas 4 horas de contato entre o minério e a solução extratante.

## Considerações

Embora o flogopitito apresente cerca de 7% de potássio na sua estrutura, a disponibilidade desses íons foi muito baixa para as soluções extratantes estudadas, com o maior valor de extração próximo de 3% para uma solução de tetrafenilborato de sódio.

Comparada aos sais solúveis de potássio, ditos de liberação rápida, a taxa de liberação do potássio contido no flogopitito, expressa pelo parâmetro  $b$  dos modelos cinéticos, em particular no modelo exponencial, foi bem reduzida, variando de 0,23-0,41 mg/kg.h (Braccini *et al.*, 1999); nesse caso,



em que as condições de extração são bem semelhantes às do ambiente do solo (rizosfera), seriam necessários cerca de 18 anos para a total liberação do nutriente.

A utilização de fertilizantes alternativos é de suma importância para a economia agrícola do país, especialmente para os pequenos produtores. Cabe avaliar os tipos de cultura e as condições de solo mais adequadas para a aplicação eficiente desses fertilizantes de liberação lenta. Para essa amostra de flogopitito, em particular, vale a pena redirecionar um estudo para a disponibilidade do MgO contido, que é na faixa de 18% e também é um nutriente importante.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq, por meio do projeto 574903/2008-9, Edital CTAgro 43/2008 e a importante colaboração de professores do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, MG.

## Referências Bibliográficas

- BRACCINI, M.C.L., BRACCINI, A.L., FOLONI, J.M. E SILVA, J.R.T., Produção de biomassa seca e teor de nutrientes do milho em resposta a doses e localização de osmocote em amostras de latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa. *Acta Scientiarum* n. 21, vol. 3, p. 497-503, 1999.
- CASTILHOS, R.M.V. E MEURER, E.J., Cinética de liberação de potássio em planossolo do estado do Rio Grande do Sul, *Ciência Rural*, v.31, p. 979-983, 2001.
- DARUNSONTAYA, T.; SUDDHIPRAKARN, A.; KHEOURUENROMNE, I.; GILKES, R.J.; The kinetics of potassium release to sodium tetraphenylboron solution from the clay fraction of highly weathered soils. *Appl. Clay Sci.* 2010, v.50, n. 3, p. 376-385, 2010.
- FRANÇA, S.C.A., LUZ, A.B., SANTOS, J.S. E BORGES, R.S., Estudo da aplicação de resíduos de vermiculita como fertilizante alternativo de potássio. Anais do II Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, p.125-131, Campina Grande-PB, 2010.
- GALADIMA, A. E SILVERTOOTH, J.C. Mathematical models of potassium release kinetics for sonoran desert soils of Arizona. In: SILVERTOOTH, J.C. Cotton. A College of Agriculture Report, Tucson, College of Agriculture, The University of Arizona, Tucson, Arizona, 85721, 1998. (disponível em <http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1006/az10068f.html>).
- SILVA, A.A.S. Caracterização de flogopitito da Bahia para uso como fertilizante alternativo de potássio. Dissertação de Mestrado, IQ/UFRJ, Rio de Janeiro, 76 p., 2009.
- SILVA, A.A.S., RONCONI, C.M., SAMPAIO, J.A., LUZ, A.B. E FRANÇA, S.C.A., Modeling controlled



potassium release from phlogopite in solution: exploring the viability of using crushed phlogopite rock as an alternative potassium source in Brazilian soils. In: *Journal of the Brazilian Chemical Society* (a publicar), 2013.

SILVA, F.C.; EIRA, P. A.; BARRETO, W. O.; PÉREZ, D. P., SILVA, C. A., Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo, EMBRAPA-CNPS, 56 p., 1998.

VALLADARES, G.S., PEREIRA, M.G., SOUZA, J.M.P.F., PÉREZ, D.V., ANJOS, L.H.C., Comparação entre os teores de nutrientes extraídos por três métodos em amostras de solos do Rio de Janeiro, *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 7 p. 137-141, 2001.

# AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO USO DA ROCHAGEM EM LAVOURA COMERCIAL NO SUDOESTE GOIANO

*Antonio Alexandre Bizão<sup>1</sup>*

*Eduardo Hack<sup>2</sup>*

*Nayra Thaís Ferreira Batista<sup>3</sup>*

*Claudia Adriana Görgen<sup>4</sup>*

*Vilmar Antonio Ragagnin<sup>5</sup>*

*Éder de Souza Martins<sup>6</sup>*

*Lucas Ferreira de Moraes<sup>7</sup>*

*Andréa Luiza Görgen Marques<sup>8</sup>*

*Raquel dos Santos Carvalho<sup>9</sup>*

*Luana Bispo de Assis<sup>10</sup>*

## Resumo

O presente trabalho avaliou a viabilidade econômica da rochagem em lavoura comercial no Sudoeste Goiano. A avaliação econômica foi realizada em uma área demonstrativa, conduzida em lavoura comercial. Os tratamentos com pó de rocha finos de mica xisto e areia de mica xisto foram aplicados em faixas de 2,0 ha assim como as testemunhas com NPK, no mês de outubro de 2010. Foram observados os fatores com um diferencial econômico para avaliação da rochagem. Foi considerada a produtividade média por hectare de cada parcela dos tratamentos, com o preço por saca de soja fixado em R\$ 40,00 (quarenta reais) nos três anos de avaliações safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13, dos custos de produção e do lucro líquido. As avaliações desenvolvidas por este trabalho indicam que a rochagem a partir

---

<sup>1</sup> Discente de Mestrado em Agronomia. IFGoiano – Rio Verde. aabizao@gmail.com; <sup>2</sup> Administrador de Agronegócios. agrodudas@hotmail.com; <sup>3</sup> Discente do Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal). UFG - Campus Jataí. nayrathais88@gmail.com; <sup>4</sup> Engenheira Agrônoma - Mestre em Agronomia. claudiadianagorgen@gmail.com; <sup>5</sup> Docente de Agronomia. UFG - Campus Jataí. vilmar.ragagnin@gmail.com; <sup>6</sup> Doutor em Geologia – Embrapa Cerrados. eder.martins@embrapa.br; <sup>7</sup> Discente em graduação de Engenharia Florestal. UFG - Campus Jataí **Falta e-mail**; <sup>8</sup> Técnica Agrícola e Discente em graduação de Química Licenciatura. UFG - Campus Jataí. andrealuizagorgen@gmail.com; <sup>9</sup> Bióloga Mestre em Agronomia (Produção Vegetal). raquelbioufg@yahoo.com.br; <sup>10</sup> Discente do Mestrado em Direito Agrário – UFG. luanabispoadvogada@gmail.com



de rochas regionais é viável economicamente nos sistemas de produção do Sudoeste Goiano.

**Palavras-chave:** Lavoura comercial, Avaliação econômica, rochagem, sustentabilidade.

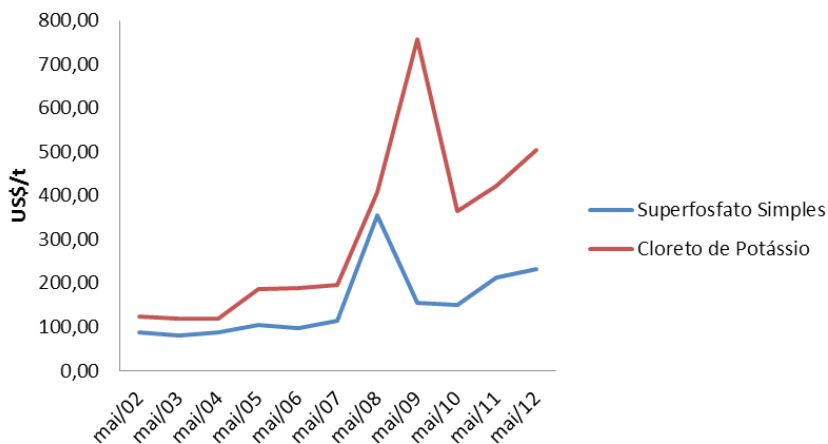
## Introdução

O aumento da demanda, a magnitude da produção agrícola nacional e as características naturais de baixa fertilidade frequentemente encontradas nos solos de cerrado tornam os produtores cada dia mais dependentes economicamente de fertilizantes sintéticos, podendo causar um desequilíbrio nos agrossistemas, inclusive levar à degradação dos solos (Gliessman, 2000) e à acidificação do mesmo principalmente no caso de fontes nitrogenadas (Luchese et al., 2002), pondo em risco a sustentabilidade da produção.

De acordo com Malavolta (2008) a adubação tem por finalidade fornecer os nutrientes à cultura, para isso é necessário entender sobre os elementos e quantidade que serão aplicados, a época de aplicação, a localização, observando o efeito na qualidade da lavoura e no ambiente, além de observar se terá retorno econômico, sendo esse último critério decisivo. Pois, fundamentalmente, é errado supor que o lavrador aduba para aumentar a produtividade de suas terras ou ainda para melhorar o abastecimento do país de alimentos e matérias primas vegetais, o agricultor aduba o solo agrícola para aumentar a sua receita líquida e melhorar o seu padrão de vida e ganhar mais dinheiro (Malavolta et al., 2000).

Apesar de em 2006 o país ter importado 12 milhões de toneladas de matéria ao custo de 2,7 bilhões de dólares, esses fertilizantes apresentam baixo índice de eficiência sendo 60% para N, 30% para P, e 70% para o K. Esta ineficiência gera um déficit da ordem de 25 a 30 kg/ha de NPK levando a um maior empobrecimento do solo (Lapido-Loureiro et al., 2009). Em contrapartida, de acordo com Fyfe et al. (2006) superando tais limitações, os avanços na tecnologia rochagem deve contribuir progressivamente para manter a saúde e fertilidade do solo, garantindo a produção de alimentos no social e formas ambientalmente sustentáveis.

A evolução de preços dos fertilizantes é ascendente (Figura 1) por ser um recurso esgotável e ser fortemente dependente de energia fóssil para sua utilização. Por outro lado, as matérias primas da rochagem são recursos naturais regionais e utilizam uma fração da energia fóssil dispendida na produção e transporte das fontes de nutrientes de elevada solubilidade.



**Figura 1.** Brasil – Importação de fertilizantes preços médios R\$ FOB t métrica.

Fonte\*: MDIC/Secex.

Elaboração: MAPA/SPA/DEAGRI

Segundo Castro et al. (2006), um dos principais itens que compõem a estrutura dos custos variáveis de produção das culturas é o adubo, caracterizado principalmente pelos macro nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio. Nesse sentido a criação de sistemas mais sustentáveis se tornou uma imposição ambiental, econômica e jurídica, sendo destacável a premissa de desenvolver e utilizar fontes alternativas de nutrientes para as culturas, como os biofertilizantes e as fontes minerais naturais ou pó de rochas, aumentando assim a oferta de empregos e o capital financeiro local. Fertilizantes orgânicos também são importantes fornecedores de nutrientes para a agricultura e podem ser encontrados como produtos comerciais, ou mesmo produzidos pelo próprio agricultor (Deleitoet al., 2009), o que reflete em economia para o mesmo, diminuindo assim a utilização de insumos agrícolas, aumentamos a qualidade dos solos e dos alimentos.



Além dos benefícios sociais, ecológicos e ambientais gerados pela prática da rochagem, ela tem que gerar receita líquida ao agricultor em comparação com outros manejos da fertilidade, e assim, garantir a sustentabilidade do processo produtivo.

Embora o uso de pó de rocha e de Biofertilizantes vem sendo difundido ao longo dos anos, existem poucos resultados científicos sobre seus efeitos no solo e principalmente sobre seus impactos na produtividade, bem como a metodologia de uso do mesmo. Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar resultados obtidos de avaliações do efeito da utilização de rochas moídas, advindas de subproduto de mineração, na correção e condicionamento de solo. Neste processo torna-se imprescindível a valoração econômica e o dimensionamento do custo/benefício na atividade agrícola em lavoura comercial no Sudoeste Goiano.

## Metodologia

A avaliação econômica foi realizada em uma área demonstrativa, conduzida em lavoura comercial, localizado na Fazenda Marília situada no município de Jataí, estado de Goiás, nas coordenadas 17°52'35"S e 51°36'50"W. A área possui cultivo intensivo (safra e safrinha) superior a 15 anos, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho, representativo da interseção entre as formações Serra Geral (basalto) e Bauru (arenitos e conglomerados).

Os tratamentos com pó de rocha - finos de mica xisto (FMX) e areia de mica xisto (AMX) foram aplicados em faixas de 2,0 ha assim como a testemunha com NPK, no mês de outubro de 2010. O FMX apresenta 80% do total em massa na fração menor que 0,3 mm e o AMX apresenta 25% do total em massa na fração menor que 0,3 mm, com uma ampla distribuição granulométrica. O FMX e o AMX são provenientes da Mineração Araguaia, município de Aparecida de Goiânia, distante 300 km do experimento. As avaliações ocorreram nas safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13 para a cultura da soja (Glycinemax), cultivar "Anta 82", Nidera "5909" e "Nidera 7337RR", respectivamente. Foram aplicadas 5 t/ha de pó de rocha apenas no primeiro ano, na safra de 2010/2011 foram aplicados 260 kg/ha de NPK (00-32-00) e 140 Kg/ha de KCL. Na safra de 2011/2012, utilizou-se 400g/ha de NPK (02-20-18) e na safra 2012/2013 a adubação foi 80 kg MAP e 100 kg de



KCL por hectare, sendo esta adubação definida de acordo com o padrão da Fazenda.

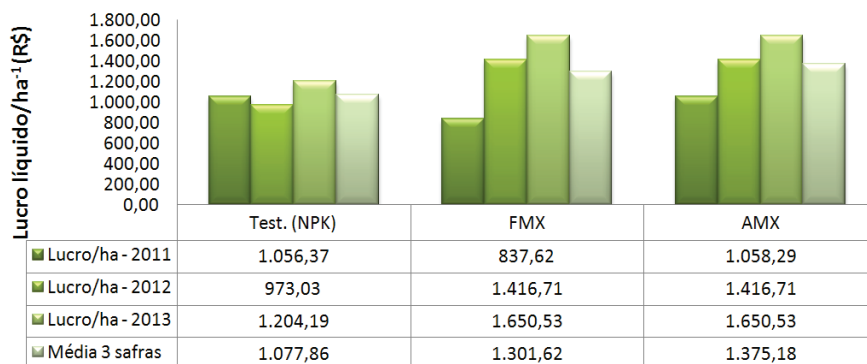
Foram observados os fatores econômicos para avaliação da rochagem e da adubação convencional: preço e disponibilidade do pó de rocha e do adubo químico, frete, forma de aplicação na cultura, efeito residual, além de todos os tratos culturais empregados na área comercial. Foi considerada a produtividade média por hectare de cada parcela dos tratamentos, com o preço por saca de soja fixado em R\$ 40,00 (quarenta reais) nos dois anos de avaliação dos custos de produção e do lucro líquido.

## Resultados e reflexões

De acordo com a Figura 2, comparando a lucratividade dos dois sistemas, no primeiro ano não houve diferença entre a AMX e testemunha com NPK, no entanto o FMX foi inferior aos demais tratamentos, devido a alta infestação de percevejo castanho (*Scaptocoris castaneus*). O ataque dessa praga ocorre normalmente de forma irregular podendo variar de reboleiras de poucos metros de diâmetro a vários hectares (ÁVILA et al., 2009). Em avaliação em campo, encontrou-se em média 38 à 58 percevejos vivos nas parcelas. De acordo com estudos de Amaral e Villar (1999) a infestação desse inseto pode acarretar percas em produtividade em soja de 20 à 80%.

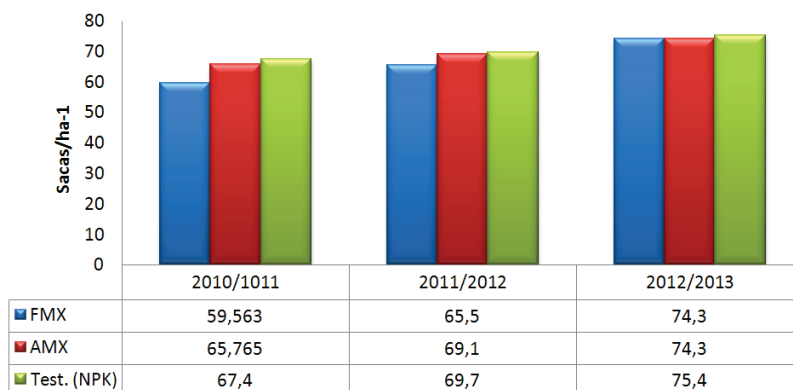
No segundo ano observa-se um diferencial na lucratividade da área sob rochagem da ordem de 1.416,71 reais para 973,03 da área sob adubação altamente solúvel (Figura 2). Esta tendência se mantém na terceira safra quando o incremento na lucratividade para AMX e FMX foi de R\$ 446,34 comparado ao tratamento com NPK, materializando assim 11 sacas a mais por ha. Importante evidenciar que o custo com rochas para as três safras foi somente em 2010, diferentemente do adubo químico que foi aplicado todos os anos. Sendo que os resultados de produtividade e de receita líquida devem-se especialmente ao efeito residual do pó de rocha, a produtividade de FMX e AMX é a mesma nas safras de 2011/12 e 2012/13 (Figura 3), é evidente que o lucro será o mesmo.





**Figura 2.** Lucro por tratamento 2011/2012 (Fazenda Marília).

Se considerarmos as médias do lucro/ha das três safras para cada tratamento (Figura 2) temos um incremento em lucro líquido de R\$ 223,7 e R\$ 297,32, sendo que esse incremento pode gerar um ganho de 5,6 e 7,43 sacas/ha nos três anos para FMX e AMX respectivamente. Fazendo uma estimativa destes valores para a área soja cultivada nos 26 municípios do Sudoeste Goiano que corresponde a 1.872.227 hectares (Görngen et al. 2011), poderíamos supor um incremento de lucro líquido por ano/safra/soja entre 10 e 13 milhões de sacas, transformados em economia regional, com a tecnologia da rochagem.



**Figura 3.** Produtividade de soja em cada tratamento nas três safras 2010/11, 2011/12 e 2012/13.



Considerando o conjunto de benefícios proporcionados com a adoção da tecnologia agrogeológica em questão, este sistema de manejo prevê uma equalização de variados elos da cadeia produtiva da soja a fim de torná-la regionalmente sustentável. Outro fator interessante é a possibilidade de regionalização dos recursos naturais disponíveis. A exploração das fontes regionais de rochas silicáticas aumenta a oferta de empregos e retêm capital financeiro no local, capital este que até então é destinado às importações.

Segundo Kinpara (2006), o problema da valoração não recai apenas no valor em si, mas na distribuição dos benefícios em um grande número de indivíduos e na avaliação dos benefícios ao longo do tempo. Estas avaliações quantitativas serão realizadas pelo menos após três anos de experimentos.

## Conclusões

As avaliações desenvolvidas por este trabalho indicam que a rochagem é viável economicamente nos sistemas de produção do Sudoeste Goiano a partir de rochas regionais, como é o caso do mica xisto estudado, proveniente de Aparecida de Goiânia.

## Agradecimentos

Financiamento: FINEP - Projetos Demonstrativos do Uso de Novas Fontes e Rotas Tecnológicas de Agrominerais na Produção de Biocombustíveis Líquidos (ROCKBIOCOM), Projetos Pilotos do Uso de Novas Fontes e Rotas Tecnológicas de Agrominerais na Produção de Biocombustíveis Líquidos (ROCKAPL); Sociedade Ecológica de Jataí (SEJA); Itaforte; Pedreira Araguaia, Pedreira Goiás, Pedreira Campo Limpo, IF Goiano – Campus Rio Verde GO, Universidade Federal de Goiás–Campus Jataí (UFG).

## Referências bibliográficas

AMARAL, J.L.; VILLAR, V. A. B. **Avaliação das perdas do valor nutritivo e da resistência de quatro graminias, quanto à ação do percevejo castanho das raízes (*Scaptocoriscastaneus* Perty, 1830).** In: Workshop sobre percevejo castanho da Raíz, 1999, Londrina. Ata e resumos. Londrina: Embrapa Soja, 1999. p.48-49. (Embrapa Soja Documentos 127).



ÁVILA, C. J.; XAVIER, L. M. S.; GÓMEZ, D. S.; **Ocorrência, Flutuação Populacional, Distribuição Vertical no Solo e Controle de Percevejo Castanho da Raiz, *Scaptocoris* spp. (Hemiptera: Cydnidae) na cultura do algodoeiro, em mato Grosso do Sul.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 50. Embrapa Agropecuária Oeste. 2009.

CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; MOREIRA, A.; SALINET, L.H.; VERONESI, C.O. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. **Espaço & Geografia**, v. 9, n. 2, p. 179-193, 2006.

DELEITO, C.S.R. et al. Sucessão microbiana durante o processo de fabricação do biofertilizante Agrobio. In: FERTBIO, 2009, Santa Maria. **Anais Santa Maria: Soc. Bras. de Ciências do Solo e da Soc. Bras. de Microbiologia**, 2009. CD-ROM.

FYFE, W.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. C. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.4, p.715-720, 2006.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000.

IBGE. **Contas Regionais do Brasil 2004-2008**. Contas nacionais, numero 32. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro. 2010.

KINPARA, D.I. (2006) A valoração econômica dos recursos minerais: O caso de rochas como fontes alternativas de nutrientes. **Espaço & Geografia**, v. 9, n. 1, p. 43:61, 2006.

LAPIDO □ LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (eds.) (2009). **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/PETROBRAS, 656 p.

LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo, teoria e prática**. Rio de Janeiro: Freitas bastos, 2002. 182p.

MALAVOLTA, E. O Futuro da Nutrição de Plantas Tendo em Vista Aspectos Agronômicos Econômicos e Ambientais. International Plant Nutrition Institute. **Infomações Agronômicas** n.121, março/2008.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F.; **Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de potássio para a Agricultura**/Rochas e Mineraias Industriais – CETEM/2007.

XAVIER, Alexandre. Envio de dados do MAPA/SPA/DEAGR. Mensagem recebida por <agrududas@hotmail.com> em 09 de setembro de 2011.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARVE, J. C. **Adubos e Adubações**. Nobel, 2000. p. 220.

# CARACTERIZAÇÃO DE UM RESÍDUO DA MINERAÇÃO DE ROCHA VULCÂNICA ÁCIDA E AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL DE LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES PARA ROCHAGEM

*Claudete Gindri Ramos<sup>1</sup>*

*Marcos L.S. Oliveira<sup>1</sup>*

*Andréia Gislaine de Mello<sup>1</sup>*

*Jéssica Maria Gregory Nunes<sup>1</sup>*

*Cristiane Oliveira Rodrigues<sup>1</sup>*

*Rubens Müller Kautzmann<sup>1</sup>*

## Resumo

A fertilização de solos com aplicação de rocha vulcânica ácida cominuída é uma alternativa que pode substituir parcialmente ou totalmente o uso de fertilizantes químicos solúveis. Esta técnica é denominada rochagem. Estudos de extração de nutrientes foram conduzidos em laboratório para determinar a capacidade de uma amostra de pó de rocha, proveniente de instalação de britagem no Município de Nova Prata – RS. O material de estudo foi um resíduo de rocha vulcânica ácida coletado na Pedreira Sindicato da Indústria da Extração de Pedreiras de Nova Prata, RS, em faixa granulométrica < 0,6 mm. Foram realizadas análises químicas, mineralógicas, físicas e físico-químicas do pó de rocha e ensaios de extração dos nutrientes em solução de ácido cítrico (AC) 2% e em solução de ácidos orgânicos rizosféricos (AOR), para dois níveis de temperatura, 25°C e 50°C. Os estudos de liberação de nutrientes foram realizados por extrações em duplicata e, posteriormente, as concentrações de Ca, Mg, K, Fe, Cu, Mn e Zn foram determinadas. Houve uma variação significativa nos resultados entre as duas soluções extratoras: a solução de AC 2% resultou em maior liberação de Ca e em solução de AOR ocorreu o incremento da liberação de K.

**Palavras-Chave:** rochagem, partículas minerais, resíduos da mineração.

<sup>1</sup> Centro Universitário La Salle–Unilasalle, Canoas/RS claudeterms@brturbo.com.br; marcosleandrok@yahoo.com.br; andreiagmello@gmail.com; je.mari@ig.com.br; cristiane.rodrigues@unilasalle.edu.br; rubensm@unilasalle.edu.br

## Introdução

No Brasil, vários pesquisadores vêm contribuindo para diminuir a dependência externa de matérias-primas de fertilizantes químicos (Bergmann e Zanetti, 2012), mediante o desenvolvimento e a realização de estudos utilizando fertilizantes naturais constituídos por partículas minerais. As fases minerais solúveis podem melhorar a fertilidade do solo e liberar gradativamente seus nutrientes (Amparo, 2003). De acordo com os autores Resende et al.(2002) e Machado et al. (2005), quando os componentes disponíveis nas rochas são liberados, eles podem suprir as necessidades das culturas e ainda manter o potencial dos nutrientes para cultivos subsequentes.

Os minerais das rochas ígneas vulcânicas, dentre as quais o basalto é a mais comum, possuem em sua composição, principalmente, óxidos de silício e alumínio, além de óxidos de ferro, manganês, magnésio, sódio, potássio e cálcio (Turner; Verhoogen, 1960). Assim, os elementos químicos existentes nessas rochas que podem ser liberados são cálcio, magnésio, potássio, ferro e fósforo, além de elementos traços na forma de micronutrientes. Na dissolução dos silicatos primários, pelo uso de ácidos orgânicos, parte dos elementos disponíveis é liberado, principalmente, o potássio, magnésio, ferro, alumínio e óxido de silício. De modo que, se a taxa de transformação dos silicatos for alta, normalmente, haverá uma boa disponibilização de nutrientes (Knapik, 2005).

No processo de intemperismo das rochas e formação do solo, participam diferentes reações que podem ocorrer simultaneamente, tornando difícil prever como o mineral irá se dissolver. O aumento do potencial para dissolução da rocha se dá na cominuição da mesma, facilitando a ação de ácidos orgânicos presentes na rizosfera e permitindo que os nutrientes sejam absorvidos pelas plantas (Harley; Gilkes, 2000).

Os autores Li *et al.* (1997) e Gardner & Parbery(1983), citam o ácido cítrico (AC) como o mais abundante na rizosfera vegetal. O uso do AC no estudo de liberação de nutrientes visa simular o ambiente solo/raiz, promovendo condições semelhantes ao ambiente natural. Esse ácido orgânico é comumente exsudado pelas raízes das plantas, permanecendo em altas concentrações na rizosfera (Song e Huang, 1988). Os ácidos orgânicos de baixo peso molecular agem mediante a formação de complexos ácidos orgânicos-metal, troca de ligantes e reações de protonação (Simardet al., 1992). As soluções diluídas destes ácidos, normalmente em tempos

crescentes de equilíbrio com a amostra, têm sido utilizadas em estudos de cinética de liberação da reserva de K e Mg (Song e Huang, 1988).

A Legislação brasileira que regulamenta o uso dos fertilizantes minerais, orgânicos e corretivos agrícolas (MAPA, 2007) aprovou os métodos analíticos oficiais destes minerais. Nestes métodos estão descritos os procedimentos para análises de nutrientes usando-se como extrator uma solução de AC 2 %.

A minimização dos impactos ambientais causados pela exploração das jazidas de rocha vulcânica ácida, como alteração da paisagem, necessariamente deve trabalhar na redução e aproveitamento dos rejeitos gerados. No município de Nova Prata, RS, a produção estimada anual de resíduos de mineração foi de 52.400 m<sup>3</sup> no ano de 2005. No entanto, somente uma fração desses resíduos é destinada à produção de brita e o restante permanece na pedreira sem uma disposição adequada (Toscan et al., 2007). O uso do pó de rocha vulcânica ácida gerado na produção de brita é conhecido na região de Nova Prata, mas apenas uma mineradora de brita comercializa o pó de fração < 0,6 mm. O estudo criterioso da potencialidade fertilizante do pó desta rocha, quanto ao conteúdo e liberação de nutrientes e análise da viabilidade econômica e de mercado ainda precisa ser incrementado para proporcionar o desenvolvimento de políticas de sustentabilidade nas atividades de mineração.

Diante deste contexto, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar o resíduo de rocha vulcânica ácida do Distrito Mineiro de Nova Prata-RS, bem como avaliar, por meio de simulações em laboratório, sua potencialidade de disponibilizar macro e micronutrientes que contribuam para alterar positivamente a fertilidade dos solos.

## **Experimental**

### **Materiais e Reagentes**

Uma amostra de resíduo de varrição da unidade de britagem da localidade de Gramado, município de Nova Prata-RS, foi estudada. A preparação da amostra compreendeu os seguintes procedimentos: peneiramento a seco, em peneira ASTM 30 (< 0,6 mm) e secagem em estufa por 24 horas a 100 °C. Para os estudos de capacidade de troca catiônica da amostra foi utilizado o reagente sulfato de amônio. Para a determinação

da área superficial específica, via adsorção em meio aquoso, foi utilizado azul de metileno. Soluções de ácido cítrico (AC) 2% e de ácidos orgânicos rizosféricos (AOR) foram utilizadas para as extrações de nutrientes.

## **Caracterização química, mineralógica, elementar, física e físico-química**

A composição química e mineralógica das partículas minerais foi determinada pela técnica de fluorescência de raios-X e difração de raios-X.

A análise elementar da amostra foi determinada pela técnica de ICP-MS.

A área superficial das partículas foi determinada pelo método da adsorção de azul de metileno e expressa em  $\text{mg}^2/\text{g}$  (Van DenHul; Lyklema, 1968; Carter et al., 1986). Neste caso, uma massa de 0,1 g de amostra foi adicionada em 0,1 l de soluções de azul de metileno em diferentes concentrações. As soluções foram agitadas à 40 rpm à temperatura ambiente por uma hora e deixadas em repouso por 23 horas. Após este intervalo, as concentrações das soluções foram determinadas por espectrofotometria UV-Visível no comprimento de onda de 669 nm e as capacidades de adsorção foram determinadas de acordo com as isotermas de Langmuir, conforme descrito por Van DenHul; Lyklema (1968).

A capacidade de troca catiônica das partículas foi realizada pela ativação de 5 g de amostra com 0,05 l de solução de NaCl 1 mol/l, sob agitação de 70 rpm, durante 24 horas, sendo as suspensões finais filtradas a vácuo, lavadas com 0,3 l de água deionizada e secas em estufa (100 °C) por 24 horas. Após, uma quantidade de 0,25 g de partículas ativadas foi adicionada a 0,1 l de solução 100  $\text{mgNH}_3\text{-N/l}$  e agitada por 2 horas. Posteriormente, foi determinada a concentração de nitrogênio amoniacal (APHA, 1995) e, conseqüentemente, a capacidade de adsorção das partículas, com base no número de miliequivalentes-grama (meq) dos cátions amônio Adsorvidos.

## **Estudos de extração de nutrientes**

As análises das concentrações de Ca, Fe, K, Mn, Mg, Cu e Zn foram realizadas por absorção atômica. Os estudos de extração foram realizados simulando o meio ácido dos solos com AC e com AOR. No caso da extração com solução de AC foi utilizado 1L de solução de AC 2% com

50g de partículas (adaptada da **Instrução Normativa SDA N° 28/2007**, MAPA, 2007). Adicionalmente, soluções de AOR, contendo ácido acético, 1mol/l, ácido cítrico, 0,72mol/l, ácido láctico, 0,49 mol/l e ácido oxálico, 0,12 mol/l (Pires, 2003). Neste caso, 1 l da solução resultante foi misturada com 250 g de amostra. Ambas as suspensões receberam agitação (40 rpm) e foram avaliadas nas temperaturas de 25 °C e 50 °C por 6 h, conforme descrito por Pires (2003).

## Resultados e Discussão

### Caracterização química, mineralógica, elementar, física e físico-química

De acordo com a Tabela I é possível observar que a amostra contém 59% de anortita, que é um mineral da classe dos feldspatos plagioclásios, com 19% de Ca na sua estrutura. Por se tratar de um plagioclásio cálcico sua resistência ao intemperismo é baixa (Alleoni e Melo, 2009) e, por isto, pode liberar seus nutrientes com mais facilidade para o ambiente. Também a sanidina compõe 15% da amostra, sendo este um feldspato potássico, com 12,88% de K. Este mineral apresenta resistência média ao intemperismo (Alleoni e Melo, 2009). Já a augita compõe 9% da amostra, sendo um mineral ferro-magnésiano do grupo dos piroxênios, constituída por 15% de Mg, 6% de Fe e 21% de Ca. Os piroxênios são minerais muito influenciados pelo intemperismo e devido a isso, podem liberar nutrientes (Ca, Mg, Fe) e/ou elementos (Fe, Al, Si, Mg, O) e formar novos minerais (Song e Huang, 1988). Observa-se que a fase quartzo/cristobalita não atingiu 20% do conteúdo mineral e que os aluminossilicatos são predominantes. Os estudos (Kautzmann et al., 2011; Nunes, 2012) mostraram que amostras de pó de rocha da mesma região não disponibilizaram alumínio para o meio.

**Tabela 1.** Caracterização semiquantitativa mineralógica por Difração de raios-X.

Fase mineral	Quartzo	Anortita	Sanidina	*Cristobalita	Augita
Fórmula química	SiO <sub>2</sub>	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	SiO <sub>2</sub>	(Ca, Mg, Al) <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Concentração (%)	10	59	15	6	9

\* Estrutura cristalina polimorfa do quartzo

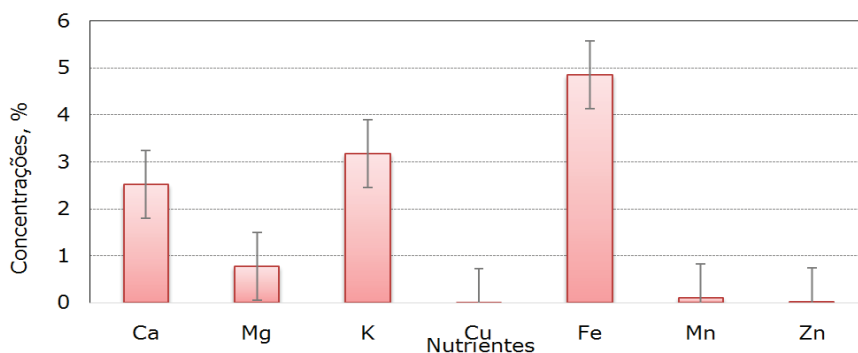


A Tabela 2 mostra que os teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  correspondem a mais de 75% da composição, seguidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$ . Os resultados também mostram que as partículas estudadas apresentam 3,56% de  $\text{CaO}$ , 3,31% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 1,27% de  $\text{MgO}$ . De acordo com Turner e Verhoogen (1960), a presença destes componentes é comum nos aluminossilicatos de rocha vulcânica ácida.

**Tabela 2.** Composição química determinada por Fluorescência de raios-X.

Óxido	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$
Concentração(%)	14,30	3,56	6,56	3,31	1,27	0,13	3,13	0,26	64,80	0,86

Os resultados obtidos na análise de Espectrometria de Massa mostraram que a amostra estudada é composta principalmente por Fe, K e Ca (Figura 1). Estes resultados reforçam os resultados obtidos nas medidas de Fluorescência de raios-X, pois os óxidos de interesse deste estudo, presentes em maior quantidade nas amostras são os de Fe, K e Ca, provenientes da augita, sanidina e anortita, minerais encontrados nas análises de Difração de raios-X.



**Figura 1.** Concentração de nutrientes da amostra de pó de rocha

As partículas apresentaram uma área superficial de  $203 \text{ m}^2/\text{g}$  ( $\pm 0,73 \text{ m}^2/\text{g}$ ), sendo este valor considerado elevado para mecanismos de adsorção. Este fato pode implicar em uma elevada porosidade das partículas, facilitando mecanismos de hidrólise e, conseqüente intemperismo mineral, cujo resultado disponibiliza nutrientes para o solo (Osterroht, 2003).

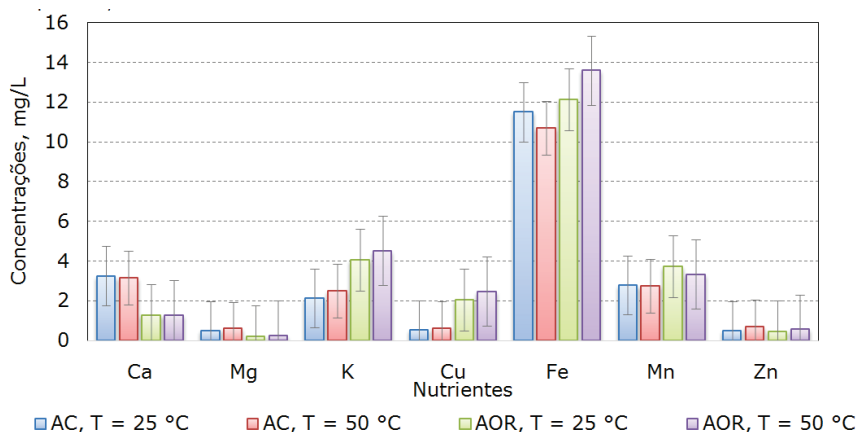
A capacidade de troca catiônica (CTC) da amostra foi determinada em  $2,4 \text{ meqNH}_4^+/\text{g}$  ( $\pm 0,01$ ). Este resultado é coerente com a CTC teórica da rocha vulcânica ácida que é de aproximadamente 1 e 3 meq/g, conforme mostrado por Andrade (1995). Tais resultados podem ser relacionados com a presença de determinados minerais como argilas e zeólitas que promovem elevadas capacidade de trocas de íons na interface sólido/líquido(Luz, 1995).

## Estudos de extração de nutrientes

Os resultados dos estudos de extração de nutrientes das partículas para as fases aquosas ácidas são mostrados na Figura 2.

Neste caso, é possível evidenciar que a extração de Ca apresentou comportamento semelhante em função da temperatura nos dois tipos de ácidos estudados. Porém, para o AC a extração demonstrou um aumento de mais de 60%.

A liberação do Mg na presença de AC em  $50^\circ\text{C}$ , foi 25% maior que em  $25^\circ\text{C}$ , sendo esta solução extratora 57% mais eficiente que a solução de AOR em diferentes temperaturas. Em contraste, a lixiviação de K por AOR foi duas vezes maior do que a de AC nas duas condições de temperatura. Além disto, as partículas demonstraram um alto potencial para a liberação em ambas as soluções.



**Figura 2.** Concentração dos principais nutrientes disponibilizados nas soluções extratoras. Erro exp.:  $\pm 0,02$



A liberação do Cu e do Mn na presença de AOR apresentou comportamento semelhante em função da temperatura, mas diferiu quanto ao tipo de ácido, demonstrando um incremento de mais de 73% de Cu e mais de 25% de Mn para AOR.

A concentração de Fe liberada para ambas as soluções extratoras foi mais elevada, quando comparada aos demais nutrientes. Este fato pode ser atribuído às propriedades deste nutriente em ser lixiviado em ambientes ácidos (Oliveira et al., 2005).

A liberação de Zn apresentou um incremento de 10% em 50 °C para AC.

Estes resultados mostram que a amostra possui os agronutrientes necessários para as plantas, porém em teores aparentemente baixos. Com isso, possivelmente haverá necessidade de utilização de uma quantidade maior de partículas, ou uma correção adequada do solo antes da aplicação da técnica de rochagem.

## Conclusões

As características avaliadas das partículas de rejeitos da mineração de rocha vulcânica ácida mostraram que todos os macronutrientes e a maioria dos micronutrientes descritos na literatura estão presentes em quantidades variáveis na amostra estudada, evidenciando um possível potencial para liberação de nutrientes ao solo. Adicionalmente, a utilização de soluções de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, testadas neste estudo como agentes extratores, mostraram-se eficientes na disponibilização de nutrientes minerais às plantas, sem que houvesse ganho em temperaturas extremas de 50°C.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng<sup>o</sup> Agrônomo Carlos Augusto Posser Silveira e à Geóloga Magda Bergmann pelas importantes contribuições nesta pesquisa, à Química Mariana da Luz Potes e à Embrapa Clima Temperado, pela colaboração na realização de análises químicas. Também, ao CNPq pelo apoio financeiro e ao Sindicato da Indústria de Extração de Pedreiras de Nova Prata, RS pelo fornecimento de amostras de rejeitos minerais.



## Referências Bibliográficas

- ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. (Eds) *Química e mineralogia de solos: conceitos básicos*. Viçosa: SBCS, 2009. 695p.
- AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. *Agroecologia Hoje*, Botucatu, v. 20, p. 11, 2003.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater*. 19 th edn. Washington, 1995.
- ANDRADE, H.; SOUZA, J. J. *Solos: Origem, componentes e organização*. Lavras: ESAL/FAEP, 1995. 170 p.
- BERGMANN, M. E ZANETTI, I. L. **Pó de rocha para uso como fertilizante agrícola: um novo nicho de mercado para os produtores de brita. *Areia e Brita*, Ed. 57, p. 20 – 22, 2012.**
- BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Instrução Normativa SDA N° 28, de 27 de Julho de 2007. *Diário Oficial da União de 31/07/2007c, Seção 1, p. 11.***
- CARTER, D. L.; MORTLAND, M. M.; KEMPER, W.D. Specific surface. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, p. 413-423, 1986.
- GARDNER, W.K., PARBERY, D.G. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L.I. Some characteristics of the soil /root interface. *Plant Soil*, v.68, p.19-32, 1983.
- HARLEY, A. D. E GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 56, p. 11-36, 2000.
- KAUTZMANN, R. M. et al. *Caracterização do pó de rocha da britagem de basaltos na região da APL Basaltos Nova Prata-RS, para aplicação em Rochagem*. Relatório parcial do projeto CNPq n°. 550203/2011-7, 24 p., 2011.
- KNAPIK, J. G. *Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de *Mimosa scabrellabenth* e *prunus sellowii* koehne*. 2005. 163 f. Dissertação de Mestrado. Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.
- LI, M.G; SHINANO, T.; TADANO, T. Distribution of exudates of lupin roots in the rhizosphere under phosphorus deficient conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 43, p. 237-245, 1997.
- LUZ, A. B. da. Zeólitas: propriedades e usos industriais. *Tecnologia mineral*, Rio de Janeiro: CETEM; CNPq, 68. 1995. 42 p.
- MACHADO, C. T. T. et al. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. *Anais Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Recife: UFRPE/SBCS, 2005.
- NUNES, J. M. G. *Caracterização de resíduos e produtos da britagem de Rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem*. 2012. 95 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação do Curso de Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração, Centro Universitário La Salle – Unilasalle. 2012.



OLIVEIRA, I. P. et al. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos*, Goiás, v.1, n.1, ago. 2005. Disponível em: <[http://www.fmb.edu.br/revista/edicoes/vol\\_1\\_num\\_1/Consideracoes\\_sobre\\_acidez.pdf](http://www.fmb.edu.br/revista/edicoes/vol_1_num_1/Consideracoes_sobre_acidez.pdf)>. Acesso em: 03 nov. 2012.

OSTERROHT, M. V. Rochagem para quê? *Agroecologia Hoje*, Botucatu, v. 20, p. 12 - 15, 2003.

PIRES, A.M.M. Ácidos orgânicos da rizosfera: aspectos qualitativos e quantitativos e fitodisponibilidade de metais pesados originários de biossólidos. 2003. 94 f. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2003.

RESENDE, A.V. et al. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: EmbrapaCerrados, p.169-183, 2002.

SIMARD, R.R.; DE KIMPE, C.R. & ZIZKA, J. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 56. p. 1421-1428, 1992.

SONG, S.K & HUANG, P.M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 52, p.383-390, 1988.

TOSCAN, L.; KAUTZMANN, R. M.; SABEDOT, S. O rejeito da mineração de basalto no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul: diagnóstico do problema. *R. Esc. Minas*, Ouro Preto, 60(4): 657-662, 2007.

TURNER, F. J.; VERHOOGEN, J. *Igneous and Metamorphic Petrology*. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1960. 694 p.

VAN DEN HUL, H.J.; LYKLEMA, J. Determination of specific surface areas of dispersed materials. Comparison of the negative adsorption methods with some other methods. *Journal of the American Chemical Society*. V. 90, n.12, p. 3010-3015, 1968.

# ROCHAGEM DE SOLOS AGRÍCOLAS EMPREGANDO-SE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA EXTRATORA DE GEODOS DE AMETISTAS E ÁGATAS, RIO GRANDE DO SUL

*Clarissa Trois Abreu<sup>1</sup>*

*Edson Campanhola Bortoluzzi<sup>2</sup>*

*Léo Afraneo Hartmann<sup>3</sup>*

*Juliano Tonezer da Silva<sup>4</sup>*

## Resumo

O Brasil é o quarto maior consumidor mundial de fertilizantes, precedido por China, Índia e Estados Unidos. Dessa forma, é fundamental a coordenação entre produção e consumo desse tipo de produto por meio de políticas adequadas de desenvolvimento industrial e de tecnologia de exploração e beneficiamento mineral do país. Nesse sentido, torna-se fundamental avaliar a viabilidade do uso de fontes alternativas de nutrientes, bem como o uso dos resíduos de mineração e da indústria extratora de pedras preciosas, como remineralizadores. Dessa forma é possível efetivar melhorias na fertilidade dos solos agrícolas, transformando resíduo em matéria-prima para a agricultura. A região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, onde ocorre a extração de ametistas e ágatas, produz cerca de 30.000 mil toneladas de basalto residual por mês em seus garimpos. É nesse cenário que o projeto “Rochagem de solos agrícolas empregando-se resíduos da indústria extratora de pedras preciosas”, vem sendo executado, envolvendo a Universidade de Passo Fundo, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul e a Cooperativa de Garimpeiros do Médio Alto Uruguai LTDA, associado ao Arranjo Produtivo Local de Gemas e Joias. Nesse sentido, tem-se aqui

---

<sup>1</sup> Engenheira Florestal, Doutora em Agronomia, Bolsista Capes/Fapergs - DOCFIX, Núcleo de Inovação Tecnológica - Universidade de Passo Fundo. florestaurbana@terra.com.br; <sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor Ciência do Solo, Docente do Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo. edson.bortoluzzi@pq.cnpq.br; <sup>3</sup> Geólogo, Doutor em Geologia, Docente do Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. leo.hartmann@ufrgs.br; <sup>4</sup> Doutor em Informática, Coordenador do Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Jóias do Rio Grande do Sul, Soledade/RS. tonezer@upf.br.



como objetivo apresentar resultados preliminares desse Projeto, no que diz respeito à viabilidade do uso dos subprodutos da indústria extratora de pedras preciosas.

**Palavras-chave:** basalto hidrotermal, remineralizadores, argilominerais.

## Introdução

A ametista e a ágata constituem minerais estratégicos pela importância econômica que têm na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, pois o Estado é o maior produtor mundial desses minerais. A COOGAMAI – Cooperativa de Garimpeiros do Médio Alto Uruguai Ltda, foi a primeira instituição do gênero no Brasil a legalizar o trabalho dos garimpos na região. Existem 500 garimpos cadastrados, e destes, 180 estão ativos, abrangendo oito municípios: Ametista do Sul, Frederico Westphalen, Rodeio Bonito, Cristal do Sul, Planalto, Iraí, Trindade do Sul e Gramado dos Loureiros.

Cerca de 1.400 garimpeiros exercem a profissão, gerando entre 450 e 500 toneladas de geodos mensalmente. Dessa produção mensal resultam em 30.000 toneladas de basalto, que devem ter destinação final adequada evitando conflitos de uso do solo e impactos ambientais. Portanto, iniciativas que viabilizem a destinação e uso correto dos resíduos da exploração mineral tornam-se necessárias a fim de qualificar a cadeia produtiva de pedras preciosas no Rio Grande do Sul.

O basalto encontrado nas minas de ametista é caracterizado como um “metabasalto” ou basalto argilizado, que tendo sofrido alterações hidrotermais a 130 °C passa a apresentar um alto teor de argilas (esmetitas e celadonitas) e zeolitas (alteração silicática) (Rosenstengel & Hartmann, 2012). Esse material, pelas características preliminares apontadas, apresenta potencial de uso como fonte de nutrientes às plantas e será estudado a fim de verificar sua viabilidade técnica e econômica para rochagem de solos agrícolas.

## Objetivos

O objetivo do presente trabalho é estudar a viabilidade do uso dos resíduos da indústria extratora de pedras preciosas como remineralizador

de solo. A estratégia utilizada, inédita nesse tipo de estudo, é a avaliação e o estudo das relações entre as alterações químicas, físicas e mineralógicas do solo decorrentes da aplicação desse material. Uma vez comprovada a viabilidade técnica, a etapa de padronização e recomendação do uso do agromineral e viabilidade econômica, poderá ser implementada. Almeja-se desenvolver um insumo alternativo para uso na produção agrícola, adequado às realidades locais, concomitante à solução do passivo ambiental decorrente da exploração mineral, qualificando o Arranjo Produtivo Local de Gemas e Joias.

## Metodologia

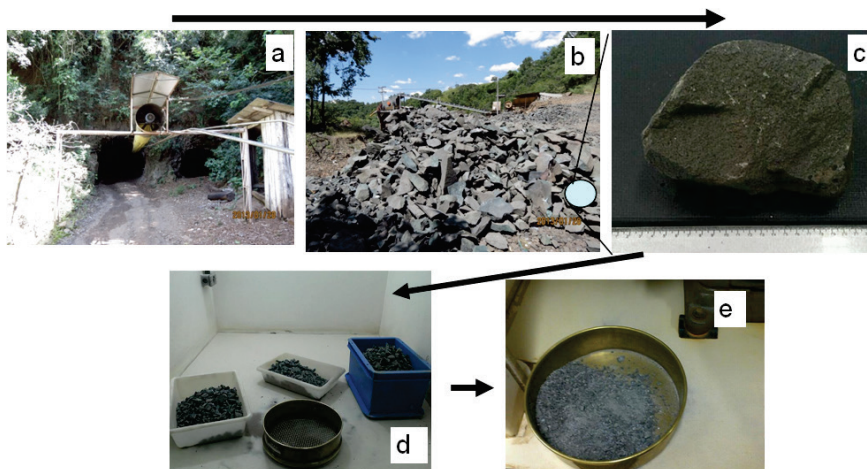
O Projeto envolve a Universidade de Passo Fundo, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul e a Cooperativa de Garimpeiros do Médio Alto Uruguai LTDA, estando associado ao Arranjo Produtivo Local de Gemas e Joias. Está prevista a caracterização mineralógica e química dos resíduos da mineração, bem como estudos quanto à granulometria e ao comportamento à moagem.

