



Anais  
I Congresso Brasileiro  
de **ROCHAGEM**  
21 a 24 de Setembro de 2009

Editores  
Eder de Souza Martins  
Suzi Huff Theodoro

ROCHAGEM



PETROBRAS



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Anais  
I Congresso Brasileiro  
de **ROCHAGEM**  
21 a 24 de Setembro de 2009

Editores  
Eder de Souza Martins  
Suzi Huff Theodoro

Embrapa Cerrados  
Planaltina, DF  
2010

#### Comissão Organizadora Organização do Evento

**Comissão organizadora:** Fernando Freitas Lins (MME)  
Suzi Huff Theodoro (Petrobras)  
Eder de Souza Martins (Embrapa)  
Elzivir Azevedo Guerra (MCT)

**Comitê Executivo:** Suzi Huff Theodoro (Petrobras - Coordenadora)  
José Marcos Figueiredo de Oliveira (MME/SGM - Sub-coordenador)  
Eder de Souza Martins (Embrapa Cerrados)  
Enir Mendes (MME/SGM)  
Marcus Manoel Fernandes (CETEC)  
Mariano Laio de Oliveira (MCT/SETEC)  
Tássia de Melo Arraes (MCT/SETEC)  
Kleysson Garrido Rego (FUSI)

**Comitê Técnico-Científico:** Eder de Souza Martins (Embrapa Cerrados – Coordenador)  
Adão Benvindo da Luz (CETEM)  
Adônis Moreira (Embrapa Milho e Sorgo)  
Alvaro V.de Resende (Embrapa Milho e Sorgo)  
Basílio E. da Cruz (CPRM-BA)  
Claudinei Gouveia de Oliveira (UnB/IG)  
Clenio Pillon (Embrapa Clima Temperado)  
Edinei de Almeida (AS-PTA)  
Fernando Freitas Lins (MME)  
José Carlos Polidoro (Embrapa/Solos)  
Ivanildo Marriel (Embrapa Milho e Sorgo)  
Ivan S. C. Mello (CPRM)  
Marcus Manoel Fernandes (CETEC)  
Marisa B. de Melo Monte (CETEM)  
Othon Leonardos (UnB/CDS)  
Ricardo Melamed (MCT/SEPED)  
Rita Fonseca (Univ. de Évora/Portugal)  
Suzi Huff Theodoro (Petrobras)  
Vinicius Melo Benites Embrapa/Solos)

**Projeto Gráfico e Editoração:** Divanir Junior (MTb/DF 4536/014/49v)

#### Patrocínio:

Petrobras, MME (Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral), MCT (Secretarias de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação e de Ciência e Tecnologia para a Inclusão Social), EMBRAPA, CNPq, Grupo MIBASA, Mineração Curimbaba, Itafós fertilizantes, terra Produtiva Mineração, FNS Galvani. O Congresso teve o apoio da Secretaria de Estado de Ciência Tecnologia e Ensino Superior, Fundação Sonia Ivar e Quasu Soluções em TI

#### Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Cerrados

C749a Congresso Brasileiro de Rochagem (1. : 2010 : Brasília, DF) Anais... / I Congresso Brasileiro de Rochagem; editores Eder de Souza Martins, Suzi Huff Theodoro Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2010.  
322 p. ; 30 cm.  
Data do Evento: 21 a 24 de setembro de 2009.  
ISBN: 978-85-7075-054-9

1. Rochagem. – 2. Fertilidade do solo. I. Martins, Eder de Souza. II. Theodoro, Suzi Hutt. III. Título.

CDD 21 551.38

© Embrapa 2009

## APRESENTAÇÃO

O I Congresso Brasileiro de Rochagem resultou de um acúmulo de vários anos de pesquisa sobre a utilização de rochas moídas para remineralizar os solos, de forma a melhorar seu perfil de fertilidade. O princípio desta tecnologia baseia-se no conceito de que diferentes tipos de rochas podem suprir com uma demanda adequada de nutrientes os solos tropicais e, em consequência as plantas, de forma que os agricultores/produtores possam ter produções compatíveis com suas necessidades e para atender o mercado.