Ensaios agronômicos serão instalados para avaliar a viabilidade do uso do resíduo para a agricultura como substituto alternativo aos adubos convencionais. A preocupação de possíveis alterações causadas ao solo com a adição do material e a identificação de contaminantes também é objeto do estudo.

A interação com o setor empresarial local, em especial o SINDIPEDRAS, APPESOL – Associação dos Pequenos Pedristas de Soledade, e a COOGAMAI garante a aplicabilidade dos conhecimentos gerados. A primeira coleta de material (resíduo de mineração) ocorreu em janeiro de 2013, em um garimpo de geodos de ametista no município de Ametista do Sul, a 27°21'23,690" e 53°12'06,782" (Fig. 1a).

O material coletado foi posteriormente britado e moído, conforme metodologia utilizada na indústria do calcário, totalizando 95% do material com tamanho inferior a 2mm (Fig. 1e). O material resultante desta primeira coleta foi caracterizado morfológicamente em microscópio eletrônico a varredura (JEOL JSM5600 LV) (Fig. 2). Também se realizou uma análise em difração de raios-x, modelo Philips X'Pert (Fig. 3).

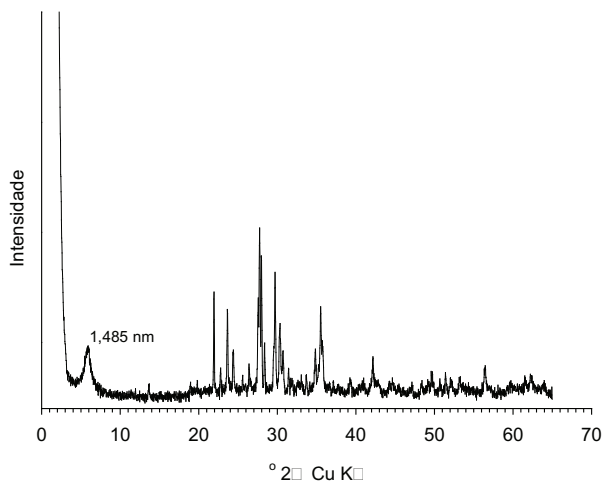




**Figura 1.** Entrada do garimpo em atividade (a); Pilha de basalto minerado (b); detalhe do basalto (c); basalto britado (d) e basalto moído (e).

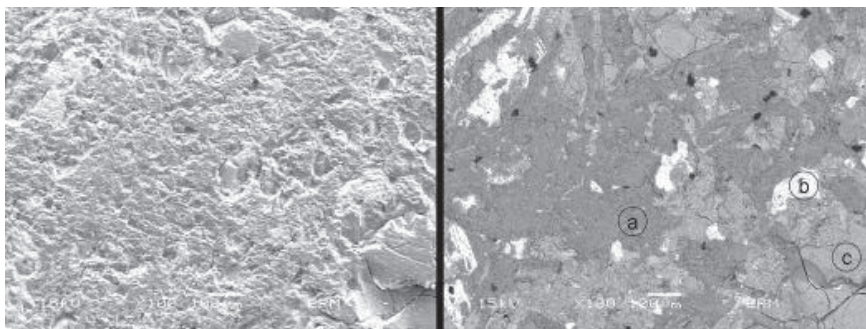
## Resultados e reflexão

Análises em difração de raios-X foram realizadas a fim de identificar o grupo de minerais presentes no material (Fig. 2). Em virtude da intensidade do pico referente à esmectita ( $d=1,485$  nm), percebe-se que as rochas do distrito mineiro de Ametista do Sul sofreram intensa alteração de minerais primários para argilominerais. O processo hidrotermal à baixa temperatura é responsável pela formação dos três derrames produtores de geodos. A presença em grande quantidade desses argilominerais na rocha é um importante componente que controla a reologia da rocha, transformando o basalto em uma esmectita metabasalto (Rosenstengel & Hartmann, 2012). Essa característica de alteração do basalto é o que o torna uma fonte potencial de material para rochagem e uso agrícola. Ainda, segundo Scopel (1990) no distrito mineiro de Ametista do Sul, ocorrem como produtos de alteração hidrotermal em associação com o minério nas rochas e em veio, argilominerais, zeolitas, calcita e sílica na forma de quartzo, opala e calcedônia.



**Figura 2.** Difratograma de raios-X de amostra de resíduo de basalto moído e preparação pó.

Nas imagens obtidas no MEV (Fig. 3), se observa a presença de esmectita, de óxidos de titânio e de feldspatos (Ca, Na e K).



**Figura 3.** Imagem gerada a partir de microscópio eletrônico de varredura: foto esquerda morfológica; foto da direita química: partículas opacas de argila celadonita - esmectita (a), partícula de óxido de titânio (b) e partícula de feldspato (Ca, Na e K) (c).

Na tabela 1, consta a composição química em óxidos dos principais elementos encontrados no material analisado, e também traz resultados

de (Rosenstengel & Hartmann, 2012), para os mesmos óxidos em estudo realizado com basalto hospedeiro de geodos de ametista do derrame denominado COOGAMAI em Frederico Westphalen.

**Tabela 1.** Composição química, dos principais elementos, obtida por meio de sonda de raios-X. \* Química total referente ao derrame COOGAMAI, em Frederico Westphalen (Rosenstengel & Hartmann, 2012).

Composição Química	Massa %	Massa % *
SiO <sub>2</sub>	49,46	48,00
FeO	16,17	15,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,77	13,10
<b>CaO</b>	<b>8,70</b>	<b>9,80</b>
<b>MgO</b>	<b>4,64</b>	<b>5,65</b>
TiO <sub>2</sub>	2,97	2,34
Na <sub>2</sub> O	2,87	2,43
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>0,72</b>	<b>1,04</b>
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>0,43</b>	<b>0,27</b>
CuO	0,21	-

Ao compararmos os teores dos principais nutrientes (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) encontrados no basalto analisado com os teores encontrados em outros tipos de rocha citados em literatura, os resultados aqui encontrados confirmam o potencial do material como fonte alternativa de nutrientes. A exemplo de materiais como biotita xisto MgO (15,27%), CaO (8,23%), K<sub>2</sub>O (2,7%), Na<sub>2</sub>O (1,81%), e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,10%) (Souza et al. 2010), subprodutos de mineração MgO (3,88%), K<sub>2</sub>O (3,39%), CaO (3,19%), Na<sub>2</sub>O (1,62%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,19%) (Silva et al. 2012) e fonolito – nefelina sienito K<sub>2</sub>O (8,4%), Na<sub>2</sub>O (7,0%), CaO (1,5%), MgO (0,5%), MnO (0,1%) (Cortes et al., 2010).

## Conclusões

O basalto residual da exploração de geodos de ametista apresenta argilominerais, com destaque para celadonita - esmectita e minerais como



feldspato e óxidos. Considerando os teores de nutrientes encontrados, o material estudado tem potencial para uso em práticas de rochagem de solo.

## Agradecimentos

A Dra Clarissa Trois Abreu agradece a CAPES/FAPERGS pela concessão da bolsa edital DOC-FIX (processo SPI número: 2835-25/12-7). Edson C. Bortoluzzi, Léo A. Hartmann (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa. Os autores agradecem o Centro Tecnológico de Pedras, Gemas e Joias do Rio Grande do Sul (CTPGJ-RS) e o Núcleo de Inovação Tecnológica, NIT-UPFTec e a Cooperativa de Garimpeiros do Médio Alto Uruguai (COOGAMAI) pelo apoio técnico ao projeto.

## Referências Bibliográficas

- CORTES, G.P.; FERREIRA, R.G.; CORTES, G.P; RAMPAZZO, L. & FERREIRA, L.C. Fonolito como substituto do cloreto de potássio e ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, I., Brasília, DF, 2010. Anais. DF, Embrapa Cerrados, 2010. p. 75-83.
- ROSENSTENGEL, L.M. & HARTMANN, L. A. Geochemical stratigraphy of lavas and fault-block structures in the Ametista do Sul geode mining district, Paraná volcanic province, Southern Brazil. *Ore Geology Reviews*, 48:332-348, 2012.
- SCOPEL, C.M.S.; FORMOSO, M.L.L.; DUDOIGNON, P.; MEUNIER, A. Hidrotermal alteration of basalts, Southern Paraná basin – Brazil. *Chemical Geology*, 84:249-250, 1990.
- SILVA, D.R.G.; MARCHI, G.; SPEHAR, C.R.; GUILHERME, L.R.G.; REIN, T. A.; SOARES, D.A. & ÁVILA, F.W. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:951-962, 2012.
- SOUZA, F.N.S.; ALVES, J.M.; D'AGOSTINI, L.R.; PINHEIRO, O.N.; ALMEIDA, V.R. & CAMPOS, G.A. Rochas silicáticas na correção e adubação de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, I., Brasília, DF, 2010. Anais. DF, Embrapa Cerrados, 2010. p. 289-295.

# AVALIAÇÃO DE DIFERENTES DOSES DE GRANODIORITO COMO FONTE DE POTÁSSIO NA CULTURA DA AMORA-PRETA

Ricardo Milech<sup>1</sup>  
Felipe Cassalha Schneider<sup>1</sup>  
Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>  
Adilson Luís Bamberg<sup>2</sup>  
Rosane Martinazzo<sup>2</sup>  
Magda Bergmann<sup>3</sup>  
Mariana da Luz Potes<sup>4</sup>

## Resumo

Os resultados obtidos neste trabalho indicaram a existência de diferenças significativas no potencial produtivo de cultivares de amora-preta e que se constatou efeito dos tratamentos sobre a produtividade das cultivares e sobre os teores dos nutrientes P e K no solo.

**Palavras-chave:** *Rubus spp.*, rochagem; remineralização

## Introdução

A amora-preta (*Rubus spp.*) é uma pequena fruta de clima temperado, sendo uma promissora alternativa de renda principalmente para as pequenas propriedades familiares, em razão dos custos relativamente baixos de implantação e de manutenção do pomar, juntamente com boas produtividades em pequenas áreas, proporcionando um rápido retorno econômico (PEREIRA, 2008). Associado a tais vantagens, a fruta da amora-preta

---

<sup>1</sup> Acadêmicos do curso de Engenharia agrônoma FAEM/UFPEL, Projeto Xisto Agrícola, convênio Embrapa-FAPEG-Petrobras, BR 392 km 78, 96010-971, C.P. 403, Pelotas, RS, Brasil. ricardotecsls@gmail.com ; felipecassalha@hotmail.com . <sup>2</sup> Pesquisadores, Embrapa Clima Temperado, BR 392 km 78, 96010-971, C.P. 403, Pelotas, RS, Brasil. augusto.posser@embrapa.br; adilson.bamberg@embrapa.br; rosane.martinazzo@embrapa.br. <sup>3</sup> Geóloga, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Rua Banco da Província, 105, 90840-030, Porto Alegre, RS. magda.bergmann@cprm.gov.br <sup>4</sup> Química Ambiental, Projeto Agroenergia, convênio Embrapa-FAPEG, BR 392 km 78, 96010-971, C.P. 403, Pelotas, RS, Brasil. marianapotes@yahoo.com.br.

também possui características de alimento funcional, capaz de prevenir e controlar determinadas doenças, o que tem aumentado a procura por essa fruta (PEREIRA, 2008).

Trata-se de uma cultura rústica, com pouca incidência de pragas e doenças, apresentando altas produtividades e boa adaptação a diferentes tipos de solo e condições climáticas. No Rio Grande do Sul a produtividade média foi de 9,2 ton ha<sup>-1</sup> no ano de 2011 (ILHA, 2012). Quanto à adubação, no Brasil é comum a utilização de insumos de alta solubilidade para suprir as necessidades nutricionais das plantas, inclusive em culturas perenes como a amora-preta (PEREIRA et al, 2011), elevando o custo de produção. A adubação com rochas moídas, através da prática da rochagem, é uma forma de aumentar a eficiência de uso dos nutrientes pelas culturas, sendo importante também para recuperar solos que apresentam baixa fertilidade natural.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de adubações de base, com ênfase em doses de granodiorito como fonte de potássio sobre a produtividade de frutos de quatro cultivares de amora-preta e sobre atributos da fertilidade do solo.

## Material e Métodos

O trabalho foi realizado em uma propriedade rural no interior do município de São Lourenço do Sul-RS, nos anos de 2011/2012 e 2012/2013. A implantação do experimento ocorreu em 09 de abril de 2011. Antes da instalação do experimento foram retiradas amostras de solo para a caracterização química do mesmo. O solo é um argissolo bruno-acinzentado, com teor médio de argila de 13% na camada de 0-20 cm. Tal teor inclui este solo na classe textural 4 (CQFS RS/SC, 2004).

O espaçamento entre linhas foi 2,5 m e entre plantas 0,5 m, sendo que a parcela experimental foi constituída por 8 plantas. O solo foi preparado com aração e gradagem, e após foi utilizado um encanteirador com enxada rotativa, formando canteiros de 1 m de largura e aproximadamente 0,20 m de altura. Foi utilizado sistema de condução tipo “V”.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições e o delineamento de tratamento foi um fatorial 5 x 4, sendo os fatores **Cultivar** (com quatro níveis) e **Tipo de adubação de base** (com cinco níveis) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Doses das matérias-primas usadas como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, na adubação de base, para diferentes cultivares de amora-preta. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013.

		Doses das matérias-primas, usadas como fontes de N, P e K (kg ha <sup>-1</sup> ) na adubação de base de diferentes cultivares de amora-preta					
Cultivares	Tratamentos	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
		Dose	Fonte	Dose	Fonte	Dose	Fonte
		Kg ha <sup>-1</sup>	Torta de tungue (5% de N) <sup>1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Kg ha <sup>-1</sup>	Fosfato natural (33% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (kg ha <sup>-1</sup> )	Kg ha <sup>-1</sup>	Granodiorito (4,33% de K <sub>2</sub> O) <sup>2</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )
Tupy	T1	100	4.000	150	455	0	0
	T2	100	4.000	150	455	65	1.500
	T3	100	4.000	150	455	130	3.000
	T4	100	4.000	150	455	260	6.000
	T5	100	4.000	0	0	0	0
Xavante	T1	100	4.000	150	455	0	0
	T2	100	4.000	150	455	65	1.500
	T3	100	4.000	150	455	130	3.000
	T4	100	4.000	150	455	260	6.000
	T5	100	4.000	0	0	0	0
Guarani	T1	100	4.000	150	455	0	0
	T2	100	4.000	150	455	65	1.500
	T3	100	4.000	150	455	130	3.000
	T4	100	4.000	150	455	260	6.000
	T5	100	4.000	0	0	0	0
Cherokee	T1	100	4.000	150	455	0	0
	T2	100	4.000	150	455	65	1.500
	T3	100	4.000	150	455	130	3.000
	T4	100	4.000	150	455	260	6.000
	T5	100	4.000	0	0	0	0

<sup>1</sup> O índice de eficiência do N considerado para a torta de tungue foi de 0,5 para o primeiro ano de avaliação; <sup>2</sup> A concentração de K<sub>2</sub>O do Granodiorito foi expressa na forma de teor total

A análise de solo inicial, na camada de 0-20 cm, indicou os seguintes parâmetros e interpretações: matéria orgânica = 0,5 g kg<sup>-1</sup> (muito baixa); pH = 4,95 (adequado para a cultura); fósforo = 13,7 mg dm<sup>-3</sup>, baixo, e potássio = 42,6 mg dm<sup>-3</sup>, muito baixo. Para tais condições, a recomendação (CQFS RS/SC, 2004) foi aplicar 150 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente. A dose da fonte de nitrogênio foi calculada com base na análise do solo. Assim, foram fornecidos 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, considerando eficiência de 50% da Torta de tungue (TT) no primeiro ano; para o fósforo a recomendação foi de 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, aplicada na forma de fosfato natural Djebel (FN). Já as doses de potássio foram definidas a partir do teor no solo e do teor total deste elemento presente na rocha granodiorito (4,33% de K<sub>2</sub>O), sendo que as doses finais aplicadas foram 0, 65, 130 e 260 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>.

Os tratamentos foram aplicados a lançar e incorporados ao solo

sobre os canteiros em uma profundidade de aproximadamente 20 cm. A granulometria do agromineral foi padronizada, tomando como base a Instrução Normativa N° 04 de 2004 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento sendo 100% passante pela peneira 0,3 mm (ABNT n° 50). As variáveis respostas avaliadas foram: produtividade, número e diâmetro de hastes e teor de nutrientes no solo, em amostragem de solo na camada de 0-20 cm realizada um ano após a implantação do experimento. As colheitas foram realizadas no período de 24/11/2012 a 12/01/2013, sendo realizadas duas colheitas por semana, totalizando 12 colheitas ao longo do ano agrícola 2012/2013.

## Resultados e Discussão

Para a variável produtividade de frutos, constatou-se efeito significativo apenas para o fator cultivar, sendo que a cultivar Guarani apresentou produtividade superior às demais (Tabela 2).

As diferenças observadas entre as cultivares para esta variável eram esperadas uma vez que as mesmas apresentam potencial produtivo diferente. No entanto, a produtividade da cultivar Guarani para o primeiro ano de produção é considerada muito alta (12,8 t ha<sup>-1</sup>). Trabalhos realizados com esta cultivar, em regiões de clima quente, citam produtividades em torno de 7 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ano e até 22 t ha<sup>-1</sup> no segundo ano (PIO et al.; 2012). Já para regiões de clima temperado, a produtividade média fica em torno de 9 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ano (PAGOT, 2006).

Provavelmente a adoção conjunta de níveis adequados de nutrientes, ainda que originados de fontes menos solúveis e o uso de irrigação por gotejamento, contribuíram para o pleno desenvolvimento produtivo da cultivar Guarani. Por outro lado, as demais cultivares, incluindo a Tupy, que é a mais plantada no País, apresentaram produtividades condizentes com a idade do pomar.



**Tabela 2.** Produtividade média (kg ha<sup>-1</sup>) de quatro cultivares de amora-preta, em função de diferentes adubações de base. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013.

Cultivar	Produtividade média (kg ha <sup>-1</sup> )	
Guarani	12.825	A
Tupy	8.354	B
Xavante	6.910	C
Cherokee	6.388	C

Letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%

Em relação ao teor de nutrientes no solo, para o fósforo (P) observou-se efeito significativo do fator tratamento, isto é, em função das diferentes adubações de base adotadas. Os tratamentos que apresentaram os maiores teores de P disponíveis continham ao mesmo tempo a aplicação de FN, TT e diferentes doses de grandiorito (Tabela 3). Os dois tratamentos que apresentaram os menores teores de P foram o T1 (TT + FN) e o T5 (apenas TT). Apesar disso, todos os tratamentos proporcionaram aumento no teor de P em relação à análise de solo inicial, realizada antes da implantação do experimento (13,7 mg dm<sup>-3</sup>). Assim, constatou-se que todos os tratamentos proporcionaram modificação na classe de P no solo, passando de Baixo para Alto (T1 e T5) e Muito Alto (T2, T4 e T3).

**Tabela 3.** Teor de P no solo (na camada de 0-20 cm) e interpretação segundo CQFS RS/SC (2004) em função dos diferentes tratamentos. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013.

Tratamento	Teor de P no solo		Interpretação do teor de P no solo (mg dm <sup>-3</sup> ) (CQFS RS/SC, 2004)
	(mg dm <sup>-3</sup> )		
T2	53,2	A	Muito Alto (>42,0)
T4	45,1	AB	Muito Alto (>42,0)
T3	43,9	AB	Muito Alto (>42,0)
T1	40,2	BC	Alto (21,1 - 42,0)
T5	32,2	C	Alto (21,1 - 42,0)
Inicial	13,7		Baixo (7,1 - 14,0)

Letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%

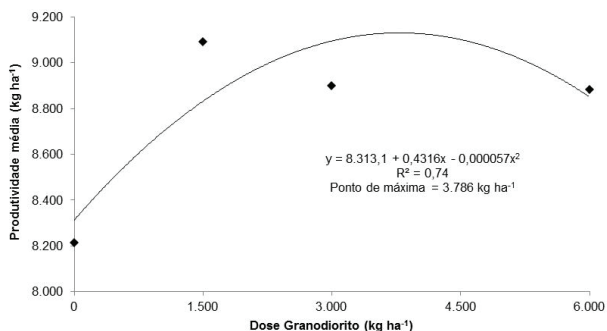
Para o potássio (K) os resultados observados foram semelhantes, sendo que todos os tratamentos proporcionaram modificação na classe de interpretação do teor no solo, porém, diferentemente do observado para o P, a TT, isolada (T5), foi eficiente em disponibilizar este nutriente. Geralmente as fontes orgânicas apresentam liberação rápida deste elemento. Assim, a combinação de TT e granodiorito pode apresentar liberação imediata (TT) e residual de K (Granodiorito). Considere-se ainda que a TT apresenta teor médio de 2,5% de  $K_2O$ , e que a dose de TT aplicada ( $4.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ) forneceu  $100 \text{ kg de } K_2O \text{ por ha}^{-1}$ .

**Tabela 4.** Teor de K no solo (na camada de 0-20cm) e interpretação segundo CQFs RS/SC (2004) em função de diferentes tratamentos. Embrapa Clima Temperado, 2013.

Tratamento	Teor de K no solo		Interpretação do teor de K no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) (CQFS RS/SC, 2004)
	( $\text{mg dm}^{-3}$ )		
T3	125,3	A	Muito Alto (>120,0)
T2	123,5	A	Muito Alto (>120,0)
T5	122,0	AB	Muito Alto (>120,0)
T4	116,5	AB	Alto (60,0 - 120,0)
T1	107,8	B	Alto (60,0 - 120,0)
Inicial	42,6		Médio (41,0 - 60,0)

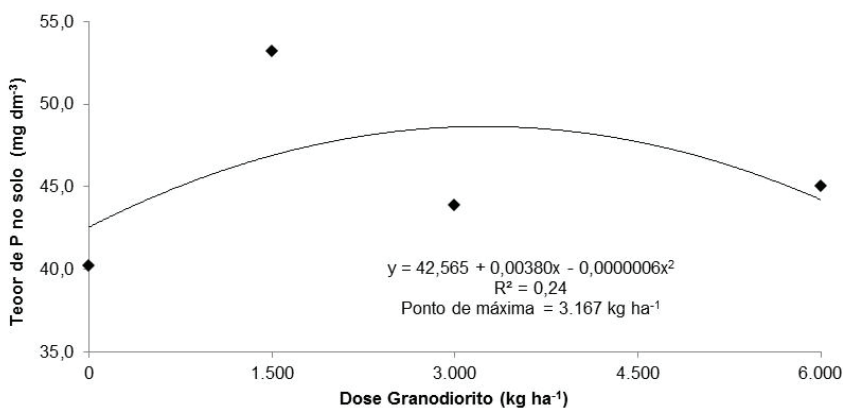
Letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%

Quando excluído o tratamento adicional (T5 – constituído apenas de TT), é possível realizar o teste de regressão polinomial para o fator Dose de granodiorito na adubação de base. Assim, constata-se novamente o efeito do fator cultivar para a variável produtividade (Figura 1). Apesar de não ter sido constatado efeito do fator dose de granodiorito para a variável produtividade, bem como da interação entre os fatores Cultivar e Dose de granodiorito, a dose ótima do agromineral foi de  $3.786 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 1).

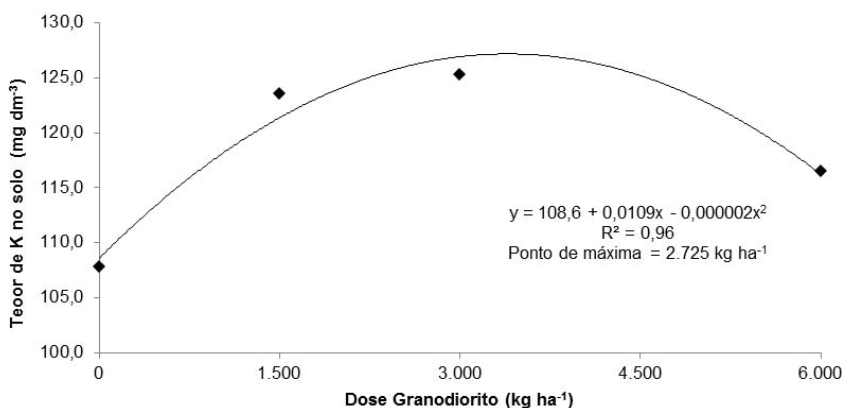


**Figura 1.** Produtividade média de quatro cultivares de amora-preta em função da dose de Granodiorito. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013.

Por outro lado, constatou-se efeito significativo do fator Dose de granodiorito para os teores de P e K no solo, sendo que os modelos quadráticos foram os que melhor explicaram os resultados, no caso do P, com ajuste fraco ( $R^2 = 0.24$ , Figura 2) e no caso do K, com ajuste excelente ( $R^2 = 0.96$ , Figura 3). Para o K, a dose ótima foi de  $2.725 \text{ kg ha}^{-1}$  de granodiorito. Não foi constatado efeito significativo da interação entre os fatores de tratamento.



**Figura 2.** Teor de P no solo em função da dose de Granodiorito. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013.



**Figura 3.** Teor de K no solo em função da dose de Granodiorito. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, 2013.

## Considerações Finais

Os resultados obtidos neste trabalho devem ser interpretados com ressalvas uma vez que se trata de apenas um ano de avaliação, com uma espécie de reconhecida rusticidade e com o uso de fontes multielementares e de liberação gradual para a maioria dos nutrientes. Ao mesmo tempo é importante destacar que transcorrido apenas um ano de implantação do experimento constatou-se efeito dos tratamentos sobre os teores dos nutrientes P e K no solo. Para os demais nutrientes avaliados (Ca, Mg, S e os micronutrientes B, Cu, Mn e Zn) não foi observado efeito dos tratamentos. Para a continuidade do experimento está prevista a amostragem de tecido foliar das plantas e a análise de nutrientes nos frutos. Desta forma, será possível compreender a influência dos fatores de tratamento sobre a nutrição das plantas bem como o efeito residual dos tratamentos.



## Referências Bibliográficas

CQFS RS/SC. 2004. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. SBCS, Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, Porto Alegre, 2004.394 p.

ILHA, L.L.H. Produção de amora-preta e framboesa em regiões de clima Temperado. **Informe Agropecuário**, v.33, n.268, p.58-68, 2012.

PEREIRA, I.S.; ANTUNES, L.E.C.; MESSIAS, R.S.; SILVEIRA, C.A.P.; VIGNOLO, G. Avaliações de subtração dos elementos N, P e K sobre a produção e qualidade de frutos de amoreira-preta. **Comunicado Técnico 275**. Pelotas, RS, dezembro, 2011.

PEREIRA, I.S.; ANTUNES, L.E.C.; FACHINELLO, J.C.; MESSIAS, R.S.; SILVEIRA, C.A.P.; VIGNOLO, G. Avaliações de subtração dos elementos N, P e K sobre o crescimento vegetativo da amoreira-preta. **Comunicado Técnico 276**. Pelotas, RS, dezembro, 2011.

PEREIRA, I.S. **Adubação de pré-plantio no crescimento, produção e qualidade da amoreira-preta (*Rubus sp.*)**. Mestrado em Fruticultura de Clima Temperado (Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

PIO, R.; ALVARENGA, A.A.; MOURA, P.H.A.; CURI, P.N. Produção de amora-preta e framboesa em regiões de clima quente. **Informe Agropecuário**, v.33, n.268, p.46-55, 2012.

# SELETIVIDADE TEÓRICA DOS BASALTOS AMIGDALOIDES À ZEOLITAS DO RS PARA OS CÁTIONS $\text{NH}_4^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{+2}$ e $\text{Mg}^{+2}$

*Rodrigo José Bandeira<sup>1</sup>*

*Rosane Martinazzo<sup>2</sup>*

*Magda Bergmann<sup>3</sup>*

*Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>*

*Adilson Luís Bamberg<sup>4</sup>*

*Matheus Farias Grecco<sup>5</sup>*

## Resumo

Este trabalho se baseia na identificação macroscópica das espécies de zeolitas mais representativas dos basaltos amidalóides da Formação Serra Geral, bem como na compilação de dados sobre suas propriedades de sorção buscando identificar seu potencial de uso na agricultura.

**Palavras-Chave:** zeolitas em basaltos, propriedades das zeolitas, “peneiras moleculares”, Formação Serra Geral.

## Introdução

As zeolitas são uma família de minerais do grupo dos Tectosilicatos que compreende silicatos hidratados de alumínio, cálcico-sódicos, com estruturas cristalinas caracterizadas por cadeias atreladas por cátions intersticiais de cálcio e/ou sódio e/ou potássio e/ou bário. As zeolitas possuem estruturas abertas (canais) nas quais as substituições isomórficas de  $\text{Si}^{+4}$  por  $\text{Al}^{+3}$  geram deficiência de carga nos tetraedros (Pabalan e Bertetti, 2001) conferindo-lhes intensa capacidade de retenção de água e

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre - RS; rodrigo.bandeira@ufrgs.br <sup>2</sup> Eng. Agrônomo (a), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado; Pelotas - RS; augusto.posser@embrapa.br, rosane.martinazzo@embrapa.br. <sup>3</sup> Geóloga, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM – Serviço Geológico do Brasil; Porto Alegre - RS; magda.bergmann@cprm.gov.br. <sup>4</sup> Eng. Agrícola, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado; Pelotas - RS; adilson.bamberg@embrapa.br. <sup>5</sup> Acadêmico do Curso Engenharia Geológica, Universidade Federal de Pelotas; Pelotas - RS; grecco.eg@hotmail.com



outras moléculas, o que levou McBain (1932) a denominá-las “peneiras moleculares”. A passagem de soluções fluidas pelos canais possibilita trocas de íons, característica que tornou sua utilização comercial viável nas seguintes atividades: purificação de ração animal; controle de odor; nutrição animal; tratamento de lixo doméstico; aquicultura e agricultura, entre outras aplicações.

Durante o processo de intemperismo dos solos muitos cátions de interesse agrícola são perdidos, com destaque para K, Mg e Ca. Nos cultivos agrícolas de clima tropical a perda de nutrientes, seja do próprio solo ou dos fertilizantes adicionados, é motivo de grande preocupação. Neste sentido, o uso das zeolitas como condicionadores de solo (Marquez, 2000) e sorbentes de íons e moléculas tem sido descrito na literatura com comprovados efeitos especialmente na retenção de compostos nitrogenados (Minato e Tamura, 1978; Bernardi et al., 2008). Ainda, outros elementos benéficos para o desenvolvimento das plantas, como K, Mg e Ca podem ser retidos pelas estruturas das zeolitas (Soares, 2010), sendo o arranjo cristalográfico (tamanho dos poros) um fator determinante no processo de troca catiônica das zeolitas (Shinzato, 2008).

Este estudo visa estabelecer correlações entre as estruturas (diâmetro dos canais) das diferentes zeolitas que predominam nos basaltos da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná - Rio Grande do Sul e o tamanho (raio iônico) de alguns íons importantes para a produção agrícola, buscando-se com isso identificar o potencial teórico destas zeolitas na retenção de nutrientes.

## **Materiais e Métodos**

As zeolitas apresentadas neste trabalho consistem em amostras do Projeto Agrominerais da Bacia do Paraná da CPRM/Porto Alegre. As zeolitas que ocorrem nos basaltos da Formação Serra Geral apresentam grande diversidade e, em alguns casos, encontram-se em percentuais avaliados em até 30% em zonas amigdalóides espessas e de fácil extração nos basaltos, o que pode viabilizar o seu uso na agricultura (Bergmann e Toniolo, 2012).

As zeolitas presentes nas amostras de basaltos considerados neste estudo foram identificadas macroscopicamente com base em parâmetros físicos, como forma cristalina, hábito, cor, brilho, dureza e clivagens, com auxílio de lupas de laboratório com aumento de até 30 X.

Adicionalmente foi efetuada uma revisão bibliográfica sobre o grupo das zeolitas, com objetivo de compreender os processos de trocas catiônicas que ocorrem no interior de suas estruturas, além do elenco dos compostos nitrogenados e cátions mais interessantes do ponto de vista agrônomo, a fim de estabelecer comparações entre o raio iônico hidratado destes e os diâmetros dos canais das zeolitas.

As medidas de tamanhos de poros e os arranjos estruturais mostrados nas figuras foram extraídos do *Atlas of zeolite framework types* (Baerlocher *et al.*, 2007).

## Propriedades das Zeolitas Analisadas

### Heulandita (HEU)

Composição química:

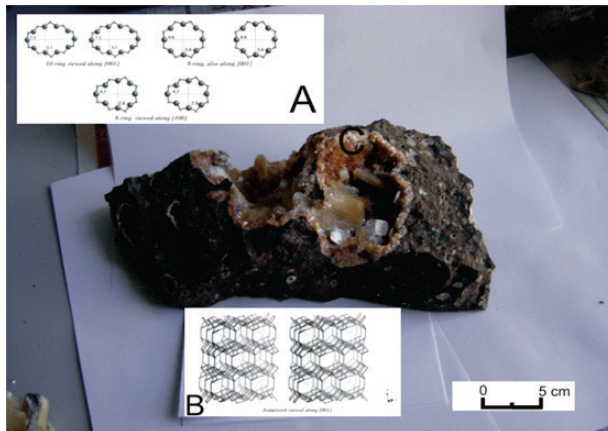
$[(Ca_{0,5}, Sr_{0,5}, Ba_{0,5}, Mg_{0,5}, Na, K)_9[Al_9Si_{27}O_{72}]24H_2O$ ; sistema cristalino monoclinico. A estrutura da heulandita é extremamente parecida com a da zeolita clinoptilolita, que consta com várias aplicações descritas na literatura, entre as quais se destaca a utilização na agricultura atuando como um fertilizante de liberação lenta (Lewis *et al.*, 1984). Vários autores propuseram que a heulandita e a clinoptonita pertenceriam a uma mesma série isomórfica, no entanto a IMA (Internacional Mineralogical Association) reconhece atualmente as duas espécies de zeolitas com a distinção originada pela diferença da razão Si/Al nas estruturas, sendo o termo heulandita empregado quando esta razão é menor que 4 para 1.

Soares (2010) em experimento com zeolitas (heulandita e clinoptilolita) misturadas a vinhaça alcançou excelentes resultados com o emprego do produto na cultura da alfafa (*Medicago sativa*). A autora definiu a CTC (capacidade de troca catiônica) da heulandita/clinoptilolita utilizada em 1,40 meq g<sup>-1</sup>, e o diâmetro de seus poros variando entre 7,6 e 3,5 Å nos canais maiores e entre 4,6 e 2,8 Å nos subordinados. Infelizmente, a caracterização usada no trabalho da autora não discrimina o percentual de cada mineral utilizado. Os resultados apresentados no estudo demonstram que houve aumento nas concentrações de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no solo avaliado.



## Mordenita (MOR)

Composição química:  $(\text{Na}_2, \text{Ca}, \text{K}_2)_4[\text{Al}_8\text{Si}_4\text{O}_{96}]28\text{H}_2\text{O}$ . Possui cor branca e brilho vítreo com clivagem perfeita (100); sistema monoclinico; seu hábito fibroso e a aparência de “algodão” a tornam facilmente identificável. Os sítios tetraédricos de Al e Si na estrutura da mordenita são extremamente desordenados (Meier, 1961). Seus principais cátions são Na, Ca e K, mas também Mg, Fe, Ba e Sr podem estar presentes (Passaglia, 1975). O mineral apresenta o maior canal (ou o canal mais amplo/ou mais largo/ou de maior diâmetro) segundo o eixo b onde se concentra a maioria dos cátions. Macías et al. (2007) utilizou uma mescla de zeolitas (55% de mordenita e 45% de clinoptilolita) e estudou sua influência na absorção de compostos nitrogenados na cultura de aveia.



**Figura 1.** Heulandita castanha e calcita incolor em basalto amidalóide da Formação Serra Geral/RS. Museu de Mineralogia da UFRGS. A: Tamanho de poros da heulandita medidas em Angstrom; B: arranjo estrutural.

O trabalho concluiu que estas zeolitas tiveram efeito positivo na retenção destes compostos, diminuindo a lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ . Shinzato et al. (2008) caracterizou mordenitas em dacito amigdalóide da Formação Serra Geral definindo sua CTC (capacidade de troca de catiônica) em 120

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  o que segundo os autores ficou aquém do esperado, tendo em vista que a CTC teórica do mineral registra valor de  $220 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Esta diferença pode ser explicada devido à presença de impurezas no interior dos poros, localização dos cátions compensadores ou ainda falhas no empilhamento estrutural. Ainda assim, ressaltam os autores, a mordenita utilizada apresentou CTC semelhante às argilas expansivas como as vermiculitas e esmectitas.

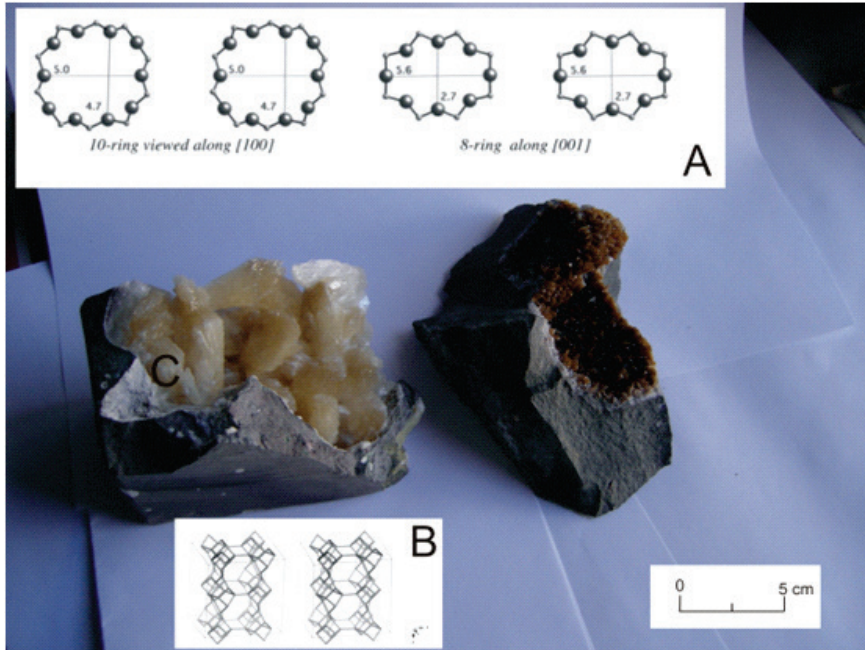
Fórmula química:  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]\text{H}_2\text{O}$ . Sistema: monoclinico. Com arranjo estrutural muito parecido com o da natrolita, difere desta pelo posicionamento dos sítios normalmente ocupados pelo cátion Na, onde no caso das escolecitas predominará o Ca e moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Bosso e Enzweiler (2002) propõem que a escolecita é uma alternativa para remoção de alguns metais pesados ( $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$ ) em meio aquoso e definem a CTC teórica em  $500 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

## Estilbita (STI)

Composição química:  $(\text{Ca}_{0,5}, \text{Na}, \text{K})_9[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}]\text{H}_2\text{O}$ . Sistema monoclinico. Os cristais da estilbita têm geralmente hábito tabular ou são agregados em feixes, algumas vezes formando maclas em formato de cruz. Normalmente os sítios tetraédricos de Al e Si estão desordenados na estrutura. Existem dois principais sítios onde se alojam os cátions: aquele ocupado pelo Ca (eixo *a*), onde os interstícios são completamente cercados por moléculas de água, sem qualquer contato com o oxigênio e aqueles ocupados pelo Na, o qual poderá se coordenar com água e/ou oxigênio.

Estudos realizados com a estilbita de origem sedimentar (Bacia do Parnaíba-Maranhão) em mistura com uréia em experimentos com a cultura da aveia (Bernardi et al., 2007) e de milho para silagem (Bernardi et al., 2007) demonstraram que o uso deste mineral foi efetivo na retenção do íon amônio e nos processos de nitrificação, aumentando assim a eficiência de uso do fertilizante. Alves et al. (2007) realizaram experimento em casa de vegetação com o objetivo de avaliar o efeito da mistura de zeólita à uréia na volatilização de  $\text{NH}_3$ . Os resultados mostraram que a adição de estilbita ao fertilizante nitrogenado reduziu a volatilização em relação aos demais tratamentos avaliados no estudo.



**Figura 2.** Estilbita em Basalto Amigdalóide da Formação Serra Geral/RS. Museu de Mineralogia da UFRGS. A: Tamanho de poros da estilbita medidas em Angstrom; B: arranjo estrutural.

## Considerações Finais

As perdas de certos nutrientes em solos tropicais e subtropicais são grandes, gerando redução da fertilidade do solo, elevação dos custos de produção devido à maior demanda por fertilizante e maior potencial de contaminação do ambiente. O modelo de manejo de fertilizantes implantado no Brasil se baseia em produtos de alta solubilidade, inspirado nos padrões de regiões de clima temperado, agravando a situação do ponto vista ambiental, devido ao transporte de compostos e elementos para os corpos d'água. Entretanto, a bibliografia científica tem sido profícua em trabalhos sobre a utilização de zeolitas como sistemas filtrantes e condicionadores de solos. Estes minerais quando aplicados com compostos nitrogenados têm

se mostrado bastante promissores no aumento do tempo de residência dos íons de interesse no solo e, conseqüentemente, na redução das perdas por volatilização e/ou lixiviação. Devido à sua enorme capacidade de retenção as zeolitas agem como uma espécie de esponja fertilizante, sorvendo e liberando nutrientes lentamente, acompanhando melhor as necessidades das plantas. Além disso, como as zeolitas naturais normalmente não são puras, ou seja, ocorrem em misturas com outras rochas, há a liberação de nutrientes derivados do intemperismo dos minerais que compõe as rochas.

Do ponto de vista geoquímico,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  são considerados móveis, pois saem das estruturas cristalinas com maior facilidade nos processos de lixiviação. Devido à disposição de suas eletrosferas, seus elétrons são facilmente perdidos por se situarem longe do núcleo do átomo. Essa característica confere aos alcalinos/alcalinos terrosos uma alta reatividade e as ligações iônicas formadas são geralmente fracas. Estes cátions possuem grande importância para a agricultura e, atualmente, grande parte deles é fornecida via fertilizantes importados, com elevados custos para o produtor agrícola. Neste contexto, o uso de zeolitas adicionadas à uréia, ácidos e sais de K, Ca e Mg pode reduzir as perdas desses nutrientes aumentando assim sua eficiência de uso.

Espera-se que este estudo contribua como um apanhado teórico sobre o assunto que está condensado no Quadro 1. Ressalta-se também que testes agrônômicos com esses materiais já estão em andamento para avaliação do sua eficiência de uso, definição de doses, granulometria, forma e época de aplicação.

**Quadro 1.** Quadro comparativo entre as zeólitas analisadas e íons/moléculas de interesse para a agricultura

Zeólita	Composição química	Principais cátions trocáveis	Tamanho do raio dos poros **	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Moléculas e cátions compatíveis RIH*****
Heulandita	(Ca <sub>0,5</sub> ,Sr <sub>0,5</sub> ,Ba <sub>0,5</sub> ,Mg <sub>0,5</sub> ,Na,K) <sub>6</sub> [Al <sub>9</sub> Si <sub>27</sub> O <sub>72</sub> ] <sup>•</sup> ~24H <sub>2</sub> O*	Ca, Na, K	3,1 x 7,5Å 3,6x4,6Å 2,8 x 4,7Å	291***	K <sup>+</sup> (2,01Å), Ca <sup>+2</sup> (4,12Å) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (3,31Å) NH <sub>3</sub> (3,6Å)
Escolecita	Ca[Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ] <sup>•</sup> 3H <sub>2</sub> O*	Ca	2,6 x 3,9Å 2,5 x 4,1Å	500****	Na <sup>+</sup> (2,76Å) Mg <sup>+2</sup> (3,0Å) Fe <sup>+2</sup> (4,3Å) K <sup>+</sup> (2,01Å)
Mordenita	(Na <sub>2</sub> ,Ca,K <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> [Al <sub>18</sub> Si <sub>40</sub> O <sub>96</sub> ] <sup>•</sup> 28H <sub>2</sub> O*	Na, Ca, K	6,5 x 7,0Å 2,6 x 5,7Å	229***	K <sup>+</sup> (2,01Å), Ca <sup>+2</sup> (4,12Å) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (3,31Å) NH <sub>3</sub> (3,6Å)
Estilbita	(Ca <sub>0,5</sub> ,Na,K) <sub>9</sub> [Al <sub>19</sub> Si <sub>27</sub> O <sub>72</sub> ] <sup>•</sup> 28H <sub>2</sub> O*	Ca, Na, K, Mg	4,7 x 5,0Å 2,7 x 5,6Å	250***	Na <sup>+</sup> (2,76Å) K <sup>+</sup> (2,01Å) Ca <sup>+2</sup> (4,12Å) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (3,31Å) NH <sub>3</sub> (3,6Å)

Fonte: \*Coombs, D. S.; Alberti, A.; Armbruster T.; Artioli G.; Colella C.; Galli E.; Grice J. D.; Liebau F.; Mandano J. A.; Minato H.; Nickel E.; Passaglia E.; Peacor D. R.; Rinaldi R.; Peacor D. R.; Rinaldi R.; Ross M.; Sheppard R. A.; Tillmans E.; Vazzalini G. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. **The Canadian Mineralogist**, Quebec, v. 35, p. 1571-1606, 1997. \*\*Baerlocher, C.H.; McCusker, L. B.; Olson, D. H. **Atlas of zeolite framework types**.6. Ed. Amsterdam: Elsevier, 2007.

\*\*\*Bernardi, A.C.C.; Monte, M.B.M.; Paiva, P.R.P.; Werneck, C.G.; Haim, P.G.; Polidoro, J.C. Potencial de uso de zeólitas na agropecuária. **Documentos** 85, São Carlos, dez. 2008.

\*\*\*\*Bosso, S. T.; Enzweiler, J. Evaluation of heavy metal removal from aqueous solution onto scolecite. **Water Research**, n. 36, 2002.

\*\*\*\*\*Tansel, B. Significance of thermodynamic and physical characteristics on permeation of ions during membrane separation: Hydrated radius, hydration free energy and viscous effects. **Separation and Purification Technology**, n.86, 2012.

Nota: RIH - Raio Iônico Hidratado.

## Referências Bibliográficas

BAERLOCHER, CH.; MCCUSKER, L. B.; OLSON, D. H. **Atlas of zeolite framework types**.6<sup>ª</sup> Ed. Amsterdam: Elsevier, 2007.

BERGMANN, M.; TONIOLO J. A. Prospecção de agrominerais para o Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2012/workshop\\_insumos/PALESTRAS%20PDF/Bergmann%20&%20Toniolo.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2012/workshop_insumos/PALESTRAS%20PDF/Bergmann%20&%20Toniolo.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2013.

BERNARDI, A. C. C.; MONTE, M. B. M; PAIVA, P. R. P.; WERNECK, C. G.; HAIM, P. G.; POLIDORO,



- J. C. Potencial de uso de zeolitas na agropecuária. **Documentos 85**, São Carlos, dez. 2008.
- BOSSO, S. T.; ENZWEILER, J. Evaluation of heavy metal removal from aqueous solution onto scolecite. **Water Research**, n. 36, 2002.
- COOMBS, D. S.; ALBERTI, A.; ARMBRUSTER, T.; ARTIOLI, G.; COLELLA, C.; GALLI, E.; GRICE, J. D.; LIEBAU, F.; MANDARINO, J. A.; MINATO, H.; NICKEL, E. H.; PASSAGLIA, E.; PEACOR, D. R.; QUARTIERI, S.; RINALDI, R.; ROSS, M.; SHEPPARD, R. A.; TILLMANN, E.; VEZZALINI, G. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. **The Canadian Mineralogist**, Quebec, v. 35, p. 1571-1606, 1997.
- HEY, M. H.; BANNISTER, F. A. Studies on the zeolites: Part VII: 'Clinoptilolite', a silica-rich variety of heulandite. **Mineralogical Magazine**, v. 23, p. 556-559, 1934.
- LEWIS, M. D.; MOORE, F. D.; GOLDSBERRY, K. L. Ammonium-exchanged clinoptilolite with urea as nitrogen fertilizers. In: POND, W. G.; MUMPTON, F. A. **Zeo-Agriculture: use of natural zeolites in agriculture and aquaculture**. Boulder: Westview, 1984.
- MASON, B.; SAND, L. B. Clinoptilolite from Patagonia: the relationship between clinoptilolite and heulandite. **American Mineral**, v. 45, p. 341-350, 1960.
- McBAIN, J. W. **The sorption of gases and vapors by solids**. London: Rutledge and Sons, 1932.
- MUMPTON, F. A. Clinoptilolite redefined. **American Mineral**, v. 45, p. 351-369, 1960.
- PABALAN, R. T.; BERTETTI, F. P. Cation-Exchange Properties of Natural Zeolites. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, 2001.
- SHETA, A. S.; FALATAH, A. M.; AL-SEWALEM, M. S.; KLALED, E.M.; SALLAM, A. S. H. Sorption characteristics of zinc and iron by natural zeolite and bentonite. *Microporous and Mesoporous Materials*.
- SHINZATO, M. C.; MONTANHEIRO T. J.; JANASI, V. A.; NEGRI, F. A.; YAMAMOTO J. K.; ANDRADE, S. Caracterização tecnológica das zeolitas naturais associadas às rochas eruptivas da Formação Serra Geral, na região de Piraju-Ourinhos (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 525-532, set. 2008.
- SOARES, F. S. **Caracterização e aplicação de zeolitas naturais**. 2010. 196 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

# USO DO REJEITO DA MINERAÇÃO DE ESMERALDAS DA PROVÍNCIA ESMERALDÍFERA ENTRE ITABIRA NOVA ERA – MG, COMO FORNECEDOR DE NUTRIENTES A SOLOS AGRÍCOLAS

*Amando P. Aguiar<sup>1</sup>*

*Adolf Henrich Horn<sup>2</sup>*

*Alexandre Sylvio Vieira da Costa<sup>3</sup>*

*José Maria Leal<sup>4</sup>*

## Resumo

Foram conduzidos dois experimentos em laboratório com incubação do rejeito mineral formado predominantemente por esmeralda-biotita-mica-anfíbólio-quartzo xisto ao solo sem e com plantas. No primeiro, foi avaliado a liberação de  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  e  $K^{+}$  trocáveis, variação do pH, percentual da saturação de alumínio e por bases do solo. A metodologia usada foi incubar 0, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 40 ton./ha de rejeito por 60 dias. No segundo, foi avaliada a produção de matéria seca do Milho Híbrido para as doses utilizadas na forma de pó de rocha de 0, 5, 10, 20, 40 ton./ha. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições no primeiro e cinco no segundo. A granulometria do rejeito foi padronizada em partículas  $< 0,500mm$ . A capacidade do rejeito mineral liberar  $Mg^{+2}$  e  $K^{+}$  para o solo variou conforme a dosagem. Com as doses testadas foram observadas alterações nos valores de Potássio atingindo  $250\text{ mg/dm}^3$  na dose próximo a 20 ton./ha. Para o Magnésio os níveis alterados variaram com teores de  $0,30\text{ cmol/dm}^3$  no solo testemunho, chegando a valores acima de  $1,5\text{ cmol/dm}^3$  para dose próxima de 20 ton./ha. Para o Cálcio a alteração no solo não se mostrou positiva. Para o período analisado não houve alteração significativa no pH do solo. Em relação à saturação de alumínio houve redução do

---

<sup>1</sup> Pós – Graduando; Centro de Pesquisas Professor Manoel Teixeira da Costa - CPMTC, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, apaagro@gmail.com; <sup>2</sup> Professor, NGqA-IGC/Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, hahorn@ufmg.br; <sup>3</sup> Professor, Faculdade de Agronomia - FAAG, Universidade Vale do Rio Doce - Univale, Governador Valadares - MG, asylvio@univale.br; <sup>4</sup> Consultor, Nanotech – LTDA, nanotech.brasil@gmail.com

percentual de 60% para a dose de 40ton./ha. Na Saturação por Bases, houve acréscimos, sendo que a variação foi entre 7 e 34% para as doses 1ton./ha e 40ton./ha. Na produção de matéria seca do Milho Híbrido em relação à testemunha, o incremento dos valores alcançaram aproximadamente 350 g/vaso com acréscimos de 78%. As características químicas do rejeito, aliado à baixa concentração dos Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), motivam estudos de técnicas, intervenções químicas ou bioquímicas para melhorar a liberação dos nutrientes minerais, podendo aumentar sua eficiência agrônômica.