Parte-se do pressuposto de que sendo o Brasil um país agrícola (e extremamente dependente da compra de fertilizantes do mercado internacional e que estes fertilizantes têm alcançado preços que comprometem o equilíbrio do setor - no final do ano passado os preços alcançaram valores estratosféricos, em função da alta demanda e do preço do petróleo), o país precisa encontrar mecanismos e novas rotas tecnológicas que possam diminuir esta dependência do mercado internacional. Neste sentido, a tecnologia da **Rochagem** pode-se configurar como uma excelente alternativa, uma vez que o Brasil é um país mega-geodiverso e que, portanto, pode viabilizar o uso de diferentes tipos de rochas, em diferentes regiões para alcançar padrões de fertilidade combatíveis com as necessidades regionais e ainda facilitar mecanismos de desenvolvimento regional, dentro de padrões mais sustentáveis (econômica e ambientalmente).

A tecnologia da Rochagem foi primeiramente sugerida no Brasil na década de 1950 por Josué Guimarães e Vladimir Ilchenko (em Minas Gerais). Posteriormente, o professor Othon Leonardos, da UnB, fez diversas pesquisas relacionadas ao tema e, é considerado como o grande precursor da Rochagem no Brasil. Na década de 1990, outros grupos iniciaram novas pesquisas com enfoques específicos. O grupo da UnB, liderado pelo Prof. Othon, passou a testar diferentes tipos de rochas brasileiras, incorporando aos aspectos geoquímicos e agrônômicos, um viés mais social e ambiental à pesquisa, mas, também, realizando experimentos junto a agricultores familiares (assentados, quilombolas e pequenos agricultores) em Minas Gerais, Bahia, Rio grande do Sul e Pará. Um outro grupo formado por técnicos da Embrapa, teve como principal meta pesquisar tipos de rochas que pudesse suprir o mercado brasileiro com fontes específicas, em especial o Potássio. Outros grupos dispersos no país e, também no exterior, vêm apresentando trabalhos importantes. E foi justamente para agregar as diversas pesquisas, que surgiu a ideia de fazer o I Congresso Brasileiro de Rochagem.

Para viabilizar esta empreitada foi formado um grupo de interesse formado por representantes da Petrobras, Embrapa, Ministério das Minas e Energia (Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral) e Ministério de Ciência e Tecnologia (Secretarias de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação e de Ciência e Tecnologia para a Inclusão Social) e CNPq. Este grupo contou com o apoio e patrocínio de suas instituições e ainda de cinco mineradoras (Grupo MIBASA, Mineração Curimbaba, Itafós fertilizantes, Terra Produtiva Mineração, FNS Galvani.). Outro apoio importante foi da Secretária de Estado de Ciência Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais. Brasília foi escolhida para sediar o Evento, porque é uma cidade central e de fácil acesso aos demais pesquisadores de outros estados.

**Entre os principais objetivos do Congresso pode-se citar os seguintes:**

- Apresentar os avanços da pesquisa da rochagem no Brasil;
- Consolidar os resultados das pesquisas sobre o uso de pós de rochas como fonte de nutrientes para os solos tropicais brasileiros;
- Apresentar a Rochagem como uma tecnologia factível de uso e como uma possibilidade de política pública para diversificar os tipos de insumos utilizados para alterar os padrões de fertilidade dos solos brasileiros;
- Discutir mecanismos e metodologias para a regulamentação da comercialização de pós de rochas como fonte de nutrientes.
- Delinear estratégias de divulgação da tecnologia da Rochagem de maneira que a mesma possa ser identificada como uma forma ambientalmente adequada de produção agrícola, para atender o mercado interno, em especial para a agricultura familiar;
- Consolidar o potencial do uso de pós de rochas como mecanismo de remineralização/rejuvenescimento dos solos degradados;
- Incentivar a formação de uma rede de pesquisadores e empresas envolvidas com a comercialização de rochas moídas;
- Elaborar uma publicação com os trabalhos científicos e tecnológicos mais significativos desenvolvidos no Brasil.