**Palavras-Chave:** Mineração, Rejeito Mineral, Agricultura

## Introdução

O crescimento da população mundial impulsiona um aumento significativo no processo de industrialização, tendo como consequência a intensificação do uso dos recursos naturais e geração de resíduos/rejeitos que podem causar inúmeros problemas ambientais, e riscos inclusive à sobrevivência dos seres vivos no planeta. A extração de determinados tipos de minério vem aumentando significativamente ao longo das últimas décadas, visando atender a demanda da indústria mundial no fornecimento de produtos à sociedade.

O desconhecimento de como tratar e disponibilizar de forma adequada os estéreis minerais, aliado ao não cumprimento da legislação em vigor, devido à complexidade dos fatores técnicos e econômicos envolvidos, pode acarretar sérios prejuízos de ordem ambiental e econômica para a sociedade. Um dos mais relevantes problemas ambientais da atualidade está relacionado à atividade de mineração, principalmente devido à geração de rejeito, que se torna um passivo ambiental. Tais rejeitos quando lançado diretamente em sistemas naturais, sem a observação de critérios definidos, podem representar um grande potencial poluidor do solo, das águas subterrâneas e superficiais.

Considerando que o aumento no número de habitantes do planeta terra provocará uma maior demanda por alimentos e recursos, será também necessário encontrar formas mais eficientes e sustentáveis exploração dos recursos naturais. Segundo CETEM 2009, o Brasil apresenta uma dependência na produção de insumos minerais para a indústria de



fertilizantes, com importação da ordem de 50% para adubos formulados, com ênfase para o potássio, que atinge 90%. Esses percentuais elevados resultam da baixa oferta desses produtos no País, em função do reduzido número de jazidas em atividade para este fim no território nacional. Assim, analisar e propor o uso de fontes minerais alternativas é uma opção para o País, que tem grandes quantidades de rejeitos ou subprodutos provenientes da mineração de esmeraldas.

Para tanto, é necessário que se conheça a sua composição geoquímica, estruturação e seus mecanismos de produção. Tais materiais poderão se converter em insumos agrícolas regionalizados, reduzindo oferta desses materiais como insumo agrícola poderá suprir de forma barata e eficaz a alta demanda para viabilizar a produção agrícola, bem como tem o potencial para mitigar a problemática econômica e ambiental da sua disposição.

## Matérias e métodos

Neste projeto de pesquisa foi utilizado o rejeito mineral coletado em diversas pilhas da Mineradora Belmont - LTDA e Garimpo Capoeirana de esmeraldas localizadas na Província Esmeraldífera entre Itabira e Nova Era em Minas Gerais. A coleta da amostra foi realizada em 20 pontos distintos das pilhas de rejeito das jazidas, de forma que se pudesse ter uma amostra representativa.

A amostra coletada foi encaminhada ao NGqA - CPMTc do Instituto de Geociências – IGC, da Universidade Federal de Minas Gerais para ser fracionado em moinho Modelo MPV - 1 à granulometria < 0, 500 mm (ABNT 10, 20, 30 e fundo). Sub-amostras do material foram encaminhadas à Univale, onde foi realizado teste com plantas em casa de vegetação e para caracterização química total no laboratório AcmeLabs Analytical Laboratories – LTDA.

**Tabela 1.** Característica química do rejeito (XRF Whole Rock & ICP-MS Trace Elements)

Comp. Un	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Pb	Cd	Cu	Ni	Ti	Zn
	%										mg.kg <sup>-1</sup>					
Rejeito	9,3	4,4	0,3	9,9	3,1	19,2	0,2	0,8	0,02	50,2	5,2	<0,1	4,4	167	5,1	107

O solo agrícola utilizado foi coletado no perfil de 0 - 10 centímetros no campo experimental da Faculdade de Agronomia – FAAG da Universidade

Vale do Rio Doce – Univale, em Governador Valadares, Minas Gerais. Após coletado, foi encaminhado à casa de vegetação e para o Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da FAAG - Uniavale. A preparação das amostras de solo para análises constituiu em secar à sombra e padronização das partículas em peneiras com malha de 2,0 mm.

Em seguida foram separadas sub-amostras para análises químicas e físicas de rotina, para determinação dos atributos químicos e físicos do solo, segundo os métodos descritos em EMBRAPA, (1999). Os resultados estão apresentados nas Tabelas 3 e 4. O solo utilizado foi classificado como aluvial.

**Tabela 2.** Característica química do solo utilizado no experimento: pH em água, Fósforo solúvel (P), Potássio ( $K^{+1}$ ) Extrator Meilich 1 (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0025 N), Cálcio ( $Ca^{+2}$ ), Magnésio ( $Mg^{+2}$ ), Alumínio ( $Al^{+3}$ ) – Extrator KCL 1 mol. L.<sup>-1</sup>, Soma de Bases (SB), Saturação por Bases (V) e Saturação de Alumínio (m)

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	T	t	V	m
	(mg.dm <sup>-3</sup> )		(cmolc.dm <sup>-3</sup> )			(cmolc.dm <sup>-3</sup> )			(%)		
6,20	13,90	143,65	1,50	0,60	0,30	4,50	2,47	6,97	2,77	35,77	0,83

**Tabela 3.** Análise textural (EMBRAPA 1999)

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
g/Kg			
630	110	140	120

## Incubação do Solo com Rejeito Mineral

A amostra derivada do rejeito e o solo foram misturados nas proporções (0, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 40) ton./ha, considerando solo de densidade aparente a 1,00 g/cm<sup>3</sup>. Depois de misturadas e preparadas as 100 gramas de cada amostra foram colocadas em copos plásticos. Todas as amostras foram irrigadas até atingir 80% da capacidade de campo, com controle de umidade a cada dois dias.

Tais misturas ficaram incubadas em casa de vegetação por 60 dias com temperatura controlada variando entre 27° e 33° C. Os copos foram cobertos com manta plástica transparente objetivando a redução da evapotranspiração

do solo e a manutenção do teor de umidade para favorecer reações químicas entre os materiais analisados. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições para cada dose do rejeito.

Após 60 dias de incubação os solos foram coletados e colocados para secar à sombra (TFSA) visando a preparação para as análises químicas de rotina segundo o método EMBRAPA (1999).

## Testes com plantas

O solo foi acondicionado em vasos plásticos com capacidade de para armazenar 60 dm<sup>3</sup> de amostras. Na camada superficial do solo, 20 centímetros de profundidade, foram misturados o rejeito mineral na forma de pó de rocha, nas proporções 0, 150, 300, 600 e 1200g/vaso correspondendo à utilização de 0, 5, 10, 20, 40 ton./ha, respectivamente, considerando o solo com 1,00 g/cm<sup>3</sup> de densidade aparente. Depois de misturados e preparados, os vasos foram dispostos em bancada em casa de vegetação. Na sequência plantou-se as sementes do Milho Híbrido Duplo BR 206 a dois centímetros de profundidade. Após 15 dias do plantio foi realizado o desbaste das plantas com manutenção de duas plantas de milho por vaso.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições para cada dose do rejeito, totalizando 25 parcelas. Foi aplicado 10 gramas de uréia agrícola por vaso em cobertura durante o desenvolvimento da cultura, correspondendo à utilização de 160 kg/ha de Nitrogênio por hectare, de acordo com recomendações químicas para a cultura do milho em Ribeiro et al. (1999). Os vasos foram irrigados a cada dois dias buscando-se manter o solo com 80% da capacidade de campo e condições para um bom desenvolvimento fisiológico das plantas. Após o término do ciclo da cultura foram coletadas as plantas de milho para as determinações fitotécnicas.

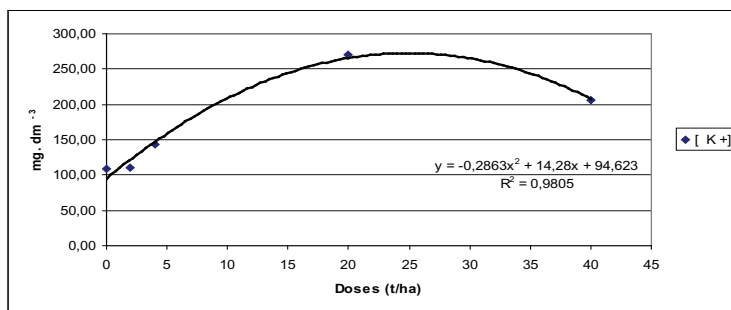
## Resultados e Discussão

### Caracterização química do solo incubado

Na figura 1, com ajuste quadrático ( $y = -0,2863x^2 + 14,28x + 94,623$ ) em função das doses do rejeito foram observadas alterações nos valores do

nutriente  $K^+$  em relação ao tratamento testemunho, com os teores atingindo níveis superiores a  $250 \text{ mg/dm}^3$  na dose próximo a  $20 \text{ ton./ha}$ . A partir deste ponto ocorreu uma redução na concentração do  $K^+$  até atingir valores próximo a  $200 \text{ mg/dm}^3$  na dose de  $40 \text{ ton./ha}$  do rejeito.

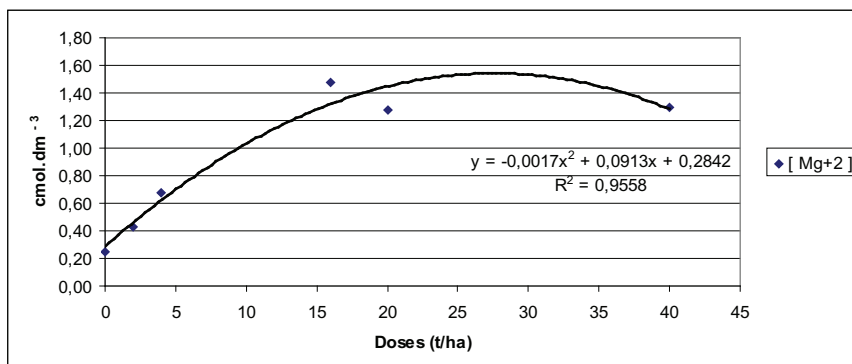
A disponibilidade do íon potássio aumentou no solo em função da aplicação do pó de rocha até a dose aproximadamente de  $20 \text{ ton./ha}$ , observado quando analisado pelo Método EMBRAPA, (1999) que usa como extrator Mehlich 1 ( $\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$ ). A partir deste ponto ocorreu uma queda na sua disponibilidade no solo, provavelmente pela associação com ânions existentes no mineral que foram disponibilizados e se associaram ao potássio formando compostos de menor solubilidade (Fig. 1).



**Figura 1.** Teor de Potássio no solo incubado

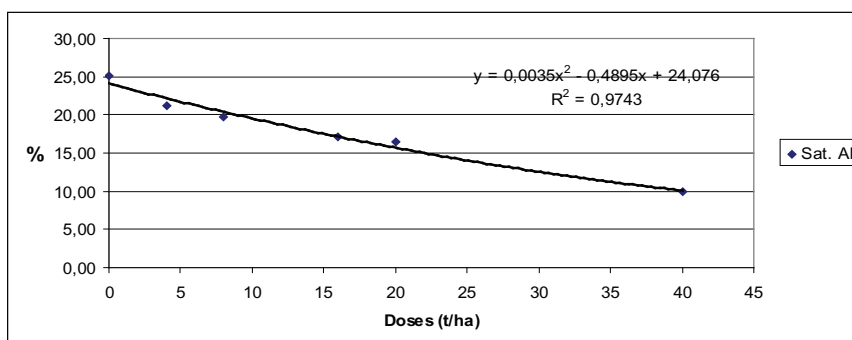
Para o Magnésio, os níveis encontrados após os testes variaram significativamente com valores de  $0,30 \text{ cmol/dm}^3$  no solo testemunho, até valores acima de  $1,5 \text{ cmol/dm}^3$  com o uso do rejeito na dose próximo de  $20 \text{ ton./ha}$  (Fig. 2). Nas doses mais elevadas observa-se uma queda na concentração do magnésio até aproximadamente  $1,3 \text{ cmol/dm}^3$  na maior dose testada ( $40 \text{ ton./ha}$ ). O valor correspondente ao acréscimo do íon  $\text{Mg}^{2+}$  no solo em maiores proporções pode ser confirmado pela característica química do rejeito para esse elemento que foi de  $19,17\%$  (Tab. 2).

O efeito no solo para o íon  $\text{Ca}^{+2}$ , analisado pelo Método EMBRAPA, (1999) que utiliza como extrator  $\text{KCl } 1 \text{ mol. L}^{-1}$  após uso do rejeito, não se mostrou positivo. A baixa resposta apresentada pelo cálcio no solo confirma-se pelo teor deste elemento caracterizado quimicamente no rejeito mineral (Tabela 1).



**Figura 2.** Teor de Magnésio no solo incubado

Em relação à saturação de alumínio, a redução também se mostrou significativa com uma diminuição do percentual da ordem de 60% comparando o solo testemunho com o tratamento de maior dose aplicada do rejeito (40ton./ha). Sugere-se que estes valores foram obtidos principalmente por dois fatores: a redução do teor de alumínio - Al<sup>+3</sup> livre do solo e o aumento da saturação por bases: Magnésio e Potássio.



**Figura 3.** Níveis da Saturação de Alumínio (m)

Segundo Resende et al. (2006), estudos em casa de vegetação utilizando as rochas brecha alcalina, biotita xisto e rochas ultramáficas como fontes de K<sup>+</sup> para a soja e milho com plantios em sucessão, evidenciaram que a aplicação desses materiais moídos, contribuíram de forma significativa

para o fornecimento de  $K^+$  às plantas desde o primeiro cultivo, em Latossolo argiloso de Cerrado. O Autor observou que o efeito residual foi considerável para os cultivos subsequentes.

Para doses crescentes do pó de rocha aplicadas ao solo foram observados incrementos na Saturação por Bases até a aplicação máxima 40 ton./ha (Fig. 4). Aumentos com acréscimos variando entre 7 e 34% para as doses mínima e máxima (1ton./ha e 40ton./ha). Este acréscimo ocorreu devido à reduzida e lenta taxa de ionização do pó de rocha durante o período de permanência no solo.

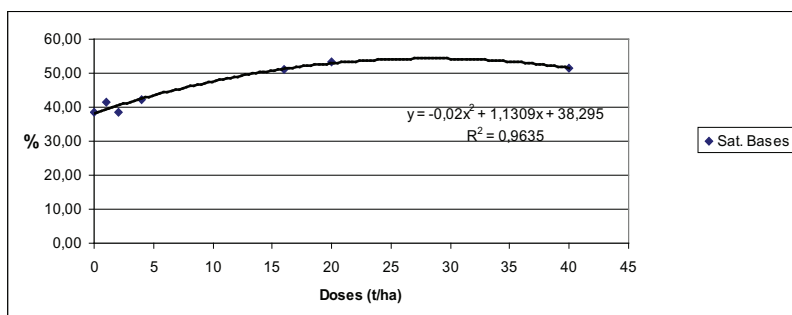


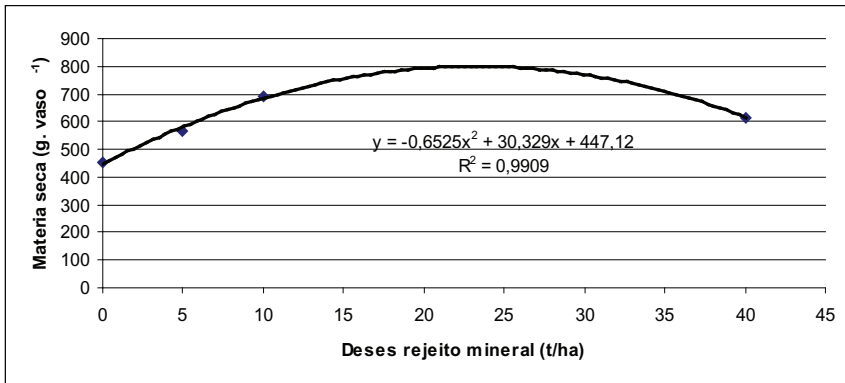
Figura 4. Saturação por Bases (V)

Importante destacar que o pó de rocha utilizado seus é formado por minerais ricos em Magnésio e Potássio, os quais se ionizam na solução do solo ( $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ), tornando-se nutrientes minerais benéficos às plantas cultivadas. Os valores de pH do solo não foram alterados significativamente para as doses testadas no período de incubação.

## Avaliação do desenvolvimento das plantas de Milho Híbrido Duplo BR 206

Na Figura 5, o ajuste quadrático ( $y = -0,6525x^2 + 30,329x + 447,12R^2$ ) em função das doses do pó de rocha utilizado, demonstra incremento de matéria seca no Milho Híbrido Duplo BR 206 até a dose equivalente a 20 ton./ha. Em relação à testemunha o incremento dos valores de produção de matéria seca foi de aproximadamente 350 gramas/vaso ou 78%. A partir da

aplicação de 20 ton./ha de pó de rocha ocorreu uma queda na produção das plantas, indicando provavelmente a presença elevada de algum componente deletério, possivelmente o metal Níquel (Ni), encontrado no rejeito na concentração de 167 mg.kg<sup>-1</sup>.



**Figura 5.** Produção de matéria seca Milho Híbrido Duplo BR 206

Pesquisadores da EMBRAPA e Universidades do Brasil têm observado efeito moderados a baixo no desenvolvimento de plantas cultivadas em solos fertilizados com pó de rochas (biotita xisto, brecha alcalina e ultramáfica) aplicados de forma direta no solo. Filho et al. (2006) observaram aumento na produção de matéria seca do arroz após uso de rochas silicáticas potássica.

Mas segundo Resende et al. (2005) os valores referentes ao incremento de matéria seca podem ser mascarados em primeiro cultivo devido à reserva original de nutrientes dos solos cultivados.

Outro fator de grande importância que alterou a disponibilidade dos nutrientes no solo foi o desenvolvimento da própria planta, através dos exsudatos liberados pelas raízes.

Verifica-se que este material apresenta características químicas favoráveis ao desenvolvimento das plantas de milho (*Zea mays L.*) até determinada dose, sendo que novos estudos deverão ser realizados visando obter resultados referentes à viabilidade técnica/econômica deste material e mesmo sua permanência por maior período no solo.



## Considerações finais

Os resultados deste trabalho confirmam um incremento dos íons ( $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ) na melhoria química e Saturação por Bases dos solos agrícolas com o uso de pó de rocha derivado de rejeitos da exploração de esmeralda. O aumento das doses aplicadas ao solo proporcionou uma diminuição na saturação de alumínio. A utilização desse material como insumo agrícola minimiza os problemas ambientais inerentes à disposição dos rejeitos da mineração de esmeraldas e propõe uma forma alternativa de minimizar a importação de materiais para produção de fertilizantes. A logística de comercialização e distribuição de tais materiais poderá gerar intercâmbio econômico entre os trabalhadores envolvidos, beneficiando mineradoras, indústria e agricultores das proximidades das jazidas que geram o rejeito mineral.

## Referências Bibliográficas

- CETEM 2009. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes alternativos. Seminário agrominerais alternativos modo de compatibilidade. Centro de tecnologia mineral–CETEM. 39p.
- Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional (CPDS) AGENDA 21, 1992. Conferência Eco-92 ou Rio-92, Rio de Janeiro, Brasil.
- Filho, M. P. B.; Fogeria, N. K.; Santos, D. F.; Couto P. A.; 2006. Aplicação de rocha silicática como fonte alternativa de potássio para a cultura do arroz de terras altas. Espaço & Geografia, Brasília, Vol.9, No 1, 63:84.
- Resende, A. V.; Machado, C. T. T.; Martins, E. S.; Sobrinho, D. A. S.; Nascimento, M. T.; Faleiro, A. S. G.; Linhares, N. W.; Souza, A. L. & Corazza, E. J. 2005. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I Respostas da soja e do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2005, Recife. Anais... Recife: UFRPE/SBCS, (CD-ROM).
- Resende, A. V. de; Machado, C. T. T.; Martins, E. de S.; Sena, M. C. de.; Nascimento, M. T. D o.; Silva, L. de C. R.; Linhares, N. W. 2006. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. Rev. Espaço & Geografia, V. 9, n. 1, 135-161p.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Álvares, V. H. 1999. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais, Viçosa, MG. 359p.



# IDENTIFICAÇÃO DE MINERAIS DO GRUPO DAS ZEÓLITAS POR ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA

*Ana Paula Justo<sup>1</sup>*

*Magda Bergmann<sup>1</sup>*

*Rosemary Hoff<sup>2</sup>*

*Mônica Mazzini Perrotta<sup>1</sup>*

## Resumo

A utilização de zeólitas para melhorar a qualidade do solo destinado à agricultura ganha espaço em todo o mundo. A elevada capacidade de troca catiônica das zeólitas favorece a conservação de nutrientes no solo e, a alta capacidade de retenção de água em seus retículos cristalinos faz destes minerais excelentes condicionadores de solo. A ausência de depósitos de zeólitas em exploração no Brasil torna os basaltos da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná um alvo com grande potencial para a prospecção por zeólitas naturais. Pesquisas da CPRM destacam a significativa presença de zeólitas especialmente no contato entre os derrames inferiores da Formação Serra Geral e os arenitos eólicos da Formação Botucatu no Rio Grande do Sul. A espectroscopia de reflectância é uma ferramenta capaz de contribuir para a identificação de zeólitas em campo ou laboratório, utilizando-se de análises rápidas e de baixo custo. O conhecimento prévio do comportamento espectral das zeólitas é de grande utilidade na prospecção de alvos potenciais na Formação Serra Geral (pilhas de lobos e brechas de topo de derrames basálticos). Nestas ambiências foram reconhecidas macroscopicamente heulandita, escolecita, estilbita, laumontita e mordenita. O presente trabalho apresenta os resultados de leituras em amostras representativas das paragêneses que caracterizam os diferentes blocos determinados pelo Projeto Agrominerais Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul-CPRM, com uso do espectrorradiômetro FieldSpec 3 Hi-Res<sup>®</sup> - ASD, de resolução espectral entre 0,35 e 2,5  $\mu\text{m}$ . Foram identificadas curvas espectrais referentes à estilbita,

---

<sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil – CPRM ana.justo@cprm.gov.br, magda.bergmann@cprm.gov.br, monica.perrotta@cprm.gov.br, <sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA rose.hoff@embrapa.br

heulandita, laumontita, mordenita e possivelmente analcima, clinoptilolita e erionita, localmente associadas à calcita. Por meio de assinaturas espectrais poderão ser construídos padrões para as zeólitas, para classificação de imagens de satélite, devendo-se considerar a relação entre a dimensão dos alvos e as resoluções espaciais e espectrais dos sensores orbitais e aeroportados disponíveis para o imageamento da área de pesquisa.

**Palavras-chave:** rochagem, zeólita, espectrorradiometria, agrominerais.

## Introdução

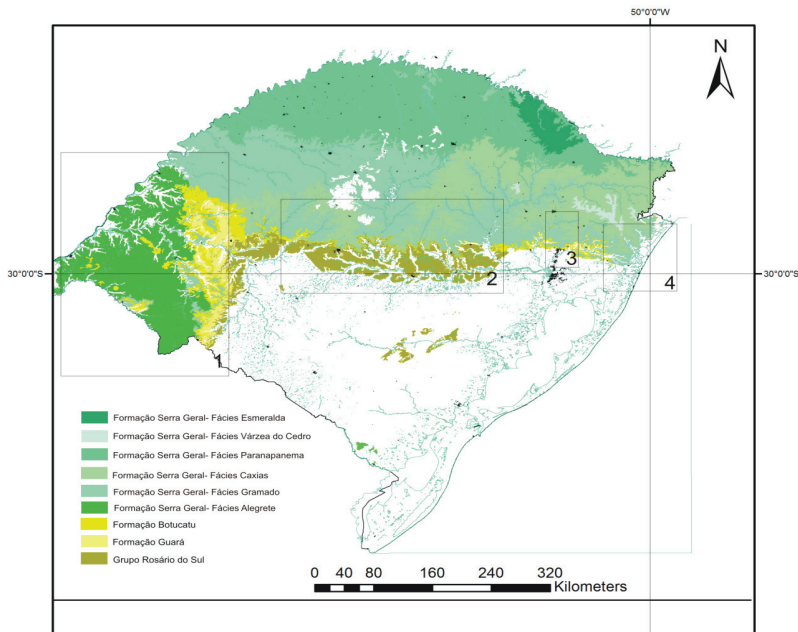
A família das zeolitas, tectossilicatos hidratados de sílica e alumínio, e portadores de cátions trocáveis como Ca, Na e K apresenta grande interesse para uso na agricultura, em função da alta capacidade de troca de cátions, da capacidade de retenção de água livre nos canais (poros) e a alta habilidade na captura de íons (Embrapa 2008). Nas zeólitas presentes em cavidades dos basaltos, a diversidade de espécies, bem como a presença de matriz de rocha basáltica não constituem fatores desfavoráveis à utilização agrônômica, e podem mesmo se constituir em vantagens quando comparadas às zeolitas puras atualmente importadas pelo Brasil, pois se espera maior intervalo de tamanhos dos poros enquanto a matriz basáltica, em parte vítrea, pode configurar uma fonte extra de nutrientes, como Mg, Ca,  $P_2O_5$ , etc.

As condições favoráveis para a formação de argilominerais e zeólitas em sequências vulcânicas são a atuação de eventos hidrotermais e metamorfismo de baixo grau. A formação de vesículas é a resposta da degazeificação do magma ainda durante o resfriamento e consequente preenchimento das cavidades está relacionado aos fluidos hidrotermais (Michelin 2007). Como consequência da interação de águas meteóricas ou do Sistema Aquífero Guarani com os basaltos e o arenito Botucatu, as zeólitas encontram condições ideais para cristalizarem, preenchendo cavidades no basalto, e se concentrando onde a percolação de água/fluidos é favorecida.

Uma grande quantidade de ocorrências de zeolitas foi identificada em diversas ambiências do Grupo Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul, por meio dos trabalhos de campo do projeto Agrominerais Bacia do Paraná RS, da CPRM. Os teores e a variedade de zeolitas verificada nos basaltos amigdaloides desta extensa unidade vulcânica, especialmente no contato com os arenitos eólicos da Formação Botucatu, aponta para o potencial da

região em abrigar jazimentos de grande continuidade lateral.

Segundo a região, a tipologia e as paragêneses de agrominerais dominantes (identificadas em macroscopia e por referências bibliográficas, e apresentadas em ordem crescente de abundância), são definidos no RS: **Blocos Litoral N e Região Metropolitana de Porto Alegre**, com zeolitas concentradas em pilhas de lobos dos primeiros derrames do Fácies Gramado, que interagem com areias de dunas eólicas e *intertraps* da Formação Botucatu (escolecita, heulandita, laumontita); **Bloco Central**, seja em brechas escoriáceas em topo de derrame 'a'a (estilbita, heulandita, escolecita, calcita e mordenita) ou em pilhas de lobos amigdalóides do Fácies Gramado preenchendo cavidades do tipo amígdala e em crostas (heulandita, escolecita, mordenita); **Bloco fronteira W** brechas de topo dos derrames 'a'aCatalán (calcita, heulandita, estilbita, cabazita) e Cordilheira, do tipo *pahoehoe* (calcita>>>heulandita, escolecita) respectivamente 2º e 3º derrames do Fácies Alegrete (Bergmann et al. 2012), conforme mostra a Figura 1.



**Figura 1.** Mapa de localização dos domínios de basaltos amigdalóides a zeolitas no Estado do Rio Grande do Sul.

Pela extensão das ocorrências ao longo de uma faixa que circunda as escarpas do Planalto Basáltico do RS, seja no Bloco Litoral N ou ao longo da Depressão Periférica do RS, a determinação da assinatura espectral das zeólitas torna-se uma ferramenta importante para a prospecção destes minerais em escala regional. Sua ocorrência em solos coluvionares de encosta é comum, e estima-se que os colúvios ao sopé de níveis mais espessos de brechas mineralizadas ou das pilhas de lobos com maior quantidade de zeólitas portem concentração destes minerais.

No Bloco do Oeste do Rio Grande do Sul (Fácies Alegrete da Formação Serra Geral) as brechas de topo dos derrames Catalán e Cordilheira, ambas produtoras de ametista na Província Artigas no Uruguai (Hartmann et al. 2010) apresentam continuidade lateral de dezenas de km, e são seguidas em campo por indicadores como quebras de relevo nas encostas. Em situação de altos topográficos também configuram níveis resistentes ao intemperismo, com topos de morro convexos e morros testemunhos, como os afloramentos da brecha à calcita na região do Domo do Garupá (Lisboa 1990), município de Quaraí. De maneira geral, neste bloco, a ausência de solos espessos favorece o uso de imagens orbitais para observar rochas.

## **Objetivos**

O presente trabalho tem por objetivo geral contribuir para a identificação dos minerais do Grupo das Zeólitas utilizando-se de parâmetros da espectroscopia de reflectância, por meio de análises rápidas e de baixo custo, realizadas em amostras de rocha, solo ou colúvios, no campo ou em laboratório. Por meio de assinaturas espectrais obtidas poderão ser construídos padrões para as zeólitas, a fim de auxiliar na classificação de imagens de satélite, devendo-se considerar a relação entre a dimensão dos alvos e as resoluções espaciais e espectrais dos sensores orbitais e aeroportados disponíveis para o imageamento da área de pesquisa.

## **Metodologia**

Por meio do espectrorradiômetro FieldSpec 3 Hi-Res<sup>®</sup> (ASD 2013), de resolução espectral entre 0,35 e 2,5  $\mu\text{m}$ , é possível caracterizar o comportamento espectral de minerais e rochas associados a fenômenos de transições eletrônicas

ou vibracionais resultantes da interação da energia eletromagnética com átomos e moléculas (Figura 2). As principais feições distintivas da absorção da radiação solar pelos minerais do Grupo das Zeólitas concentram-se na região do Infravermelho Ondas Curtas - *SWIR* (*Short WaveInfrared*- 1,0 a 2,5  $\mu\text{m}$ ). Nesta região do espectro eletromagnético, restrita a processos moleculares, se manifestam as múltiplas feições de absorção de água diagnósticas das zeólitas (1,4 e 1,9  $\mu\text{m}$ ). A distinção entre espécimes dentro deste grupo de minerais requer uma análise detalhada da posição precisa das feições de absorção, bem como da forma geral do espectro.

No presente trabalho foi utilizado o *software* ENVI 4.5 (ITT 2011), para analisar comparativamente e de forma interativa, as leituras realizadas pelo espectrorradiômetro FieldSpec com as curvas espectrais registradas em bibliotecas espectrais da USGS (Clark et al. 2007). Como procedimento para a interpretação dos dados é necessário observar, espectro por espectro, os comprimentos de onda associados a cada uma das feições de absorção, iniciando-se com as de primeira ordem e assim sucessivamente. Os valores destes comprimentos de onda, em conjunto com a simetria das feições de absorção e a geometria de cada curva espectral como um todo, são os critérios utilizados na determinação dos minerais constituintes das amostras, ao se comparar às curvas espectrais cadastradas nas bibliotecas espectrais já disponibilizadas pelo programa.



**Figura 2.** Espectrorradiômetro FieldSpec 3 Hi-Res<sup>®</sup>-ASD, de resolução espectral entre 0,35 e 2,5  $\mu\text{m}$ , utilizado para a caracterização do comportamento espectral de minerais e rochas.

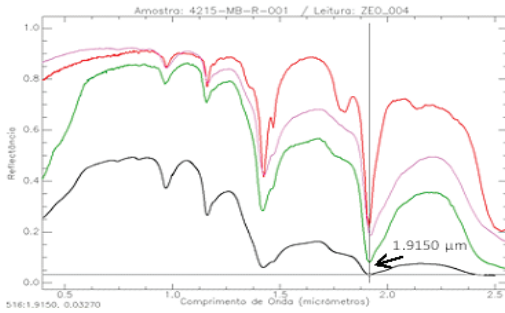
Para auxiliar na seleção do mineral, ou do conjunto destes, com comportamento espectral mais semelhante ao da amostra analisada, recorreu-se ao embasamento teórico das paragêneses minerais características do metamorfismo de baixo grau da zona das zeólitas, ou mesmo aos gráficos de estabilidade com base em modelos termodinâmicos de alterações hidrotermais de baixa temperatura (Chipera & Bish, 1997). A limitação do método para a diferenciação das espécies de zeólitas consiste na proximidade entre os comprimentos de ondas onde a luz é absorvida para cada espécie, ou seja, devido a similaridades entre a estrutura cristalina característica do grupo das zeólitas, o comportamento espectral destes minerais apresenta feições de absorção ópticas muito próximas.

Este fato implica na utilização da espectroscopia de reflectância como uma ferramenta para o reconhecimento inicial, rápido e de baixo custo, de minerais de zeólitas em rochas, solos e coluviões. Consiste, portanto, em um método com potencial crescente para o mapeamento espectral, à medida que os imageamentos hiperespectrais, aéreos e orbitais, se tornarem mais acessíveis com o avanço tecnológico. Até o momento, para a confirmação do método são requeridas análises petrográficas e por Difractometria de Raio-X (DRX) visando à discriminação precisa entre as diferentes espécies de zeólitas.

Para análises realizadas em campo, tendo como fonte de radiação a luz solar, deve-se atentar para as feições de absorção atmosférica, especialmente pela água na troposfera, as quais podem mascarar as feições diagnósticas destes minerais no SWIR.

## Resultados

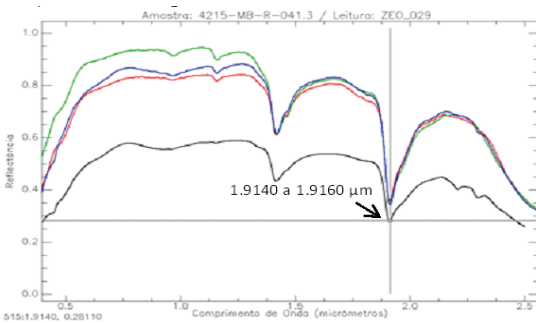
As análises por espectroscopia de reflectância permitiram identificar diferentes espécies de zeólitas nas amostras analisadas. Abaixo, seguem as análises comparativas entre as assinaturas de espécies de zeólitas cadastradas na biblioteca espectral da USGS e as amostras dos quatro blocos estudados no RS: 1) Bloco da Região Metropolitana de Porto Alegre - Morro Reuter (Figura 3 e 7a); 2) Bloco da Região Central: topos de derrames 'a' 'a, Lavra Bairro Fátima, Santa Cruz do Sul (Figura 4 e 7b); 3) Bloco da Região Oeste: brecha de topo do Derrame Cordilheira (Figura 5 e 7c); 4) Bloco da Região Litorânea (Figura 6 e 7d).



[analcime.spc Analcime GDS1](#)  
[heuland2.spc Heulandite NMNH84534](#)  
[stilbit2.spc Stilbite HS482.3B](#)  
[ZEO-00004.asd.sco.txt](#)

Feição de 1ª ordem = 1.9150 μm

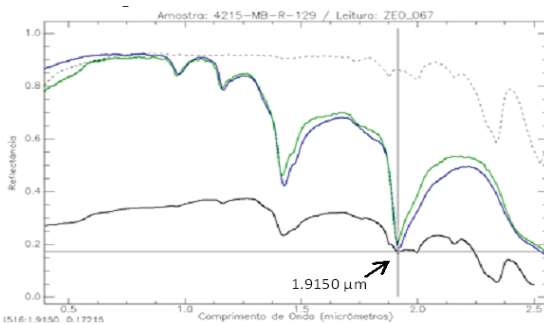
**Figura 3.** Em preto, curva espectral de zeólita das pilhas de lobos dos primeiros derrames do **Fácies Gramado**, Bloco da Região Metropolitana de Porto Alegre.



[mordeni2.spc Mordenite+Clinopt. GDS15](#)  
[erionito.spc Erionite+Offretite GDS72](#)  
[cptilo2.spc Clinoptilolite GDS152](#)  
[ZEO-00029.asd.sco.txt](#)

Feições de 1ª ordem  
entre 1.9140 a 1.9160 μm

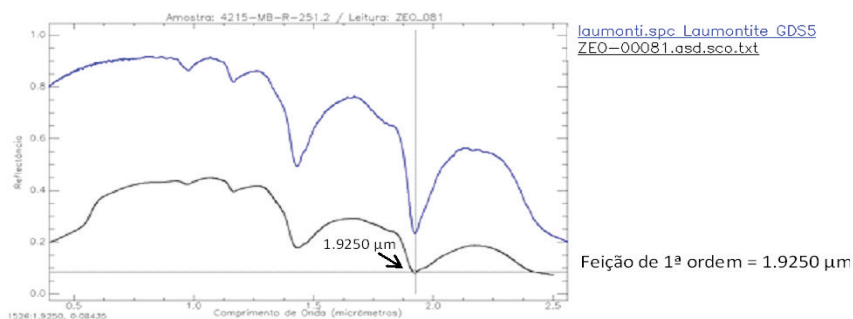
**Figura 4.** Em preto, curva espectral de zeólita das brechas escoriáceas em topo de derrame 'a'a, Bloco da Região Central do RS - Lavra Bairro Fátima, Santa Cruz do Sul.



[heuland2.spc Heulandite NMNH84534](#)  
[stilbit1.spc Stilbite GDS8](#)  
[ZEO-00067.asd.sco.txt](#)  
[calcite3.spc Calcite CQ2004](#)

Feição de 1ª ordem = 1.9150 μm

**Figura 5.** Em preto, curva espectral de zeólita das brechas de topo do Derrame Cordilheira, Bloco da Região Oeste do RS.



**Figura 6.** Em preto, curva espectral de zeólita, Bloco da Região Litorânea do RS.



**Figura 7.** Fotografias das amostras analisadas: a) Bloco da Região Metropolitana de Porto Alegre – pilha de lobos; b) Bloco da Região Central do RS - topo de derrame ‘a ‘a, Lavra Bairro Fátima, Santa Cruz do Sul; c) do Bloco da Região Oeste do RS - brecha de topo do Derrame Cordilheira e d) Bloco da Região Litorânea do RS.



## Conclusões e recomendações

A espectroscopia de reflectância é uma ferramenta de grande utilidade na identificação de zeólitas em campo ou laboratório, utilizando-se de análises rápidas e de baixo custo. Os minerais do Grupo das Zeólitas apresentam feições de absorção em comprimentos de ondas muito próximos, dificultando diferenciar com precisão absoluta as diferentes espécies de zeólitas presentes em amostras de mão. Para as amostras analisadas, a espectroscopia de reflectância mostrou-se eficaz em diferenciar apenas a zeólita cálcica laumontita, com feição de absorção de 1ª ordem = 1,9250  $\mu\text{m}$ , das zeólitas que integram séries catiônicas, como as das séries Ca-Na-K: heulandita, mordenita e erionita; Ca-Na: estilbita; e Na-K: clinoptilolita; todas com feições de absorção de 1ª ordem = 1,9250  $\mu\text{m}$ . Além deste caso, para a distinção das espécies de zeólitas são necessárias análises por DRX, mais robustas, custosas e demoradas.

O presente trabalho desperta para a necessidade da realização de DRX para corroborar a presença das espécies de zeólitas identificadas pela espectroscopia de reflectância, em especial para as zeólitas encontradas no conjunto de lobos do perfil Heveiras e no topo de derrame 'a'a na Lavra do Bairro Fátima, Santa Cruz do Sul, ambas as ocorrências localizadas no Bloco da Região Central do RS. As assinaturas espectrais destas amostras sugerem como possíveis espécies de zeólitas presentes, dada a limitação do método, a erionita, uma zeólita fibrosa de cor branca, com aspecto de lã, considerada carcinogênica.

O conhecimento prévio do comportamento espectral de amostras com zeólitas atua como um importante guia prospectivo em escala regional. Os padrões espectrais construídos para as zeólitas contribuem para a classificação de imagens de satélite, devendo-se considerar a relação entre a dimensão dos alvos e as resoluções espaciais e espectrais dos sensores orbitais e aeroportados disponíveis para o imageamento da área de pesquisa.



## Referências Bibliográficas

ASD REMOTE SENSING SOFTWARE <http://www.asdi.com/>. © 2013 ASD Inc.

BERGMANN, M.; TONIOLO, J. A. Prospecção de Agrominerais para o Rio Grande do Sul. . **Workshop de insumos para agricultura sustentável**. Anais: 8 pp. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, 2012.

BERNARDI, A.C. de C. **Potencial do uso de zeólitas na agropecuária** [Recurso eletrônico] / Alberto C. de Campos Bernardi et al. – Dados eletrônicos. – São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008.

CHIPERA S.J. & BISH D.L. Thermodynamic Modeling of Zeolite Stability. **Information Bridge: Department of Energy (DOE) Scientific and Technical Information**, 1997.

CLARK, R.N., SWAYZE, G.A., WISE, R., LIVO, E., HOEFEN, T., KOKALY, R., SUTLEY, S.J., 2007, USGS digital spectral library splib06a: U.S. **Geological Survey, Digital Data Series 231**. 2007. <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html>

HARTMANN, L.A.; DA CUNHA DUARTE, LAUREN; HANS-JOACHIM, MASSON; MICHELIN, C.; ROSENSTENGEL, L. M.; BERGMANN, M.; PERTILLE, J.; ARENA, K. R.; DUARTE, S. K.; PINTO, V. M.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L.; WILDNER, W. Sequential opening and filling of cavities forming vesicles, amygdalae and giant amethyst geodes in lavas from the southern Parana volcanic province, Brazil and Uruguay. **International Geology Review**, v. 1, p. 1-14, 2010.

ITT VIS - ITT Visual Information Solutions. 2011. Disponível: <http://www.itvis.com/>

LISBOA N.A. Aspectos Morfoestruturais e Geomorfogenéticos do Extremo Sul-Occidental do Planalto Meridional, Quaraí, RS. **Ciência e Natura, Santa Maria**, V12 p105-109, 1990.

MICHELIN C.R.L. Sequência de formação das cavidades no basalto e seu preenchimento com zeólitas, arenito, ágata e ametista, Derrame Miolo, São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul. **Dissertação de Mestrado, UFRGS**, 50 p., 2007.

# EFEITO DA APLICAÇÃO DO PÓ DE ROCHA NA RECUPERAÇÃO DE UMA PASTAGEM CULTIVADA

*Fernanda Pereira de Souza*<sup>1</sup>  
*Robélio Leandro Marchão*<sup>2</sup>  
*Eder de Souza Martins*<sup>3</sup>  
*Luise Lottici Krahl*<sup>4</sup>  
*Gabriel Soares Ribeiro*<sup>5</sup>  
*Luiz Fernando dos Santos*<sup>6</sup>  
*Sandro M. Carmelino Hurtado*<sup>7</sup>

## Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de rochas como fonte de potássio, fósforo e seus efeitos na recuperação de uma pastagem de *Brachiaria decumbens*. O experimento foi instalado na Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, em 21 de janeiro de 2011, quando foram aplicados os seguintes tratamentos: T1- testemunha absoluta, sem aplicação de adubos solúveis e rocha; T2, T3 e T4; T6, T7 e T8; T10; T11 – testemunha sem aplicação de fertilizante potássico, com apenas 60 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como ST. Todos os fertilizantes foram aplicados em superfície e incorporados com uso de grade pesada e niveladora para posterior semeadura da *Brachiaria decumbens*. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott. Observou-se efeito significativo das aplicações de rocha in natura. Com exceção do tratamento T8 (Fonolito + Fosfato natural), observou-se, independentemente da fonte de fósforo utilizada, que os tratamentos onde houve aplicação de rochas potássicas apresentaram produtividade superior ao observado com a aplicação de fertilizantes solúveis (T. convencional). Por sua vez, o tratamento T5 (KCl + Fosfato natural) destacou-se por apresentar elevada produção de peso de

<sup>1</sup> Estudante de Geografia da Universidade Estadual de Goiás – UEG, UnU Formosa – GO, fernandasouza92@gmail.com; <sup>2</sup> Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF robelio.marchao@embrapa.br; <sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF eder.martins@embrapa.br; <sup>4</sup> Mestre pela Universidade de Brasília – UnB luisekrahl@yahoo.com.br; <sup>5</sup> Graduado em Química pela Universidade Estadual de Goiás – UEG, UnU Formosa - GO gabrielspurgeon.s@gmail.com; <sup>6</sup> Estudante de Química da Universidade Estadual de Goiás, UnU Formosa – GO nandosantos.fsa@gmail.com; <sup>7</sup> Instituto Agrônomo de Campinas sandroelbat@gmail.com

matéria seca. A avaliação das rochas como fonte alternativa demonstrou o potencial de uso na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens* no Cerrado.

## Introdução

Na região do Cerrado, as áreas ocupadas por pastagens são estimadas em 117 milhões de hectares, dos quais 50 milhões de hectares são de pastagens cultivadas (Sano *et al.* 2000), representadas, em sua maioria, por gramíneas do gênero *Brachiaria* (Zimmer *et al.*, 1988).

O nível de produtividade de animais mantidos a pasto depende do tipo de pastagem e a qualidade desta, que pode variar em função da fertilidade do solo, dos fatores climáticos e do manejo. Segundo estimativas de Brossard & Barcelos, (2005) entre 50 e 80 % das pastagens do Cerrado apresentam algum grau de degradação, o que proporciona produtividades muito baixas nas pastagens instaladas, refletidas na perda de vigor e qualidade, produtividade e ainda perda da capacidade de recuperação natural da pastagem para sustentar o nível de produção (Sano *et al.* 2002). Essa degradação pode ser causada, entre outros fatores, pelo manejo inadequado das pastagens, com superpastejo e sem adubações de reposição (Barcellos, 1986), considerando que grande parte dos cultivos é explorada em áreas naturalmente de baixa fertilidade.

Para a recuperação dessas áreas, buscando uma exploração econômica e sustentável, pode ser eficiente a aplicação de pó de rocha como fonte alternativa de nutrientes aos pastos. A adição de rochas moídas ao solo, em substituição aos fertilizantes convencionais, importados em sua maioria e de alto custo, pode atender à demanda nutricional das culturas, permanecendo ainda considerável efeito residual dos nutrientes para cultivos subsequentes (Resende *et al.*, 2005; Machado *et al.*, 2005). O presente trabalho tem como objetivo avaliar a utilização de rochas silicáticas como fonte de potássio e seu efeito na produção de uma pastagem cultivada.

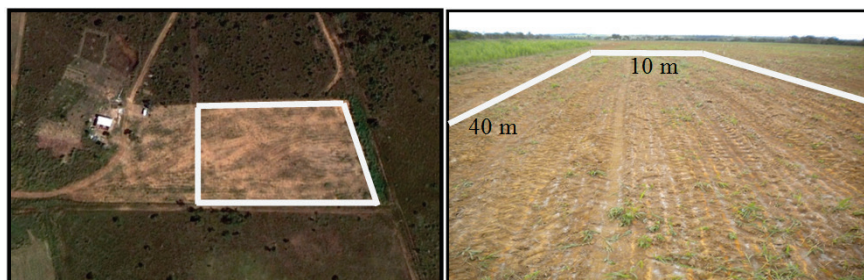
## Material e Métodos

A implantação do experimento foi realizada entre os dias 17 e 24 de janeiro de 2011, nas instalações da Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, com avaliações previstas para 4 anos. O solo foi classificado como

Latossolo Amarelo e de textura muito argilosa, e seus atributos químicos estão apresentados na Tabela 1. Os tratamentos testados seguiram um desenho experimental de blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas de 400m<sup>2</sup> (Figura 1).

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo na área de estudo.

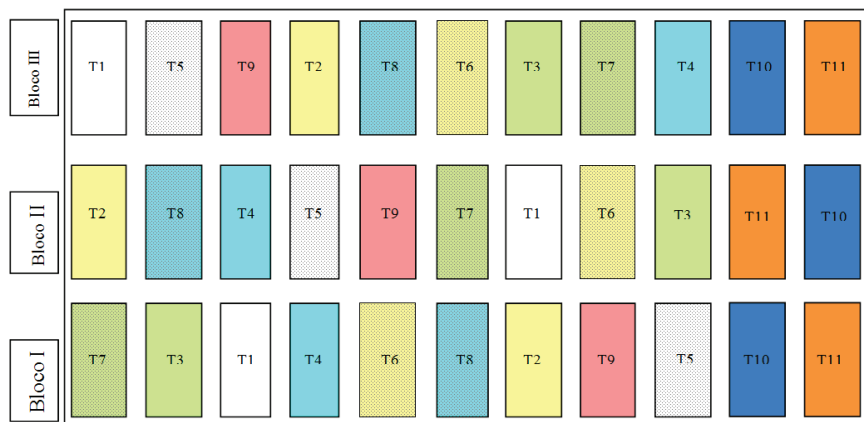
pH	P	K	Ca	Mg	SB
água	--- (mg dm <sup>-3</sup> ) ---		----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----		
5,8	3,5	47	0,95	0,59	1,66



**Figura 1.** Localização da área experimental (a) e dimensões da parcela (b) Planaltina/DF.

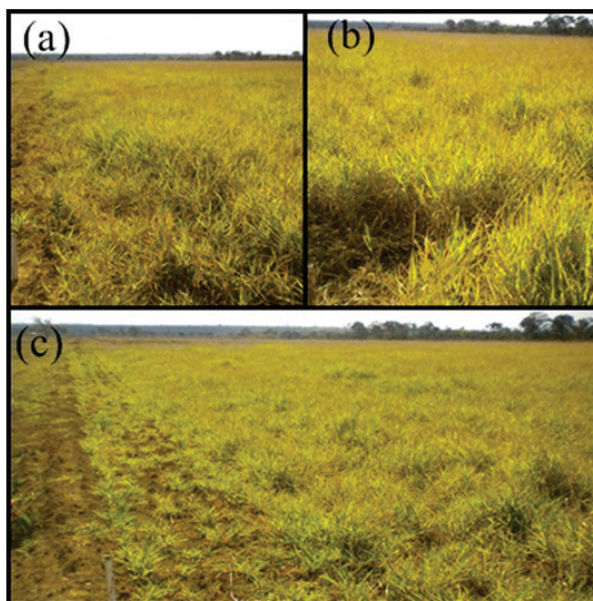
Para este experimento foram consideradas como fontes de nutrientes quatro rochas: três fontes de potássio - Finos de Mica Xisto (FMX, 3% K<sub>2</sub>O), proveniente de Aparecida de Goiânia; Fonolito (8% K<sub>2</sub>O), proveniente de Poço de Caldas e Termopotássio (8% K<sub>2</sub>O), proveniente do Verdete do Abaeté, MG - e uma rocha fonte de fósforo - Itafos, 20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As doses de rocha potássica foram niveladas para fornecer uma quantidade igual a 160 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, já a dose de fósforo foi fornecida na quantidade de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> via rocha ou super triplo (ST). Conforme esquema demonstrado na Figura 2, foram conduzidos 11 tratamentos: T1- testemunha absoluta, sem adubação; T2, T3 e T4 - aplicação das rochas teste Termopotássio (160 kg K<sub>2</sub>O), FMX e Fonolito, respectivamente +ST; T5 – KCl + rocha Itafos; T6, T7 e T8 - aplicação das rochas teste Termopotássio, FMX e Fonolito, respectivamente + rocha Itafos; T9 - tratamento convencional com K e o P via fertilizantes solúveis (KCl + ST); T10 – rocha teste Termopotássio

(60kg K<sub>2</sub>O) + ST; T11 – testemunha sem K + ST. A adubação foi aplicada em superfície e incorporada com uso de grade pesada e niveladora para posterior semeadura de *Brachiaria decumbens*.



**Figura 2.** Distribuição dos tratamentos na área experimental. Planaltina – DF

Como a área demandou uma necessidade de calcário inferior a 0,5 t ha<sup>-1</sup>, não se aplicou o corretivo. A adubação nitrogenada foi aplicada via cobertura após o estabelecimento da pastagem, para evitar perdas do nutriente. Foram coletadas amostragens foliares visando a determinação da produtividade das parcelas ao término do período das águas em março 2012 (Figura 3).



**Figura 3.** Situação da palhada antes da primeira amostragem: (a) T4, (b) T8 e (c) T1.

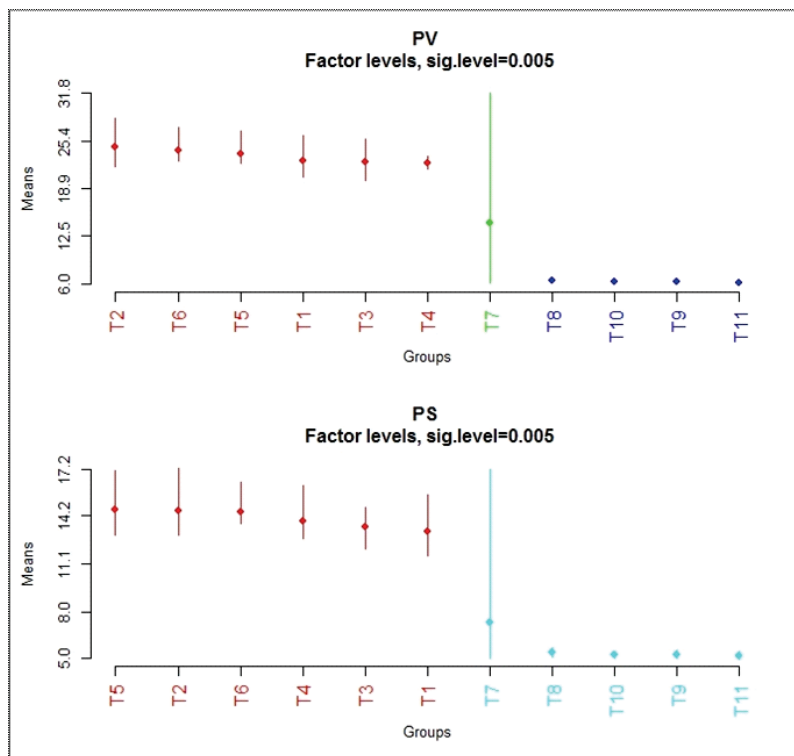
Para as amostras de todas as avaliações foram determinados o peso da matéria úmida, matéria seca, umidade e teores de nutrientes nos tecidos. Neste procedimento foram retiradas aleatoriamente três subamostras da palhada para cada repetição dos tratamentos. As amostras foram pesadas no campo e posteriormente retirou-se de uma parcela do material para análise. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e ao teste de comparação de médias de Scott-Knott (Costa, 2003).

## Resultados e Discussão

De acordo com os resultados obtidos (Figura 4), pode-se afirmar que houve um efeito positivo na produção para as aplicações de rocha *in natura*. Independente da fonte de fósforo utilizada observou-se que os tratamentos com aplicação de rochas potássicas tiveram produtividade superior ao tratamento com aplicação de fertilizantes solúveis (convencional), exceto

o tratamento com as rochas Fonolito e Itafos (T8). Destaca-se ainda o tratamento com aplicação de KCl e rocha Itafos (T5).

Somado a isso, as análises foliares para determinação do teor de nutrientes poderão elucidar a situação nutricional da cultura para cada tratamento, mostrando os efeitos da rochagem no balanço nutricional da cultura. As amostras já foram coletas enviadas para análise, com resultado previsto para outubro de 2012.



**Figura 4.** Comparação das médias do peso da matéria úmida e seca do capim *Brachiaria decumbens* para os diferentes tratamentos aplicados.





## Considerações Finais

A avaliação da produtividade com base nos materiais testados demonstrou o potencial das rochas potássicas na produção do capim *Brachiaria decumbens*. As coletas subsequentes de material vegetal e solo, programadas para os próximos dois anos, permitirão novas análises e inferências dos diferentes materiais de rocha na produção, disponibilização de nutrientes, bem como a avaliação do efeito residual dos materiais de rocha utilizados. Serão avaliados ainda o peso de raízes e qualidade nutricional da parte aérea.

## Referências Bibliográficas

BARCELOS, A. **Recuperação de pastagens degradadas**. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados, 1986, 38 p.

COSTA, J.R. **Técnicas experimentais aplicadas às ciências agrárias**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 102p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 163).

MACHADO, C. T. T.; RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; SOBRINHO, D. A. S.; NASCIMENTO, M. T.; FALEIRO, A. S. G.; LINHARES, N. W.; SOUZA, Q. L.; CORAZZA, E.J. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: II Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 30. Recife, Anais. Recife: UFRPE/RBCS. (CD-rom), 2005.

RESENDE, A. V. ; MACHADO, C. T. T; MARTINS, E. S.; NASCIMENTO, M. T.; SOBRINHO, D. A. S.; FALEIRO, A. S. G.; LINHARES, N. W.; SOUZA, A. L.; CORAZZA, E. J. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: respostas da soja e do milheto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, Recife, 2005, **Anais...** Recife: UFRPE/SBCS, 2005, (CD-rom).

SANO, E.E.; BEZERRA, H.S.; BARCELLOS, A.O. ROSA, R. Metodologias para Mapeamento de Pastagens Degradadas no Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 70. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados, 22p, 2002.

ZIMMER, A. H.; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M.C. M. Manejo de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P.; (Eds.). **IV Simpósio sobre Manejo de Pastagens**. Piracicaba - SP: FEALQ, 1988. p. 141 - 183.

# SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS COMO CONTRIBUIÇÃO À UTILIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA ORIUNDO DA FORMAÇÃO SERRA GERAL EM ÁREAS DE INDICAÇÕES GEOGRÁFICAS VITIVINÍCOLAS NO BRASIL

*Rosemary Hoff<sup>1</sup>*

*Magda Bergmann<sup>2</sup>*

*André Rodrigo Farias<sup>1</sup>*

*Rudi César Comiotto Modena<sup>1,3</sup>*

## Resumo

As áreas de indicação geográfica vitivinícola brasileiras buscam o desenvolvimento sustentável de sua produção e o uso de pó de rocha, bem como práticas de rochagem poderão contribuir para a remineralização dos solos e nutrição de plantas, o que poderá agregar valor ao produto. No entanto, o uso de rochagem é ainda incipiente nas regiões produtoras brasileiras e possivelmente as razões para isto são devidas ao desconhecimento sobre a identificação de fontes destes materiais para rochagem, bem como a distância de transporte destas fontes à área cultivada. A Embrapa Uva e Vinho possui levantamento detalhado da área vitícola das indicações geográficas como Vale dos Vinhedos, Monte Belo, Pinto Bandeira, Altos Montes e Farroupilha, todas localizadas na região vitivinícola Serra Gaúcha, no Estado do Rio Grande do Sul. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais tem feito extenso levantamento de fontes de agrominerais nos diversos litotipos da Formação Serra Geral no Rio Grande do Sul, definindo materiais que melhor disponibilizam nutrientes para as plantas. No substrato da região vitivinícola Serra Gaúcha ocorrem os Fácies Caxias e Gramado da Formação Serra Geral, os quais possuem variações ao longo dos derrames. Um sistema de informações geográficas foi construído com a finalidade de formar um banco de dados georreferenciado da produção vitivinícola, incluindo

<sup>1</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rua Livramento, 515 - 95700-000 - Bento Gonçalves, Brasil. [rose.hoff@embrapa.br](mailto:rose.hoff@embrapa.br), [andre.farias@embrapa.br](mailto:andre.farias@embrapa.br); <sup>2</sup> Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Rua Banco da Província, 105 – 90840-030 - Porto Alegre, Brasil. [magda.bergmann@cprm.gov.br](mailto:magda.bergmann@cprm.gov.br); <sup>3</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Av. Unisinos, 950 – São Leopoldo, Brasil. [rudi.modena@cnpuv.embrapa.br](mailto:rudi.modena@cnpuv.embrapa.br)



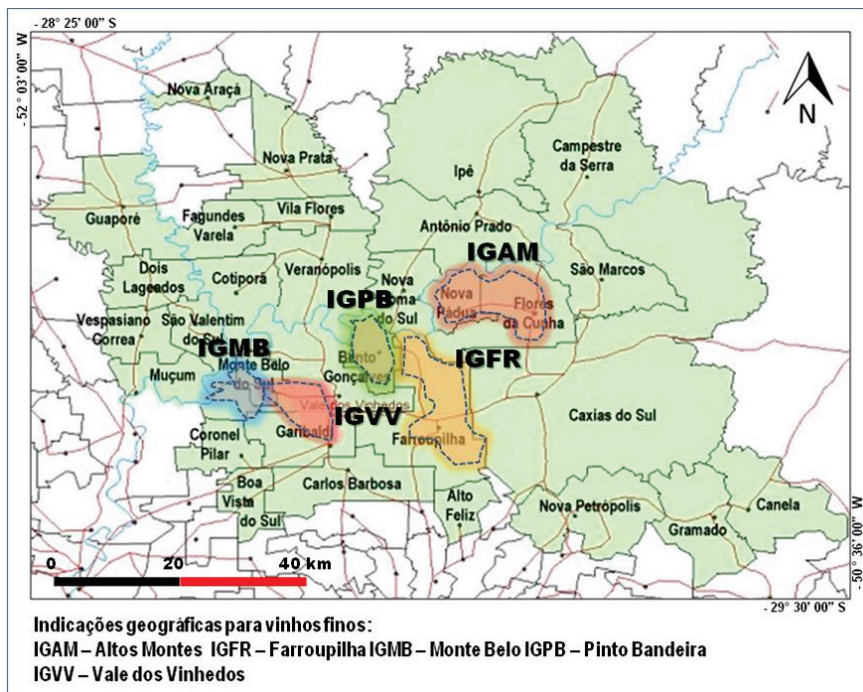
as áreas fonte de material para rochagem e, além disto, estabelecendo as distâncias calculadas até as áreas de vinhedos. Foram aplicadas técnicas de geoprocessamento no programa livre gvSIG pelo cruzamento de atributos citados. A área da indicação geográfica Altos Montes, situada nos municípios de Flores da Cunha e Nova Pádua, Rio Grande do Sul, foi investigada a fim de indicar áreas mais favoráveis para obtenção de pó de rocha para ser disponibilizado à viticultura.

**Palavras-chave:** rochagem, viticultura sustentável, SIG.

## Introdução

A viticultura brasileira vem se qualificando para competir no mercado interno e externo e as geotecnologias são ferramentas de apoio ao estabelecimento de indicações geográficas (IG) para vinhos finos. Uma destas práticas é a utilização de pó de rocha – rochagem na substituição parcial ou total dos fertilizantes químicos. As práticas de rochagem poderão contribuir para a remineralização dos solos e nutrição de plantas, o que poderá agregar valor ao produto.

As indicações geográficas para vinhos finos no Brasil procuram atender a critérios que levem à certificação e dentre estes a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável da produção valorizam o produto no mercado. As IG que estão se organizando e qualificando na Região Vitivinícola Serra Gaúcha (RVSG) se situam na porção nordeste do Rio Grande do Sul e correspondem a cinco áreas de indicações geográficas: Vale dos Vinhedos, Monte Belo, Pinto Bandeira, Altos Montes e Farroupilha (Figura 1).



**Figura 1.** Localização das indicações geográficas para vinhos finos na região vitivinícola Serra Gaúcha (Fonte: Embrapa Uva e Vinho).

As rochas vulcânicas têm potencial destacado no mundo como remineralizadores de solos e as zeolitas tem a função de fixar o nitrogênio (macronutriente) entre outros cátions importantes para as plantas. A viabilidade das técnicas de rochagem implica na proximidade entre fontes e áreas de cultivo, de maneira a não onerar a produção seja pelo processamento, transporte e outros custos do pó de rocha. Isto gera um diferencial em relação aos fertilizantes químicos, que requerem importação de matéria prima no caso do Brasil, tornando o país amplamente dependente do mercado externo.

As práticas de rochagem são ainda incipientes nas regiões produtoras de uva no Brasil, possivelmente em função do desconhecimento de seu uso, da inexistência de fontes identificadas, bem como análise de logística de transporte.



As zeolitas ocorrem com bastante frequência na Formação Serra Geral, sendo comuns os basaltos amigdaloides mineralizados a vários tipos de zeolitas. Apesar da ausência de jazidas em exploração comercial no Brasil, os basaltos da Formação Serra Geral são indubitáveis fontes potenciais para prospecção de zeolitas naturais. Estes minerais apresentam elevada capacidade de troca catiônica, que favorece a retenção de nutrientes e água pelo solo, com destaque para a fixação dos compostos nitrogenados, altamente voláteis.

Estudos envolvendo espectrorradiometria integrados com testes de fertilidade e análises petrográficas sobre rejeitos de mineração de ametista obtiveram resultados positivos para fósforo e outros nutrientes, indicando a possibilidade de emprego dos descartes de mineração na agricultura na região do Alto Uruguai, RS (Bergmann et al 2009). O sistema de informações geográficas pode viabilizar o mapeamento dos vinhedos, localização de fontes para pó de rocha, bem como a análise de distâncias dos pontos de coleta aos vinhedos, categorizando a viabilidade de uso. O objetivo geral deste trabalho foi testar o emprego do SIG para integrar dados geológicos e de ocorrência de fontes de pó de rocha nas indicações geográficas, a fim de viabilizar a aplicação de pó de rocha na Região Vitivinícola Serra Gaúcha.

## **Materiais e Método**

Foram utilizados dados de levantamentos detalhados da Embrapa Uva e Vinho sobre a área vitícola das indicações geográficas Vale dos Vinhedos, Monte Belo, Pinto Bandeira, na forma de polígonos relacionados à tabela de dados georreferenciados. Foi utilizado o Mapa Geológico 1:750.000 (CPRM 2008), assim como estudos geológicos das IGs (Hoff et al 2007) como base para trabalhos de campo. Estes incluíram perfis de rodovias, visitas a pedreiras e locais de obras de barragem para verificar a disponibilidade de materiais como finos de britagem e rejeitos fontes de agrominerais.

Para análise espectrorradiométrica foram utilizados os espectrorradiômetros POSAM da CPRM e o Fielspec da Embrapa. O primeiro possibilitou a identificação de minerais de alteração hidrotermal, principalmente as zeolitas na faixa do SWIR. O segundo permitiu a identificação de feições como bandas de absorção diagnósticas de minerais no restante do espectro eletromagnético relativo às bandas de imagens

orbitais multi e hiperespectrais, permitindo futuros processamentos digital de imagens.

Para análise no SIG foi utilizada a ferramenta junção espacial do *software* livre gvSIG (GVA, 2012), que permite a associação de atributos de dois temas vetoriais distintos a partir de uma referência comum. A realização dessa associação possibilitou o cálculo das distâncias lineares entre os polígonos que representam os vinhedos e as fontes potenciais identificadas para o uso como pó de rocha. Essas distâncias foram posteriormente categorizadas em intervalos de classe e representadas espacialmente.

## Resultados

A RVSG possui um relevo de planalto recortado por vales encaixados nas grandes linhas de falhas e fraturas das rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral (CPRM, 2008). Segundo IBGE (2003), nas áreas de indicações geográficas para vinhos finos na RVSG, ocorrem duas unidades geomorfológicas (UG), sendo que nas porções superiores da topografia, tem-se a UG Planalto dos Campos Gerais com relevo suave ondulado a plano e, nas áreas de encostas e de fundos de vales, ocorre a UG Serra Geral com relevo forte escarpado e vertentes íngremes do Vale do Rio das Antas.

As rochas ocorrentes nas IG citadas pertencem a dois litotipos da Formação Serra Geral, sendo caracterizados pelas fácies Caxias e Gramado (CPRM 2008) O Fácies Caxias ocorre nas porções superiores do relevo da área, e compreende riolitos, riodacitos e dacitos. Nas porções situadas nos terrenos de cotas mais baixas, como aquelas próximas ao vale do Rio das Antas, ocorrem basaltos do fácies Gramado. A figura 2 mostra a geologia da Região Vitivinícola Serra Gaúcha e as indicações geográficas para vinhos finos. As ocorrências de rochas vulcânicas ácidas com disponibilidade de fornecimento de material para aplicação em vinhedos são primeiramente, a Pedreira da Concesul em Bento Gonçalves e, depois, os rejeitos da Barragem Marrecas da Prefeitura Municipal de Caxias do Sul. Outro tipo de fonte para rochagem são os basaltos contendo zeolita ocorrentes nos rejeitos de barragens, como PCH Palanquinho da Empresa Serrana Energética e UHE 14 de Julho do CERAN.

Neste estudo foram feitas comparações sobre o comportamento espectral das fontes potenciais, relativas às rochas ácidas a intermediárias

do Fácies Caxias e rochas básicas da Fácies Gramado, conforme mostra a Figura 3. Isto está em conformidade com Hoff et al (2007) que apontaram diferenças espectrais entre rochas vulcânicas ácidas e básicas na região de Pinto Bandeira (RS).

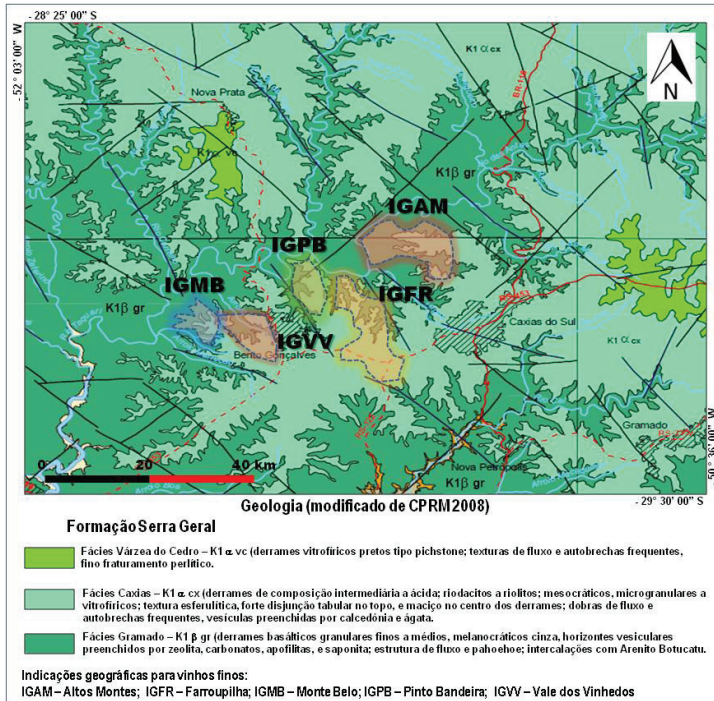
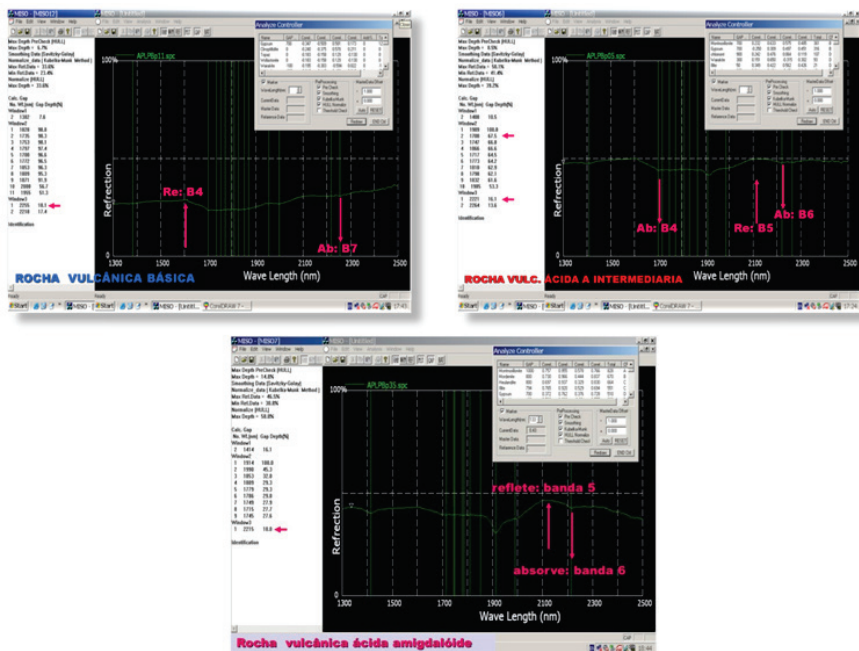


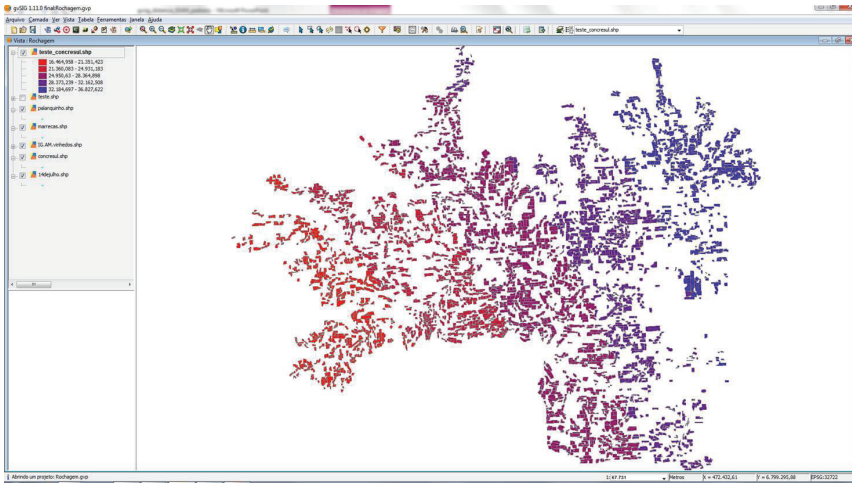
Figura 2. Geologia da Região Vitivinícola Serra Gaúcha.



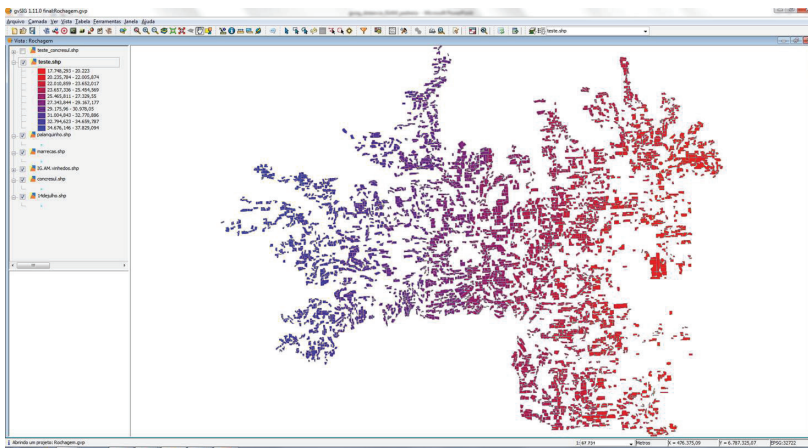
**Figura 3.** Comportamento espectral de rochas da Formação Serra Geral, a análise dos espectros apontou a ocorrência de minerais como gipsita, wairaquita, anidrita, montmorilonita, mordenita e heulandita. Bento Gonçalves, RS.

Na região de indicação de procedência Altos Montes ocorrem vinhedos numa extensão de aproximadamente 1700 hectares distribuídos aleatoriamente na área dos municípios de Flores da Cunha e Nova Pádua. Foram analisadas quatro fontes hipotéticas de materiais para rochagem. Assim foi feita a simulação de distância de transporte destes materiais das fontes às áreas de vinhedos, categorizando essas distâncias. (Figuras 4 e 5).





**Figura 4.** Análise de distância de fontes potenciais para rochagem desde a pedraira Concredul em Bento Gonçalves até os vinhedos da indicação de procedência Altos Montes.



**Figura 5.** Análise de distância de fontes potenciais para rochagem desde a barragem Marreacas em Caxias do Sul até os vinhedos da indicação de procedência Altos Montes.

## Conclusões

Os resultados do estudo indicam a potencialidade das rochas advindas de descartes de obras e pedreiras para o emprego na remineralização de solos, principalmente na viticultura, que é uma cultura tradicional, mas que atualmente tem se qualificado na região, por meio da sustentabilidade de suas práticas agrícolas.

O SIG permitiu organizar a informação da RVSG já que todos os vinhedos da IG Altos Montes estão mapeados, a fim de estabelecer as distâncias lineares das fontes conhecidas de agrominerais (pedreiras, bota-fora de obras de barragens) a estes vinhedos.

De posse dessas informações foi possível constatar a viabilidade econômica da utilização do pó de rocha na IG Altos Montes, visto que as distâncias mensuradas são inferiores a 50 km. A próxima etapa será utilizar o sistema viário para calcular as rotas que apresentam melhor viabilidade econômica considerando os trajetos disponíveis na região e suas respectivas tipologias (e.g. rodovia pavimentada, estrada não pavimentada, etc.).

Este estudo aponta para aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, a fim de se buscar outras ocorrências de agrominerais. Por exemplo, pelo emprego de imagens multiespectrais de média resolução pode se estabelecer relações com os espectros de minerais e rochas medidas pela espectrorradiometria e com isto mapear outras áreas potenciais para zeolitas, a fim de auxiliar sua prospecção.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Associação dos produtores dos Vinhos dos Altos Montes – Apromontes, à Concredul, à Ceran, à Prefeitura de Caxias do Sul, à Serrana Energética S/A.



## Referências bibliográficas

BERGMANN, M; HOFF, R.; THEODORO, S. M. C. H. Rochagem: Viabilizando o Uso Sustentável dos Descartes de Mineração no Distrito Mineiro de Ametista do Sul (Dmas), Rs, Brasil. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2009, Brasília. Anais I Congresso Brasileiro de Rochagem. Brasília: Fundação Sonia Ivar, 2009. v. 1. p. 1-6.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Mapa geológico do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. CPRM/MME, 2008. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/>.

GVA - Generalitat Valenciana. 2012. gvSIG – Sistema de Información Geográfica. Conselleria d'Infraestructuras y Transportes (CIT), Valencia. Disponível em: <http://www.gvsig.gva.es/>

HOFF, R.; DUCATI, J. R.; COUTINHO, A. L. S. ; TONIETTO, J. . Uso de imagens orbitais no estudo das características espectrais das rochas para o estabelecimento de critérios para uma indicação de procedência vinícola na região de Pinto Bandeira, Bento Gonçalves, RS, Brasil. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. Anais do 13º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE/Empresa Monferrer, 2007. v. dvd. p. 233-240.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento de recursos naturais. Volume 33, 2003. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/>.

# ROCHAGEM COM O FONOLITO EM CANA PLANTA

*Ivaniele Nahas Duarte<sup>1</sup>*  
*Gaspar Henrique Korndörfer<sup>3</sup>*  
*Hamilton Seron Pereira<sup>3</sup>*  
*Douglas da Silva Santos<sup>2</sup>*

## Resumo

O fonolito é uma rocha de origem vulcânica que possui na sua composição mineralógica o predomínio de feldspato potássico e pode conter de 7 a 14% de  $K_2O$ . O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do fonolito em relação ao cloreto de potássio na produção de colmos e na qualidade da matéria prima da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido com cana planta de 12 meses na Usina Guaira-SP e a cultivar utilizada foi a RB 867515. O solo da área foi um Latossolo Vermelho de textura argilosa com baixo teor de potássio ( $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $K^+$ ). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições, em esquema fatorial  $2 \times 3 + 1$ , sendo duas fontes de potássio (KCl granulado e fonolito pó), três doses de potássio ( $50, 100$  e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ) e um tratamento testemunha. Os tratamentos foram aplicados manualmente numa faixa de 15 cm e na profundidade de 40 cm em relação à superfície do solo e no espaçamento de 1,5 m entre linhas. Posteriormente, foi realizado o plantio manual da cana. Após a colheita da cana, as variáveis analisadas foram: altura das plantas, produtividade dos colmos e análises tecnológicas da cana (Brix, Pol e ATR). Foi verificado que para todas as características biométricas e de produção não houve diferença estatística entre as fontes nem entre as doses de  $K_2O$ . Também não houve diferença de cada tratamento em relação à testemunha. Apesar de não existir diferença estatística, percebe-se que na média das doses, o KCl foi 4,6% superior ao fonolito na produção de colmos. O desempenho agrônômico do fonolito foi prejudicado pela forma de aplicação.

**Palavras-chave:** adubação, potássio, rochas

<sup>1</sup> Engenheira Agrônoma, doutoranda em Agronomia, UFU, Uberlândia- MG, Brasil. [ielenahas@yahoo.com.br](mailto:ielenahas@yahoo.com.br); <sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, mestrando em Agronomia, UFU, Uberlândia- MG, Brasil. [dougyssant@ig.com.br](mailto:dougyssant@ig.com.br); <sup>3</sup>Professor, D.Sc., UFU, Uberlândia MG, Brasil. [ghk@uber.com.br](mailto:ghk@uber.com.br); [hseron@uol.com.br](mailto:hseron@uol.com.br).



## Introdução

A aplicação de rocha moída ou pó de rocha na agricultura consiste em uma técnica de fertilização natural, denominada de rochagem (*rocks for crops*) ou remineralização (van Straaten, 2007). Essa técnica é uma prática agrícola utilizada há muito tempo, tal como a calagem e a fosfatagem. Entretanto, nos últimos anos, têm sido desenvolvidas pesquisas visando à identificação e à caracterização de rochas com o intuito de utilizá-las simplesmente moídas (*in natura*), como fontes de potássio para agrícola brasileira (Resende et al., 2006). Isso ocorreu devido ao aumento do preço e a crescente dependência externa brasileira por KCl, que é a principal fonte de potássio para as culturas.

O fonolito é uma possível fonte de potássio para as plantas. É uma rocha de origem vulcânica que pode conter de 7 a 14%  $K_2O$  e o mineral predominante na sua composição mineralógica é o feldspato potássico. Além disso, apresenta elevado teor de óxidos alcalinos o que enquadra o fonolito como um fundente muito utilizado pelas indústrias cerâmicas (Andrade et al., 2005). São numerosas as ocorrências de fonolitos no país, associadas a complexos alcalinos. Entre as mais conhecidas e melhor estudadas figura a de Poços de Caldas–MG (Cortes et al., 2009).

O potássio presente nos feldspatos potássicos está preso na estrutura cristalina, tornando o fonolito uma fonte insolúvel em ácidos fracos. Portanto, essa fonte de potássio possui potencial para uso como fertilizantes de liberação lenta, principalmente para a aplicação em culturas que demandem o potássio em longo prazo, como na cana-de-açúcar (Luz et al., 2010). Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do fonolito em relação ao cloreto de potássio na produção de colmos e na qualidade da matéria prima da cana-de-açúcar.

## Metodologia

O experimento foi conduzido na Usina Açucareira Guaíra, no município de Guaíra-SP durante a safra 2011/2012. A cultivar de cana plantada foi a RB 867515 em novembro de 2011, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Acriférico (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização química e física das amostras do Latossolo Vermelho Acriférico

Prof.	pH H <sub>2</sub> O	P	Si	K	Ca	Mg	SB	H+Al	V	Areia	Silte	Argila
cm		mg dm <sup>-3</sup>		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					----- % -----			
0-20	4,7	14	10	0,8	1,8	0,7	26,2	46	37	22	23	55

Ca, Mg = (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>); Si = (CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>) H+Al = acidez potencial (Acetato de cálcio); V= Saturação por bases; análise física pelo Método da Pipeta (Embrapa, 1999)

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3 +1, sendo duas fontes de potássio (KCl granulado e o fonolito pó), três doses de potássio (50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e um tratamento testemunha que não recebeu adubação potássica. Uma amostra de cada fonte de potássio utilizada no experimento foi levada para o laboratório a fim de fazer sua caracterização química e física (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização química e física das fontes de potássio utilizadas no experimento

Fonte	K <sub>2</sub> O Total <sup>1</sup>	Si Total <sup>2</sup>	CaO Total <sup>3</sup>	MgO Total <sup>3</sup>	Natureza física
----- % -----					
KCl	60,00	—	—	—	granulado
Fonolito	8,00	25,18	1,25	0,10	pó

<sup>1</sup>K<sub>2</sub>O determinado segundo a metodologia do EPA (1996); <sup>2</sup>silício determinado segundo metodologia descrita por Korndorfer et al. (2004); <sup>3</sup>CaO e MgO determinado segundo a metodologia da Embrapa (1999).

Cada parcela foi representada por cinco linhas de cana-de-açúcar espaçadas entre si em 1,5 m, com 15 m de comprimento, totalizando uma área de 112,5 m<sup>2</sup>. Para correção do solo foi aplicado 1 t ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio e magnésio. No momento da abertura dos sulcos de plantio foram aplicados 400 kg ha<sup>-1</sup> de monoamônio fosfato (MAP) e depois houve a aplicação manual dos tratamentos no fundo do sulco de plantio e, posteriormente, o plantio manual da cana. Dois meses após o plantio (26 janeiro de 2012), foi realizado o quebra-lombo sem aplicação de adubo. Os outros tratamentos culturais (herbicida, controle de pragas, adubação foliar) foram conduzidos de acordo com os tratamentos estabelecidos pela Usina Açucareira Guaira. Doze meses após o plantio da cana-de-açúcar, foi realizada a colheita e as

variáveis analisadas foram: altura das plantas, produtividade dos colmos, análise tecnológica da cana (Brix, Pol e ATR). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância através do programa estatístico Assisat e quando o teste F foi significativo ( $p < 0,05$ ), as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Além disso, as médias de cada tratamento foram comparadas com a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 % de significância (Silva & Azevedo, 2009).

## Discussão dos Resultados

Para variável altura da cana-de-açúcar não houve diferença entre a testemunha (2,12 m) e os outros tratamentos. Além disso, nem as doses de potássio nem as fontes influenciaram na altura das plantas, mas, a mesma variou de 2,14 a 2,15 m entre as doses de  $K_2O$  e variou de 2,12 a 2,18 m, respectivamente, entre as fontes fonolito e KCl (Tabela 3).

**Tabela 3.** Efeito da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio, aplicadas no sulco de plantio da cana-de-açúcar, sobre a altura da cana planta, safra 2011/2012

Doses de $K_2O$ ----- kg ha <sup>-1</sup> -----	Altura da cana-de-açúcar		Médias
	KCl	Fonolito	
	----- metros -----		
0	2,12		
50	2,16 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	2,14 a
100	2,17 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	2,15 a
200	2,20 <sup>ns</sup>	2,10 <sup>ns</sup>	2,15 a
Médias	2,18 A	2,12 A	
CV=3,82%; DMS dose=0,10; DMS fonte=0,07; DMS Dunnett=0,16			

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância; \*: diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade.

A produtividade dos colmos da cana planta, independente da dose de  $K_2O$  aplicada, não diferiu estatisticamente entre as fontes. A cana adubada com o KCl produziu 107,4 t ha<sup>-1</sup> e com o fonolito produziu 102,7 t ha<sup>-1</sup>

(Tabela 4). Assim, apesar de não haver diferença entre as fontes, percebe-se que na média o KCl é 4,6% superior ao fonolito.

**Tabela 4.** Efeito da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio, aplicadas no sulco de plantio da cana-de-açúcar, sobre a produtividade dos colmos da cana planta, safra 2011/2012.

Doses de K <sub>2</sub> O --- kg ha <sup>-1</sup> ---	Produtividade dos colmos ----- t ha <sup>-1</sup> -----		Médias
	KCl	Fonolito	
0	102,57		
50	108,80 <sup>ns</sup>	102,18 <sup>ns</sup>	105,49 a
100	109,21 <sup>ns</sup>	101,59 <sup>ns</sup>	105,40 a
200	104,22 <sup>ns</sup>	104,28 <sup>ns</sup>	104,25 a
Médias	107,41 A	102,68 A	

CV: 7,52 %; DMS dose: 10,05; DMS fonte: 6,75; DMS Dunnett: 15,76  
Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade; \* diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 de probabilidade.

O desempenho agrônômico do fonolito foi prejudicado pela forma de aplicação no sulco de semeadura. Como esta é uma fonte insolúvel de potássio, deve-se aumentar o contato do fertilizante com as partículas do solo visando aumentar a sua reatividade e, conseqüentemente, aumentar a sua eficiência agrônômica.

Além disso, para variável produtividade dos colmos, tanto na cana adubada com o KCl como adubada como fonolito, não houve diferença entre as doses de K<sub>2</sub>O, variando de 104,3 a 105,5 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 4). Na testemunha, a produtividade foi de 102,6 t ha<sup>-1</sup> e não houve diferença entre os outros tratamentos (Tabela 4). Isso ocorreu, pois o potássio afetou pouco a produtividade da cana-de-açúcar. Segundo Raij (2011), respostas com adubação potássica ocorrem mais rápidas com culturas que exportam grandes quantidades desse nutriente na colheita como o algodão, amendoim, banana, café, feijão e soja. Além disso, segundo este mesmo autor, o potássio absorvido pelas plantas se mantém sempre na forma iônica (K<sup>+</sup>); assim, desempenha diversas funções metabólicas e estruturais na planta. Verifica-se





nas Tabelas 5, 6 e 7 que os tratamentos não interferiram de forma significativa para as características tecnológicas da cana-de-açúcar como o Brix, Pol e o ATR. O Brix da cana-de-açúcar expressa a porcentagem de sólidos totais no caldo. Esta variável variou de 20,4 a 20,5% entre as fontes, e de 20,3 a 20,6% entre as doses. Nenhum dos tratamentos diferiu da testemunha cujo Brix foi de 20,3% (Tabela 5).

**Tabela 5.** Efeito da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio, aplicadas no sulco de plantio da cana-de-açúcar, sobre da Brix cana planta, safra 2011/2012.

Doses de K <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>	Brix		Médias
	KCl	Fonolito	
	%		
0	20,33		
50	20,52 <sup>ns</sup>	20,62 <sup>ns</sup>	20,57 a
100	20,39 <sup>ns</sup>	20,51 <sup>ns</sup>	20,45 a
200	20,18 <sup>ns</sup>	20,32 <sup>ns</sup>	20,25 a
Médias	20,37 A	20,48 A	
CV: 2,71 %; DMS dose: 0,70; DMS fonte: 0,47; DMS Dunnett: 1,10			

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 de probabilidade; \*Diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 de probabilidade.

**Tabela 6.** Efeito da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio, aplicadas no sulco de plantio da cana de açúcar, sobre o POL da cana planta, safra 2011/2012

Doses de K <sub>2</sub> O ---- kgha <sup>-1</sup> ----	Pol ----- % -----		Médias
	KCl	Fonolito	
0		17,61	
50	17,94 <sup>ns</sup>	18,02 <sup>ns</sup>	17,98 a
100	17,74 <sup>ns</sup>	18,23 <sup>ns</sup>	17,98 a
200	17,51 <sup>ns</sup>	17,71 <sup>ns</sup>	17,61 a
Médias	17,73 A	17,98 A	
CV: 3,40% ; DMS dose: 0,77; DMS fonte: 0,51; DMS Dunnett: 1,21			

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 de probabilidade; \*diferença significativa em relação à testemunha pelo teste de Dunnett a 5 de probabilidade; \*\*não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 de probabilidade.

A Pol da cana-de-açúcar representa a quantidade de açúcares totais presente na planta. Esse parâmetro tecnológico variou de 17,73 a 17,98% quando se utilizou, respectivamente, o KCl e o fonolito e de 17,61 a 17,98% entre as doses de K<sub>2</sub>O. No tratamento controle, a Pol da cana-de-açúcar foi de 17,61% e não diferiu dos outros tratamentos (Tabela 6).

O ATR, açúcares totais recuperáveis, variou de 152,7 a 153,4 kg t<sup>-1</sup> entre as fontes e 151,0 a 154,2 kg t<sup>-1</sup> entre as doses de K<sub>2</sub>O. A testemunha foi de 151,1 kg t<sup>-1</sup> e não diferiu entre os tratamentos (Tabela 7).

Segundo Ripoli & Ripoli (2004), os valores de Pol e ATR recomendados para cana-de-açúcar são, respectivamente, maiores que 14% e 150 kg t<sup>-1</sup>, conforme foi observado em todos os tratamentos.

Assim, independente da dose de K<sub>2</sub>O aplicada e da fonte de potássio (KCl e fonolito), a qualidade da cana-de-açúcar não foi afetada.

**Tabela 7.** Efeito da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio, aplicadas no sulco de plantio da cana-de-açúcar, sobre o ATR da cana planta, safra 2011/2012

Doses de K <sub>2</sub> O ---- kg ha <sup>-1</sup> ----	ATR kg t <sup>-1</sup>		Médias
	KCl	Fonolito	
0	151,09		
50	154,61 <sup>ns</sup>	153,88 <sup>ns</sup>	154,19 a
100	152,52 <sup>ns</sup>	155,14 <sup>ns</sup>	153,83 a
200	150,97 <sup>ns</sup>	151,09 <sup>ns</sup>	151,04 a
Média	152,67 A	153,37 A	

CV: 2,85%; DMS dose: 5,55; DMS fonte: 3,73; DMS Dunnett: 8,71

Médias seguidas por letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 de probabilidade; \*diferença significativa em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 de probabilidade; \*\*não significativo em relação a testemunha pelo teste de Dunnett a 5 de probabilidade.

## Conclusões

O fonolito não diferiu da testemunha e nem dos tratamentos com o KCl em relação a produção e a qualidade da cana planta. Apesar de não haver diferença estatística, percebe-se que na média das doses o KCl foi 4,6% superior ao fonolito na produção de colmos. O desempenho agrônômico do fonolito foi prejudicado pela forma de aplicação.

## Agradecimentos

À Capes, à Fapemig e à empresa Yoorin Fertilizantes.

## Referências Bibliográficas

- ANDRADE, P.M.; NETO, H.S.N.; MONTEIRO, S.N.; VIEIRA, C.M.F. Efeito da Adição de Fonolito na Sinterização de Argila Caulínica. *Cerâmica*, v. 51, p. 361-370, 2005.
- CORTES, G.P; FERREIRA, R.C; CORTES, G.P; RAMPAZZO, L.; FERREIRA, L. Fonolito como substituto do KCl e outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM. Anais, Planaltina- DF, Embrapa Cerrados, 2009, p.75-83.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM  
12 A 17 DE MAIO DE 2013 – POÇOS DE CALDAS/MINAS GERAIS

---

LUZ, A.B.; BALTAR, C.A.M.; BERTOLINO, L.C. orgs. In: SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE. Anais, Campina Grande-PB: CETEM/UFPE, 2010, p. 115-152.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1999, 212p.

EPA - Environmental Protection Agency, USA. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices (METHOD 3052), U.S. EPA, 20p, December, 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2011.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim técnico, 2).

SILVA, F.A.S.E.; AZEVEDO, C.A.V. Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

van STRAATEN, P. Potassium. In: van STRAATEN, P. Agrogeology: the use of rocks for crops. Canadá: Enviroquest Ltd., 2007. cap.5, p. 165-200.

RAIJ, B. Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes. Piracicba-SP, International Plant Nutrition Institute, 2011, 420p.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba-SP, Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

RESENDE, A.V.; et al. O Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na Agricultura Brasileira. Espaço e Geografia, v. 9, n.1, p.19- 42, 2006.

# AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO FONOLITO VIA MINERAL E NO ENRIQUECIMENTO DA TORTA DE FILTRO EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

*Pedro Henrique de Cerqueira Luz<sup>1</sup>*

*Celso Eduardo Bonafé Peres<sup>2</sup>*

*Minoru Yasuda<sup>3</sup>*

*Marcos Roberto Ferraz<sup>4</sup>*

*Reginaldo Aparecido Casadei<sup>5</sup>*

*Leonardo Lunardi<sup>6</sup>*

## Resumo

Com o objetivo avaliar o desempenho do fonolito como fonte de potássio no manejo da adubação de soqueira de cana-de-açúcar, veiculado de forma mineral e organomineral, foi instalado um experimento em novembro de 2011 no município de Casa Branca - SP, em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura média, com a variedade SP 801816, em 3º corte, colhida mecanicamente sem queima. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: T<sub>1</sub>-Controle; T<sub>2</sub>- Mineral Fonolito 8,5% dose 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; T<sub>3</sub>- Mineral Fonolito 8,5% dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; T<sub>4</sub>- Mineral Fonolito 8,5% dose 130 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; T<sub>5</sub>- Mineral Fonolito 14% dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; T<sub>6</sub>- Mineral KCl 58% dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; T<sub>7</sub>- Organomineral KCl 58% dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; T<sub>8</sub>- Organomineral Fonolito 8,5% dose 70 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; T<sub>9</sub>- Organomineral Fonolito 8,5% dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; T<sub>8</sub>- Organomineral Fonolito 8,5% dose 130 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Foram avaliados seguintes componentes: produtividade da soqueira, teores de potássio no solo e nas folhas. Observou-se que a produtividade e os teores de potássio no solo e nas folhas foram afetados significativamente pelos tratamentos. Os tratamentos que receberam potássio proporcionaram um aumento médio da

<sup>1</sup> Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos FZEA/USP - phcerluz@usp.br; <sup>2</sup>Depto. de Zootecnia, FZEA/USP - bonaperes@yahoo.com.br; <sup>3</sup> Grupo Curimbaba - minoru.yasuda@yoorin.com.br; <sup>4</sup>Departamento de Zootecnia, FZEA/USP. mrferraz@usp.br; <sup>5</sup>Esp. Ferrari Agroindústria S/A; regicasadei@hotmail.com; <sup>6</sup>lunardi20@hotmail.com.

produtividade e da absorção de potássio em 21% e 59%, respectivamente, em relação ao controle. Para as três fontes de potássio, ambas veiculadas de forma mineral e na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  ( $T_3$ ,  $T_5$  e  $T_6$ ) não houve diferença significativa em relação a variável produtividade. Para a forma de veiculação organomineral, considerando a dose  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , foi observada diferença significativa entre as fontes de potássio. A torta de filtro enriquecida com Fonolito 8,5% proporcionou um ganho produtivo de 21% em relação à torta enriquecida com KCl. Para as três doses de potássio utilizando como fonte o fonolito 8,5% não foram observados incrementos significativos na produtividade com o aumento das doses (70, 100 e  $130 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ), tanto na forma mineral quanto organomineral. Porém, a média geral das três doses veiculadas de forma organomineral ( $T_8+T_9+T_{10}$ ) proporcionaram um ganho produtivo médio de 15% em relação à forma mineral.

**Palavras-chave:** cana-soca; fontes de potássio; formas de veiculação.

## Introdução

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agroindustriais do Brasil. O sudeste, em especial o estado de São Paulo, responde por 54% da safra nacional (CONAB, 2013). Para movimentar a extensa e complexa e cadeia produtiva, formada por mais de 180 usinas de açúcar e álcool, e garantir a competitividade brasileira no setor sucroenergético, são necessários investimentos pesados em tecnologia e insumos. Somente considerando os elos da cadeia produtiva antes da fazenda, a indústria de insumos agrícolas movimentou em 2008 mais nove bilhões de dólares, sendo 24,4% dessa receita gerada apenas com a venda de fertilizantes (Neves et al., 2008). O potássio é o macronutriente mais extraído pela cana-de-açúcar que o acumula em grande quantidade, inclusive excessivamente como “consumo de luxo”, sem que haja toxidez pela presença excessiva (Rossetto et al., 2008). Oliveira (2008) estudou a extração de macronutrientes em 11 variedades de cana-de-açúcar e encontrou os seguintes resultados em  $\text{kg ha}^{-1}$ : 196 de N; 29 de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 376 de  $\text{K}_2\text{O}$ . De acordo com Malavolta (2006), a elevada demanda por potássio na cana-de-açúcar está relacionada com seu importante papel em funções bioquímicas e funcionais, tais como: translocação de açúcares;

abertura e fechamento dos estômatos; regulação osmótica; fixação do gás carbônico. Além disso, contribui com a qualidade da matéria prima, com o aumento do teor de sacarose no colmo e diminuição no teor de fibra.