**Como principais resultados deste Evento citam-se os seguintes:**

- Mais de 60 trabalhos científicos mostrando os avanços da pesquisa;
- Participação de representantes de diversas áreas de interesse (cientistas, agricultores, extensionistas rurais, empresários e representantes do 3º. Setor);
- Indicação para a formatação dos próximos Congressos Brasileiros de Rochagem para uma periodicidade de dois anos;
- Formação de uma rede de pesquisadores brasileiros e estrangeiros (com representantes do Canadá, Portugal, Holanda, Inglaterra, África do Sul e Uganda, Camarões e Paraguai). A formalização de uma rede de pesquisadores envolvidos com este assunto fortalece o Brasil como um país pioneiro na busca de alternativas ambientais para questão do uso do solo para produção agrícola;
- Comprometimento de um grupo de participantes do Congresso para a elaboração de uma metodologia de consenso para viabilizar a liberação para a venda e uso de produtos comercializados para fins de remineralizar o solo;

- Consolidação de um marco estratégico para o futuro do País neste tema, pois alertou tomadores de decisão, empresários e cientistas da importância deste tema e da potencialidade de uso de matérias disponíveis no país para alterar o mercado de fertilizantes, do qual o Brasil é dependente e;
- Formalização de um GT que pretende elaborar um documento com os principais princípios e potencialidades da tecnologia da Rochagem para que este tema seja inserido no planejamento estratégico do país para os próximos 20 anos.

Por todas estas conquistas, a realização deste I Congresso Brasileiro de Rochagem superou as expectativas e prevê um futuro bastante promissor para este novo ramo científico/industrial, ou ainda, para a potencialidade desta tecnologia genuinamente brasileira.

*Comissão Organizadora*

# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	5
GEODIVERSITY, BIODIVERSITY AND THE ORIGIN OF CROPS .....	13
Peter van Straaten	
DIRECT APPLICATION OF INDIGENEOUS GROUND ROCKS TO IMPROVE AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN UGANDA .....	23
Vincent Kato	
USE OF PYROCLASTIC ROCKS FROM THE CAMEROON VOLCANIC LINE AS ROCK FERTILIZERS: PRELIMINARY RESULTS .....	31
Jean Pierre Tchouankoue, David Guimolaire Nkouathio, Clementine Njofang	
POTENTIAL OF FLY ASH AS SOURCE OF ALKALINITY FOR AMELIORATION OF ACID SOILS OF THE SOUTH AFRICAN HIGHVELD .....	37
J. R. Harper, M. V. Fey, I. Mbakw. and M. Awkes	
STONE MEAL AS A SOURCE OF PLANT NUTRIENTS, ESPECIALLY POTASH: A MINERALOGICAL APPROACH .....	47
David A. C. Manning	
INTRODUCING STONE MEAL IN THE NETHERLANDS .....	55
H.L.T Bergsma, A.T. Campos dos Santos, and E.A.P.M. Carpay	
THE HIDROELECTRICITY IN TROPICAL AND MEDITERRANEAN REGIONS: ENVIRONMENTAL IMPACTS AND BENEFITS OF SEDIMENTARY RETENTION AS AGROECOLOGICAL RESOURCE .....	65
R. Fonseca, F.J.A.S. Barriga, S. Theodoro	
FONOLITO COMO SUBSTITUTO DO CLORETO DE POTÁSSIO E/OU OUTRAS FONTES DE POTÁSSIO NA AGRICULTURA E PECUÁRIA NO BRASIL .....	75
Guilherme de Paiva Cortes, Rafael Curimbaba Ferreira, Gabriel de Paiva Cortes, Lúcio Rampazzo & Leonardo Curimbaba Ferreira	
AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL, ÁREA FOLIAR E DENSIDADE POPULACIONAL DE DUAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR INFLUENCIADAS PELA APLICAÇÃO DE MB-4. ....	85
Renato Galdino Duarte Bezerra, Glauco de Andrade Antunes, Mauro Wagner de Oliveira, Edna Vieira dos Santos Aristides, Thiago Batista dos Santos e José Harlisson de Araujo Ferro.	
EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS DE ROCHA ITAFÓS, UTILIZADOS ISOLADAMENTE OU ASSOCIADOS AO SUPERFOSFATO SIMPLES NO OESTE DA BAHIA, PARA A CULTURA DA SOJA. ....	93
Iury B. Paçô & Sebastião Alberto de Oliveira	
UTILIZAÇÃO DA FARINHA DE ROCHA NA PRODUÇÃO DE FRUTEIRAS .....	101
Manoel Teixeira de Castro Neto e Mariana Souza da Silva	
TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DE GLAUCONITA COMO FONTE DE POTÁSSIO NA AGRICULTURA: O CASO BRASILEIRO E A EXPERIÊNCIA INDIANA. ....	111
Francisco E. Lapido-Loureiro, Marisa Nascimento, Reiner Neumann & Andrea C Rizzo	
CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DE LIBERAÇÃO LENTA DE NUTRIENTES DE UM CONCENTRADO ZEOLÍTICO BRASILEIRO .....	121
Marisa Monte; Alberto Bernardo; Paulo Paiva, Fernando de Souza-Barros	
INFLUÊNCIA DE RESÍDUOS DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLOS E NA QUALIDADE DA ÁGUA .....	129
A.P.A. Bertossi, M.S.N. Cardoso; A.C.A. Prado; S.P. Caetano; M.A. Neves	

ROCHAGEM: VIABILIZANDO O USO SUSTENTÁVEL DOS DESCARTES DE MINERAÇÃO NO DISTRITO MINEIRO DE AMETISTA DO SUL (DMAS), RS, BRASIL .....	137
Magda Bergmann, Rosemary Hoff & Suzi Maria de Córdova Huff Theodoro	
VIABILIDADE AGRONÔMICA DO USO DO REJEITO DE GARIMPOS DO DISTRITO PEGMATÍTICO DE ARAÇUAÍ, MG. ....	147
Marcus Manoel Fernandes, Antônio Carlos Pedrosa Soares & Cristiane Valéria de Oliveira	
POTENCIAL DE APLICAÇÃO DOS SERPENTINITOS COMO INSUMO NA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL .....	157
Eyler Tavares, Zuleica Castilhos, Adão da Luz, Silvia França, Ricardo Cesar, Luis Carlos Bertolino	
TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA DE SISTEMAS PRODUTIVOS FAMILIARES NO SUL DO PARANÁ E PLANALTO NORTE CATARINENSE – O RELATO DA EXPERIÊNCIA COM O PÓ DE BASALTO .....	167
Edinei de Almeida Fábio Junior Pereira da Silva	
MECANISMOS PARA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS A PARTIR DE PROCESSOS BIOLÓGICOS. ....	173
Suzi Huff Theodoro, Othon H. Leonardos & Edinei de Almeida	
EFEITO DA ROCHAGEM NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS DE SOJA SOB MANEJO AGROECOLÓGICO. ....	183
André Mundstock Xavier de Carvalho; Daniely de Cássia Deliberali & Irene Maria Cardoso	
POTENCIAL DE USO DE ZEÓLITAS NA AGROPECUÁRIA .....	191
Alberto Bernardi; Marisa Monte; Jose Carlos Polidoro; Fernando de Souza-Barros	
USO AGRÍCOLA DE RESÍDUOS MINERAIS DA SIDERURGIA PARA PRODUÇÃO DE AGROENERGIA: RESULTADOS DA UNESP COM CANA-DE-AÇÚCAR .....	197
Renato De Mello Prado & Ivana Machado Fonseca	
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UM RESÍDUO DE MINERAÇÃO NA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO E OUTROS NUTRIENTES EM DOIS SOLOS DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO .....	207
Davi José Silva, Alessandra Monteiro Salviano Mendes, Daniillo Olegário Matos da Silva, Marlon Alves Lins e Elder Rodrigues Silva	
EFEITO DA COMBINAÇÃO DE CALCÁRIO DE XISTO E CALCÁRIO DOLOMÍTICO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE DOIS SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS .....	215
Carlos Augusto Posser Silveira, Luis Henrique Gularte Ferreira, Clenio Nailto Pillon, Sandro José Giacomini, Leandro Carlos dos Santos	
EFEITO DA COMBINAÇÃO DE CALCÁRIO DE XISTO E CALCÁRIO DOLOMÍTICO COM DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA .....	219
Luis Henrique Gularte Ferreira, Carlos Augusto Posser Silveira, Clenio Nailto Pillon, Leandro Carlos dos Santos	
AVALIAÇÃO DO EFEITO DE FERTILIZANTES FOLIARES A BASE DE ÁGUA DE XISTO NA PRODUTIVIDADE E NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA NA CULTURA DO MILHO. ....	225
João Peterson Pereira Gardin, Marta Eliane Doumer, Rafael da Silva Messias, Luis Henrique Gularte Ferreira, Carlos Augusto Posser Silveira, Clenio Nailto Pillon	
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE XISTO VISANDO SEU USO COMO INSUMO PARA A AGRICULTURA .....	233
Rafael Messias, Luis Henrique Gularte Ferreira, Betânia Fraga Pereira, Carlos Augusto Posser Silveira, Clenio Nailto Pillon	