Os sais potássicos representam a principal fonte de K utilizada na agricultura mundial; porém, a produção deste insumo está restrita a poucos países como: Canadá, Rússia, Bielo-Rússia, Alemanha, Israel, Estados Unidos e Jordânia, que juntos respondem por mais de 85% da produção mundial. Tal fato obriga o Brasil a importar mais de 95% de todo o potássio utilizado.

A Mineração Curimbaba, localizada na região de Poços de Caldas-MG, dispõe de grandes reservas da rocha denominada fonolito, um potássio silicatado que apresenta, de acordo com Teixeira et al. (2011), a seguinte composição química em % ( $\text{mm}^{-1}$ ): 52,44%  $\text{SiO}_2$ ; 23,37%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 9,06%  $\text{K}_2\text{O}$ ; 8,4%  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 3,85%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 2,84%  $\text{CaO}$ ; 0,61%  $\text{TiO}_2$ ; 0,13%  $\text{MnO}$ ; 0,10%  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Em função da elevada demanda biológica da cultura da cana-de-açúcar pelo potássio, aliado ao fato de ser um insumo adquirido em mais de 95% via importação, é de grande importância o estudo de fontes nacionais alternativas ao uso do cloreto de potássio como forma de reduzir tanto os custos quanto a dependência externa. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o desempenho do fonolito como fonte de potássio em soqueira de cana-de-açúcar, veiculado de forma mineral e no enriquecimento da torta de filtro.

## Metodologia

O experimento foi instalado e conduzido no município de Casa Branca-SP, safra 2011/2012, em área de soqueira de cana-de-açúcar (3º corte), implantada com a variedade SP 801816 colhida mecanicamente e sem queima. O solo local foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Embrapa, 1999) textura média. As características químicas, na camada de 0 a 20 cm, foram determinadas antes da instalação do ensaio e seguiram as metodologias descritas por Raij et al. (2001), cujos resultados foram: matéria orgânica, 16,5  $\text{g dm}^{-3}$ ; pH (0,01  $\text{mol L}^{-1}$   $\text{CaCl}_2$ ), 4,2; Fósforo<sub>(Resina)</sub>, 15,7  $\text{mg dm}^{-3}$ ; K, Ca, Mg, H+Al, CTC e SB, 0,6, 17, 7, 21, 45,6 e 24  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , respectivamente, e saturação por bases, 54%. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente

casualizados com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Cada parcela foi composta por cinco linhas de 10 m de comprimento e espaçadas 1,4 m, sendo considerada como área útil para colheita dos dados a três linhas centrais, excluída a bordadura de 2 m entre parcelas. Os tratamentos foram compostos por três fontes de potássio (KCl- 58%, Fonolito-8,5% e Rocha potássica 14% de  $K_2O$ , respectivamente); três doses (70, 100 e 120 kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$ ) e duas formas de veiculação, mineral e organomineral (Tabela 1).

Para a elaboração dos tratamentos, o projeto foi dividido em duas fases distintas: a primeira foi realizada no pátio de compostagem da Usina Ferrari, Pirassununga-SP, objetivando-se reproduzir o enriquecimento da torta de filtro em escala comercial. Para tanto, foram fixados os critérios quanto a utilização de torta *in natura* na cana soca (5.000 kg  $ha^{-1}$  de matéria original) e nitrogênio. Assim, para uma produtividade média esperada de 90 t  $ha^{-1}$  de colmos, adotou-se a relação 1,3 kg de N t<sup>-1</sup> de colmos, totalizando 117 kg  $ha^{-1}$  de nitrogênio.

No pátio de compostagem foi realizada a cubicagem e a estimativa da densidade da leira obtendo-se ao final, a relação de 1.254 kg torta  $m^{-1}$  de leira (matéria seca = 50%). Com base neste valor foi calculado em 4 m o comprimento de leira necessário para atingir 5.000 kg  $ha^{-1}$  de torta. Para o cálculo do enriquecimento da torta com as doses e fontes de potássio e o ajuste do nitrogênio, foram coletadas e enviadas para o laboratório de solos de FZEA/USP amostras de torta para a caracterização química, a qual apresentou os seguintes resultados em % da matéria seca: 1,92 de N; 2,62 de  $P_2O_5$  e 0,55 de  $K_2O$ .

**Tabela 1.** Tratamentos empregados na soqueira de cana-de-açúcar (3º corte)

Tratamentos	Fontes de Potássio	kg $ha^{-1}$		
		N	$P_2O_5$	$K_2O$
T <sub>1</sub> - Controle		120	65,5	0
T <sub>2</sub> - Mineral Fonolito 8,5% dose 70*		120	65,5	70
T <sub>3</sub> - Mineral Fonolito 8,5% dose 100		120	65,5	100
T <sub>4</sub> - Mineral Fonolito 8,5% dose 130		120	65,5	130
T <sub>5</sub> - Mineral Rocha potássica 14% dose 100		120	65,5	100
T <sub>6</sub> - Mineral KCL 58% dose 100		120	65,5	100





T <sub>7</sub> - Organomineral KCL 58% dose 100	120	65,5	100
T <sub>8</sub> - Organomineral Fonolito 8,5% dose 70	120	65,5	70
T <sub>9</sub> - Organomineral Fonolito 8,5% dose 100	120	65,5	100
T <sub>10</sub> - Organomineral Fonolito 8,5% dose 130	120	65,5	130

\*Doses em kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O

A partir desses resultados, calcularam-se as doses de K para o enriquecimento da torta. O ajuste do nitrogênio foi realizado como o Ajifer (7,5% N) na dose de 960 L ha<sup>-1</sup>. Para a aplicação dos produtos, a leira foi dividida em quatro seguimentos de 4 m e separados por um espaço de 10 m entre eles como bordadura. Em cada seguimento foram aplicadas manualmente as doses calculadas de Ajifer, fonolito e KCl. Em seguida, os materiais foram homogeneizados utilizando-se um compostador mecânico Civemasa CRO 4,0. Antes da aplicação dos tratamentos no campo, foi retirada uma amostra composta de cada tratamento de torta enriquecida para a determinação do teor de umidade e correção dos valores a serem pesados e aplicados em cada tratamento.

A segunda fase do experimento foi composta pela elaboração dos tratamentos minerais, feita de forma a manter as mesmas concentrações de nitrogênio e fósforo que foram aplicadas no campo via 5.000 kg de torta enriquecida, ou seja, 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e 65,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Para isso, foi utilizado como fonte de N o nitrato de amônio (31%N) e como fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o MAP (11-52-00). Os tratamentos foram aplicados no campo no dia 15/11/2011, em forma de um filete contínuo de produto sobre a linha da cana-soca. Após o período de quatro meses (15/03/2013), foi realizada a coleta de cinco folhas (folha +3) em cada uma das três linhas de cana que compõe a área útil das parcelas.

A coleta de solos foi realizada logo após a colheita da cana, sendo coletadas duas amostras (0-20cm) em cada uma das três linhas da área útil da parcela. As rotinas analíticas para a quantificação dos teores de macronutrientes no solo e nas folhas foram feitas de acordo com as recomendações descritas por Raji et al. (2001). A colheita da cana ocorreu no dia 10/10/2012, doze meses após a aplicação dos tratamentos. Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o Programa SAS-9.2 e nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste F.

Para a comparação entre as médias das variáveis dependentes (produtividade, teores de potássio no solo e nas folhas) foi utilizado o teste Tukey e contrastes ortogonais para grupos de tratamentos de mesma natureza, também adotando o nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste F.

## Discussão dos Resultados

Os resultados da análise de variância para tratamentos, o comparativo das médias dos tratamentos e os contrastes entre médias de grupos de tratamentos de interesse para as variáveis produtividade, teores de potássio no solo e nas folhas da soqueira de cana-de-açúcar (3º corte) em função dos tratamentos são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2.** Análise de variância e classificação das médias das variáveis: produtividade, teores de potássio no solo e nas folhas da soqueira de cana-de-açúcar 3º corte em função dos tratamentos.

Fontes de Variação	Produtividade	K-solo	K-folha
	P-valor		
Blocos	0,0061**	0,0135**	0,0329*
Tratamentos	0,0001**	0,0206*	0,0001**
Fontes de Variação	Produtividade	K-solo	K-folha
Tratamentos	TCH	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
T <sub>1</sub>	55,7 <sup>c</sup>	1,03 <sup>b</sup>	12,72 <sup>d</sup>
T <sub>2</sub>	59,7 <sup>bc</sup>	1,23 <sup>ab</sup>	16,79 <sup>c</sup>
T <sub>3</sub>	64,2 <sup>abc</sup>	1,10 <sup>b</sup>	18,22 <sup>bc</sup>
T <sub>4</sub>	67,1 <sup>abc</sup>	1,00 <sup>b</sup>	18,34 <sup>bc</sup>
T <sub>5</sub>	67,7 <sup>abc</sup>	1,15 <sup>b</sup>	19,72 <sup>abc</sup>
T <sub>6</sub>	66,1 <sup>abc</sup>	1,40 <sup>a</sup>	19,97 <sup>abc</sup>
T <sub>7</sub>	61,5 <sup>abc</sup>	1,20 <sup>ab</sup>	21,47 <sup>ab</sup>
T <sub>8</sub>	67,8 <sup>abc</sup>	1,08 <sup>b</sup>	21,72 <sup>ab</sup>
T <sub>9</sub>	74,4 <sup>ab</sup>	1,03 <sup>b</sup>	22,72 <sup>a</sup>
T <sub>10</sub>	77,8 <sup>a</sup>	1,18 <sup>ab</sup>	22,97 <sup>a</sup>
DMS	16,70	0,25	3,70
CV(%)	10,35	9,00	7,81

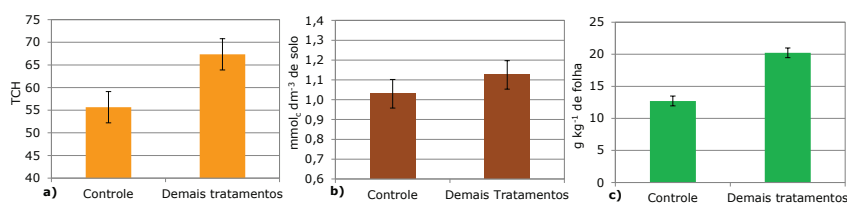
\* e \*\* significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F

**Tabela 3.** Contrastes entre médias de grupos de tratamentos de interesse para as variáveis produtividade, teores de potássio no solo e nas folhas da soqueira de cana-de-açúcar (3º corte) em função dos tratamentos

Contrates	Produtividade	K-solo	K-folha
	P-valor		
Y <sub>1</sub> : Controle vs Demais tratamentos	0,0035**	0,1945 <sup>ns</sup>	0,0001**
Y <sub>2</sub> : Dose 100 Mineral: T <sub>3</sub> , T <sub>5</sub> e T <sub>6</sub>	0,7766 <sup>ns</sup>	0,0134*	0,0010**
Y <sub>3</sub> : Dose 100 Organomineral: T <sub>7</sub> vs T <sub>9</sub>	0,0138*	0,0940 <sup>ns</sup>	0,1747 <sup>ns</sup>
Y <sub>4</sub> : T <sub>2</sub> +T <sub>3</sub> +T <sub>4</sub> vs T <sub>8</sub> +T <sub>9</sub> +T <sub>10</sub>	0,0020**	0,6710 <sup>ns</sup>	0,0001**
Y <sub>5</sub> : T <sub>2</sub> T <sub>3</sub> T <sub>4</sub> - Efeito grau 1	0,1427 <sup>ns</sup>	0,2257 <sup>ns</sup>	0,2122 <sup>ns</sup>
Y <sub>6</sub> : T <sub>2</sub> T <sub>3</sub> T <sub>4</sub> - Efeito grau 2	0,8507 <sup>ns</sup>	0,6710 <sup>ns</sup>	0,5511 <sup>ns</sup>
Y <sub>7</sub> : T <sub>8</sub> T <sub>9</sub> T <sub>10</sub> - Efeito grau 1	0,0508 <sup>ns</sup>	0,8061 <sup>ns</sup>	0,2555 <sup>ns</sup>
Y <sub>8</sub> : T <sub>8</sub> T <sub>9</sub> T <sub>10</sub> - Efeito grau 2	0,7123 <sup>ns</sup>	0,6710 <sup>ns</sup>	0,0168*

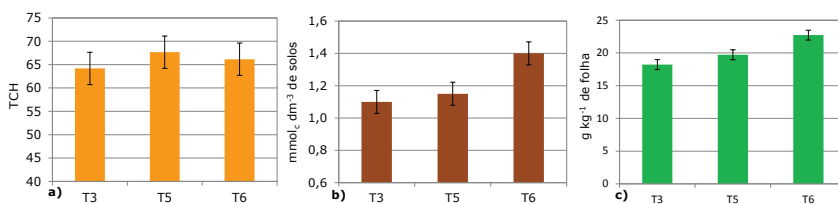
\* e \*\* significativo a 1 e 5%, respectivamente pelo teste F. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

De acordo com os resultados obtidos houve resposta significativa para os tratamentos em relação as variáveis produtividade, teores de potássio no solo e nas folhas em função dos tratamentos (Tabela 2). Analisando as variáveis a partir de grupos de tratamentos de interesse, verificou-se que a produtividade média da soqueira aumentou significativamente ( $p=0,0035$ ) com a utilização de potássio independente da dose, fonte e da forma de veiculação (Tabela 3, contraste Y<sub>1</sub>). Quando se comparou a produtividade média geral dos tratamentos que receberam potássio (T<sub>2</sub>+...+T<sub>10</sub>), observou-se um ganho de 21% em relação ao controle (Fig. 1a).



**Figura 1.** (a) Produtividade média, (b) Teor de potássio residual no solo, (c) Teor de potássio nas folhas da soqueira de cana-de-açúcar (3º corte) em função dos tratamentos que receberam ou não potássio

Em relação aos teores residuais de potássio no solo não houve diferença significativa ( $p=0,1945$ ) entre o controle e os demais tratamentos (Fig. 1b). Porém, ocorreu diferença ( $p=0,001$ ) nos teores foliares (Fig. 1c), sendo em média 59% maior nos tratamentos que forneceram potássio. Tanto os resultados de produtividade quando os de absorção de potássio pelas folhas são esperados em função do importante papel metabólico e das grandes quantidades extraídas pela cana-de-açúcar desse elemento. Em relação às fontes de potássio, ambas veiculadas de forma mineral e na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (Tabela 3, contraste  $Y_2$ ), não houve diferença significativa ( $p=0,7766$ ) em relação à produtividade (Fig. 2a).



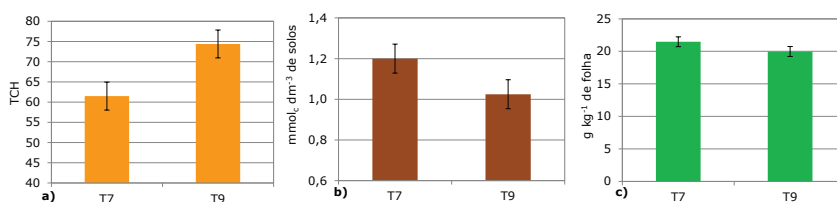
**Figura 2.** (a) Produtividade média, (b) Teor de potássio residual no solo, (c) Teor de potássio nas folhas da soqueira de cana-de-açúcar (3º corte) em função das diferentes fontes de potássio, veiculadas de forma mineral na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$

Barão et al. (2010) estudaram os efeitos de duas fontes de potássio ( $\text{KCl}$  58% de  $\text{K}_2\text{O}$  e o Fonolito 11% de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e quatro doses (0, 20, 40 e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) sobre os componentes da produção da soja e concluíram que os tratamentos não foram influenciados pela fonte de dose de potássio utilizadas. Com respeito aos teores de potássio no solo, houve diferença significativa em função das fontes ( $p=0,0134$ ). O  $T_6$  apresentou maior valor residual ( $1,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de solo) em relação ao  $T_3$  e  $T_5$  que não diferiram entre si (Fig. 2b). Todavia, ambos encontram-se dentro da mesma faixa de interpretação sugerida por Raij et al. (1996), ou seja, baixo e com valores entre 0,8 e  $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Os teores foliares também apresentaram diferença significativa ( $p=0,0010$ ) em função das fontes, sendo o maior valor observado para o tratamento  $T_6$  ( $22,72 \text{ g kg}^{-1}$  de folha), enquanto que para os tratamentos  $T_3$  e  $T_5$ , os valores não diferiram entre si (Fig. 2c). Em ambos os casos, os

teores encontram-se dentro da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997) para a cana-de-açúcar (13 a 15 g kg<sup>-1</sup> de folha).

Para a forma de veiculação organomineral na dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Tabela 3, contraste Y<sub>3</sub>) foi observada diferença significativa (P=0,0138) entre as fontes de potássio. A torta de filtro enriquecida com Fonolito 8,5% (T<sub>9</sub>) proporcionou ganho produtivo cerca de 20% maior que a torta enriquecida com KCl 58% (T<sub>7</sub>) (Fig. 3a). Esse fato pode ser estar relacionado à menor solubilidade do fonolito o que pode ter reduzido às perdas K<sup>+</sup> por lavagem da leira pela água da chuva ao longo do processo de compostagem. Não houve diferença significativa entre os teores de potássio nas folhas (p=0,1747) e no solo (p=0,0940) (Figs. 3b e 3c).



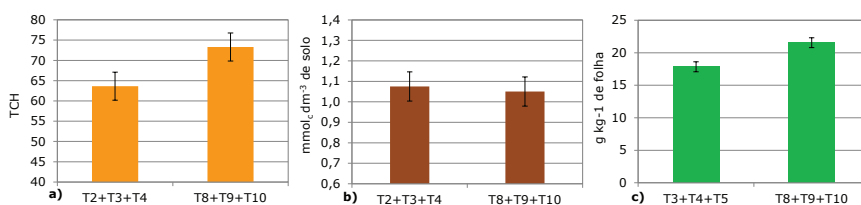
**Figura 3.** (a) Produtividade média, (b) Teor de potássio residual no solo, (c) Teor de potássio nas folhas da soqueira de cana-de-açúcar em função das diferentes fontes de potássio, veiculadas de forma organomineral na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Com relação às doses de potássio usando como fonte fonolito 8,5% (Tabela 3, contraste Y<sub>5</sub>, Y<sub>6</sub>, Y<sub>7</sub> e Y<sub>8</sub>), não foram observados incrementos significativos na produtividade com o aumento das doses, tanto na forma mineral quanto organomineral. Porém, houve diferença significativa quando se contrastou a produtividade média geral das três doses veiculadas de forma mineral (T<sub>2</sub>+T<sub>3</sub>+T<sub>4</sub>) com a média geral das três doses veiculadas de forma organomineral (T<sub>8</sub>+T<sub>9</sub>+T<sub>10</sub>), tendo esta última proporcionado um aumento de 15% em relação a forma mineral (Fig. 4a). Essa resposta está relacionada aos benefícios proporcionados pela elevada matéria orgânica na composição da torta enriquecida com fonolito.

Segundo Luz et al. (2011), os fertilizantes orgânicos e/ou organominerais apresentam os nutrientes nitrogênio, fósforo e enxofre associados a compostos orgânicos, o que lhes confere solubilidade gradual.

Tal fato permite que esses elementos sejam liberados gradualmente ao longo do tempo, no início com menor disponibilidade, a qual aumenta ao longo do desenvolvimento da planta, permitindo maior eficiência de uso dos nutrientes.

Além disso, a elevada capacidade de troca catiônica da torta pode ter contribuído com a retenção de íons  $K^+$  solubilizados, liberando-os gradativamente no decorrer do desenvolvimento da cultura. Esses resultados refletiram significativamente no acúmulo de potássio pelas folhas ( $p=0,0001$ ), sendo maior para os tratamentos veiculados de forma organomineral (Fig. 4c). Para os teores residuais de potássio no solo, não houve diferença significativa ( $p=0,6710$ ), entre os dois grupos de tratamentos (Fig. 4b).



**Figura 4.** (a) Produtividade média, (b) Teor de potássio residual no solo, (c) Teor de potássio nas folhas da soqueira de cana-de-açúcar em função das doses e forma de veiculação do potássio.

## Conclusões

Os resultados do experimento permitem concluir que o fonolito e a rocha potássica veiculadas de forma mineral na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , apresentam potencial como fonte de potássio para a cultura da cana-de-açúcar com desempenho similar ao cloreto de potássio.

Não houve diferença significativa na produtividade da cana-de-açúcar soca nas três doses testadas de  $K_2O \text{ ha}^{-1}$  utilizando como fonte o fonolito; no entanto, a média geral para as mesmas veiculadas de forma organomineral foi superior à forma mineral, mostrando o potencial desta fonte e forma de aplicação na nutrição da cana-de-açúcar.

O fonolito mostrou ser uma fonte de potássio tecnicamente viável para a produção de composto organomineral.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao prof. Dr. Cesar Gonçalves de Lima-FZEA/USP; ao Eng. Agrônomo José Sérgio Ferrari; e à Mineração Curimbaba.

## Referências Bibliográficas

- BARÃO, F.H.R. CARVALHO, M.O. MANCUSO, M.A.C.; NETO, J.F. COSTA, C.H.M. MENEGALE, M, L.C.; CASTRO, G.S. A SORATTO, R.P.; CRSCIOL, C.A.C. Eficiência agrônômica da soja em função de doses de fertilizante potássico agrícola a partir de rocha fonolito moída. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 29, 2010 [Resumos expandidos]. Guarapari. Anais. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010. 4p. CD-RUM.
- BOA, D.E.; CARVALHO, M.O.; MANCUSO, M.A.C.; NETO, J.F.; COSTA, C.H.M.; MENEGALE, M.L.C.; CASTRO, G.S.A.; SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Nutrição da Cultura da Soja em função de Doses de Fertilizantes Potássico Agrícola a partir de Rocha Fonolito Moída. In: FERTBIO 2010. [Resumos expandidos]. Guarapari. Anais. Guarapari: Centro de Convenções do SESC. 4p. CD-ROM.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro, 2012. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação dos solos. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 1999.412p.
- LUZ, P.H.C.; KORNDORFER, G.H. Reciclagem de subprodutos na agricultura brasileira. In: Vasconcelos, H., ed. Contribuição para a produção de alimentos: Ideias para uma agricultura eficaz. São Paulo: Mosaic Fertilizantes, 2011. p.123-143.
- MALAVOLTA, E. Manual de Nutrição de Plantas. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed., ver. e atual. Piracicaba: PATAFOS, 1997.319p.
- NEVES, M.F., TROMBIN, G.V., CONSÓLI, M.A. Mapeamento e Quantificação do Setor Sucroenergético em 2008. Relatório Final. Disponível em: < <http://www.favaneves.org/arquivos/mapeamento-e-quantificao-sucroenergetico-2008.pdf>>. Acessado em: 17/01/2011.
- OLIVEIRA, E.C.A. Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado)- UFRP, Pernambuco, 2008.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubações e calagem para os Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996.285p.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Potássio. In: MIRANDA-DINARDO, L.L. VASCONCELOS, A.C.M; LANDELL, M.G.A.; eds. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p.289-312.
- TEIXEIRA, A.M.S.; GARRIDO, F.M.; MEDEIROS, M.E.; SAMPAIO, J.A. Caracterização da rocha Fonolito pelas técnicas de difração de raios X, microscopia eletrônica de varredura e infravermelho. In: 34ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 34, 2011 [Resumo expandido]. Florianópolis.

# EFICIÊNCIA RESIDUAL DE ROCHA FONOLITO MOÍDA NAS SUCESSÕES DE CULTURAS SOJA-TRIGO-MILHO E MILHO-MILHETO-SOJA

Rogério Peres Soratto <sup>1</sup>  
Carlos Alexandre Costa Crusciol<sup>1</sup>

## Resumo

Avaliando-se efeito residual de uma Rocha Fonolito Moída (F2) (procedente da Mineração Curimbaba) nas sucessões soja-**trigo-milho** e milho-**milheto-soja**, concluiu-se que quando utilizado na mesma dose de K<sub>2</sub>O, esse produto possui efeito residual no solo semelhante e/ou superior ao KCl, que é a principal fonte de potássio (KCl) utilizada no Brasil.

**Palavras-chave:** potássio, adubação potássica, nutrição mineral, efeito residual.

## Introdução

Rochas potássicas podem ser fontes alternativas de potássio (K), além de conter outros nutrientes e elementos benéficos às plantas. O uso dessas rochas pode diminuir os gastos com importação de fertilizantes potássicos e ampliar as alternativas para o mercado consumidor, bem como apresentar efeito residual, para culturas subseqüentes, quando aplicada na adubação de culturas anuais. Assim, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar o efeito residual de uma Rocha Fonolito Moída (F2) (procedente da Mineração Curimbaba) nas sucessões soja-trigo-milho e milho-milheto-soja.

## Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido em condições de campo na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista - FCA/UNESP, Campus de Botucatu. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu/SP. E-mail: soratto@fca.unesp.br; crusciol@fca.unesp.br





Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu, Botucatu-SP, nas safras de inverno 2008 e de verão 2008/2009, em um Latossolo Vermelho distroférico, com teores de K iniciais de  $1,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (área do Experimento I) e de  $1,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (área do Experimento II).

O trabalho constou de dois experimentos. No Experimento I, os tratamentos foram constituídos por duas fontes de K (KCl - 58% de  $\text{K}_2\text{O}$  e F2 - 8,42% de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e quatro doses (0, 25, 50 e  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) aplicadas na semeadura da soja na safra 2007/08. No Experimento II, os tratamentos foram constituídos por duas fontes de K (KCl - 58% de  $\text{K}_2\text{O}$  e F2 - 8,42% de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e quatro doses (0, 50, 100 e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) aplicadas na semeadura do milho na safra 2007/08. Em ambos os experimentos o delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições.

No Experimento I foram avaliadas as culturas do trigo (matéria seca da parte aérea, componentes da produção e produtividade de grãos) e milho (teor de N, P, K, Ca, Mg, S e Si nas folhas (terço central da folha da base da espiga, no pendoamento, segundo metodologia de Malavolta et al. (1997) e Korndörfer et al. (2004)), componentes da produção e produtividade de grãos) em sucessão. No Experimento II foram avaliadas as culturas no milheto (matéria seca da parte aérea) e da soja (teor de N, P, K, Ca, Mg, S e Si nas folhas (3<sup>as</sup> folhas com pecíolo, coletados no florescimento), segundo metodologia de Malavolta et al. (1997) e Korndörfer et al. (2004)), componentes da produção e produtividade de grãos) em sucessão.

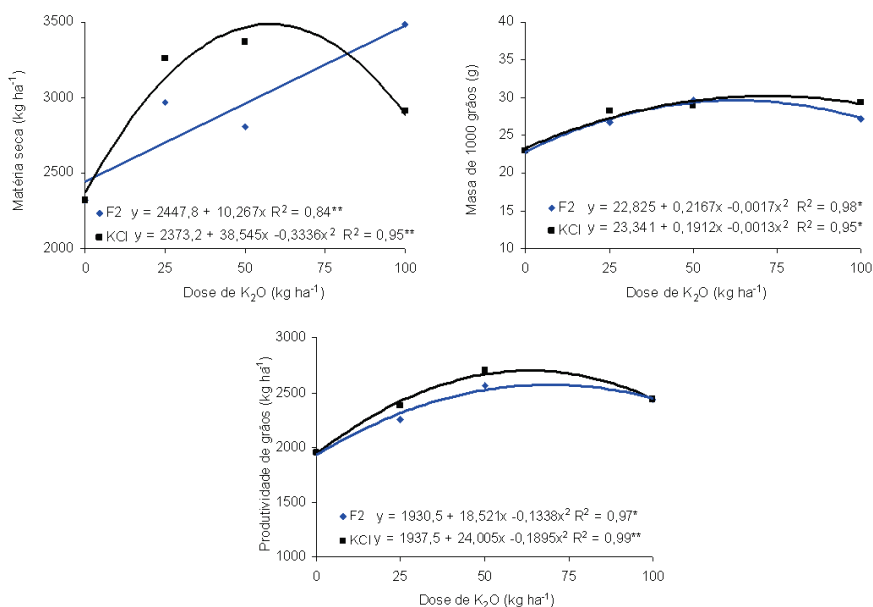
Os resultados foram submetidos à análise de variância. As médias de doses foram submetidas à análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo matemático a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste F.

## Resultados e Discussão

Experimento I: Efeito residual do fertilizante aplicado na soja sobre as culturas do trigo e do milho em sucessão

Houve efeito residual de forma linear das doses de F2, aplicadas na cultura da soja na safra de verão anterior, na produção de matéria seca da parte aérea da cultura do trigo, enquanto, para o KCl o efeito foi quadrático, com a maior produção de matéria seca verificada com a dose estimada de  $58 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 1). Houve efeito residual do K aplicado na semeadura da soja (safra de verão 2007/08) na massa de 1000 grãos e produtividade

de grãos da cultura do trigo cultivado em sucessão (safra de inverno 2008), destacando-se respostas semelhantes para ambas as fontes (Figura 1). A fonte F2 proporcionou incrementos de produtividades ligeiramente inferiores que o KCl, nas menores doses estudadas (25 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), porém, semelhante na maior doses. Para ambas as fontes os maiores incrementos de produtividade foram obtidos com o efeito residual das doses de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicada na cultura da soja na safra de verão anterior, que foram de 31% e 38%, respectivamente para o F2 e o KCl (Figura 1).



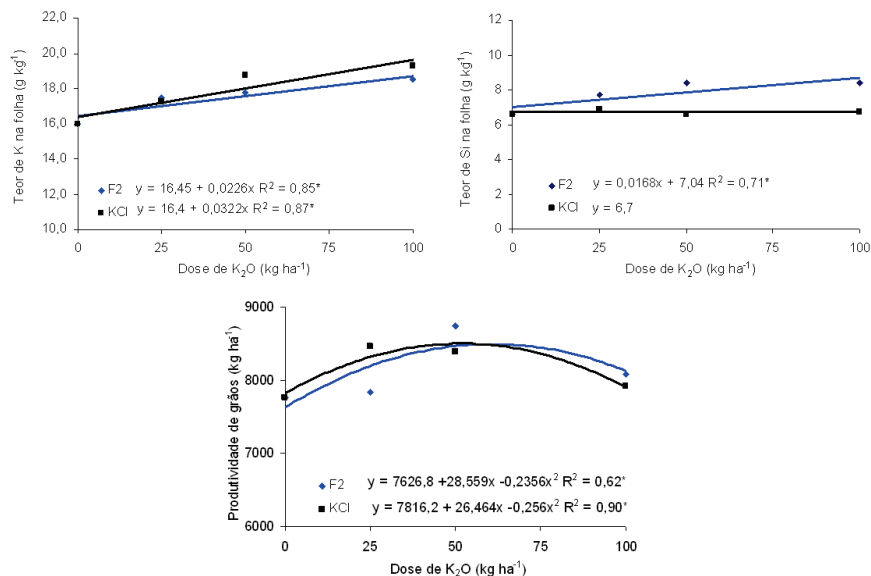
**Figura 1.** Matéria seca da parte aérea, massa de 1000 grãos e produtividade de grãos da cultura do trigo de inverno em função de fontes e doses de K aplicadas na semeadura da cultura da soja na safra de verão anterior.

Os teores de N, P, Ca, Mg e S nas folhas da cultura do milho não foram alteradas pelas fontes e doses de K aplicadas na semeadura da cultura da soja na safra de verão 2007/08 (dados não apresentados). A aplicação de doses de K na semeadura da soja na safra de verão 2007/08, independentemente

da fonte utilizada, proporcionou efeito residual, incrementando os teores desse nutriente nas folhas do milho (safra de verão 2008/09), com efeito linear para ambas as fontes, ou seja, a dose máxima estudada proporcionou maior teor de K nas folhas de milho (Figura 2). O teor de K no tratamento testemunha (sem aplicação desse nutriente) encontravam-se abaixo da faixa considerada adequada para a cultura, 17-35 g kg<sup>-1</sup> (Cantarella et al., 1996), o que indica que a aplicação desse nutriente por dois anos agrícolas seguidos proporcionou deficiência do mesmo na cultura do milho. Os teores de todos os demais nutrientes, em todos os tratamentos, estavam dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura do milho (Cantarella et al., 1996) que são: 27-35 g kg<sup>-1</sup>, 2,0-4,0 g kg<sup>-1</sup>, 2,5-8,0 g kg<sup>-1</sup>, 1,5-5,0 g kg<sup>-1</sup> e 1,5-3,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para N, P, Ca, Mg e S.

A aplicação de doses de KCl na semeadura da cultura da soja na safra verão 2007/08 não teve efeito no teor de Si nas folhas da cultura do milho cultivado na safra verão 2008/09 (Figura 2). Contudo, as doses de F2 resultaram em efeito residual, com aumento linear dos teores de Si nas folhas da cultura do milho, sendo o máximo teor nas folhas igual a 8 g kg<sup>-1</sup> obtido com a maior dose de F2. Apesar de não existir ainda no Brasil faixas de teores discriminando deficiência, suficiência e excesso de Si para a cultura do milho, observou-se, em ambos os tratamentos, concentração superior a encontrada na literatura para essa cultura, que é de 2,5-11,4 g kg<sup>-1</sup> em folhas+colmo (Korndörfer et al., 2004).

A população final de plantas não foi afetada pelos tratamentos, sendo a população média de plantas em todo o experimento de 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O número de espigas por planta, o número de grãos por espiga e a massa de 100 grãos não foram afetados por nenhum dos fatores estudados (dados não apresentados). Contudo, houve resposta quadrática da produtividade dos grãos da cultura do milho cultivado na safra verão 2008/09 às doses de ambas as fontes de K aplicadas na semeadura da soja na safra de verão 2007/08, isto porque, pequenos incrementos nos componentes produtivos podem ter influenciado na produtividade dos grãos (Figura 2). O K é elemento essencial para o crescimento, desenvolvimento e maturação dos grãos (Meurer, 2006).



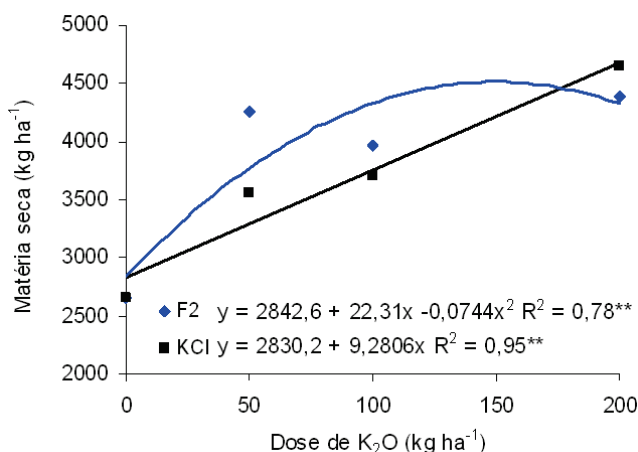
**Figura 2.** Teores de K e Si nas folhas e produtividade de grãos da cultura do milho de verão em função de fontes e doses de K aplicadas na semeadura da soja na safra de verão anterior.

A deficiência de K provoca, nas extremidades das espigas do milho, o não desenvolvimento dos grãos e as espigas ficam com os grãos não compactamente enfileirados no sabugo, ou seja, os grãos não são granados adequadamente. A aplicação da dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma do produto F2, proporcionou aumento de produtividade de grãos da ordem de 13%, ou seja, 973 kg ha<sup>-1</sup>, ou ainda, 16,2 sacas de milho, em relação à testemunha (0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), enquanto, o incremento máximo proporcionado pelo KCl foi de 9% em relação a testemunha (Figura 2).

No entanto, os resultados discordam dos relatados por Coelho (2005), que citam menor eficiência das rochas potássicas em fornecer K para o milho em relação ao KCl. Esses resultados indicam que o F2 (fonolito) pode ser utilizado como fonte de K para a cultura do milho, com efeito semelhante ou até superior ao KCl.

Experimento II: Efeito residual do fertilizante aplicado na cultura do milho sobre as culturas do milheto e da soja em sucessão

O milho absorve grandes quantidades de K (Crusciol e Soratto, 2009), respondendo de maneira expressiva à disponibilidade desse nutriente no solo. Assim, as doses K aplicadas na semeadura da cultura do milho (safra de verão 2007/2008) teve efeito residual bastante expressivo na produção de matéria seca da parte aérea do milho cultivado em sucessão (safra de inverno 2008), com resposta linear para o KCl e quadrática para o produto F2 (Figura 3). A aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na semeadura do milho proporcionou aumento de 1728 kg ha<sup>-1</sup> (65%) na produção de matéria seca da parte aérea do milho em sucessão, em relação à testemunha (sem aplicação de K), enquanto, a aplicação da mesma dose na forma de KCl incrementou em 1988 kg ha<sup>-1</sup> (75%) essa variável.



**Figura 3.** Matéria seca da parte aérea da cultura do milho de inverno em função de fontes e doses de K na semeadura da cultura do milho na safra de verão anterior.

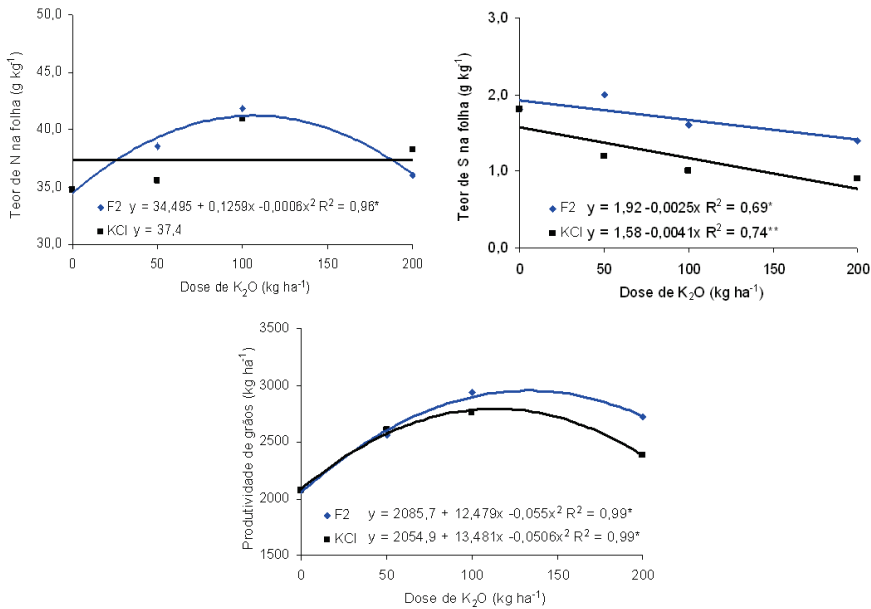
O teor de N nas folhas da cultura da soja (safra de verão 2008/09) foi influenciado pelo efeito residual da aplicação do produto F2 na semeadura da cultura do milho na safra de verão 2007/08 (Figura 4), porém, o fonte KCl não apresentou efeito no teor de N. A dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de F2 proporcionou o maior teor de N nas folhas da soja (41,8 g kg<sup>-1</sup>). Contudo, destaca-se que, apenas o tratamento que recebeu aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de F2 na semeadura da cultura do milho na safra de verão 2007/08, os teores de N na folha da soja na safra de verão seguinte



estavam dentro da faixa preconizada como adequada por Ambrosano et al. (1996), que é de 40-54 g kg<sup>-1</sup>.

Não houve efeito residual dos tratamentos (fontes e doses) utilizados na semeadura da cultura do milho na safra de verão 2007/08, sobre a nutrição da cultura da soja (safra 2008/09) em relação a P, K, Ca e Mg (dados não apresentados). Os teores de S nas folhas da soja foram reduzidos efeito residual das fontes de K aplicadas na semeadura da cultura do milho na safra de verão anterior (Figura 4). Todos os nutrientes, com exceção do N e S que estavam baixos, em ambas as fontes e em todas as doses de K, estavam dentro das faixas de teores adequados para a cultura da soja que, segundo Ambrosano et al. (1996), são: 40-54 g kg<sup>-1</sup>, 2,5-5,0 g kg<sup>-1</sup>, 17-25 g kg<sup>-1</sup>, 4-20 g kg<sup>-1</sup>, 3-10 g kg<sup>-1</sup> e 2,1-4,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para N, P, K, Ca, Mg e S.

Não houve efeito residual dos fertilizantes aplicados na semeadura da cultura do milho (safra 2007/08) nos teores de Si nas folhas de soja (safra 2008/09) (dados não apresentados). Nenhum dos componentes da produção foi influenciado significativamente pelos tratamentos (dados não apresentados), mas, devido a pequenos incrementos nos mesmos a produtividade de grãos foi influenciada positivamente pelas fontes de K (Figura 4). Assim, a aplicação de ambas as fontes de K, na semeadura da cultura do milho na safra de verão 2007/09, proporcionaram efeito residual com aumentos até as doses calculadas de 107 kg ha<sup>-1</sup> e 140 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O provenientes, respectivamente, de KCl e F2.



**Figura 4.** Teores de N e S nas folhas e produtividade de grãos da cultura da soja de verão em função de fontes e doses de K aplicadas na semeadura do milho na safra de verão anterior.

A aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na semeadura da cultura do milho na safra de verão 2007/08 proporcionaram aumentos em relação à testemunha (0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), na produtividade de grãos da cultura da soja (safra de verão 2008/09), da ordem de 41 e 33%, ou seja, 860 e 685 kg ha<sup>-1</sup>, ou ainda, 14,3 e 11,4 sacas, respectivamente, para o F2 e KCl. Esses resultados indicam que o fonolito (F2) quando aplicado na cultura do milho apresenta efeito residual para a cultura da soja cultivada na safra de verão subsequente, semelhante ou até superior de o KCl, podendo ser utilizado como fonte de K para essas culturas.

## Conclusões

Na cultura do trigo o efeito residual do produto F2 proporcionou incrementos na produtividade de grãos da ordem de 31%, na dose 50 kg



ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em relação à testemunha, enquanto na mesma dose o KCl proporcionou incremento de 38%. O efeito residual da aplicação do produto F2 aumentou os teores de K e Si nas folhas do milho, bem como, aumentou a produtividade de grãos da ordem de 13%, na dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em relação à testemunha, efeito superior ao observado para o KCl. Na cultura do milho o efeito residual do produto F2 proporcionou incrementos na produção de matéria seca da parte aérea da ordem de 65%, na dose 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em relação à testemunha, enquanto na mesma dose o KCl proporcionou incremento de 75%. O efeito residual da aplicação do produto F2 melhorou a nutrição nitrogenada da cultura e proporcionou incrementos na produtividade de grãos da ordem de 41%, na dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em relação à testemunha, efeito superior ao observado para o KCl (33%). Os resultados obtidos com as culturas indicam que o produto F2 possui efeito residual no solo semelhante e/ou superior ao KCl, que é a principal fonte de K utilizada no País, quando utilizado na mesma dose de K<sub>2</sub>O.

## Referências Bibliográficas

- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, p.189-203, 1996. (Boletim técnico, 100).
- CANTARELLA, H. FURLANI, P.R. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, p.45-71, 1996 (Boletim Técnico 100).
- COELHO, M.A. O potássio na cultura do milho. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Eds.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafôs, 2005. p.613-658.
- CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P. Nitrogen supply for cover crops and effects on peanut grown in succession under a no-till system. **Agronomy Journal**, v.101, n.1, p.41-46, 2009.
- KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L.A. **Análise de Silício: Solo, Planta e Fertilizante**. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 39p. (Boletim Técnico, 02).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional de Plantas: Princípios e Aplicações**. Piracicaba: Potafôs, 1997. 308p.
- MEURER, E.J., WANG, G.M., WANG, S.R. Função dos Nutrientes e Sintomas de Deficiência. In: MYASAKA, S., MEDINA, J.C. (Eds.). **A Soja no Brasil**. Campinas: Instituto Tecnológico de Alimentos, 1981. p. 156-67.



# AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO FONOLITO VIA MINERAL EM LARANJEIRAS ADULTAS

*Danilo Franco<sup>1</sup>*

*Minoru Yasuda<sup>2</sup>*

*Rafael Curimbaba Ferreira<sup>3</sup>*

*Leandro Aparecido Fukuda<sup>4</sup>*

*Rafael Trombin Ferracini<sup>5</sup>*

## Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do Fonolito como fonte de potássio no manejo da adubação de pomar de laranjeiras adultas. O ensaio foi conduzido a campo em um pomar comercial de laranjeira 'Pera' sobre limoeiro 'Cravo', com 5 anos de idade. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial com 3 fatores (3 doses de Fonolito ( $60 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$ ;  $120 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$ ;  $180 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); 2 doses de Gesso (sem Gesso e com  $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); 2 doses de Calcário (sem Calcário e com  $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ )), mais 1 tratamento adicional com adubação convencional do produtor ( $120 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$  via 20-00-20), totalizando 13 tratamentos, com 4 repetições e 5 plantas por parcela. A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 02/02/2012 com aplicação tratorizada superficialmente no solo sob a copa das plantas, utilizando uma distribuidora de sólidos Vicon, sem incorporação. Avaliou-se amostras de solos feitas em 5 extratos de profundidade (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-40 cm) retiradas na prévia, 27, 78 e 118 dias após a aplicação e no final da safra avaliou-se a produção de frutos pelas plantas, porém, neste ano foi realizada a colheita dos frutos que já estavam nas plantas no momento da aplicação do Fonolito. Concluiu-se que o Fonolito se mostrou eficiente tanto quanto a adubação convencional para elevar os teores de potássio no solo e na folha. Também contribuiu significativamente para o aumento da produtividade do pomar.

1 Eng. Agrônomo M.Sc.; Farm Assistência Técnica Ltda; Bebedouro-SP; danilo@farmatac.com.br; 2 Eng. Agrônomo M.Sc.; Consultor; Poços de Caldas-MG; minoruyasuda76@gmail.com; 3 Diretor; Grupo Curimbaba; Poços de Caldas-MG; rafael@curimbaba.com.br; 4 Eng. Agrônomo; Farm Assistência Técnica Ltda; Bebedouro-SP; leandro@farmatac.com.br; 5 Eng. Agrônomo; Grupo Curimbaba; Poços de Caldas-MG; rafael.ferracini@yoorin.com.br.

## Introdução

Os citros são, em geral, muito exigentes em K. A deficiência é mais facilmente percebida nos frutos, que se tornam pequenos, com casca fina e lisa e têm maturação precoce (QUAGGIO, 1991).

O Brasil é muito dependente da exportação de Potássio para suprir sua necessidade na agricultura. Até 2008 somente 7% da demanda nacional foi produzida no nosso território (ALVES, 2012).

Novas fontes para adubação potássica são fundamentais para a redução da dependência das importações. Nesse contexto o Fonolito, que vem a ser um silicato natural proveniente de rocha vulcânica do Planalto de Poços de Caldas, tem potencial como fonte alternativa de potássio.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do Fonolito como fonte de potássio no manejo da adubação de pomar de laranjeiras adultas.

## Materiais e métodos

O ensaio foi conduzido a campo em um pomar comercial de laranjeira ‘Pera’ sobre limoeiro ‘Cravo’, com 5 anos de idade, no município de Taquaral, Estado de São Paulo.

O solo em que a lavoura está implantada é um latossolo vermelho-amarelo distrófico de textura média.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial com 3 fatores (3 doses de Fonolito, 2 doses de Gesso, 2 doses de Calcário), mais 1 tratamento adicional com adubação convencional do produtor ( $120 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$  via 20-00-20), totalizando 13 tratamentos, com 4 repetições e 5 plantas por parcela.

As três doses de Fonolito foram:  $60 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ ;  $120 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ ;  $180 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ . As duas doses de Calcário foram: sem Calcário e com  $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . As duas doses de Gesso foram: sem Gesso e com  $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Todos os tratamentos receberam  $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ , por meio do nitrato de amônio e não foi aplicado Fósforo nesta safra.

A aplicação dos tratamentos foi realizada no dia 02/02/2012 com aplicação tratorizada superficialmente no solo sob a copa das plantas da parcela, utilizando uma distribuidora de sólidos Vicon, sem que houvesse



qualquer tipo de incorporação. Para avaliação e comparação dos resultados foram feitas amostragens de solo em 5 extratos de profundidade (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 e 20-40 cm). Essas amostragens ocorreram aos 27, 78 e 118 dias após a aplicação. Além da primeira que foi prévia à aplicação.

Ao final da safra avaliou-se também a produção de frutos pelas plantas, porém, neste ano foi realizada a colheita dos frutos que já estavam nas plantas no momento da aplicação do Fonolito. Os dados foram analisados com análise de variância F e as médias comparadas pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade de erro.

## Resultados

### Análises de solo

Nas análises de solo consideraram-se as datas das coletas e as profundidades de coleta como também sendo fatores de variação e foram considerados separadamente na análise estatística.

Na análise de variância já se pode notar que somente as doses de Potássio, a profundidade de coleta da amostra e os dias após a aplicação (DAA) tiveram efeito significativo sobre os teores de K (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise de variância com Teste F para os teores de Potássio no solo.

FV	GL	SQ	QM	F	
POTÁSSIO	3	590,1337	196,7112	3,455	*
GESSO	1	84,24563	84,24563	1,480	ns
CALCÁRIO	1	50,20075	50,20075	0,882	ns
PROFUNDIDA	4	357,1842	89,29605	1,568	**
DAA	2	544,6673	272,3336	4,783	**
erro	573	32627,07	56,94078		
CV (%) =	30,82				

Houve uma correlação direta entre a dose aplicada de Fonolito com os teores medidos no solo. Sendo que as doses de 100 e 150% não diferiram da

adubação convencional, mostrando que é uma fonte de potássio em potencial para uso em Laranjeiras (Tabela 2).

**Tabela 2.** Comparação de média do teor de Potássio no solo em função da dose do Potássio aplicado.

Fontes	K no solo (mg/dm <sup>3</sup> )	
Convencional	4,24	ab
Fonolito 50%	4,16	b
Fonolito 100%	4,52	a
Fonolito 150%	4,71	a

Em relação à profundidade há também linearidade em redução do teor de potássio no solo com o aumento da profundidade (Tabela 3).