ESTUDO DE SORÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DE FENOL E O-CRESOL COM ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA AMBIENTAL A PARTIR DO USO DE ÁGUA DE XISTO. ....	239
Rafael Garrett Dolatto, Talita de Oliveira, Gilberto Abate, Iara Messerschmidt, Betânia Fraga Pereira, Clenio Nailto Pillon	
USO DA ÁGUA DE XISTO COMO MATÉRIA-PRIMA DE FERTILIZANTES FOLIARES PARA A CULTURA DA ALFACE .....	249
Rafael Messias; Isadora Adamoli Pagel; Carlos Augusto Posser Silveira; Clenio Nailto Pillon	
INFLUÊNCIA DE FORMULAÇÕES FOLIARES A BASE DE ÁGUA DE XISTO (AX) NO TEOR DE ÓLEO EM DUAS CULTIVARES DE GIRASSOL ( <i>HELIANTHUS ANNUUS</i> L.) .....	255
Rafael Messias, Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, Isadora Pagel, Vanessa Fernandes Araújo, Carlos Augusto Posser Silveira, Clenio Nailto Pillon	
CONTROLE DE <i>SITOPHILUS ORYZAE</i> (L.) EM ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE CENTEIO COM SUBPRODUTOS DO PROCESSAMENTO DO XISTO, NO PARANÁ, BRASIL .....	259
Magda Fernanda Paixão, D.C.Ahrens, R. Bianco, O.C. Ohlson, F. Skora Neto, F.A. Silva, J.T. Caieiro, & N.R.X. Nazareno	
ROCHAS SILICÁTICAS E A PRODUTIVIDADE DE SORGO NA ENTRESSAFRA EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA .....	265
C.E. Martins, W.S.D. Rocha, F. Souza Sobrinho, A.M. Brighenti, P.S.B. Miguel, J.P.M. Araújo, A.V. De Oliveira, F.A.M. De Souza, R.A. Borges & R.C.V. Souza	
INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NO FORNECIMENTO DE NUTRIENTES PROVENIENTES DE ROCHA PARA FEIJÃO VAGEM ALESSA. ....	271
Silver Rodrigues Zandoná, Carlos Antonio Barreto dos Santos, José Antonio Azevedo Espíndola, José Guilherme Marinho Guerra	
PRODUTIVIDADE DE BRACHIARIA DECUMBENS, NA ENTRESSAFRA, EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA COM DIFERENTES ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTE DE POTÁSSIO .....	277
W.S.D. Rocha, C.E. Martins, F. Souza Sobrinho, A.M. Brighenti, P.S.B. Miguel, J.P.M. Araújo, A.V. de Oliveira, F.A.M. de Souza, R.A. Borges & R.C.V. Souza	
RELATIVE EFFICIENCY OF SOURCES OF POTASSIUM IN THE FERTILIZATION OF CROP SYSTEM PEAR MILLET AND SOYBEAN .....	283
A. M. Coelho, I. E. Marriel, D. M. Rocha	
ROCHAS SILICÁTICAS NA CORREÇÃO E ADUBAÇÃO DE SOLOS .....	289
Fred Newton da Silva Souza, Juliana Mariano Alves, Luiz Renato D'Agostini, Otton Nunes Pinheiro, Vanderson Rodrigues de Almeida, Gustavo Azevedo Campos	
POTENCIAL DE REJEITO MINERAL NA PRODUÇÃO DE GRÃOS. ....	297
Fred Newton da Silva Souza, Juliana Mariano Alves, Luiz Renato D'Agostini, Otton Nunes Pinheiro, Lucas Koshy Naoe, Vanderson Rodrigues de Almeida	
REJEITO MINERAL COMO FONTE DE FERTILIZANTE .....	303
Fred Newton da Silva Souza, Juliana Mariano Alves, Luiz Renato D'Agostini, Otton Nunes Pinheiro, Vanderson Rodrigues de Almeida, Gustavo Azevedo Campos	
EFEITO RESIDUAL DA ROCHA ULTRAMÁFICA ALCALINA NA PRODUÇÃO FERTILIDADE DO SOLO E ESTADO NUTRICIONAL DO CAPIM MASSAI EM SUCESSÃO COM LEGUMINOSA DE CLIMA TROPICAL E TEMPERADO .....	309
Adônis Moreira, Marianna Giroto, Tatiana Salata Lima e Ângela Maria Fala	
ROTAS TECNOLÓGICAS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVAS PARA A OBTENÇÃO DE FERTILIZANTES .....	313
Arthur Pinto Chaves	