A interação entre as doses de potássio e a profundidade não foi significativa, mostrando que o potássio do Fonolito apresenta a mesma mobilidade que o da adubação convencional (Tabela 4).

**Tabela 3.** Comparação de média do teor de Potássio no solo em função da profundidade de coleta da amostra.

Profundidade de coleta		K no solo (mg/dm <sup>3</sup> )	
0-5	cm	5.68 a	a
5-10	cm	5.14 a	a
10-15	cm	4.41 ab	ab
15-20	cm	3.84 ab	ab
20-40	cm	3.14 b	b

**Tabela 4.** Desdobramento da interação entre doses e profundidade.

Tratamentos	Profundidade de coleta (cm)				
	5	10	15	20	40
Convencional	5,53	5,08	4,38	3,45	2,80
Fonolito 50%	5,43	4,96	3,85	3,62	2,96
Fonolito 100%	5,87	5,30	4,28	3,86	3,29
Fonolito 150%	5,78	5,19	5,11	4,18	3,29

Com o passar dos dias após a aplicação, sofrendo as intempéries como as fortes chuvas de verão e a própria extração das plantas de laranjeira, nota-se que o teor de potássio no solo atingiu seu máximo aos 78 dias após a aplicação e a partir daí iniciou o período de redução (Tabelas 5 e 6).

**Tabela 5.** Comparação de média do teor de Potássio no solo em função dos dias após a aplicação (DAA).

DIAS APÓS A APLICAÇÃO	TEOR
0	3,88*
27	3,76 b
78	5,03 a
118	4,58 ab

**Tabela 6.** Desdobramento da Interação Tratamentos e dias após a aplicação.

Tratamento	Dias após a aplicação		
	27	78	118
Convencional	3,88	5,08	4,14
Fonolito 50%	3,62	4,57	4,29
Fonolito 100%	4,31	4,68	4,56
Fonolito 150%	3,31	5,81	5,00

## Colheita de frutos

|Mesmo a aplicação sendo feita quando os frutos já estavam em desenvolvimento, houve diferença significativa para a produtividade das plantas (Tabela 7). Isso pode ser explicado pelo fato de o potássio ser grande fator para aumento do tamanho dos frutos das plantas.



**Tabela 7.** Análise de variância com Teste F para os teores de Potássio na folha.

FV	GL	SQ	QM	F	
POTÁSSIO	3	512.5982	170.8661	2.061	*
CALCÁRIO	1	290.6277	290.6277	3.506	*
GESSO	1	2.679602	2.679602	0.032	ns
erro	6	3812.989	82.89106		
CV (%)		20,95			

Houve diferença significativa entre o tratamento de Fonolito (100% do  $K_2O$  recomendado) com a adubação padrão (Tabela 8).

**Tabela 8.** Comparação de média dos tratamentos para produção de frutos (kg/planta).

TRATAMENTO	kg/planta	kg/hectare
Convencional	37.675000 b	31.383,28
Fonolito 50%	41.400000 ab	34.486,20
Fonolito 150%	42.656250 ab	35.532,66
Fonolito 100%	47.793750 a	39.812,19

## Conclusões

O Fonolito se mostrou eficiente tanto quanto a adubação convencional para elevar os teores de potássio no solo e na folha. Também contribuiu significativamente para o aumento da produtividade do pomar.

## Referências Bibliográficas

ALVES, E.A. PRODUÇÃO DE POTÁSSIO: PANORAMA DO BRASIL E DO MUNDO. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/producaopotassio.pdf>. Acesso em: 07/01/2012

QUAGGIO, J.A. **Resposta da laranjeira Valência à calagem e ao equilíbrio de bases num latossolo de textura argilosa.** 1991. 107p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Esalq, USP.

# EFICIÊNCIA DE ROCHA FONOLITO MOÍDA COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA AS CULTURAS DO ARROZ, FEIJÃO, MILHO E SOJA

*Carlos Alexandre Costa Crusciol<sup>1</sup>*

*Rogério Peres Soratto<sup>1</sup>*

## Resumo

Este trabalho avaliou a eficácia da Rocha Fonolito Moída (F2) (procedentes da Mineração Curimbaba) como fonte de potássio e de silício para as culturas do arroz, milho, feijão e soja. Os resultados mostraram que quando utilizado na mesma dose de  $K_2O$ , esse produto aumenta os teores de K e Si nas culturas, o que resulta em aumento da produtividade de grãos, semelhante ao KCl, que é a principal fonte de potássio utilizada no País.

**Palavras-chave:** potássio, adubação potássica, nutrição mineral, produtividade de grãos.

## Introdução

Rochas potássicas podem ser fontes alternativas de potássio (K), além de conter outros nutrientes e elementos benéficos às plantas. O uso dessas rochas pode diminuir os gastos com importação de fertilizantes potássicos e ampliar as alternativas para o mercado consumidor. Assim, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a eficácia de uma Rocha Fonolito Moída (F2) (procedentes da Mineração Curimbaba) em fornecer potássio e silício para as culturas do arroz, milho, feijão e soja.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em condições de campo na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas

---

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista - FCA/UNESP, Campus de Botucatu. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). [crusciol@fca.unesp.br](mailto:crusciol@fca.unesp.br); [soratto@fca.unesp.br](mailto:soratto@fca.unesp.br)

– UNESP, Botucatu-SP, na safra verão 2007/2008, em um Latossolo Vermelho distroférico, com teores de K iniciais de  $1,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (áreas dos experimentos com feijão e soja) e de  $1,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (áreas dos experimentos com milho e arroz). O trabalho constou de quatro experimentos com delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos, para todas as culturas, foram compostos por duas fontes de K (1- KCl - 58% de  $\text{K}_2\text{O}$  e 2- F2 – 8,42% de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e quatro doses (0, 1/2, 1 e 2 vezes a dose de  $\text{K}_2\text{O}$  recomendada para as culturas, segundo Cantarella et al. (1996) e Ambrosano et al. (1996). Dessa forma, de acordo com teores de K iniciais no solo as doses aplicadas foram: 0, 20, 40 e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  para a cultura do arroz e do feijão; 0, 50, 100 e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  para a cultura do milho; e 0, 25, 50 e  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  para a cultura da soja. Foram realizadas as seguintes avaliações: a) diagnose foliar (teor de N, P, K, Ca, Mg, S e Si, seguindo as recomendações de amostragem de Cantarella et al. (1996), para arroz e milho, e Ambrosano et al. (1996), para feijão e soja, e os procedimentos analíticos de Malavolta et al. (1997) e Korndorfer et al. (2004)), componentes da produção e produtividade de grãos. Os resultados foram submetidos à análise de variância. As médias de doses foram submetidas à análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo matemático a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade pelo teste F.

## Resultados e Discussão

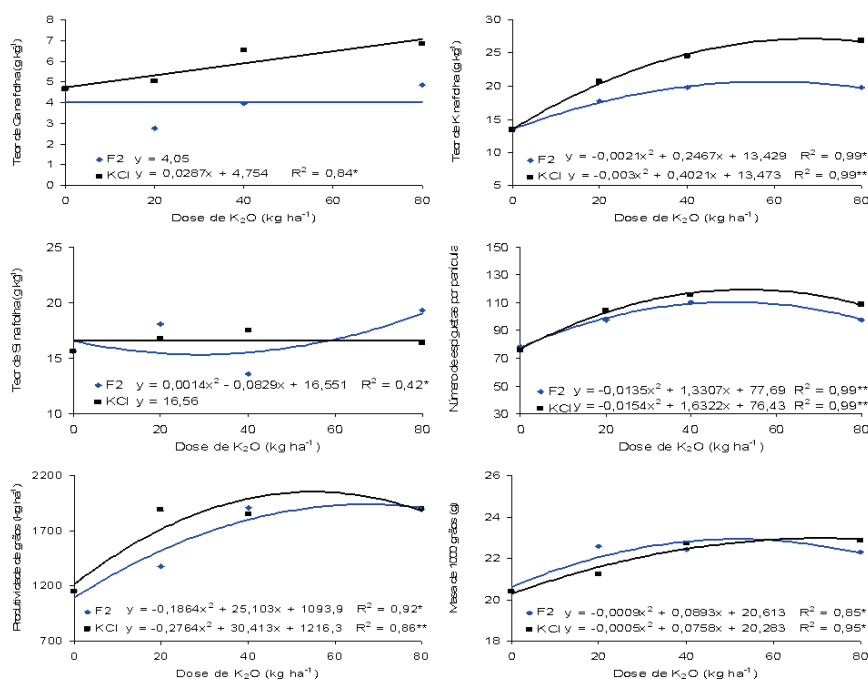
### Cultura do Arroz de Sequeiro

Analisando os resultados de diagnose foliar da cultura do arroz de sequeiro, constatou-se que os teores de N, P, Mg e S não foram influenciados pelos tratamentos (dados não apresentados). O teor de K (Figura 1) foi incrementado pela aplicação de ambas as fontes do elemento, contudo de forma mais expressiva com o uso de KCl. Verifica-se que o maior teor de K nas folhas do arroz foram obtidas com as doses estimadas de  $67 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , na forma de KCl e  $59 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na forma de F2, o que representa  $701 \text{ kg ha}^{-1}$  do fonolito.

Com relação ao Ca (Figura 1), verifica-se que o aumento das doses de K na forma de KCl proporcionou aumento nos teores, enquanto que o uso



do F2 não alterou os valores. Apenas os teores de Mg com a utilização de F2 estavam deficientes na cultura do arroz de sequeiro (Cantarella et al., 1996). Os teores de N, K e Ca estavam dentro da faixa considerada adequada para a cultura, e os teores de P e S estavam acima da faixa adequada. Segundo Cantarella et al. (1996), para a cultura do arroz de sequeiro, as faixas de teores adequados são as seguintes: 27-35 g kg<sup>-1</sup>, 1,8-3,0 g kg<sup>-1</sup>, 13-30 g kg<sup>-1</sup>, 2,5-10 g kg<sup>-1</sup>, 1,5-5,0 g kg<sup>-1</sup> e 1,4-3,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para N, P, K, Ca, Mg e S.



**Figura 1.** Teores de K, Ca e Si nas folhas, número de espiguetas por panícula e produtividade de grãos da cultura do arroz de sequeiro em função de fontes e doses de potássio na semeadura.

Com relação aos teores de Si (Figura 1), constatou-se que houve efeito apenas para a aplicação do produto F2. O aumento das doses de Fonolito moído reduziu os teores de Si, atingindo o menor valor (14 g kg<sup>-1</sup>) na dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Analisando a faixa de teor de Si, considerada adequada

para a cultura do arroz ( $17-34 \text{ g kg}^{-1}$ ), segundo Korndörfer et al. (2004), constatou-se, com exceção da maior dose de F2, que nos demais tratamentos as plantas de arroz estavam com deficiência deste nutriente, porém próximo do nível mínimo de suficiência. Quanto aos componentes da produção (Figura 1), constatou-se efeito significativo para número de espiguetas por panícula e massa de 1000 grãos, enquanto os demais (número de panículas por metro quadrado e fertilidade das espiguetas) não foram influenciados pelos tratamentos (dados não apresentados).

A produtividade de grãos de arroz de sequeiro (Figura 1) aumentou com a aplicação de ambas as fontes de K até as doses calculadas de  $55 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $67 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  provenientes, respectivamente, de KCl ( $92 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e F2 ( $796 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Esse resultado, provavelmente, foi decorrente dos incrementos no número de espiguetas por panícula e na massa de 1000 grãos. As doses calculadas proporcionaram aumentos, na produtividade de grãos, em relação à testemunha ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ), da ordem de 79 e 69 %, ou seja, 905 e  $791 \text{ kg ha}^{-1}$ , ou ainda, 15,1 e 13,2 sacas, respectivamente, para o KCl e F2.

## Cultura do Milho

Constatou-se que a aplicação de doses de K (Figura 2), independentemente da fonte utilizada, proporcionou incremento apenas nos teores de K, com efeito linear para doses de KCl e quadrática para doses de F2. Assim, o máximo valor seria obtido com a aplicação da dose calculada de  $216 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , ou seja, com a aplicação de  $2564 \text{ kg ha}^{-1}$  do produto.

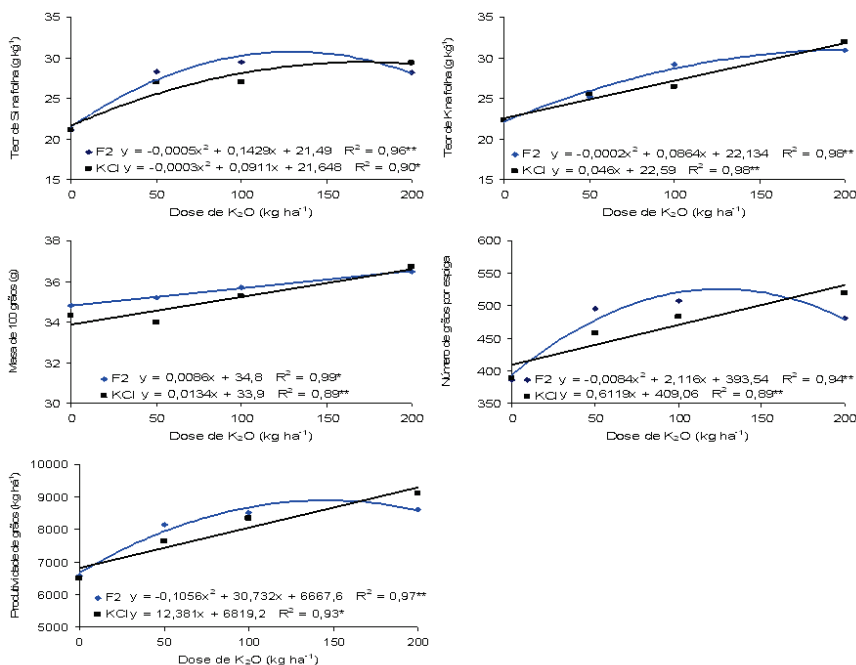
Apesar dos modelos matemáticos utilizados nos ajustes dos resultados de cada fonte de K, os dados foram muito semelhantes entre as fontes. Os teores dos demais nutrientes (N, P, Ca, Mg e S) não foram alterados pelos tratamentos (dados não apresentados). Deve-se ressaltar que, apesar dos efeitos no K, os teores de todos os nutrientes em todos os tratamentos estavam dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura do milho (Cantarella et al., 1996) que são:  $27-35 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $2,0-4,0 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $17-35 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $2,5-8,0 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $1,5-5,0 \text{ g kg}^{-1}$  e  $1,5-3,0 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, para N, P, K, Ca, Mg e S. Quanto ao teor de Si (Figura 2), constata-se que a aplicação de K proporcionou aumento significativo nas folhas do milho, de forma semelhante para as duas fontes (KCl e F2).



Analisando as equações matemáticas, constatou-se que os maiores teores de Si nas folhas do milho foram obtidos com a dose estimada de 152 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl e 143 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de F2, ou seja, 1698 kg ha<sup>-1</sup> do produto. Apesar de não existir ainda no Brasil faixas de teores discriminando deficiência, suficiência e excesso para a cultura do milho, observou-se, em ambos os tratamentos, concentração superior a encontrada na literatura para essa cultura, que é de 2,5-11,4 g kg<sup>-1</sup> em folhas+colmo (Korndörfer et al., 2004). Isso provavelmente ocorreu porque, no presente trabalho, a parte analisada foi somente a folha.

Em função desses resultados, é possível inferir que as plantas de milho estavam nutricionalmente bem equilibradas e que a aplicação de K proporcionou maior acúmulo de Si nas folhas dessa cultura. Além disso, os melhores resultados obtidos com a aplicação do produto F2 deve-se a constituição do produto com Si.

A população final de plantas não foi afetada pelos tratamentos, sendo a média em todo o experimento de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>, bem como, o número de espigas por planta (dados não apresentados). Com relação ao número de grãos por espiga e a massa de 100 grãos, esses componentes foram afetados pelos tratamentos (Figura 2).



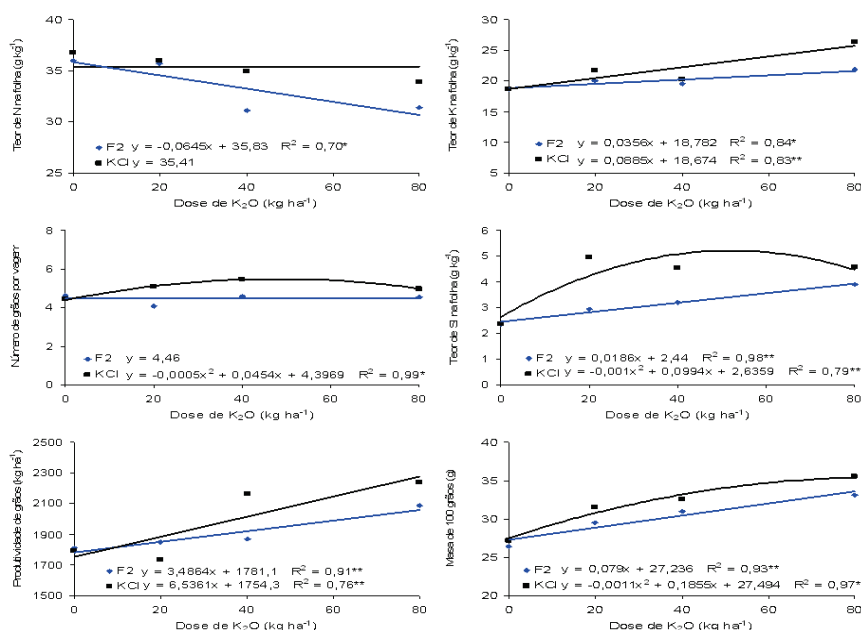
**Figura 2.** Teores de K e Si nas folhas, número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade de grãos da cultura do milho em função de fontes e doses de potássio na semeadura.

O número de grãos por espiga foi incrementado pelo aumento das doses de K, com efeito linear para o KCl e quadrático para o F2. Assim, o máximo valor obtido foi com a dose calculada de 126 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, ou seja, com a aplicação de 1496 kg ha<sup>-1</sup> do produto. Nessa dose de K<sub>2</sub>O o número de grãos por espiga, decorrente da aplicação do F2, foi maior estatisticamente em relação à mesma dose proveniente do KCl. A massa de 100 grãos aumentou linearmente com o aumento da dose de K, independentemente da fonte. Os incrementos no número e na massa dos grãos, promovidos pela aplicação do K, refletiram nos resultados de produtividade de grãos (Figura 2). Assim, a produtividade de grãos de milho foi incrementada pelo aumento das doses de K, com efeito linear para o KCl e quadrático para o F2. A máxima produtividade foi obtida com a dose calculada de 146 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, ou seja, com a aplicação de 1734 kg ha<sup>-1</sup> do produto.

Esses resultados indicam que o F2 (fonolito) pode ser utilizado como fonte de K para a cultura do milho, com efeito bem semelhante ao KCl. O F2 proporcionou na dose de 146 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aumento na produtividade de grãos da ordem de 35,3 %, ou seja, 2321 kg ha<sup>-1</sup>, ou ainda, 38,7 sacas de milho, em relação a testemunha (0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O). Com essa mesma dose (146 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) o KCl proporcionou aumento na produtividade de grãos da ordem de 32,4 %, ou seja, 2111 kg ha<sup>-1</sup>, ou ainda, 35,2 sacas de milho, em relação a testemunha.

### Cultura do Feijão

Analisando os resultados de diagnose foliar, constata-se que os tratamentos influenciaram apenas os teores de N e K (Figura 3). No caso do N a aplicação de F2 reduziu o teor do elemento linearmente, enquanto que a aplicação de KCl não alterou os resultados.



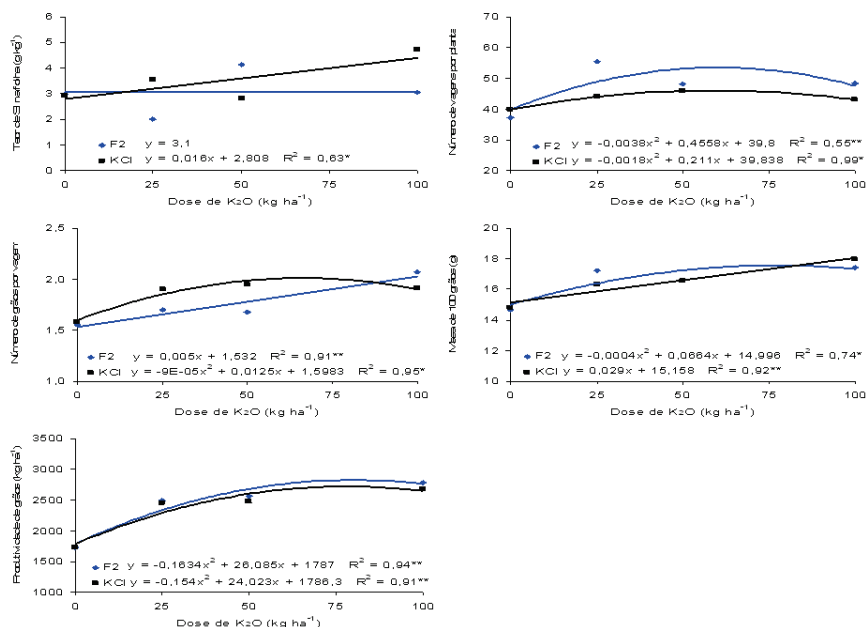
**Figura 3.** Teores de N, K e Si nas folhas, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos da cultura do feijão em função de fontes e doses de potássio na semeadura.

Quanto ao teor de K, ambas as fontes proporcionaram aumento linear, sendo mais expressivo com a aplicação de KCl. Esses resultados evidenciaram que a fontes F2 tem potencial para fornecer K à cultura do feijoeiro semelhante ao KCl. Os teores de N, Ca e Mg estavam dentro da faixa considerada adequada para o feijoeiro, em ambos os tratamentos, e os de P estavam acima do adequado e os de S abaixo (dados não apresentados). Quanto aos teores de K, verificou-se que apenas no tratamento controle (sem aplicação de K) os valores encontravam-se abaixo da faixa considerada adequada. As faixas de teores adequados de nutrientes para a cultura do feijão, segundo Ambrosano et al. (1996), são: 30-50, 2,5-4,0, 20-24, 10-25, 2,5-5,0, e 2,0-3,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para N, P, K, Ca, Mg e S. A aplicação de K proporcionou aumento significativo no teor de Si nas folhas do feijoeiro, porém, de forma mais expressiva com a aplicação de KCl (Figura 3), sendo os dados ajustados a função quadrática, em que o maior valor foi obtido com aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Quando da aplicação de F2, o efeito foi linear, provavelmente pelo produto conter Si na sua composição. O aumento do teor de Si nas folhas do feijoeiro, mesmo com a aplicação de uma fonte que não contém Si em sua composição, como o KCl, pode ser devido ao fato do K atuar nos processos osmóticos da planta, melhorando a eficiência de uso da água, o que pode ter aumentado a absorção de Si, já que este é absorvido por fluxo de massa (Korndörfer, 2006). A população de plantas e o número de vagens por planta não foram afetadas pelos tratamentos (dados não apresentados). O número de grãos por vagem sofreu pequeno aumento com a aplicação de K na forma de KCl, atingindo o maior valor na dose de 45 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os maiores efeitos da aplicação de K foram observados na massa de 100 grãos (Figura 3), sendo que ambas as fontes proporcionaram aumentos, com efeito linear para doses de F2 e quadrática para doses de KCl, atingindo o máximo valor com a dose calculada de 84 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. O incremento no número de grãos, pelo KCl, e na massa dos grãos, por ambas as fontes de K, refletiu em aumentos lineares na produtividade de grãos do feijoeiro (Figura 3), independentemente das fontes utilizadas. Esses resultados indicam que o F2 (fonolito) pode ser utilizado como fonte de K para a cultura do feijão, com efeito semelhante ao KCl. Ambas as fontes proporcionaram aumentos, na produtividade de grãos, comparando o controle (0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e a maior dose (80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), da ordem de 25 e 15%, ou seja, 448 e 278 kg ha<sup>-1</sup>,

ou ainda, 7,5 e 4,6 sacas, respectivamente, para o KCl e F2.

## Cultura da Soja

Os resultados significativos estão contidos na Figura 4. Assim, não se constatou efeito dos tratamentos sobre a nutrição da cultura da soja (dados não apresentados).



**Figura 4.** Teores Si nas folhas, número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos da cultura da soja em função de fontes e doses de potássio na semeadura.

Todos os nutrientes estavam dentro das faixas de teores adequados para a cultura da soja que, segundo Ambrosano et al. (1996), são: 40-54, 2,5-5,0, 17-25, 4-20, 3-10 e 2,1-4,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para N, P, K, Ca, Mg e S. O teor de Si (Figura 4) aumentou com a aplicação de KCl, enquanto a aplicação do produto F2 não alterou os resultados, ficando em média em 3,1 g kg<sup>-1</sup>. Korndörfer et al. (2004), mediante revisão de

literatura, descrevem que para a cultura da soja os teores de Si variam de 1,0-3,5 g kg<sup>-1</sup> nas folhas.

Com relação aos componentes da produção, apenas a população final de plantas não foi alterada pelos tratamentos (dados não apresentados). Os dados de número de vagens por planta (Figura 4) foram ajustados a funções quadráticas para ambas as fontes, atingindo os máximos valores com as doses calculadas de 59 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente, para KCl e F2. No entanto, vale ressaltar que em todas as doses a utilização do produto F2 proporcionou maiores valores de vagens por planta em relação à utilização de KCl. Quanto ao número de grãos por vagem (Figura 4), os dados foram ajustados a função quadrática, para o KCl, atingindo o maior valor na dose calculada de 69 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, e linear para F2. A massa de 100 grãos (Figura 4) aumentou de forma linear, quando da aplicação de KCl, e de forma quadrática com a fonte F2, atingindo o máximo valor com a dose calculada de 83 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os resultados de produtividade de grãos de soja foi um reflexo dos resultados obtidos quanto aos componentes da produção. Assim, a aplicação de ambas as fontes de K proporcionaram aumentos até as doses calculadas de 78 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O provenientes, respectivamente, de KCl (130 kg ha<sup>-1</sup>) e F2 (950 kg ha<sup>-1</sup>). As doses calculadas proporcionaram aumentos, na produtividade de grãos, em relação ao controle (0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), da ordem de 58,0 e 63,4%, ou seja, 1000 e 1097 kg ha<sup>-1</sup>, ou ainda, 16,7 e 18,3 sacas, respectivamente, para o KCl e F2.

## Conclusões

A aplicação do produto F2 melhora a nutrição da cultura do arroz de sequeiro em K e Si. Na cultura do arroz de sequeiro a aplicação do produto F2 proporciona incrementos na produtividade de grãos da ordem de 69 % em relação ao controle, contudo o KCl proporcionou aumento de 79 % na produtividade de grãos. A aplicação do produto F2 melhora a nutrição da cultura do milho em K e Si. Na cultura do milho a aplicação do produto F2 proporciona incrementos na produtividade de grãos da ordem de 35,3 % em relação ao controle, índice semelhante ao KCl (32,4 %). A aplicação do produto F2 melhora a nutrição da cultura do feijão em K e Si, porém reduz os teores de N sem, contudo, afetar o estado nutricional. Na cultura do feijão a aplicação do produto F2 proporciona incrementos na produtividade de grãos da ordem de 15% em relação ao controle. Contudo o KCl proporcionou





aumento de 25% na produtividade de grãos. A aplicação do produto F2 bem como de KCl não altera o estado nutricional da cultura da soja. Na cultura da soja a aplicação do produto F2 proporciona incrementos na produtividade de grãos da ordem de 63,4%, em relação ao controle, índice superior ao proporcionado pelo KCl, que foi 58,0 %. Os resultados obtidos com as quatro principais culturas graníferas cultivadas no Brasil indicam que o produto F2 (Fonolito Moído) pode ser utilizada com fonte de K, com efeito semelhante ao KCl, que é a principal fonte de K utilizada no País.

## 5. Referências Bibliográficas

AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, p.189-203, 1996. (Boletim técnico, 100).

CANTARELLA, H. FURLANI, P.R. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, p.45-71, 1996 (Boletim Técnico 100).

KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L.A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 39p. (Boletim Técnico, 02).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.

# ROCHA FONOLITO MOÍDA COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA

*Mauricio Antonio Cuzato Mancuso<sup>1</sup>*

*Rogério Peres Soratto<sup>2</sup>*

*Matheus Gabriel Palhano<sup>3</sup>*

*Carlos Alexandre Costa Crusciol<sup>2</sup>*

## Resumo

Com o objetivo de avaliar a eficiência de uma rocha fonolito moída e fornecer K para a cultura do café, o presente experimento foi desenvolvido em uma propriedade no município de Pirajú-SP, sendo conduzido nos anos agrícolas de 2008/09 e 2009/10. Os tratamentos foram duas fontes de K (KCl e rocha fonolito moída MC YOORIN F2) e três doses (75, 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), aplicadas em um cafezal cultivar Mundo Novo, já formado e produtivo, e mais uma testemunha (sem aplicação de K). O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3 + 1, com quatro repetições. As doses aplicadas influenciaram significativamente o teor foliar de K no ano agrícola 2008/09, com resultados maiores para o KCl. Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre o teor foliar de K no ano agrícola 2009/10. Os teores foliares de todos os nutrientes estavam dentro da faixa considerada adequada para a cultura. Para teor de nutrientes dos grãos, os tratamentos afetaram apenas o teor de K e de Ca no primeiro ano agrícola estudado e o teor de Ca no segundo ano agrícola. Os tratamentos proporcionaram efeito significativo para exportação de todos os nutrientes estudados, exceto o Ca no primeiro ano agrícola. Os tratamentos influenciaram significativamente a produtividade em ambos os anos agrícolas. O K e o N foram os nutrientes exportados em maior quantidade pelos grãos de café. Obteve-se as maiores produtividades com a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A aplicação de MC YOORIN F2 aumenta a produtividade de café em coco semelhante ao KCl na dose de K<sub>2</sub>O recomendada para a cultura.

---

<sup>1</sup> Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Paraná (Unidade CIC), Brasil  
Rua Senador Accioly Filho, 298 – CIC – Curitiba, PR rodrigo.zawadzki@pr.senai.br, alessandrav@  
hotmail.com, fszanella@uol.com.br, patricia17\_bsantos@hotmail.com



**Palavras-chave:** cafeicultura, nutrição mineral, adubação potássica, pó-de-rocha, produtividade de grãos.

## Introdução

A cultura do café está entre as principais culturas agrícolas do Brasil. E para que o café continue gerando divisas para o País, novas tecnologias devem ser estudadas para melhorar tanto a produtividade quanto a qualidade de bebida, podendo, assim, vencer barreiras impostas pelos importadores.

A produção brasileira de café está em torno de 43 milhões de sacas de 60 Kg do grão beneficiado, sendo que a produtividade média é de aproximadamente 22 sacas de 60 kg ha<sup>-1</sup>, porém existem estudos comprovando que o cafeeiro tem potencial produtivo de 100 sacas de 60 kg ha<sup>-1</sup>. Mas para que ocorra tal produção, o manejo da adubação deve ser realizado adequadamente, especialmente a adubação com K, pois sua extração se compara ao N, nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas. O K é um nutriente de extrema importância, pois confere maior resistência a doenças, atua como regulador de turgescência e participa da formação do grão do café, proporcionando uma melhor qualidade de bebida para plantas bem nutridas com o nutriente.

Os sintomas de deficiência aparecem primeiramente nas folhas, ocasionando o amarelecimento das pontas e bordos, que posteriormente secam e caem. Os ramos com frutos podem secar do ápice para base, a porcentagem de grãos chochos pode aumentar, culminando em plantas menos tolerantes às adversidades. Devido a todos esses problemas, a demanda de fertilizantes pelos cafezais torna-se cada vez mais importante.

Outro nutriente que vem sendo estudado na cultura do café é o silício (Si), por ser um nutriente benéfico às plantas. Apesar do café não ser um cultura acumuladora de Si, sabe-se que o elemento, especialmente associado ao K, pode influenciar na qualidade de bebida no sentido que uma menor incidência de doenças preserva o enfolhamento do cafeeiro, proporcionando maior uniformidade de grãos, os quais estão diretamente relacionados com a qualidade de bebida do café (Chalfoun e Carvalho, 2002).

Assim sendo, tem-se utilizado diversos tipos de fertilizantes alternativos para fornecer K e Si, entre eles o “pó-de-rochas” potássicas, que nada mais é que a utilização de rochas finamente moídas como fonte de nutrientes.

Portanto, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o efeito de uma Rocha Fonolito moída (“MC YOORIN F2”) como fonte de K para a cultura do café.

## Material e métodos

O presente experimento foi desenvolvido no Sítio Monte Alegre, pertencente à Unimesp Agropecuária, Pirajú-SP. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Embrapa, 1999).

Conduziu-se o experimento nas safras 2008/2009 e 2009/2010. O talhão onde se instalou o experimento era constituído por cafeeiros (*C. arabica* L.) da cultivar Mundo Novo, implantados em 02/2006, no espaçamento 3,50 x 0,70 m.

Em agosto de 2008 foi coletado solo nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m. Realizou-se a análise química do solo, obtendo-se os seguintes resultados, utilizando a metodologia proposta por Raij et al. (2001): profundidade 0-0,20 m: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,1; M.O. = 16 g dm<sup>-3</sup>; P<sub>resina</sub> = 23 mg dm<sup>-3</sup>; K = 1,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 39 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 15 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 31 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC = 87 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V% = 64. Para a profundidade 0,20-0,40 m: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,7; M.O. = 13 g dm<sup>-3</sup>; P<sub>resina</sub> = 9 mg dm<sup>-3</sup>; K = 1,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 30 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 11 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 39 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CTC = 81 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V% = 52.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3 + 1, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por duas fontes de K (KCl – 58% de K<sub>2</sub>O e F2 – 8,42% de K<sub>2</sub>O) e três doses (1/2, 1 e 2 vezes a dose de K<sub>2</sub>O recomendada para a cultura do café, ou seja, 75, 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e mais uma testemunha (sem aplicação de K).

Cada parcela foi constituída por três fileiras de plantas, com 6,3 m de comprimento. As parcelas foram separadas umas das outras por uma planta, no sentido da fileira, e uma linha. A área considerada útil foi a fileira central, excluindo uma planta de cada extremidade.

A fonte alternativa de K estudada no presente trabalho foi a rocha fonolito moída F2 (MC YOORIN F2). Esse produto foi obtido junto à Mineração Curimbaba, localizada na região de Poços de Caldas-MG. O produto MC YOORIN F2 nada mais é que o produto de rochas fonolito



finamente moídas destinadas a fornecerem nutrientes às culturas, especialmente K.

A aplicação dos tratamentos foi realizada em 10/2008 e repetida em 11/2009. Distribuiu-se os fertilizantes uniformemente sob a projeção da saia dos cafeeiros. O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com os critérios do produtor.

Foram determinados os teores foliares de macronutrientes e Si do 3º par de folhas a partir do ápice de ramos frutíferos, na altura média da planta, coletado no início do verão de cada ano agrícola (Raij et al., 1997). Os teores de macronutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). A mesma metodologia foi empregada para determinar o teor de macronutrientes nos grãos de café em coco, colhidos em julho de ambos os anos. O teor de Si foi determinado segundo técnica adaptada por Korndörfer et al. (2004).

A produtividade foi medida em cinco plantas escolhidas ao acaso dentro da área útil de cada parcela. Após a secagem, os grãos foram pesados e a umidade foi corrigida para 12% (base úmida). Dessa forma, extrapolaram-se os dados para kg ha<sup>-1</sup> de café “em coco”. Posteriormente, calculou-se a produtividade relativa através da relação entre a produtividade em cada tratamento e a produtividade no controle, de acordo com o proposto por Barnes e Kamprath (1975).

Foi calculado, também, o Índice de Eficiência Agronômica (IEA), por meio da relação percentual entre a produtividade propiciada pelas fontes de K, aplicadas na mesma dose, subtraindo-se de ambas a produtividade do tratamento sem adubação potássica (Goedert e Lobato, 1984). Dessa forma:  $IEA (\%) = [(Y2 - Y1) / (Y3 - Y1)] \times 100$ , onde: Y1 = produtividade de grãos no controle; Y2 = produtividade de grãos obtida com a fonte testada (MC YOORIN F2) em cada uma das doses; Y3 = produtividade de grãos obtida com a fonte referência (KCl) na dose correspondente. Salienta-se que o valor de Y1 foi obtido pela média de 8 parcelas do tratamento controle.

Por fim, verificou-se a quantidade de macronutrientes exportados pelos grãos de café em coco, multiplicando-se a produtividade de cada parcela pelos respectivos teores de macronutrientes nos grãos, sendo os valores convertidos para kg ha<sup>-1</sup>.

Os resultados foram submetidos à análise de variância. As médias das doses foram submetidas à análise de regressão, adotando-se como

critério para escolha do modelo matemático a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade obtida pelo teste t (DMS).

## Resultados e discussão

A utilização das fontes de K (KCl e F2) não influenciaram os teores de P, N, Ca, Mg e S no experimento (Figuras 1 e 2). Entretanto, os mesmos dentro das faixas recomendadas para a cultura (Raij et al., 1997). Na safra 2008/2009 houve incremento de K com a aplicação das duas fontes, porém o KCl proporcionou um incremento maior. No ano 2008/09, a aplicação de doses crescentes de K incrementou o teor desse nutriente nas folhas do cafeeiro, independentemente da fonte utilizada (F2 ou KCl), porém com resultados superiores quando se utilizou o KCl (Figura 1). Apesar de se utilizar uma quantidade maior da rocha, em relação ao KCl, para se obter o maior teor de K foliar, deve-se salientar que o F2, apesar de apresentar menor teor de  $K_2O$ , tem uma solubilidade menor que a do KCl por se tratar de um pó-de-rocha, sendo disponibilizado mais lentamente às plantas. Já no 2º ano, não houve efeito significativo dos tratamentos no teor do elemento (Figura 1). A ausência de resposta pode ser explicada pelo teor de K no solo estar adequado para a cultura. Outra explicação aceitável para esse fato seria que no primeiro ano agrícola a produtividade superou a do segundo ano (Figura 4), havendo maior exigência de K no primeiro ano pelas plantas de café, com a finalidade de enchimento de grãos. Em outras palavras, houve uma maior exportação de K pelos grãos no primeiro ano agrícola, com uma tendência linear para ambas as fontes (Figura 5). Esses resultados estão de acordo com Silva et al. (2001), os quais comentam que esse comportamento deve-se à maior absorção e, conseqüentemente, maior exportação de nutrientes pela safra de alta produção. Observa-se, ainda, que o teor de K é ótimo na dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  e que os teores de K na dose 0 encontravam-se abaixo da faixa considerada adequada para a cultura, indicando que a não aplicação desse nutriente acarretou deficiência do mesmo na cultura do café (Figura 1).

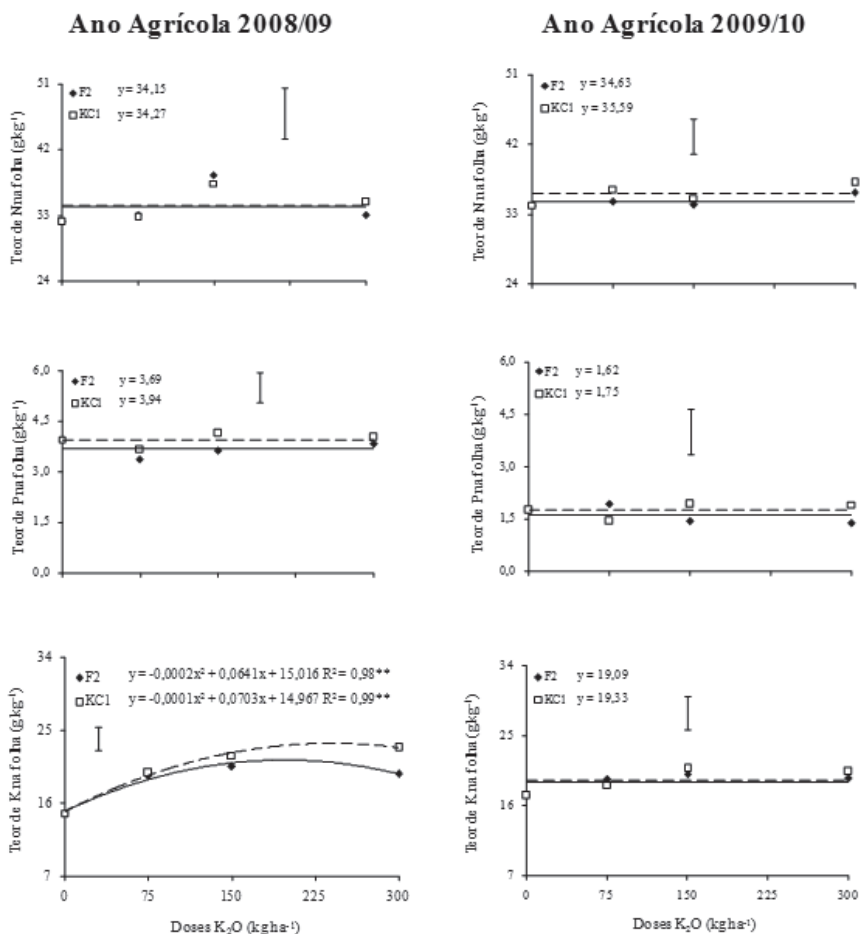
O teor de Si foi apenas no 1º ano agrícola, pela fonte MC YOORIN F2 (Figura 3). O fato deve-se à presença de Si na composição da fonte (aproximadamente 53%), podendo, juntamente com o K, beneficiar a cultura do café, principalmente na defesa fitossanitária. A produtividade foi influenciada pelos tratamentos em ambos anos (Figura 4). De maneira



geral, a fonte KCl apresentou os melhores resultados quanto à produtividade.

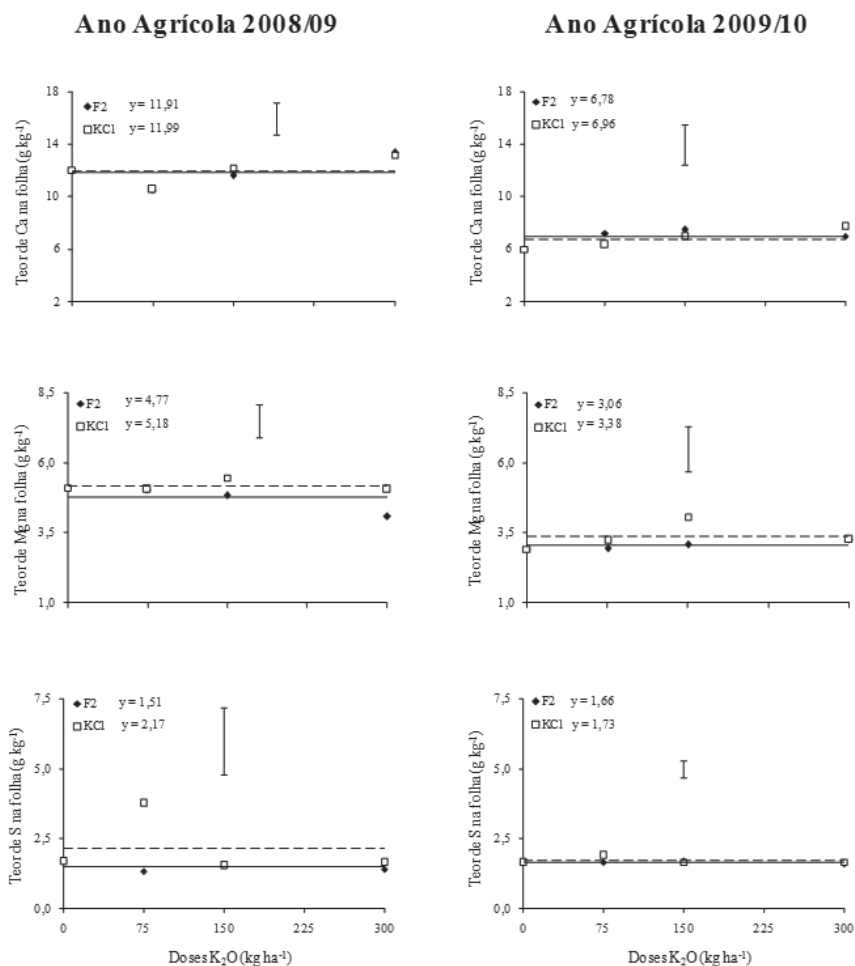
Na Tabela 1, observa-se que os maiores incrementos para produtividade relativa de grãos de café em coco ocorreram com a aplicação da dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de F2 no primeiro 1º ano. A aplicação da fonte MC YOORIN F2 proporcionou produtividade 1,5 vezes maior em relação às parcelas sem aplicação de K. Nessa mesma dose, o F2 proporcionou aumento de produtividade maior que o KCl. O IEA, no 1º ano agrícola, foi maior para a fonte F2 em todas as doses aplicadas, exceto na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Em relação ao ano agrícola seguinte, o F2 foi mais eficiente em fornecer K às plantas do que o KCl apenas na dose 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Assim sendo, pode-se inferir que a fonte F2 pode ser utilizada como fonte de K para a cultura do café, com resultados semelhantes aos do KCl. Guelfi-Silva et al. (2013), estudando a nutrição e eficiência da adubação proporcionada pela aplicação de fontes alternativas de K, concluíram que o pó-de-rochas pode ser usado como fonte do nutriente, apresentando bom IEA na dose recomendada de K<sub>2</sub>O.

Em relação à exportação de nutrientes pelos grãos de café, pode-se dizer, de modo geral, que a quantidade dos mesmos, independente da aplicação ou não de K foi, em ordem decrescente, no 1º ano K>N>Mg>Ca>S>P, e no 2º ano K>N>Ca>Mg>P>S (Figuras 5 e 6), semelhante ao observado por Rajj (2007) e Matiello et al. (2010).

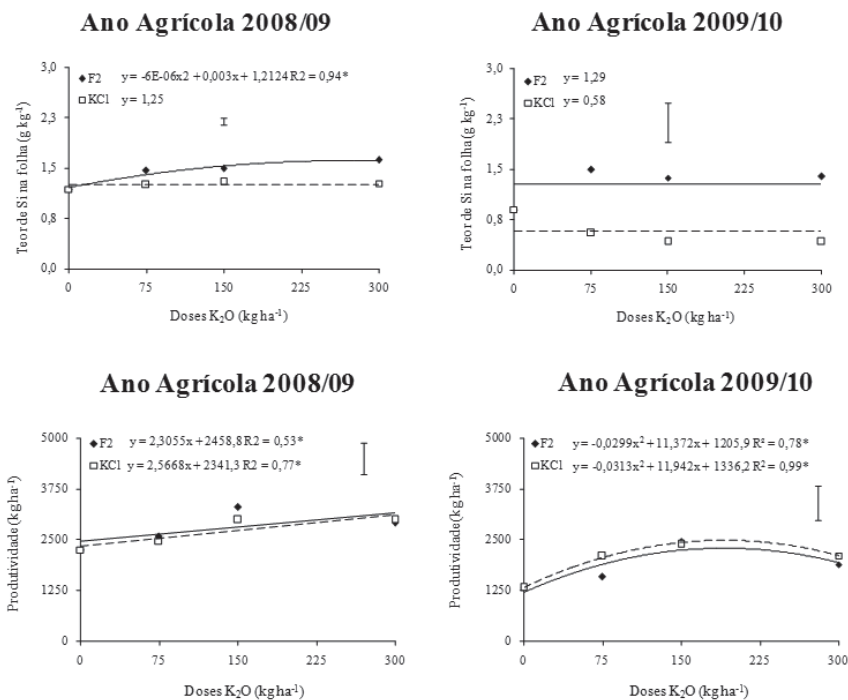


**Figura 1.** Teores de N, P e K nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. \*\* é significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).

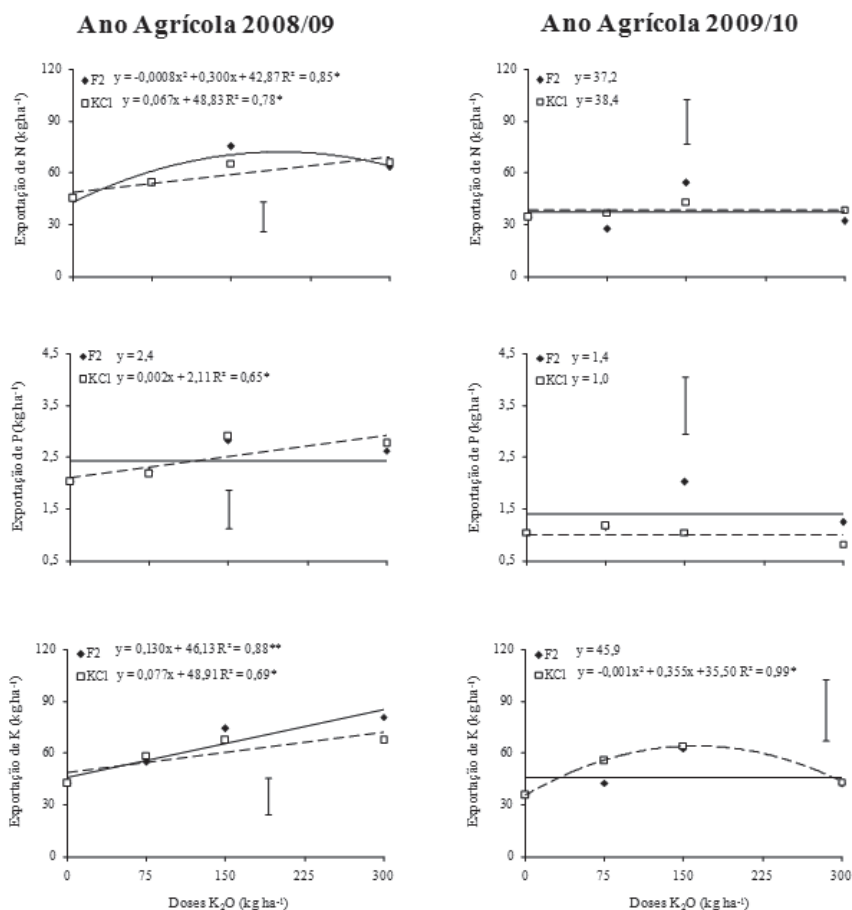




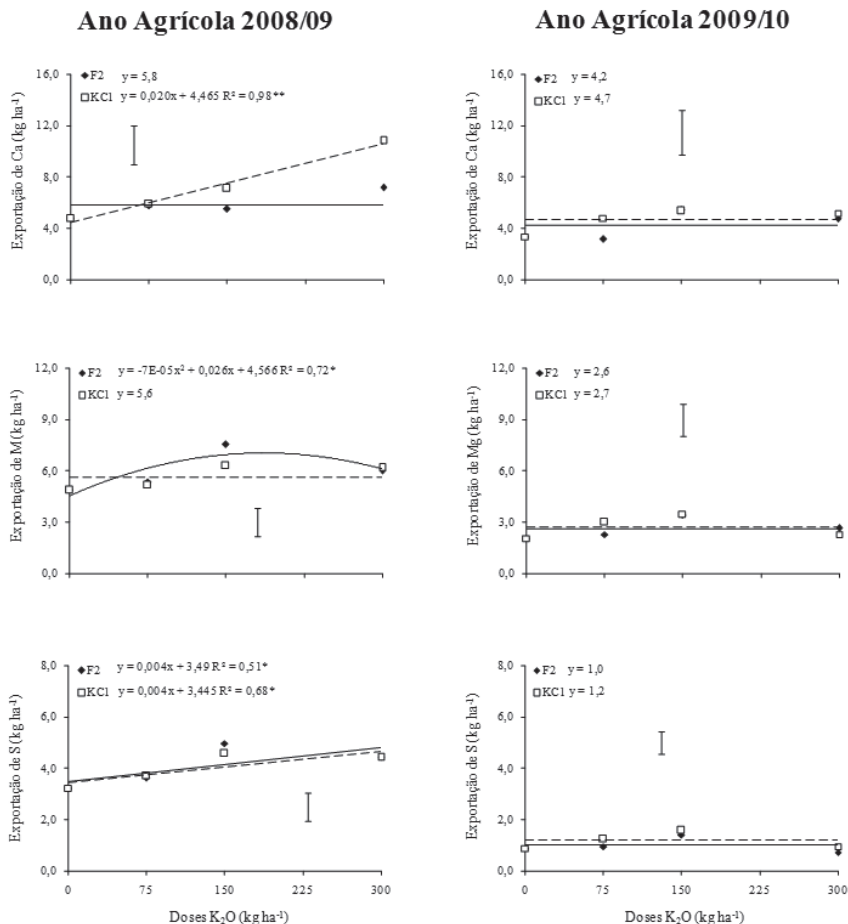
**Figura 2.** Teores de Ca, Mg e S nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. (—) e (♦) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).



**Figura 3.** Teor de Si nas folhas da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. \* é significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. (—) e (◆) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).



**Figura 4.** Produtividade de grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. \* é significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. (—) e (♦) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05).



**Figura 5.** Exportação de N, P e K pelos grãos em coco da cultura do café em função de fontes e doses de K, em dois anos agrícolas. \* e \*\* são significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. (—) e (♦) indicam a fonte F2; (---) e (□) indicam a fonte KCl. Barra vertical indica a DMS (P=0,05)

**Tabela 1.** Aumento da produtividade e produtividade relativa de grãos de café em coco em função de fontes e doses de potássio e índice de eficiência agrônômica (IEA) de três doses da fonte MC YOORIN F2 em comparação com KCl.

Dose K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	Aumento da produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>		Aumento da produtividade (%) <sup>(2)</sup>		IEA (%)
	F2	KCl	F2	KCl	
			2008/09		
0	-	-	100,0	100,0	-
75	1255,1	1152,0	195,1	187,3	108,9
150	1979,4	1673,9	250,0	226,8	118,3
300	1597,2	1673,0	221,0	226,7	95,5
Média	-	-	-	-	107,6
			2009/10		
0	-	-	100,0	100,0	-
75	266,7	779,3	120,2	159,0	34,2
150	1148,1	1071,3	187,0	181,2	107,2
300	572,6	789,3	143,4	159,8	72,5
Média	-	-	-	-	71,3

<sup>(1)</sup>Aumento de produtividade em relação à média de produtividade no controle. <sup>(2)</sup>Produtividade relativa obtida em relação à média do controle (controle = 100%).

## Conclusões

As maiores produtividades de grãos de café em coco são obtidas com a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, independentemente da fonte utilizada. A aplicação da rocha fonolito moída MC YOORIN F2 aumenta a produtividade de café em coco, com incrementos semelhantes aos proporcionados pelo KCl na dose de K<sub>2</sub>O recomendada para a cultura. O produto é eficiente em fornecer K para a cultura do café.

## Referências bibliográficas

- BARNES, J. S.; KAMPRATH, E. J. Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils. Raleigh: North Carolina State University, 1975. 23 p. (Technical Bulletin, 229).
- CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. L. Doenças e nematóides em cafeeiros. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. (Org.). Cafeicultura. Lavras: UFLA, 2002. p. 262-276.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação dos solos. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 1999. 412 p.
- GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.
- GUELFIL-SILVA, D.R. et al. Eficiência agrônômica da adubação potássica na alface adubada com fontes alternativas de nutrientes. Revista Ciência Agronômica, v. 44, n. 2, p. 267-277, 2013.
- KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante.



- Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 39 p. (Boletim Técnico, 02).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 308 p.
- MATIELLO, J. B. et al. Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2010. 542 p.
- RAIJ, B. van et al. Café. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101 (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC, 2001. 284 p.
- RAIJ, B. van. A fertilização do cafeeiro no Brasil e o desenvolvimento sustentável. In: ZAMBOLIM, L. Boas práticas agrícolas na produção de café. Viçosa, MG: Ed. UFV 2007. p. 61-82.
- SILVA, E. B. et al. Respostas do cafeeiro à adubação potássica para baixa e alta produção. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1331-1337, 2001.

# PÓS DE ROCHAS COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA USO AGRÍCOLA EM ARGISSOLOS VERMELHOS

*Augusto Friederichs<sup>1</sup>*

*Álvaro Luiz Mafra<sup>2</sup>*

*Jaime Antonio de Almeida<sup>3</sup>*

*Luiz Paulo Rauber<sup>4</sup>*

*Andréia Patricia Andrade<sup>5</sup>*

## Resumo

O potássio desempenha várias funções nas plantas. A utilização de pós de rochas é uma opção aos fertilizantes minerais solúveis, sendo utilizados como fonte de nutrientes às plantas e para recuperação de solos empobrecidos. Este trabalho avalia rochas ricas em feldspatos como fontes de potássio e seu potencial para o suprimento deste nutriente a espécies cultivadas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Lages, SC, utilizando dois solos, Argissolos Vermelhos com as culturas trigo e ervilhaca. As plantas foram cultivadas em vasos. Os materiais utilizados foram pós de rochas feldspáticas: microclínio natural moído; microclínio moído submetido a tratamento térmico (termopotássio); microclínio moído misturado com material orgânico de turfeira, formando composto turfa-K, sendo todos peneirados a <0,106mm e adubo comercial KCL na dose de 80 mg kg<sup>-1</sup>. Utilizou-se três doses de K para os pós de rochas, 80, 160 e 320 mg/kg. Os tratamentos foram incubados junto ao solo por um período de 60 dias. As determinações realizadas foram teor de potássio do solo pelo método

<sup>1</sup> Bolsista de iniciação científica, Acadêmico de Agronomia; Departamento de Solos e Recursos Naturais; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV-UDESC; Lages-SC; augustofriederichs@hotmail.com; <sup>2</sup> Professor Orientador; Departamento de Solos e Recursos Naturais; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV-UDESC; Lages-SC; a2alm@cav.udesc.br; <sup>3</sup> Professor; Departamento de Solos e Recursos Naturais; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV-UDESC; Lages-SC, a2jaa@cav.udesc.br; <sup>4</sup> Doutorando do Curso de Pós Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Recursos Naturais; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV-UDESC; Lages-SC; sr\_roiber@yahoo.com.br; <sup>5</sup> Doutoranda do Curso de Pós Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Recursos Naturais; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, CAV-UDESC; Lages-SC, andreiapatricia74@yahoo.com.br

Mehlich-1, resina trocadora de íons, além da massa seca e concentração de K no tecido vegetal das culturas. Os pós de rochas foram semelhantes ao tratamento testemunha quanto aos teores de K no solo, avaliados pelos dois métodos de análise, nos dois solos. Para o potássio no tecido vegetal, houve respostas positivas nos tratamentos que houve aplicação dos pós de rochas. Na avaliação da massa seca não houve efeito dos pós de rochas nos dois solos.

**Palavras chaves:** feldspato potássico, microclínio, potássio, agricultura.

## Introdução

O potássio é conhecido por desempenhar nas plantas funções vitais na fotossíntese, na translocação de fotossintetizados, na abertura e fechamento de estômatos, na ativação de catalisadores de plantas e em muitos outros processos fisiológicos (Taiz e Zeiger, 2004).

Os solos brasileiros são em geral ácidos e deficientes em nutrientes, necessitando correção química e adubação para garantir condições adequadas aos cultivos agrícolas. Isso destaca a importância de conhecer fontes apropriadas de nutrientes, face à crescente expansão da produção agropecuária no país. A demanda tem interesse especial para o caso dos fertilizantes potássicos, visto que a maior parte do elemento consumido no Brasil é importada (Nascimento e Loureiro, 2004).

A utilização de pós de rocha é uma opção aos fertilizantes minerais solúveis, sendo utilizados como fonte de nutrientes às plantas e para recuperação de solos empobrecidos, desequilibrados e que perderam grande parte das reservas de nutrientes dos seus constituintes minerais (Moreira et al., 2010). A disponibilização dos elementos nutritivos está relacionada ao tipo, quantidade e reatividade dos minerais, bem como dependente do grau de moagem, e da ação de microrganismos e fatores climáticos (Gillman et al., 2002).

O potássio pode estar presente no solo em várias formas, entre elas, o potássio que ocorre como um componente estrutural de minerais primários, tais como micas e feldspatos potássicos, e que se tornam disponíveis apenas pela decomposição desses minerais. Para as plantas o importante que esse potássio esteja na solução do solo, ou trocável, o que constitui o elemento





retido nas superfícies de colóides, que pode ser substituídos por outros íons, passando assim para a solução (Ernani et al., 2007).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a dissolução de potássio em água, de dois materiais, rocha moída de feldspato, e rocha moída de feldspato com tratamento térmico.

## Objetivos

O objetivo geral foi avaliar o uso de rocha de feldspato como fonte de potássio para uso agrícola. Os objetivos específicos foram os de comparar a fonte de potássio de rochas com outra fonte de fabricação química e utilizar solo de turfeira a fim de promover uma liberação do nutriente para o solo.

## Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Lages, SC, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo empregados dois solos e duas culturas teste. Os tratamentos constaram de formas e níveis de K, conforme segue: testemunha sem adubação; testemunha com adubação potássica solúvel, como cloreto de potássio, na dose de 80 mg kg<sup>-1</sup> de K; microclínio natural moído nas doses de 80, 160 e 320 mg kg<sup>-1</sup> de K; microclínio moído submetido a tratamento térmico (termpotássio) nas doses de 80, 160 e 320 mg kg<sup>-1</sup> de K; e microclínio moído misturado com material orgânico de turfeira, formando composto turfa-K, nas doses de 80, 160 e 320 mg kg<sup>-1</sup> de K.

Os materiais fonte de potássio foram moídos e peneirados para apresentarem granulometria inferior a 0,1 mm. No tratamento que foi utilizada a rocha com turfa, foram realizadas análises laboratoriais, para determinar os teores de potássio da turfa. Foram utilizadas duas metodologias para a determinação: a primeira descrita como Mehlich-1 ou duplo ácido, o qual obteve o resultado de potássio trocável, e pelo método de ataque sulfúrico, o qual determinou o potássio total da turfa. Essas análises foram necessárias para se fazer uma correção, descontando o potássio fornecido para a turfa, nos tratamentos que receberam esse material.

Os solos utilizados foram coletados no leste de Santa Catarina, incluindo dois ambientes representativos em termos de produção agrícola.



No município de Içara, às margens da rodovia de acesso entre Cocal e Criciúma, foi coletado um Argissolo Vermelho Sômbrico. No município de Sangão, em estrada secundária em direção a São Gabriel, foi coletado um Argissolo Vermelho-Amarelo. Em cada local de coleta foi retirado o solo de camada de 20 cm, peneirado em malha de 4 mm.

Em laboratório procederam-se análises de umidade para posterior correção de pH, que foi determinado em pelo método pH em água e em solução SMP. Os valores encontrados foram os seguintes: Solo Içara: umidade= 17,1% (umidade de coleta), pH em água=5,01, e pH em SMP= 5,6. Solo Sangão: umidade= 8,0%, pH em água= 4,8, e pH em SMP=6,52. Os solos analisados foram corrigidos para pH 5,2, o que resultou em 200kg/ha e 800kg/ha, respectivamente, de calcário dolomítico, corrigido para PRNT de 100%.

Os pós das rochas foram misturados manualmente e individualmente ao solo em sacos plásticos. Após mistura dos pós de rochas e do calcário, os solos foram incubados por um período de 90 dias, mantendo umidade constante equivalente a 80% da capacidade da capacidade de campo. Após a incubação o solo de cada tratamento foi transferido para os vasos de 5,5kg do solo.

As culturas teste utilizadas e cultivadas nos solo incubados com os tratamentos foram trigo (*Triticum aestivum L.*) permanecendo no vasos 70 dias, seguido de ervilhaca (*Vicia sativa L.*) com 66 dias de cultivo. O material vegetal da parte aérea foi colhido para determinação da produção de matéria seca da parte aérea (MSPA).

Os teores de K da parte aérea das plantas foram quantificados após digestão com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio. Após o cultivo das plantas foram coletadas amostras de solos homogêneas de cada balde, realizando a determinação do pH em água, Al trocável e K. O K do solo foi extraído com solução duplo ácido (Mehlich-1) e por resina trocadora de íons. Os procedimentos de análise de solo e planta são descritos em Tedesco et al. (1985), exceto para análise de K por resina, que seguiu as indicações de Raij e Quaggio (2001). Os resultados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias de pelo teste de t de Student ( $P > 0,05$ ).



## Resultados e Reflexão

Segundo dados mostrados na Tabela 1, o solo de Sangão não apresentou diferença estatística para os dois métodos de análise de potássio nos tratamentos envolvendo pó de rocha e testemunha, apenas com o tratamento com KCL, que se apresentou com o maior teor de potássio.

Para o solo Içara, os maiores teores de potássio pelo método de Mehlich foram observados no tratamento com KCL, os demais não se diferenciaram ao nível de 5% de significância. Para o método de extração por resina, o maior teor de K no solo mostrou-se também no tratamento com KCL, com os demais tratamentos não apresentando diferença estatística.

Segundo análise dos teores de potássio no tecido vegetal houve respostas positivas nos tratamentos que houve aplicação dos pós de rocha. Para o solo de Sangão, os tratamentos com pó natural e termopotássio ambos na dose de 320 mg kg<sup>-1</sup>, juntamente com KCL apresentaram os maiores valores de K na cultura do trigo. Já no solo de Içara não houve resposta dos pós de rochas e doses aplicadas, na concentração de K no tecido vegetal das duas culturas.

Na avaliação da massa seca conforme Tabela 2, o Argissolo Vermelho Sômbrico não apresentou diferença ( $p \geq 0.05$ ), não foi possível verificar efeito dos pós de rocha como fonte de potássio para a variável massa seca. Já no Argissolo Vermelho Amarelo houve diferença ( $p \geq 0.05$ ).

Porém tal significância não evidencia efeito de tratamento devido a dispersão dos valores entre os tratamentos. Leva-se em consideração que a massa seca não se comporta exclusivamente de acordo com o teor de potássio encontrado no solo.

**Tabela 1.** Teores de K no solo extraídos pelos métodos de Mehlich e resina, e teores de K no tecido vegetal de duas espécies cultivadas em solos incubados com diferentes tratamentos envolvendo fontes naturais de K (pós de rocha), em dois solos do leste de Santa Catarina, em ensaio conduzido em casa de vegetação.

Tratamentos	Teor de K no solo		Teor K no tecido	
	Mehlich	resina	trigo	ervilhaca
	————— mg kg <sup>-1</sup> —————		————— g kg <sup>-1</sup> —————	
Solo Sangão: Argissolo Vermelho Amarelo				
Testemunha	36,0 b	25,5 b	18,9 bc	22,9 d
KCL	105,3 a	75,0 a	26,7 a	34,9 a
80PN	34,0 b	34,5 b	18,4 bc	28,1 b
60PN	34,5 b	31,5 b	17,6 cd	26,1 bc
320PN	30,3 b	33,8 b	24,3 a	26,3 bc
80P+T	31,5 b	38,3 b	19,5 bc	27,2 bc
160P+T	33,8 b	45,0 b	21,1 b	25,4 c
320P+T	29,0 b	35,3 b	20,3 bc	25,2 cd
80TP	31,8 b	36,8 b	14,8 cd	26,6 bc
160TP	33,5 b	37,5 b	14,8 cd	25,8 bc
320TP	34,0 b	34,5 b	24,3 a	25,0 cd
Solo Içara: Argissolo Vermelho Sômbrico				
Testemunha	37,0 bc	47,3 b	18,8 d	7,4 cde
KCL	109,0 a	78,0 a	30,8 a	11,3 ba
80PN	37,5 bc	46,5 b	18,8 d	8,0 bcde
160PN	34,5 c	51,0 b	21,7 bcd	10,5 abc
320PN	36,8 bc	51,0 b	24,7 b	9,3 abcde
80PN+T	37,3 bc	44,3 b	21,9 bcd	6,3 e
160PN+T	36,3 bc	39,8 b	19,8 cd	11,0 abc
320PN+T	44,0 b	42,0 b	24,1 bc	6,6 de
80TP	36,0 bc	35,3 b	23,1 bcd	10,1 abcd
160TP	36,0 bc	33,0 b	21,8 bcd	10,7 abc
320TP	40,8 bc	39,8 b	21,1 bcd	11,8 a

Letras minúsculas na coluna não se diferenciam entre si, teste de comparação de médias t (student) ao nível de 5% de significância. Cada solo foi avaliado separadamente. Legenda dos tratamentos: PN = pó natural; T = turfa; TP = pó de rocha tratado termicamente (termopotássio). Os valores 80, 160 e 320 são as doses de K, em mg de K por kg de solo.

**Tabela 2.** Valores de Massa Seca das culturas de Ervilhaca e Trigo, cultivadas em solos incubados com diferentes tratamentos envolvendo fontes naturais de K (pós de rocha), em dois solos do leste de Santa Catarina, em ensaio conduzido em casa de vegetação.

	Peso em gramas de Massa Seca	
	Ervilhaca	Trigo
———— g ————		
Solo Sangão: Argissolo Vermelho Amarelo		
Testemunha	1,6 bcd	3,55 a
KCL	1,60 d	3,70 a
80PN	1,46 cd	3,32 ab
160PN	1,44 cd	3,3 ab
320PN	1,62 bcd	2,62 cd
80P+T	1,84 abcd	3,7 ab
160P+T	2,41 abc	3,3 ab
320P+T	2,04 abc	2,51 d
80TP	1,70 bcd	3,17 ab
160TP	2,11 ab	3,53 ab
320TP	1,29 d	3,06 bc
Solo Içara: Argissolo Vermelho Sômbrico		
Testemunha	0,47 abc	1,11 b
KCL	0,57 abc	1,62 a
80PN	0,44 abc	1,35 ab
160PN	0,57 ab	1,46 ab
320PN	0,50 abc	1,12 b
80PN+T	0,59 a	1,25 ab
160PN+T	0,42 bc	1,31 ab
320PN+T	0,38 c	1,05 b
80TP	0,38 c	1,63 a
160TP	0,42 bc	1,70 a
320TP	0,42 bc	1,10 b

Letras minúsculas na coluna não se diferenciam entre si, teste de comparação de médias t (student) ao nível de 5% de significância. Cada solo foi avaliado separadamente. Legenda dos tratamentos: PN = pó natural; T = turfa; TP = pó de rocha tratado termicamente (termopotássio). Os valores 80, 160 e 320 são as doses de K, em mg de K por kg de solo.



## Conclusões

Houve efeito positivo do tratamento térmico do pó de rocha, que aumentou a solubilização do potássio proveniente do pó de rocha. Tal resultado é interessante do ponto de vista de fornecimento desse nutriente às plantas, à medida que representa a forma do elemento prontamente disponível na solução do solo.

Os teores de K no solo não foram modificados pela adição dos pós de rocha, o que foi constatado após a incubação e cultivo nos dois solos analisados.

Em relação à absorção de K pelas plantas teste de trigo e ervilhaca, não houve diferencial do tratamento térmico ou da adição de turfa, comparativamente ao pó natural.

As fontes naturais de potássio (pó natural e termpotássio) não influenciaram na massa seca das culturas testes.

## Referencias Bibliográficas

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

GILLMAN, G.P.; BURKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. *Applied Geochemistry*, v. 17, p. 987-1001, 2002.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K.; SOUZA, G.B.; FREITAS, A.R. Production, nutritional status and chemical properties of soils with addition of cattle manure, reactive natural phosphate and biotite schist in Massai cultivar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 1883-1888, 2010.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F.E.L. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. (Série de estudos e Documentos, 61)

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p.189-199.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Nutrição mineral. In: TAIZ, L., ZEIGER, E. (eds.) *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.95-113.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

# USO DE PÓ DE ROCHA PARA TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTES – AUXIPÓ

*Rodrigo Augusto Franco de Oliveira Zawadzki<sup>1</sup>*

*Alessandra Rosa Vieira<sup>1</sup>*

*Francisco Soveral Zanella<sup>1</sup>*

*Patricia Barbosa dos Santos<sup>1</sup>*

## Resumo

A geração de pó de rocha nos filtros manga de indústrias mineradoras forma um resíduo sólido abundante, porém, de baixo valor agregado e geralmente destinado para composição asfáltica ou aterros industriais. No entanto, este resíduo apresenta teores elevados de alumínio e sílica em sua composição química, sugerindo um uso mais nobre como auxiliar de coagulação em estações de tratamento físico-químico de efluentes. Após ensaios laboratoriais realizados no SENAI CIC (Curitiba, PR), verificou-se que este pó foi capaz de aumentar em média 50% a remoção de cor e turbidez de três efluentes distintos. Desta forma, foi desenvolvida a tecnologia intitulada AUXIPÓ, que compreende uma alternativa mais sustentável à destinação do pó de rocha combinado com o aumento na eficiência do tratamento físico-químico de efluentes industriais.

**Palavras-chave:** Pó de rocha, AUXIPÓ, mineradoras, tratamento físico-químico.

## Introdução

A atividade mineradora gera quantidades significativas de poeiras, causando poluição atmosférica e condições de trabalho insalubres (IBRAM 2012). O uso de filtros de manga é a solução para o problema, porém, gera um resíduo sólido aderido às mangas que deve receber uma destinação final adequada. Este destino, geralmente compreende alternativas como composição em asfalto ou descarte em aterros (CETESTB, 1990).

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Paraná (Unidade CIC), Brasil  
Rua Senador Accioly Filho, 298 – CIC – Curitiba, PR rodrigo.zawadzki@pr.senai.br, alessandrav@hotmail.com, fszanella@uol.com.br, patricia17\_bsantos@hotmail.com

No entanto, a caracterização físico-química deste resíduo mostra possíveis alternativas mais nobres de uso, já que a sílica e a alumina, substâncias comuns em algumas rochas, são responsáveis por processos de coagulação em efluentes. A bentonita e a sílica ativada são exemplos de substâncias provenientes de rochas que podem ser utilizadas como auxiliares de coagulação no tratamento de efluentes (DI BERNARDO *et al.* 2005).

A possível utilização de resíduos de mineração no tratamento de efluentes fornece mais uma possibilidade de agregação de valor ao resíduo de pó de rocha, bem como possibilita uma destinação final mais sustentável para um resíduo de geração abundante nas mineradoras (VIEIRA *et al.* 2012).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver o uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação no tratamento físico-químico de efluentes industriais, a partir de um pó de rocha gerado em uma mineradora em Candeias do Jamari (RO).

## Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório Físico-Químico de Meio Ambiente do SENAI CIC, em Curitiba (PR). O pó de rocha, originado nos processos de desagregação mecânica (britagem e peneiramento) de uma mineradora em Candeias do Jamari (RO), foi coletado dos filtros manga e acondicionado em embalagens plásticas. O método utilizado neste trabalho envolveu as etapas descritas a seguir.

## Caracterização do pó de rocha

O pó de rocha foi caracterizado no Laboratório de Análises Mineraias e Rochas da UFPR (Universidade Federal do Paraná), através de difratometria de raios-X (com Difratômetro Philips PW 1830) e espectrometria de fluorescência de raios-X (com Espectrômetro Philips PW 2400).

## Ensaio de tratabilidade físico-química

A possibilidade de utilização do pó de rocha no tratamento físico-químico de efluentes industriais foi verificada através de ensaios de tratabilidade físico-química (*Jar Test*). Para tanto, foi monitorada a remoção





de cor e turbidez (com auxílio de espectrofotômetro UV-Vis) nos efluentes tratados com e sem a dosagem de pó de rocha como auxiliar de coagulação. Mediu-se também a velocidade de decantação do manto de lodo em cada ensaio, com o auxílio de um Cone de Imhoff e um cronômetro. Foram testados três efluentes distintos, provenientes de indústrias de bebidas, têxtil e de papéis decorativos para madeira.

## Proposta de disseminação do uso do pó de rocha no tratamento de efluentes

A proposta de disseminação do uso do pó de rocha no tratamento de efluentes foi realizada através do desenvolvimento de uma logomarca para comercialização, com o auxílio do Setor de Marketing do SENAI Paraná. Além disso, avaliou-se a logística necessária para ofertar o pó de rocha como auxiliar de coagulação às indústrias, através de análise financeira tendo como base a produção de uma mineradora em Candeias do Jamari (RO). Esta análise envolveu o levantamento do custo do auxiliar de produção (A) para ensacamento do pó, a massa que o mesmo é capaz de embalar por hora (M), o preço de transporte da carga de pó de rocha (CT) até Curitiba, PR, e o preço de venda do pó de rocha (PV), bem como as equações descritas na Tabela 1. Também foi realizado um levantamento de preços de venda da bentonita e sílica ativada em 5 fornecedores de produtos para tratamento de efluentes em Curitiba, PR.

Por fim, avaliou-se a capacidade de agregação de valor ao resíduo de pó de rocha, através de consulta de preços de venda de resíduo de pó de rocha em três mineradoras localizadas no estado de Rondônia.

**Tabela 1.** Equações utilizadas para análise financeira para viabilizar a comercialização do pó de rocha.

Parâmetro	Equação utilizada
Custo para ensacamento do pó de rocha em R\$/kg (CP)	$CP = A/M$
Custo total para ensacamento e transporte do pó de rocha em R\$/kg (CPT)	$CPT = CP + CT$
Lucro bruto em R\$/kg ( $LB_{RS}$ )	$LB_{RS} = PV - CPT$
Lucro bruto em % ( $LB_{\%}$ )	$LB_{\%} = (LB_{RS}/PV) \times 100$

## Resultados e discussões

Os seguintes resultados e inferências acerca do uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação no tratamento físico-químico de efluentes industriais podem ser admitidos.

### Caracterização do pó de rocha

O pó de rocha, obtido dos filtros manga da mineradora apresentou uma composição mineral de feldspato alcalino, plagiocásio e mica, com uma granulometria passante em 200 *mesh* (menor que 0,074 mm). A Tabela 2 traz a composição química deste pó.

Na Tabela 2 fica evidente que existe uma elevada concentração de sílica e alumina, bem como ausência de metais tóxicos como cromo, níquel e cádmio entre outros.

**Tabela 2.** Composição físico-química do pó de rocha coletado nos filtros manga de uma mineradora em Candeias do Jamari (RO).

Composto	Composição Físico-Química*							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MgO
Concentração em %	63,3	13,6	5,9	3,9	3,3	2,9	0,9	0,6
Composto	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	MnO	SO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Rb <sub>2</sub> O	SrO	P.F**
Concentração em %	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,60

\* Resultados normalizados para 100%.

\*\* P.F (Perda ao Fogo).

Segundo Di Bernardo (2005) e Metcalf & Eddy (2003), o uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação depende diretamente dos teores de sílica e alumina presentes na rocha, característica encontrada no pó de rocha conforme Tabela 2. A ausência de cromo, níquel, cádmio, e demais metais tóxicos também são importantes para o referido uso, pois garante inocuidade a este pó de rocha, não causando toxidez ao efluente, tampouco periculosidade ao lodo formado após a coagulação/floculação/decantação.

O baixo teor de cálcio e magnésio, verificado na Tabela 2, também traz uma característica interessante ao uso do pó de rocha como auxiliar de coagulação, já que não causaria dureza excessiva ao efluente. Desta forma,



não há prejuízo no uso de pó de rocha caso existam estratégias de reuso do efluente tratado na indústria, principalmente para alimentação industrial, uso em torres de resfriamento ou caldeiras.

No entanto, vale ressaltar que outros tipos de rocha podem não ser adequados ao uso como auxiliar de coagulação, pois podem espessar excessivamente os flocos, causando fenômenos de intumescimento (*bulking*), fornecer cor ou turbidez excessiva ao clarificado (devido a alta solubilidade), ou, por fim, elevar os teores de metais tóxicos tanto no efluente clarificado como no lodo.

### **Uso de pó de rocha no tratamento de efluentes industriais**

O uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação, no tratamento físico-químico de efluentes industriais, mostrou-se eficiente em termos de incremento na remoção de cor e turbidez de três efluentes distintos, conforme Tabela 3.

O comparativo entre os ensaios de *Jar test* apresentado na Tabela 3 indica um significativo incremento de 35 a 58% na remoção de cor e 40 a 50% na remoção da turbidez. Desta forma, admite-se que o pó de rocha utilizado apresentou características adequadas a atuar como um auxiliar de coagulação, sendo capaz de aumentar a massa no centro de carga dos colóides estáveis facilitando sua varredura durante a coagulação/floculação.

Notou-se também uma velocidade de sedimentação 1,7 vezes maior no ensaio com o efluente têxtil com a dosagem de pó de rocha frente ao ensaio sem a dosagem do mesmo. Isto confirma o aumento de massa/tamanho dos coágulos/flocos causados pelo uso do pó de rocha, aumentando assim a velocidade de sedimentação e proporcionando maior compactação ao lodo de fundo.

Em nenhum ensaio com a dosagem de pó de rocha foi observado aumento significativo no volume de lodo formado frente aos ensaios sem a dosagem do mesmo.

Tendo como base estes resultados, realizou-se um pedido de patente, registrado sob nº de documento 1302743559, de forma a proteger por segredo industrial informações importantes ao desenvolvimento e disseminação desta tecnologia junto às indústrias.

**Tabela 3.** Remoção de cor e turbidez nos testes com pó de rocha como auxiliar de coagulação em três efluentes distintos.

Origem do Efluente	Remoção em relação ao efluente bruto		Incremento na remoção em relação ao efluente clarificado sem a dosagem de pó de rocha	
	Remoção cor (%)	Remoção turbidez (%)	Remoção cor (%)	Remoção turbidez (%)
Indústria de Bebidas	87,0	74,0	35,0	40,0
Indústria de Papéis decorativos para madeira	99,8	99,4	57,8	50,2
Lavadeira Industrial Têxtil	95,7	96,4	57,2	42,2

## Tecnologia AUXIPÓ

O logotipo mostrado na Figura 1 foi desenvolvido para divulgar no mercado a tecnologia de uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação no tratamento físico-químico de efluentes. Esta tecnologia foi intitulada AUXIPÓ, e atualmente encontra-se sob proteção industrial, inclusive este logotipo, pelo pedido de patente n° de documento 1302743559.



**Figura 1.** Logotipo desenvolvido para divulgar a tecnologia AUXIPÓ.

## Análise financeira para o investimento na Tecnologia AUXIPÓ

Uma avaliação prévia foi realizada para estabelecer o ônus necessário à operacionalização da Tecnologia AUXIPÓ, bem como estabelecer o preço final de venda do produto gerado por esta proposta. Para isto, dada



a simplicidade do processo de obtenção e finalidade de uso do pó de rocha, levou-se em consideração que o seu processo produtivo restringe-se ao ensacamento e transporte do mesmo. Sendo assim, a Tabela 3 traz a composição de preços para produção e venda do pó de rocha, objeto da Tecnologia AUXIPÓ.

Não foram considerados gastos com equipamentos ou energia elétrica na etapa de ensacamento do pó de rocha na mineradora, conforme discutido no item 5.3.3.

Sendo assim, foi previsto um preço final de venda do pó de rocha de 0,50 R\$/kg, considerando sua venda em Curitiba, PR. Este valor ficou abaixo dos 1,11 R\$/kg, custo médio dos valores comercializados para a maioria dos auxiliares de coagulação disponíveis no mercado (bentonita e sílica ativada).

**Tabela 4.** Custos operacionais para produção, preço de venda e lucro bruto obtido na comercialização do pó de rocha para a Tecnologia AUXIPÓ.

Parâmetro	Valor
Custo do auxiliar de produção da mineradora para ensacamento do pó de rocha em R\$/h (A)	3,80
Quantidade de massa em kg de pó de rocha ensacados em 1 h (M)	600,00
Custo para ensacamento do pó de rocha em R\$/kg (CP)	0,00633
Custo para transportar o pó de rocha de Candeias do Jamari, RO até Curitiba, PR, incluindo frete, licenças de transporte e demais taxas em R\$/kg (CT)	0,20
Custo total para ensacamento e transporte do pó de rocha em R\$/kg, acrescido de R\$ 0,10 por embalagem plástica (CPT)	0,306
Preço venda do pó de rocha em R\$/kg (PV)	0,50
Lucro bruto em R\$/kg ( $LB_{RS}$ )	0,194
Lucro bruto em % ( $LB_{\%}$ )	38,73

## Agregação de valor ao resíduo de pó de rocha

Atualmente, o preço de venda do resíduo de pó de rocha nas mineradoras é em média 0,05 R\$/kg, geralmente para a indústria de asfalto. Para garantir a viabilidade financeira do transporte de cargas das mineradoras, uma carreta transporta no mínimo 15 ton de material. Sendo

assim, as mineradoras são capazes de gerar em média R\$ 750,00 com cada venda fechada de resíduo de pó de rocha. Porém, este preço baixo de venda é compensado com o grande volume de saída do resíduo, já que a demanda deste setor ainda é alta e as mineradoras necessitam de uma destinação final para o mesmo.

No entanto, algumas formações rochosas, como a descrita no item 5.1, apresentam um uso mais nobre frente à composição para asfalto, trazendo um diferencial competitivo para a venda deste resíduo por um valor maior. Sendo assim, sugere-se um valor de venda do pó de rocha, que possua características adequadas ao uso como auxiliar de coagulação, por 0,50 R\$/kg – 10 vezes maior que o valor de venda para composição em asfalto. Entretanto, dois fatores principais devem ser levados em consideração:

Inicialmente, o volume de saída para a finalidade de uso como auxiliar de coagulação é menor que o volume de saída para composição de asfalto. Isto deve-se a dosagem baixa do pó de rocha nos sistemas físico-químicos de tratamento.

Por fim, a disseminação da tecnologia AUXIPÓ junto às indústrias pode permitir que a mineradora que possuir uma rocha adequada ao uso como auxiliar de coagulação tenha a possibilidade de destinar o pó de rocha exclusivamente para esta finalidade, gerando uma alternativa de maior valorização frente à destinação para composição em asfalto. Afirma-se isto, pois, são poucas as formações rochosas no continente brasileiro que apresentam esta característica. Neste caso, esta mineradora seria uma das poucas possíveis fornecedoras do produto necessário à tecnologia AUXIPÓ, tornando a procura pela mesma grande.

## **Transporte e estocagem do pó de rocha**

O transporte do pó de rocha pode ser realizado via rodovias estaduais ou federais. Não há necessidade de licenças especiais de controle da Polícia Federal, Exército ou órgãos ambientais, uma vez que o pó de rocha é um produto inócuo, inerte e não perigoso.

A estocagem do pó de rocha nas indústrias que utilizarem a tecnologia AUXIPÓ necessita apenas de cobertura com telhado de qualidade, sem goteiras, piso de concreto e *pallets* para empilhamento. No entanto, o pó de rocha deve ser ensacado em embalagens plásticas ou “*big bags*” para serem



fornecidos às indústrias. Sendo assim, há a necessidade de investimento da mineradora em embalagens. Porém, não se faz necessário grandes investimentos com equipamentos do tipo “ensacadoras”, já que o pó de rocha é removido diretamente do fundo do filtro manga onde ficou retido. Ou seja, basta posicionar a embalagem na saída de fundo do filtro manga e abrir a válvula de liberação do pó retido nas mangas.

Ambas as características descritas acima facilitam a venda do resíduo bem como a aquisição do pó de rocha pelas indústrias que forem utilizar o mesmo no tratamento de efluentes.

## Conclusões

O uso de pó de rocha como auxiliar de coagulação é um processo inovador que se mostra potencialmente competitivo frente às demais alternativas para tratamento físico-químico de efluentes comercializadas atualmente, já que apresentou alta eficiência na remoção de cor e turbidez de três efluentes industriais distintos sem ocasionar aumento na geração de lodo.

O binômio agregação de valor ao resíduo de pó de rocha e reaproveitamento de um resíduo sólido de uso restrito traz uma grande componente de sustentabilidade econômico-ambiental ao AUXIPÓ.

Por fim, a possibilidade de oferta de um produto de menor preço frente aos demais auxiliares de coagulação já existentes no mercado, coloca a tecnologia AUXIPÓ em um patamar de alto potencial de investimento, possibilitando grandes lucros com tempo de retorno de investimento reduzido.

## Referências bibliográficas

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Tecnologia de controle de poluição por material particulado. São Paulo/SP, 1990.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. DI BERNARDO. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2ª ed. 2v. Rima, São Carlos, SP, 2005.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. 2012. Disponível em: <[www.ibram.org.br](http://www.ibram.org.br)>. Acesso em junho de 2012.

METCALF & EDDY. Ingeniería Sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Metcalf & Eddy Inc. 4ª ed. 2003.

VIEIRA, A.R; ZANELLA, F.S; SANTOS, P.B.; ZAWADZKI, R.A.F.O. Aplicação de Pó de Rocha como Auxiliar de Coagulação em Efluentes Industriais. Trabalho de Conclusão do Curso Técnico em Meio Ambiente, SENAI CIC, Curitiba, PR. 2012.

# PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTES DE NUTRIENTES E CONDICIONADORES DE SOLO

*Eder de Souza Martins*<sup>(1)</sup>

## Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de classificação de rochas silicáticas como fontes de nutrientes e condicionadores de solo, com a finalidade de subsidiar a normatização da rochagem nos órgãos de registro, controle e fiscalização de produção e uso de insumos na agricultura. A partir de pressupostos que consideram o potencial de eficiência agronômica de minerais formadores de rocha na escala de tempo agronômica, foram desenvolvidos critérios químicos, físico-químicos, mineralógicos e físicos. Critérios químicos: **soma de bases** na forma de óxidos obtidas a partir da composição total da rocha moída, sendo calculada como a soma ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$ ) com valor mínimo de 9% em massa; **teor de elementos potencialmente tóxicos**, de acordo com a IN 27/2006 do MAPA, Anexo III, aplicada para condicionadores de solo e corretivos. Critério físico-químico: **pH de abrasão** da rocha moída, com valor mínimo de 7,0, sendo possível pH's ácidos apenas para rochas silicáticas ricas em enxofre. Critérios mineralógicos: **teor de sílica livre**, calculada como a  $\text{SiO}_2$  que não está combinada com outros elementos, com valor máximo de 33% em massa; **razão sílica combinada em relação à sílica livre**, calculada como  $(\text{SiO}_2 \text{ combinada} / \text{SiO}_2 \text{ livre})$ , com valor mínimo de 1,0. Critério físico: **granulometria** da rocha moída, calculada conforme as normas do MAPA, com classificação como filler, pó, farelado fino e farelado. Estes critérios de classificação de rochas silicáticas não prescindem dos testes agronômicos que podem indicar a eficiência agronômica destas rochas, que dependem de outros fatores, como o solo, o sistema de produção e o manejo. Estes devem considerar sempre os fatores agronômicos regionais e não podem ser generalizados numa classificação de rochas como insumos. Após diversas discussões ainda está pendente uma definição dos limites em relação ao teor de sódio total e relativo nas rochas, o que deve ser tema de pesquisa.

<sup>(1)</sup> Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF [eder.martins@embrapa.br](mailto:eder.martins@embrapa.br)





**Palavras-Chave:** rochas, classificação, condicionadores, nutrientes

## Introdução

A rochagem pode ser definida como a tecnologia de uso de rochas moídas com a finalidade de manejar a fertilidade do solo para fins agrícolas (Leonardos et al., 1987). Os aluminossilicatos, os mais abundantes minerais formadores de rocha e que estão sendo estudados no processo de rochagem, apresentam dissolução incongruente, ou seja, o processo de hidrólise destes minerais geram novos minerais, mais estáveis nas condições do solo, e liberam elementos em solução (Lasaga et al., 1994). Este processo natural é responsável pela formação da maioria dos solos tropicais, onde a escala de tempo varia de  $10^3$  a  $10^6$  anos (Retallack, 2001). A ideia da rochagem é aumentar a velocidade de transformação destes minerais na escala de tempo entre  $10^0$  e  $10^1$  anos a partir da aplicação de rochas moídas diretamente nos solos agrícolas.

Em contraposição, as fontes solúveis produzidas pela indústria de fertilizantes apresentam dissolução congruente. Outras rochas e compostos utilizados na agricultura também são formados por minerais que apresentam dissolução congruente, como os cloretos (silvita - cloreto de potássio), sulfatos (gipsita - sulfato hidratado de cálcio), carbonatos (calcita e dolomita – carbonatos de cálcio e de cálcio e magnésio, respectivamente), silicatos de cálcio e magnésio (wollastonita), e fosfatos (apatita). As reações da dissolução congruente promovem a liberação de todos os componentes destes minerais em solução. A solubilidade em água é geralmente muito mais elevada que a dos aluminossilicatos. A Tabela 1 mostra esta relação de solubilidade entre os minerais de dissolução congruente, convencionalmente utilizados na agricultura em comparação com os aluminossilicatos. Existem extremos de até 14 ordens de grandeza de diferenças na cinética de dissolução. Mas esta informação de velocidade de dissolução é baseada apenas em sistemas simples solução (diluída)-mineral. Não leva em consideração os fatores biológicos e climáticos que interferem de forma significativa na cinética dos aluminossilicatos (p.ex., Barker e Banfield, 1997; Brady et al., 1999; Schnoor, 1990; Sverdrup e Warfvinge, 1988).

**Tabela 1.** Características químicas de minerais formadores de rochas e de solo. O tempo de dissolução refere-se a um cubo de 1 mm de lado em contato com solução diluída a pH 5 e 25° C. (Dados de Jackson, 1968; Drever, 1997; Langmuir, 1997).

	TEMPO DE DISSOLUÇÃO (anos)	MINERAL	ELEMENTOS						ORIGEM	
			K	Na	Ca	Mg	Fe	Si		Al
↑ > Facilidade de intemperismo	10 <sup>-7</sup>	Silvita	KCl							Sedimentares Químicas
	10 <sup>-7</sup>	Gipsita	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O							Sedimentares Bioquímicas
	10 <sup>0</sup>	Calcita	CaCO <sub>3</sub>							
	10 <sup>1</sup>	Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>						Ígneo ou Metamórfico	
	10 <sup>2</sup>	Anortita	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>							
	10 <sup>3</sup>	Forsterita	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>							
	10 <sup>3</sup>	Diopsídio	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>							
	10 <sup>4</sup>	Enstatita	Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>							
	10 <sup>4</sup>	Biotita	KMg <sub>3</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>							
	10 <sup>4</sup>	Bytownita	(Ca,Na)(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>							
	10 <sup>4</sup>	Andesina	(Na,Ca)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>							
	10 <sup>5</sup>	Sanidina	(K,Na)(Si,Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>							
	10 <sup>5</sup>	Albita	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>							
	10 <sup>6</sup>	Microclínio	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>							
	10 <sup>6</sup>	Muscovita	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>						Metamórfico	
	10 <sup>6</sup>	Cianita	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>						Sedimentar Clástico ou Pedogenético	
	10 <sup>6</sup>	Caulinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>2</sub>						Pedogenético	
10 <sup>6</sup>	Gibbsita	Al(OH) <sub>3</sub>						Residual		
10 <sup>7</sup>	Quartzo	SiO <sub>2</sub>								

Os fatores que interferem na velocidade do processo de intemperismo de aluminossilicatos e que permitem a sua utilização em solos agrícolas são: tamanho de partículas (moagem); composição mineralógica; condições edafoclimáticas; e atividade biológica (Straaten, 2006). As condições edafoclimáticas e a atividade biológica são os fatores externos que agem no processo de transformação destes minerais e dependem das características dos solos, do clima e do sistema agrícola. Diferentemente das fontes de solubilização congruente, a transformação dos aluminossilicatos na escala de tempo desejada nos sistemas agrícolas dependem da elevada intensidade dos processos biológicos na interface solo-água-atmosfera (Drever, 1994; Sverdrup e Warfvinge, 1988; Kelly et al., 1998).

É por este motivo que temos conclusões contraditórias da utilização de rochas como fontes de nutrientes e como condicionadores de solo na literatura especializada (p.ex., Bolland e Baker, 2000; Coroneos et al., 1996). As características dos solos, especialmente da composição mineralógica vai limitar a transformação dos minerais primários. As condições biológicas, por outro lado, é determinante no comportamento dos aluminossilicatos



aplicados a solos agrícolas. Excetuando a fase de germinação, todas as outras etapas dependem da atividade biológica no entorno da rizosfera para que os aluminossilicatos sejam transformados na escala de tempo agrônômica (Kelly et al., 1988). Este é um fator que não limita muito à eficiência agrônômica de fontes solúveis. É possível realizar uma agricultura com adubos e corretivos muito solúveis em condições tropicais, mas sem a atividade biológica muito elevada. A transformação de aluminossilicatos depende desta atividade biológica e aparentemente pode ser muito pequena ou nula, o que leva a conclusões apressadas de que as rochas não podem trazer benefícios aos solos agrícolas e às plantas cultivadas (van Straaten, 2006).

Este fato leva a um pressuposto que qualquer aluminossilicato composto por elementos alcalinos e alcalinos-terrosos pode ser transformado na escala de tempo de  $10^0$  a  $10^1$  anos, dependendo das condições do meio. Ou seja, sistemas agrícolas com processos biológicos otimizados permitem a transformação de rochas silicáticas no solo, promovendo efeitos de condicionador do solo e liberando nutrientes para o solo e plantas cultivadas.

Considerando estes pressupostos, o objetivo deste trabalho é apresentar proposta de classificação de rochas silicáticas para fins agrícolas de acordo com características químicas, mineralógicas, físico-químicas e físicas. Neste trabalho, não é levada em consideração as variáveis agrônômicas, que dependem de experimentos realizados na região de ocorrência das rochas silicáticas. O primeiro passo desenvolvido aqui é a classificação das rochas a partir de características intrínsecas.

## **Bases Conceituais e Propostas de Limites**

Pode-se afirmar que as características das rochas silicáticas que interferem no processo de intemperismo químico são: a composição química; a composição mineralógica; características físico-químicas e físicas. A proposta de normatização da rochagem apresentada neste trabalho é baseada na classificação das rochas silicáticas a partir do conjunto destes quatro tipos de características intrínsecas.

## Composição Química

As rochas silicáticas podem conter todos os elementos da Tabela Periódica em sua composição, sendo que alguns elementos químicos são considerados maiores, pois estão geralmente na proporção de porcentagem em massa. Enquanto os elementos menores, ou traços, estão em miligramas por quilograma ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), microgramas por quilograma ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) ou mesmo picograma por quilograma ( $\text{pg kg}^{-1}$ ).

Os elementos maiores são: Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, Mn, P. Todos estes elementos apresentam importância na nutrição ou trazem benefícios diretos ou indiretos ao desenvolvimento das plantas, ou seja, todos apresentam algum tipo de função biológica nas plantas (Malavolta, 2008). Dentre os elementos maiores, o Ca, o Mg, o K e o P são considerados macronutrientes.

O Na pode substituir em parte o papel do potássio na maioria das plantas, mas é nutriente essencial em plantas que são adaptadas às regiões costeiras, como diversas espécies de palmeiras, como o coqueiro (Eeuwens, 1976). Por outro lado, em excesso pode causar toxicidade, e sua fixação em solos de drenagem deficiente ou em condições climáticas mais secas, pode causar salinização e impedir o desenvolvimento de raízes (Mäser et al., 2002).

O Al e o Ti são importantes elementos que induzem mecanismos fisiológicos de autoproteção das plantas contra pragas e doenças (Dumon e Ernst, 1988). Geralmente nos processos de transformação dos aluminossilicatos por hidrólise, o Al não fica disponível, mas fica retido na estrutura cristalina dos minerais neoformados. Mas a liberação de bases e o aumento da atividade do ácido silícico na solução do solo, diminuem a atividade do Al tóxico de solos tropicais profundamente intemperizados (Melo et al., 2012). O Si também apresenta papel na indução de autodefesa, mas também causa efeitos indiretos na melhoria da arquitetura de certas plantas, como as gramíneas e outras plantas, diminui o acamamento e aumenta a eficiência da fotossíntese (Lima Filho et al., 1999). No solo, o aumento da atividade do Si em solução aumenta a disponibilidade de P para as plantas, pela competição do silicato nos mesmos sítios do fosfato na superfície dos hidróxidos de Fe e de Al (Lopes et al., 2010). Apesar de constituírem elementos maiores, o Fe e o Mn são considerados micronutrientes na nutrição



das plantas. Por outro lado, vários micronutrientes importantes podem estar biodisponíveis com a transformação dos aluminossilicatos.

Levando em consideração a importância destes elementos, aqueles que são considerados maiores e apresentam teores geralmente elevados no grupo dos aluminossilicatos, são os formados pelas bases, os elementos alcalinos (Na e K) e os alcalino-terrosos (Ca e Mg). Minerais silicáticos formadores de rocha compostos por estas bases estão descritos na Tabela 1. Apesar de grandes diferenças e valores muito baixos na cinética de dissolução em sistemas solução-mineral, diversos estudos indicam eficiência agrônômica no aproveitamento de nutrientes destes minerais em diversas situações. Além da disponibilidade de nutrientes, a transformação destes minerais primários ricos em bases em argilominerais 2:1 aumenta a CTC efetiva do solo e melhora as propriedades dos solos tropicais, que em sua grande maioria apresentam argilominerais 1:1 (grupo de caulinita), óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, com CTC mineral muito baixa e elevada capacidade de adsorção de ânions.

Desta forma, pode-se classificar as rochas em relação à soma das bases sem levar em consideração a composição mineralógica, pois existem evidências que os minerais mais importantes podem ser intemperizados na escala de tempo agrônômica. Propõe-se que a soma das bases na forma de óxidos ( $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$ ) tenham valores mínimos de 9%.

Outro limite importante é a proporção total ou relativa de sódio. Atualmente não é possível definir limites, pois não existem informações experimentais que indiquem o potencial de toxicidade do sódio derivado de rochas silicáticas.

Outro aspecto fundamental é a presença de elementos traços potencialmente tóxicos (ETPT). Ainda não foram desenvolvidos critérios precisos em relação às rochas silicáticas, mas já existem normas específicas para diversos tipos de insumo, ainda que diversos ETPT que podem ocorrer nos insumos não foram definidos limites, como, por exemplo, U, Th, Bi, Sb, As, entre outros. Inicialmente, propõe-se seguir a Instrução Normativa IN 27/2006 do MAPA, Anexo III, aplicada para condicionadores de solo e corretivos, onde são definidos limites apenas para o cádmio e o chumbo, de 20,00 e 1.000,00  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Os limites admitidos nesta mesma IN 27/2006 para fertilizantes orgânicos não é coerente para as rochas silicáticas, uma vez que o limite para o níquel ( $70 \text{ mg kg}^{-1}$ ) é inferior à média

para este elemento nas rochas da crosta terrestre ( $80 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Desta forma, existe a necessidade de desenvolver critérios mais precisos e amplos para os elementos traços para rochas silicáticas como insumo agrícola.

A composição química total das rochas é obtida a partir de técnicas de abertura total via úmida e análise da composição química de extratos, ou por técnicas instrumentais com medidas de propriedades físicas diretamente nas amostras sólidas. Estes métodos são muito bem estabelecidos e as análises de rochas muito bem conhecidas, a ponto de se conhecer a composição média das principais rochas silicáticas existentes no planeta, de origem ígnea, sedimentar e metamórfica (Lehnert et al., 2000). A caracterização química por extração parcial com a finalidade de simular o processo de transformação das rochas no solo agrícola ainda não é estabelecido e talvez não seja uma estratégia viável, uma vez que o comportamento das rochas varia consideravelmente em função das condições dos sistemas de produção.

## Composição mineralógica

Os elementos alcalinos e alcalinos terrosos compõem os principais minerais formadores de rochas. O quartzo constitui o mineral mais abundante entre os minerais do grupo da sílica formadores de rocha, considerados inertes em solos agrícolas. Pode-se estimar a proporção destes minerais nas rochas, calculada como sílica livre ( $\text{SiO}_2$  livre), em contraposição à sílica combinada ( $\text{SiO}_2$  combinada), que geralmente está associada às bases.

A  $\text{SiO}_2$  livre não apresenta importância agronômica, pois é considerada inerte em solos agrícolas. Desta forma, propõe-se um limite máximo de 33% em massa da  $\text{SiO}_2$  livre para a rochagem. Outro limite proposto é a razão da proporção da sílica combinada em relação à sílica livre, calculada como ( $\text{SiO}_2$  combinada/ $\text{SiO}_2$  livre) que deve ser no mínimo 1,0. Desta forma, rochas ricas em quartzo, como arenitos, quartzitos, alguns gnaisses e rochas ígneas estariam fora da definição da rochagem

O cálculo da  $\text{SiO}_2$  livre é obtido por estimativas da composição mineralógica da rocha.

Os dados necessários para estas estimativas são a composição química dos elementos maiores e a qualificação dos minerais presentes por meio da análise petrográfica e por difratometria de raios-X. A partir destes dados é possível estimar a composição mineralógica da rocha moída por diversos

sistemas de cálculo, sendo que alguns estão disponíveis como aplicativos livres para uso, como é o caso do MoDan (Paktunc, 2001).

## **Características físico-químicas**

Uma das características físico-químicas mais simples de obtenção e que é uma forma eficiente de classificar minerais é o pH de abrasão. O pH de abrasão é definido como o pH da suspensão do mineral ou rocha moída em água, resultado da hidrólise parcial dos minerais e reações de dissolução. É facilmente obtido seguindo o mesmo método de medida do pH do solo em água. Os silicatos ricos em elementos alcalinos e alcalinos-terrosos apresentam pH de abrasão alcalinos, acima de 7,0. Desta forma, propõe-se o pH de abrasão mínimo de 7,0 para rochas silicáticas para fins de rochagem. Silicatos de alumínio sem outros cátions apresentam pH de abrasão ácidos, como é o caso da cianita (4,0) e a caulinita (5,0) (Stevens e Carron, 1948). A elevada presença destes minerais aumenta a disponibilidade de alumínio biodisponível e pode causar, inclusive, problemas de saúde (Silva, 2011). O critério de soma de bases e o pH de abrasão elimina rochas deste tipo.

Outras fontes de acidez em rochas silicáticas são minerais com arsênio e enxofre (Stevens e Carron, 1948). Rochas ricas em arsênio não devem ser utilizadas em função de sua elevada toxicidade. Por outro lado, rochas ricas em minerais de enxofre apresentam potencial para a rochagem, desde que não sejam limitadas por outros critérios. Estas rochas com enxofre poderiam ser classificadas como um subgrupo especial de rochas silicáticas para a rochagem.

## **Granulometria**

Os processamentos industriais são baseados apenas em transformações físicas das rochas, admitidas na produção do pó de rochas para fins de rochagem. A moagem é geralmente o processo mais comum de transformação das rochas, mas podem também incluir processos de flotação, separações por diferenças densimétricas, ciclonagem, ou mesmo por faixas granulométricas. Estes processos físicos geralmente não alteram profundamente as características químicas e mineralógicas das rochas, mas podem diminuir a cristalinidade dos minerais e, eventualmente, amorfizar parte dos minerais. Foi demonstrado que moagem a seco tende a diminuir

mais a cristalinidade dos minerais que a moagem úmida e, desta forma, aumenta a cinética de dissolução das rochas (Priyono e Gilkes, 2008).

A eficiência agronômica em função da granulometria das rochas ainda é pouco estudada, mas demonstram que em condições tropicais não é necessário que a rocha esteja numa granulometria muito fina. Estudos desenvolvidos na Rede AgriRocha (dados inéditos) indicam que a granulometria das rochas que pode ser empregada na rochagem é a seguinte, conforme classificação do MAPA: filler, pó, farelado fino ou farelado.

## Conclusões

Este trabalho propõe uma classificação de rochas silicáticas para fins agrícolas considerando que todos os silicatos alcalinos moídos podem ser intemperizados na escala de tempo de solos agrícolas tropicais. Os critérios são os seguintes:

1. **Químico**

Soma de bases (CaO + MgO + K<sub>2</sub>O) total maior que 9%;  
Limite de metais conforme IN 27/2006, Anexo III (MAPA).

2. **Físico-químico**

pH de abrasão da rocha moída maior que 7;  
pH's ácidos somente para materiais ricos em enxofre

3. **Mineralógico**

SiO<sub>2</sub> livre menor que 33%  
Razão SiO<sub>2</sub> combinada/SiO<sub>2</sub> livre maior que 1,0

4. **Granulométrico**

Classes conforme MAPA: farelado, farelado fino, pó e filler.



## Referências Bibliográficas

- BARKER, W.W.; BANFIELD, J.F. **Biologically versus inorganically mediated weathering reactions: relationships between minerals and extracellular microbial polymers in lithobiontic communities.** Chem. Geol., 132: 55–69, 1996.
- BOLLAND, M.D.A.; BAKER, M.J. **Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia.** Nutr. Cycl. Agroecosystems, v. 56, p. 59-68, 2000.
- BRADY, P.V.; DORN, R.I.; BRAZEL, A.J.; CLARK, J.; MOORE, R.B.; GLIDEWELL, T. **Direct measurement of the combined effects of lichen, rainfall, and temperature on silicate weathering.** Geochim. Cosmochim. Acta, v. 63, p. 3293–3300, 1999.
- CORONEOS, C.; HINSINGER, P.; GILKES, R.J. **Granite powder as a source of potassium for plants: a glasshouse bioassay comparing two pasture species.** Fert. Res., v. 45, p. 143–152, 1996.
- DREVER, J.I. **The geochemistry of natural waters.** Prentice Hall, Upper Saddle River, 1997, 436 p.
- DREVER, J.I. **The effect of land plants on the weathering rate of silicate rocks.** Geochim. Cosmochim. Acta, v. 58, p. 2325–2332, 1994.
- DUMON, J.C.; ERNST, W.H.O. Titanium in plants. **J. Plant Phys.**, v. 133, n. 2, p. 203-209, 1988.
- EEUWENS, C.J. Mineral requirements for growth and callus initiation of tissue explants excised from mature coconut palms (*Cocos nucifera*) and cultured *in vitro*. **Physiologia Plantarum**, v. 36, p. 23-28, 1976.
- JACKSON, M.L. Weathering of primary and secondary minerals in soils. In: International Congress of Soil Science, 9., Adelaide, 1968. Transactions, Adelaide, v. 4, p. 281-292, 1968.
- KELLY, E.F.; CHADWICK, O.A.; HILINSKI, T.E. The effect of plants on mineral weathering. **Biogeochemistry**, v. 42, p. 21–53, 1998.
- LANGMUIR, D. Aqueous environmental geochemistry. Upper Saddle River, Prentice-Hall, 1997, 600 p.
- LASAGA, A.C.; SOLER, J.M.; GANOR, J.; BURCH, T.E.; NAGY, K.L. Chemical weathering rate laws and global geochemical cycles. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 58, p. 2362-2386, 1994.
- LEHNERT, K.; SU, Y.; LANGMUIR, C.H.; SARBAS, B.; NOHL, U. A global geochemical database structure for rocks. **Geoch. Geoph. Geos.**, v. 1, p. 1-16, 2000.
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. The use of ground rocks in laterite systems – an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. **Chemical Geology**, v. 60, p. 361-370, 1987.
- LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G. & TSAI, S.M. O silício na agricultura. **Inf. Agron.**, v. 87, p. 1-7, 1999.
- LOPES, J.; EVANGELISTA, A.R.; FORTES, C.A.; PINTO, J.C.; FURTINI NETO, A.E.; SOUZA, R.M. Calagem, silicatagem e doses de fósforo no crescimento e nutrição mineral de estilosantes. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 40, n. 2, p. 150-158, 2010.
- MALAVOLTA, E. O future da nutrição de plantas, tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais. **Informações Agrônômicas**, n. 121, p. 1-10, 2008.
- MÄSER, P.; GIERTH, M.; SCHROEDER, J.I. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. **Plant and Soil**, v. 247, p. 43-54, 2002.



MELO, V.F.; UCHÔA, S.C.P.; DIAS, F.O.; BARBOSA, G.F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distófico da savana de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 471-476, 2012.

PAKTUNC, A.D. MoDan - A Computer program for estimating mineral quantities based on bulk composition: Windows version. **Computers and Geosciences**, v. 27, p. 883-886, 2001.

PRIYONO, J.; GILKES, R.J. Dissolution kinetics of milled-silicate rock fertilizers in organic acid. **J. Tanah Trop.**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2008.

RESTALLACK, G.J. *Soils of the Past – An introduction to paleopedology*. Blackwell, 2<sup>nd</sup> ed., 2001, 404 p.

SCHNOOR, J.L. Kinetics of chemical weathering: A comparison of laboratory and field weathering rates. In: W. Stumm (ed). **Aquatic Chemical Kinetics**. John Wiley & Sons, New York, p. 475–504, 1990.

SILVA, C.R. **Avaliação do risco geológico à exposição de elementos químicos à saúde ambiental, na região de Araçuaí-Itinga, Minas Gerais – Brasil**. Tese de Doutorado em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, inédito, 136 p., 2011.

STEVENS, R.E.; CARRON, M.K. Simple field test for distinguishing minerals by abrasion pH. **Am. Mineralogist**, v. 33, p. 31-49, 1948.

STRAATEN, P.V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais Acad. Bras. Ci.**, v. 78, n. 4, p. 731-747, 2006.

SVERDRUP, H.; WARFVINGE, P. Weathering of primary silicate minerals in the natural soil environment in relation to a chemical weathering model. **Water, Air, Soil Pollut.**, v. 38, p. 387–408, 1988.

# NORMATIZAÇÃO DO USO DOS REMINERALIZADORES: LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS<sup>1</sup>

*Suzi Huff Theodoro<sup>2</sup>*

## Resumo

Este trabalho aborda a questão do marco legal dos fertilizantes no Brasil (Lei nº 6.894/1980) e os demais instrumentos regulatórios – Decretos e Instruções Normativas, que buscam a sua regulamentação. Aborda especificamente a necessidade de alterar este arcabouço jurídico, uma vez que o mesmo não prevê ou não permite a comercialização e uso de rochas moídas com insumo para alterar positivamente a fertilidade dos solos, segundo pressuposto da tecnologia da Rochagem. Mostra o processo de mudança da Lei dos fertilizantes e como isto pode impactar a soberania do País, que é um dos maiores importadores de insumos para a agricultura.

**Palavras-chave:** Leis, Fertilizantes e Remineralizadores

## Introdução

Políticas públicas e incentivos governamentais dirigidos ao setor agrícola têm amenizado um quadro de dificuldades no que se refere à garantia de acesso, de abastecimento e, em última instância, de soberania do Brasil no que diz respeito aos fertilizantes solúveis, já que segundo dados do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Brasil

---

<sup>1</sup> Este trabalho foi apresentado e elaborado antes da aprovação da Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013, que alterou a Lei nº 6.894/1980, e que prevê o uso dos remineralizadores como uma categoria de insumos para a agricultura. Importante mencionar que essa Lei, que resultou do esforço de muitos pesquisadores e técnicos de diferentes instituições e governo, abre novas perspectivas para a agricultura brasileira, uma vez que rochas moídas são amplamente distribuídas no País. Mas ainda existem limitações que precisam ser vencidas. A principal delas é a regulamentação da Lei, via Instrução Normativa (IN), o que já está em processo de mudança. Portanto, as perspectivas atuais são muito positivas para o uso e comercialização destes materiais geológicos, ou seus subprodutos para a agricultura brasileira. É importante salientar que o Brasil é pioneiro no mundo ao criar uma Legislação específica para o uso dos remineralizadores como insumos agrícolas. Este fato, pode ser portador de uma importante mudança de futuro para o nosso País, que é considerado como um celeiro do Planeta, e detentor de uma imensa geodiversidade.

<sup>2</sup> Universidade de Brasília - UnB/Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS. [suzitheodoro@unb.br](mailto:suzitheodoro@unb.br)



é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, mas possui uma produção pouco significativa.

O acesso aos fertilizantes é, especialmente, dramático em meio aos agricultores familiares, considerando que preços continuam em ascensão, seja pela maior demanda mundial, seja porque as principais fontes de tais insumos estão a cada dia mais restritas, já que na sua origem, tais insumos são bens minerais que estão sendo esgotados.

Uma alternativa para solucionar, ao menos em parte, o problema de dependência e dos altos custos de aquisição está relacionada a novas rotas tecnológicas, que prevejam o uso de fontes alternativas, as quais deverão ser capazes de ao mesmo tempo alterar positivamente os baixos índices de fertilidade dos solos tropicais, altamente intemperizados, mas, também, que apresentem resultados, em termos de produção, compatíveis com a expectativa dos agricultores, ou no mínimo que alcancem a capacidade de suporte dos diversos agroecossistemas.

A tecnologia da rochagem, que prevê o uso de pós de rocha para remineralizar os solos e favorecer o alcance de uma produção agrícola sustentável, tem apresentado resultados muito positivos no que se refere a estes dois quesitos: produtividades compatíveis e, em muitos casos superiores aquelas obtidas com os fertilizantes solúveis, e custos de obtenção significativamente menores, cerca de 80 a 60% mais baratas que as fontes convencionais. Apesar de tais resultados a legislação brasileira, e provavelmente de nenhum outro país, prevê ou permite a comercialização e uso de materiais derivados de rochas para uso agrícola, com exceção dos calcários e rochas fosfatadas.

Para contribuir com na solução para este impasse, o presente trabalho aborda a questão normativa brasileira relativa aos fertilizantes e os pós de rocha (remineralizadores ou agrominerais). Portanto, este trabalho discute a ausência de normatização e aponta as perspectivas para a efetivação de um arcabouço legal para o setor, já que sem regulamentação, o uso e comercialização de tais materiais ficam restritos e sujeitos a riscos devido a não observância de garantias mínimas.



## Marco Legal

Várias pesquisas desenvolvidas no Brasil e no exterior mostram que a remineralização dos solos, por meio da adição de macro e micronutrientes, derivados de rochas moídas, resulta em produções compatíveis e equiparáveis àquelas obtidas com o uso dos fertilizantes solúveis (Carvalho, 2010 e 2012; Leonardos et al. 1976 e Theodoro e Leonardos 2011, van Straaten, 2007 entre outros). Porém, apesar da grande quantidade de resultados positivos, há um impedimento importante para o amplo uso dos pós de rocha. Não existe uma previsão legal para seu uso como fertilizante de solos.

Atualmente, a regulamentação do setor de fertilizantes está amparada por três instrumentos legais: (i) a Lei dos fertilizantes (Lei nº 6.894/1980); o Decreto nº 4.954/2004<sup>4</sup>, que regulamenta essa Lei e instruções normativas, especialmente as INs 27/2006 (que estabelece limites para contaminantes) e 35/2006 (que trata de corretivos e condicionadores), instituídas pelo MAPA. A Lei nº 6.894/1980 dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. Essa Lei contém nove artigos, entre os quais se cita o Art. 2º, que atribui ao MAPA a competência para exercer a fiscalização e o Art. 4º que estabelece a obrigatoriedade de registro de estabelecimentos e de produtos.

Em nenhum destes três instrumentos legais está previsto uma categoria que possibilite o uso, a comercialização ou a fiscalização dos remineralizadores de solos, derivados de rochas moídas, já que por suas características diversificadas não é possível fazer o seu enquadramento dentro das categorias existentes de insumos (condicionadores, fertilizantes etc.). A revisão de um ou de todos esses instrumentos legais é um fator primordial para tornar viável o uso dos remineralizadores.

Considerando o impacto que os preços dos fertilizantes causam à balança comercial brasileira e, mais recentemente a percepção de que tais insumos favorecem a ocorrência de problemas ambientais, algumas iniciativas buscam alterar este panorama. Um grupo de trabalho, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em parceria com diversas outras instituições públicas, entre as quais se destacam o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Petrobras, Embrapa



e Universidades vem discutindo alternativas e sugerindo parâmetros para mudar o aparato legal.

Paralelamente, no Congresso Nacional estão tramitando duas proposições que buscam alterar a Lei nº 6.894/1980 ou incentivar o uso de pós de rocha. Tratam-se dos Projetos de Lei - PLS 212/2012 e do PL 2727/2011. O primeiro insere os remineralizadores como uma das categorias de fertilizantes e, o segundo, cria um Programa Nacional de Mineralização dos solos. Considerando o estado adiantado da tramitação do PLS 212/2012, que atualmente tramita na Câmara dos Deputados, como PL 4781/2012, é possível inferir que ainda neste ano de 2013 a presidente da República possa sancionar uma nova Lei que alterará a Lei nº 6.894/1980. O citado PL encontra-se na última comissão (CCJC – Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania), onde será apreciada a constitucionalidade, a juridicidade e a legalidade da matéria. Esse Projeto de Lei do Senado foi apresentado pelo Senador Rodrigo Rollemberg (PSB/D).

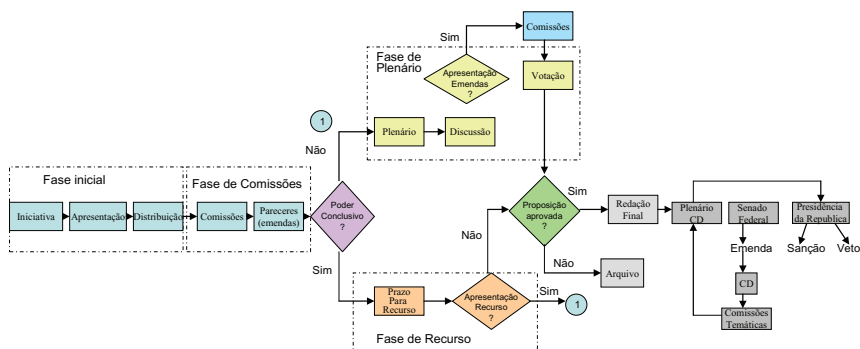
Apesar desta expectativa, é importante lembrar que o processo legislativo é, de modo geral, muito moroso e depende de uma série de condicionantes até que uma proposição se torne uma Lei. Nesse processo de análise e votação pelos parlamentares das duas casas Legislativas – Senado Federal e Câmara dos Deputados, as matérias podem ser modificadas emendadas ou totalmente alteradas, uma vez que é possível que diversos grupos de interesse atuem fortemente junto aos parlamentares para adequá-las a interesses específicos. A atuação do chamado *lobby* é legítima uma vez que a sociedade pode e deve manifestar-se na elaboração das Leis. Ocorre que no Brasil, esta atividade é normalmente vista como ilegal e antiética, porque ainda não foi regulamentada e, assim, permite abusos de diversas ordens.

Não obstante a atuação de agentes externos (sociedade) ou internos (parlamentares, consultores legislativos e assessores) uma matéria legislativa obedece a um rito de tramitação e análise. Queiroz, 2006, lembra que a transformação de uma proposição em norma jurídica observa ritos formais, previstos na Constituição Federal, em Lei Complementar e nos regimentos internos das Casas do Congresso (Câmara de Deputados, Senado Federal e/ou Congresso Nacional). Theodoro et. al (2011) complementa essa informação e menciona que as análises são feitas em diversas Comissões de mérito e, eventualmente, em plenário, para só então ser remetida à sanção do Presidente da República, que poderá sancionar o texto aprovado na sua totalidade pelo legislativo, ou, ainda, vetar partes ou todo o Projeto. Quando

ocorre um veto (mesmo que parcial) é feita uma nota que acompanha o texto da nova Lei, explicitando os motivos de tal ato pelo Presidente.

Por fim, o texto sancionado é remetido para a publicação no Diário Oficial da União (DOU). Porém, nos casos de veto, os parlamentares ainda têm a prerrogativa de apreciar os motivos que levaram o Presidente da República a vetar o texto aprovado no Legislativo. Nestes casos, segundo Queiroz (2006), para reverter o veto, é necessário que o Congresso Nacional, avalie e vote se o veto permanecerá ou se o texto vetado deve retornar ao texto da Lei sancionada. Para tal ação, é necessário que ocorra uma sessão conjunta (Câmara e Senado) no prazo de 30 dias do seu recebimento, sendo que o veto só poderá ser rejeitado com os votos da maioria absoluta dos deputados e senadores, em escrutínio secreto.

Após esta apresentação sucinta do caminho percorrido por uma proposição, torna-se mais fácil entender porque as leis demoram tanto para serem promulgadas desde a sua origem. O fluxograma apresentado na Figura 01 ilustra o processo de tramitação de um Projeto de Lei. Apesar do regimento de ambas as Casas do Congresso estabelecer prazos para cada etapa, o tempo que uma proposição leva para tramitar e se tornar uma lei é extremamente variável e depende fundamentalmente da vontade política, das articulações entre os poderes e da atuação dos grupos de interesse (Theodoro et. al. 2011).



**Figura 1.** Fluxograma ilustrando as fases/percurso de tramitação de um Projeto de Lei

Fonte: Souto, 2008 apud Saboya (2006)



Além destas iniciativas do legislativo, é importante destacar que o Governo Federal mostra-se atento à demanda por fertilizantes para viabilizar o desenvolvimento do País. Para tentar reverter ou amenizar este problema o Executivo enviou ao Congresso Nacional, no ano passado (2012), a Medida Provisória (MP) nº 582/2012, que em seu artigo 5º institui o Regime Especial de Incentivo ao Desenvolvimento da Infraestrutura da Indústria de Fertilizantes (REIF), o qual pretende incentivar a implantação ou ampliação de infraestrutura para produção de fertilizantes e de seus insumos. A apreciação de Medidas Provisórias no Congresso Nacional tem um procedimento de análise bastante diferenciado, o que torna sua apreciação bem mais curta, em termos de tempo. Esta MP foi convertida na Lei nº 12.794 em 2 de abril de 2013 e, atualmente, encontra-se em processo de regulamentação. Apesar de ser um sinal de que o Governo está atento à problemática da dependência por insumos externos, a citada Lei não inova ou incentiva o uso de tecnologias ou materiais disponíveis localmente, como os remineralizadores. No entanto, existe uma expectativa que com a regulamentação possa ocorrer algum tipo de incentivo ao setor mineral nacional, no sentido de facilitar o acesso aos incentivos previstos na Lei para que seja possível construir plantas de beneficiamento específicas para os remineralizadores. Neste caso, porém, ainda existe a necessidade de adequação das licenças junto ao DNPM (Departamento Nacional de produção Mineral).

### **Caminhos possíveis<sup>3</sup>**

No caso do Projeto de Lei 212/2012, o percurso e tempo de tramitação foram mais rápidos, porque essa matéria teve despacho (pelas Mesas do Senado e da Câmara) para apenas três Comissões - de Agricultura de Agricultura e Reforma Agrária - CRA e de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural – CAPADR, e Constituição, Justiça e Cidadania - CCJC, respectivamente. Além disto, existe um consenso entre os

---

<sup>3</sup> A tramitação e a aprovação do PLS 212/2013 (ou PL 4781/2012, número na câmara dos Deputados) pelo Congresso Nacional pode ser considerada como um exemplo de tramitação rápida, uma vez que desde a apresentação pelo autor (12/06/2012), no Senado, até a aprovação final (12/11/2013), na câmara, o Projeto de Lei demorou apenas um ano e 5 meses. A sanção da Presidência da República foi feita no tempo previsto constitucionalmente (15 dias úteis após o envio da matéria pelo Congresso Nacional). Este curto tempo de tramitação é relativamente incomum no processo legislativo.





parlamentares dessas Comissões, que está matéria é de interesse nacional, o que tende a facilitar sua aprovação das Comissões.

Além da alteração da Lei, outra opção que poderia favorecer a comercialização e uso dos remineralizadores seria a alteração do Decreto nº 4.954/2004, já que este instrumento é de atribuição específica do Poder Executivo. Porém, apesar deste assunto ser considerado como estratégico pelo Governo, a mudança não ocorreu no Decreto nº 8.059/2013, na recente alteração efetuada pelo Executivo, frustrando o setor que tinha expectativa de mudança.

Outra alternativa possível seria a alteração das Instruções Normativas e, em especial da IN 35/2006, já que este seria o mecanismo mais fácil e rápido para modificar esta lacuna, uma vez que os pós de rocha poderiam ser enquadrados dentro da categoria “condicionadores de solos”, com algumas salvaguardas. A definição de condicionador de solos, explicitada na IN 35/06 é de que tal insumo deve ser um produto que promova a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade do solo. Neste aspecto os pós de rocha poderiam ser enquadrados nesta categoria, uma vez que produzem melhorias nas propriedades físicas e químicas dos solos. Porém, os materiais geológicos não atendem a duas especificações importantes estabelecidas na IN, quais sejam a Capacidade de Retenção de Água (CRA) que é de 60% e a Capacidade de Toca Catiônica (CTC), que deve ser de no mínimo de 200 mmol/kg. A modificação dessa Instrução Normativa estabelecendo, por exemplo, limites diferenciados destes parâmetros, e acrescentando algumas restrições, poderia facilitar, em parte o uso dos remineralizadores para amenizar a dependência brasileira e, em ultimo caso, os preços, já que rochas aptas para essa finalidade estão distribuídas em todo o território brasileiro.

Porém, existe uma preocupação, em especial do GT, mencionado anteriormente, que se refere ao entendimento dos mecanismos de solubilização e à quantidade de metais pesados presentes nos pós de rocha. Atualmente, a IN 27/2006, estabelece os limites desses metais pesados tóxicos admitidos nos fertilizantes, corretivos, condicionadores de solo e substrato para plantas, porém será necessário estabelecer algumas garantias mínimas que assegurem que não haverá riscos ambientais e à saúde humana, uma vez que as rochas podem conter estes tipos de componentes.

Tais impasses e esperas sugerem que o País vive uma crise do contraditório, já que mantém seu perfil de dependência de aquisição de insumos para viabilizar seu modelo agrícola, mas, por outro lado, é um das maiores potências minerais do planeta. Os resultados que vem sendo obtidos nos últimos anos comprovam que o uso de pós de rocha ou remineralizadores pode ser um caminho possível para o Brasil, com a vantagem de que essa tecnologia fortalecerá uma agricultura mais sustentável, garantindo bons índices de produção e viabilizando a manutenção dos agricultores no campo. A rochagem parte do pressuposto que manter a fertilidade dos solos faz parte de uma estratégia que envolve conservação dos recursos naturais, oferta de nutrientes em quantidades adequadas e alcance da soberania, com redução da dependência por insumos externos. Além disto, fortalece a obtenção de produções de alimento mais saudáveis, pela maior oferta de nutrientes, contribuindo com a alcance de padrões adequados de segurança alimentar e nutricional (Theodoro e Almeida, 2013)

## **Conclusão**

Neste cenário de regulamentação inadequada, o Brasil continuará fortemente dependente dos fertilizantes importados, caros e, que no limite, provocam danos ambientais sérios, tais como a eutrofização dos corpos hídricos e a potencialização do efeito estufa.

Mas a disposição do Governo Federal, em especial do MME e do MAPA, de buscar alternativas para questão dos fertilizantes no Brasil indica que há interesse em mudanças, por meio de novos enquadramentos destes materiais e harmonização do arcabouço jurídico com as necessidades atuais do País. Sem isto, há sérios riscos para este setor que vem obtendo recorrentes recordes de safras agrícolas. Porém, enquanto o aparato normativo não contempla essa opção tecnológica, a pesquisa e a inovação científica continuam fornecendo resultados que credenciam a tecnologia da Rochagem como uma importante opção tecnológica para países que, como Brasil, possuem uma grande geodiversidade e um setor agrícola extremamente dinâmico e demandante de novas rotas tecnológicas.



## Referencias Bibliográficas

CARVALHO, ANDRE MUNDSTOCK, DELIBERALI, D. DA C. AND CARDOSO, IRENE M. (2010) Potencial de uso de pó de rocha sob manejo agroecológico: II - disponibilização de nutrientes no solo. FERTBIO, Guarapari. Brasil.

CARVALHO, ANDRÉ MUNDSTOCK (2012) Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. Tese de doutorado defendida na Universidade Federal de Viçosa. 129 pp

QUEIROZ, ANTONIO AUGUSTO DE (2006) Por dentro do processo decisório: como se fazem as leis. Ed. Departamento Intersindical de Assessoria Parlamentar (DIAP). Brasília. 113p.

LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S. & KRONBERG, B. I. (1976) Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. Anais 29 Congresso. Brasil. Geol., BH, p: 137 – 145.

SOUTO, DAYSE LÚCIDE ANDRÉ DE NORA (2008) O papel da assessoria parlamentar para uma companhia de petróleo. Monografia apresentada no Instituto de Cooperação e Assistência Técnica – ICAT do Centro Universitário do Distrito Federal – UNIDF. Brasília/DF. 48 p.

THEODORO e LEONARDOS (2011) Rochagem: uma questão de soberania nacional. In XIII Congresso brasileiro de geoquímica. Gramado/RS

THEODORO, S.H., (2011) Como se faz uma Lei: impasses do contraditório. Editora Garamond /VALE/ UnB. pp. 325-352.

THEODORO, S.H. & ALMEIDA, EDINEI (2013) Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil Agriculturas v. 10 - n. 1 Pp. 22- 28.

VAN STRAATEN P. (2007). Agrogeology: The use of rock for crops Enviroquest Ltd. 440 p

# REGULAMENTAÇÃO DE FERTILIZANTES NO MAPA

*Hideraldo José Coelho<sup>1</sup>*

*Rubim Almeida Gonczarowska<sup>2</sup>*

*Mariana Coelho de Sena<sup>3</sup>*

## A legislação brasileira de fertilizantes

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento é o órgão federal responsável pela legislação que trata da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, sendo composta por um conjunto de leis, decretos, instruções normativas, portarias e normas internas. A legislação atual está baseada na Lei 6.894/80, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio desses insumos destinados à agricultura, contendo poucos artigos, que determinam a competência do MAPA para realizar a fiscalização e a obrigatoriedade do registro das empresas e de seus produtos. Além disso, a Lei estabelece as sanções administrativas aos infratores e delega ao poder Executivo a competência para estabelecer as providências necessárias para o exercício da fiscalização.

O Decreto 4954/2004 regulamenta a Lei 6.894/80. Em que pese esta lei ser infraconstitucional, o que vem demandar sua atualização, a opção por alterar em 2004 seu regulamento, se fez pela premente necessidade de compatibilizar as exigências dos mercados interno e externo aos aspectos relativos à segurança dos insumos, visando diminuir os riscos de contaminação dos alimentos fabricados, garantindo a produção e uso de fertilizantes com preservação do meio ambiente.

Na questão das competências do MAPA, o Decreto 4954/2004 veio alinhar-se com a Constituição Federal, que é de 1988, estabelecendo as atribuições do Governo Federal para a fiscalização das atividades de produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos,

---

1 Hideraldo José Coelho, engenheiro agrônomo (UFV), especialização em tecnologia de produção de fertilizantes (ESALQ), Fiscal Federal Agropecuário do MAPA. [hideraldo.coelho@agricultura.gov.br](mailto:hideraldo.coelho@agricultura.gov.br)

2 Rubim Almeida Gonczarowska, agrônomo (UFV), especialização em tecnologia de produção de fertilizantes (ESALQ), Fiscal Federal Agropecuário do MAPA. [rubim.almeida@agricultura.gov.br](mailto:rubim.almeida@agricultura.gov.br)

3 Mariana Coelho de Sena, engenharia agrônoma (UnB), mestre em agronomia (UnB) Fiscal Federal Agropecuário do MAPA. [mariana.sena@agricultura.gov.br](mailto:mariana.sena@agricultura.gov.br)



inoculantes e biofertilizantes e dispondo que cabe aos Estados e ao Distrito Federal fiscalizar e legislar concorrentemente sobre o comércio e uso desses insumos, respeitadas as normas federais que dispõem sobre o assunto.

## **Algumas definições previstas na legislação**

Aqui cabe destacar que as definições constantes do Decreto 4954/2004 foram elaboradas em função do momento em que este ato normativo foi discutido e elaborado, ou seja, aproximadamente do ano de 1998 até 2004, quando foi publicado. Chamamos a atenção também para o fato de que muitas vezes as definições previstas na legislação, não obedecem rigorosamente ao que é consenso no meio científico, ocorrendo, não raras vezes, definições que atendem particularmente ao jargão utilizado no mercado. Acreditamos que isso se deve ao amadurecimento da sociedade no sentido de elaborar leis e atos normativos com um maior grau de participação de todo o conjunto de entes interessados nos assuntos normatizados.

As definições importantes para o entendimento do assunto são as seguintes:

- 1) fertilizante: substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais;
- 2) condicionador do solo: produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo;
- 3) fertilizante mineral: produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico ou bioquímico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas;
- 4) matéria prima: material destinado à obtenção direta de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes, por processo químico, físico ou biológico;
- 5) produto: qualquer fertilizante, corretivo, inoculante ou biofertilizante;
- 6) produto novo: produto sem antecedentes de uso e eficiência agrônômica comprovada no País ou cujas especificações técnicas não estejam contempladas nas disposições vigentes.



## **Legislação básica aplicável aos pós de rocha**

Lei 6.894/1980

Decreto 4954/2004

Instrução Normativa MAPA n. 10, de 2004

Instrução Normativa SDA nº 35, de 04/07/2006

Instrução Normativa SDA nº 27, de 2006

## **O registro dos estabelecimentos produtores e dos pós de rocha**

Inicialmente, o registro do estabelecimento que irá produzir o fertilizante, corretivo ou inoculante, está delineado no artigo 5º do Decreto 4954/2004 que, entre outros elementos informativos e documentais, exige que o pedido de registro seja acompanhado da licença ou autorização equivalente, expedida pelo órgão ambiental competente. Portanto, neste ponto começam as interações com os órgãos encarregados da proteção ao meio ambiente.

Para o registro do produto como pó de rocha, necessário se faz a apresentação ao MAPA dos documentos e informações constantes do artigo 8º do referido Decreto, que em seu artigo 11 atribui ao MAPA a competência para estabelecer critérios, limites mínimos de garantias e demais especificações para o registro dos produtos.

Entretanto, os produtos denominados pós de rocha não se encaixam nos parâmetros, limites mínimos de garantias ou especificações descritas para os fertilizantes e nem para os condicionadores de solos, sendo tratados, por isso, como produtos novos. Assim, os pós de rocha, para serem registrados, devem atender às exigências do art. 15 do Decreto 4954/2004, que exige a realização de trabalho técnico- científico conclusivo, emitido por órgão brasileiro de pesquisa oficial ou credenciado.

De outra forma a legislação precisa ser modificada com introdução de parâmetros que permitam a classificação, caracterização e estabelecimento de critérios de registro e fiscalização destes produtos. Como os pós de rocha atendem bem à definição de condicionador de solo, no momento atual, o MAPA pretende rever e aperfeiçoar a IN SDA nº 35, de 04/07/2006, enquadrando nesta norma tais insumos.



Adicionalmente, o artigo 17 do Decreto 4954/2004 dispõe que os pedidos de registro serão negados, toda vez que não forem atendidos os limites estabelecidos em atos administrativos próprios, no que se refere a agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, assim como metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas.

Assim, a IN SDA nº 27/2006 estabelece os teores limítrofes destes contaminantes nestes insumos, cuja inobservância impede a produção, o registro e a comercialização no País dos pós de rocha.

## Referências Bibliográficas

BRASIL. Decreto n. 4.954, 14 jan. 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 2, 15 jan. 2004. Seção 1.

BRASIL. Lei n. 6.894, 16 dez. 1980. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 25289, 17 dez. 1980. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 27, 5 jun. 2006. Estabelece nos Anexos I, II, III, IV e V os limites no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 15, 9 jun. 2006. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 35, 4 jul. 2006. Aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 32, 12 jul. 2006. Seção 1.

# NORMAS DE AUTORIZAÇÃO DO DNPM

*David Siqueira Fonseca<sup>1</sup>*

O Departamento Nacional da Produção Mineral é o órgão gestor da mineração no País, tendo completado, em 2013, 79 anos de existência, enquanto que o atual Código de Mineração, que normatiza o aproveitamento dos recursos minerais, foi promulgado em 1967. Mesmo com legislação já defasada o DNPM tem se adequadado aos novos temas e necessidades, como é o caso da rochagem.

Os recursos minerais são bens da União, conforme art. 20 da Constituição Federal, e o seu aproveitamento foi instituído pelo Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227, de 1967) e compreende todas as etapas legais da mineração, desde a pesquisa até a lavra. Os prazos para pesquisa mineral, através de alvará, são mostrados no quadro 1:

**Quadro 1.** Áreas, substâncias e prazos para a pesquisa mineral.

Áreas Máximas	Substâncias	Prazos
2.000 Ha	Metálicos, carvão, fertilizantes, diamante, rochas betuminosas e pirobotuminosas, turfa e sal-gema	3 anos
50 Ha	Substâncias previstas na Lei 6.567/78, além de águas minerais e potáveis de mesa, areias industriais, feldspato, gemas (exceto diamante) e pedras decorativas, e mica	2 anos
1.000 Ha	Rochas para revestimento (ornamentais) e demais substâncias minerais	3 anos (rochas 2 anos)

Para obter o alvará é necessário o requerimento de pesquisa mineral. A partir de 2008 foi instituído o pré-requerimento eletrônico (obrigatório) que exige do minerador um cadastro prévio no site do DNPM. Nesse pré-requerimento é definida a escolha das substâncias e seu respectivo uso, no qual se pretende regulamentar os aspectos relacionados a rochagem, visando o aperfeiçoamento do procedimento.

<sup>1</sup> Especialista em Recursos Minerais. Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. S.A.N. Quadra 01 Bloco B Brasília-DF. david.fonseca@dnpm.gov.br





Já no regime de licenciamento, instituído pela Lei nº 6.567, de 1978, o procedimento é mais simples, pois não exige pesquisa mineral. No entanto, este regime é apenas para as substâncias de uso na construção civil. Neste caso, a licença é de âmbito municipal e é necessária a autorização do proprietário do solo. Essas substâncias são mostradas no Quadro 2.

**Quadro 2.** Substâncias aprovadas pelo regime de licenciamento (área máxima 50ha).

Areias, cascalhos e saibros para utilização imediata na construção civil, no preparo de agregados e argamassas, desde que não sejam submetidos a processo industrial de beneficiamento, nem se destinem como matéria-prima à indústria de transformação
Rochas e outras substâncias minerais, quando aparelhadas para paralelepípedos, guias, sarjetas, moirões e afins
Argilas usadas no fabrico de cerâmica vermelha
Rochas, quando britadas para uso imediato na construção civil e os calcários empregados como corretivos de solo na agricultura

Desta forma, os calcários empregados como corretivos de solo na agricultura podem ter área máxima de 50 hectares enquanto que as substâncias fertilizantes (potássio, fosfato), área máxima de 2.000 hectares. As substâncias de rochagem são denominadas remineralizadores de solos, denominação não contida na legislação minerária, mas em geral possuem características tanto de corretivo e/ou fertilizante. O pouco conhecimento da atividade pelo DNPM pode gerar dúvidas na análise dos Relatórios Finais de Pesquisa justamente quanto a área a ser aprovada. A proposta é que possíveis requerimentos para substâncias cujo uso seja rochagem tenham, no máximo, 50 hectares. No quadro 3 abaixo são mostrados alguns exemplos de processos aprovados para essas substâncias:



**Quadro 3.** Exemplos de substância com uso para rochagem aprovadas pelo DNPM e sua respectiva área

Empresa	Município	Substâncias requeridas	Substância aprovada	Área
Wm Mineração	Goianira/GO Trindade/GO	Calcário, Mármore e Piroxenito	?	14,77 hectares
Mineração Barreto AS	Belo Monte/AL	Calcário Dolomítico	?	11,5 hectares
Curimbaba	Poços de Caldas/MG Caldas/MG	Fonolito, Argila e Bauxita	Fonolito e Bauxita	100,29 hectares

Outra forma de aproveitamento é a do rejeito ou estéril da mineração, nos quais os exemplos são os biotititos das esmeraldas, ou os basaltos “podres” das ametistas, entre outros. Nesses casos existem diversas situações em que o rejeito ou estéril podem em parte ser aproveitados por conter substâncias remineralizadoras, gerando também um benefício ambiental e receitas extras dentre outros benefícios. Neste contexto, a participação do DNPM na discussão sobre normatização da rochagem é fundamental no sentido da proposta de se definir as substâncias que podem ser utilizadas na rochagem e de seu uso. Como proposta adicional a discussão da área máxima para as substâncias de rochagem, ora restrita a 50 hectares.

CONCURSO DE REDAÇÃO  
REDAÇÕES VENCEDORAS

# ROCHAGEM: UM NOVO PARADIGMA NA AGRICULTURA

*Fernanda de Paula Medeiros<sup>1</sup>*

Atualmente a produção de alimentos é um dos grandes problemas da sustentabilidade da vida humana e dos ecossistemas no planeta, pois, com a degradação contínua dos solos, os cultivos das terras ficam limitados, diminuindo a produtividade e ampliando as áreas cultivadas. Isto leva os agricultores a recorrerem ao uso de fertilizantes concentrados de alta solubilidade. A produtividade agrícola nacional responde de forma rápida e efetiva aos fertilizantes convencionais aplicados, assim como aos defensivos agrícolas e às espécies geneticamente modificadas. Mas um fato relevante é que 70% do total dos fertilizantes utilizados no país são derivados de fontes convencionais de nutrientes (FCN) importadas, compostas, essencialmente, de variantes de NPK, de elevada concentração e alta solubilidade. A situação delicada de dependência externa de insumos compartilhada por vários países, inclusive o Brasil, já é motivo suficiente para a busca de alternativas.

Sendo o solo um recurso de extrema importância para a sobrevivência humana, torna-se necessário buscar alternativas que possam proporcionar o melhor aproveitamento desse recurso, em especial na produção de alimentos.

Entre as práticas ou tecnologias ambientais disponíveis, a técnica da rochagem pode ser considerada como base fundamental para a recuperação dos solos já degradados pelo uso intensivo, pois tem como principal finalidade auxiliar os agricultores na reconstrução da fertilidade, restituindo ao solo os constituintes minerais já lixiviados, de forma que possam obter uma produção de alimentos de melhor qualidade, a custos mais baixos. A rochagem é uma técnica de fertilização que pode ser definida como uma prática de rejuvenescimento de solos com baixas taxas de fertilidade (Leonardos et al, 1984). Baseia-se na adição de pó de determinados tipos de rocha, como forma de melhorar as condições de fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio do meio ambiente. A Rochagem é uma tecnologia que pretende reverter o uso desmedido de insumos químicos, bem como tornar-se uma prática facilmente assimilada por agricultores, especialmente

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Florestal da UnB. Bolsista de iniciação científica do CNPq  
E-mail: fefah2801@gmail.com



os familiares, em função dos seus princípios e, especialmente, de seus custos. Configura-se, portanto, como um instrumento de mudança, uma vez que pode ser entendida como um processo de remineralização do solo, mediante a adição de pó de rocha/sedimentos ou seus derivados. Esta prática tem a capacidade de alterar positivamente os parâmetros de fertilidade dos solos sem afetar o equilíbrio do meio ambiente.

Entre as vantagens elencadas por vários autores, citam-se: grande quantidade de rochas com potencial de uso para melhorar as características de fertilidade dos solos; o uso das rochas chamadas multielementares seria mais vantajoso que os adubos convencionais, em função do fornecimento de vários nutrientes simultaneamente, presentes nestes agrominerais, alteração do pH dos solos; aumento da retenção de água no solo, principalmente quando os agrominerais estão associados a compostos orgânicos, possibilitando melhor desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, maior resistência das plantas; aumento da mineralização de C e N, beneficiando a ciclagem de nutrientes ao longo do tempo em áreas de florestas e os custos significativamente inferiores, quando comparados aos fertilizantes químicos.

A rochagem vem se mostrando uma excelente alternativa para o Brasil diminuir a dependência para a obtenção de insumos químicos, que não são nem sustentável nem economicamente viáveis, principalmente para o pequeno produtor rural. Auxiliado a outras tecnologias de produção – como os Sistemas Agroflorestais - tanto a produtividade quanto a qualidade dos solos podem ser elevadas, garantindo saúde para o solo, qualidade na produção de alimentos e colabora ainda com a sustentabilidade do planeta.

## PÓS DE ROCHA PARA UMA AGRICULTURA INDEPENDENTE

*Caio César Vieira Sampaio<sup>1</sup>*

O grande, e ainda permanente, êxodo de agricultores familiares para os centros urbanos e a falta de interesse dos jovens agricultores de permanecerem em pequenas propriedades, são problemas que acompanham a agricultura familiar no Brasil. Alternativas tem sido levantadas para tornar o trabalho no campo economicamente viável, ecologicamente correto e socialmente justo.

A revolução verde conseguiu abranger toda a humanidade com seus instrumentos tecnológicos, a partir dos quais a produção das monoculturas mundiais conseguiu alcançar recordes. A prática convencional e vigente de se produzir agrega alta dependência de práticas e insumos agrícolas, que somados ao elevado custo financeiro torna inviável a produção em pequena escala. Para sustentar a filosofia da revolução verde, no entanto, um grande impacto do ponto de vista social foi gerado no meio rural, quando tecnologias altamente poupadoras de mão de obra substituíram as mãos de milhares de trabalhadores que tiravam da “terra” seu sustento.

Diante dos fatos, pensar em uma nova revolução no campo se torna mais que uma questão ideológica, mas uma questão matemática. A rochagem é o início desta revolução, apresentando-se como alternativa economicamente viável aos fertilizantes de alta disponibilidade (de passivos), que possuem um alto valor agregado devido ao complexo sistema de síntese, além de seus impactos negativos ao ambiente. O uso de rochas moídas para a adubação do solo juntamente com outras técnicas como compostagem, vermicompostagem, adubação verde, etc., permite a revitalização do sistema solo, possibilitando o crescimento de diversos microrganismos. Outro fator importante na utilização de pós de rocha é a lenta disponibilização de nutrientes, ou seja, a planta se apropria dos nutrientes na medida em que ela necessita, e o restante fica no solo esperando para as próximas safras. Sem contar também, que o uso destes agrominerais é um ótimo fim de resíduos

---

<sup>1</sup> Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba. Bolsista PIBEX UFV. E-mail: caio.sampaio@ufv.br



e rejeitos do processo de mineração, que hoje são desperdiçados pelas empresas, mas a partir da rochagem podem ser utilizados como adubos.

Não é o objetivo da rochagem competir com os fertilizantes sintéticos, que contém seu nicho no mercado (a agricultura em grande escala), mas utilizar na agricultura familiar, que apesar de ocupar uma pequena parte da área agrícola, é responsável por garantir boa parte da segurança alimentar do país, como importante fornecedora de alimentos (mandioca, feijão, leite, etc.) para o mercado interno.

Tornar a propriedade familiar o menos dependente possível de mercadorias externas é a grande proposta da Agroecologia. A rochagem, sendo uma importante prática agroecológica pode reduzir drasticamente os custos de produção, em que o produto derivado da rocha a depender da distância de transporte, custa entre 20 e 30% do produto convencional, possibilitando ao pequeno produtor um novo espectro em sua propriedade, além de otimizar o processo produtivo e fomentar as economias locais. Com a propriedade ativa e produzindo, há um maior estímulo das gerações mais jovens a permanecerem no campo.

Acreditando que a agricultura familiar é a grande esperança para uma produção mais limpa, mais sustentável e socialmente mais justa, é inevitável a adoção de práticas como a da rochagem, que associadas a outras práticas agroecológicas irão inovar o contexto da produção de alimentos, gerando um alimento completo, ou seja, ecologicamente correto, economicamente viável e socialmente justo.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM  
12 A 17 DE MAIO DE 2013 – POÇOS DE CALDAS/MINAS GERAIS

---