## GEODIVERSITY, BIODIVERSITY AND THE ORIGIN OF CROPS

Peter van Straaten

University of Guelph, Canada, pvanstra@uoguelph.ca

The term biodiversity is widely used in the world signifying the importance of biotic values on Earth and her conservation. In contrast, the term geodiversity which denotes the importance to abiotic features, especially geological features has only been introduced recently (Gray 2004; CPRM 2006; Nascimento et al., 2008). Geodiversity is the variety of geological environments, phenomena and processes that make up landscapes, rocks, minerals, fossils which provide the framework for life on earth. Discussions on geodiversity are often associated with conservation of geological features, as well as geoconservation and geotourism. The term geodiversity, *sensu stricto*, reflects the distribution and density of differing rock types and geologic processes that formed them. Areas with high geodiversity are those areas where a great variety of rock types is concentrated in relatively small areas, denoting the chemical and mineralogical characteristics of rock types and density of geological features. Several authors include soil diversity as part of geodiversity, although soils certainly contain an important biotic fraction.

The Atlas of Geodiversity 'Mapa Geodiversidade do Brasil' by CPRM (2006) outlines areas in Brazil with specific rock types and geological diversity, so-called domains, and their utility, specifically their potentials and limitations for agricultural use, for to be some general spatial correlations. Marques et al., (2004) and Curi and Franzmeier (1987) showed for instance, that the major element geochemistry and mineralogy in some Cerrado soils reflect the underlying geology. For example, soils developed on basaltic material have the highest clay content, highest CEC, P, Ca, Fe, Ti, as well as the highest organic C of all soils collected, in comparison to soils developed on sediments hydrological purposes, and for the environment and geotourism. When comparing the general distribution of rock types with the general distribution of soil types in Brazil there appear and metamorphic rocks.

On a wider scale, it can be demonstrated that geological processes, especially plate tectonics at converging and diverging plate margins and the resultant formation of mountains (e.g. the Andes) had a profound effect on rock diversity, rock weathering, rock redistribution and subsequent soil fertility. Planet Earth would likely be a dull and uninhabitable place was it not for the dynamic forces of plate tectonics which move large rigid portions of the earth, so-called plates, apart and against each other over time, forming a mosaic of different rock types and structures and creating new landscapes and reliefs with differing climates. But, over time, the movements of plates caused not only destruction but also geological rejuvenation at plate margins.

In the global context, there are three types of plate boundaries along which most of the dynamic movement and volcanic activities take place: (i) divergent plate boundaries, which are long linear zones where plates are pulled apart from each other; (ii) convergent plate margins, where plates move towards each other along linear zones and where one plate commonly moves beneath another plate, and (iii) transform plate boundaries where plates slip laterally past each other.

Rigid plates of the earth are still ‘on the move’ with destruction of plates and mountain building happening at sites of converging plate margins and new rock generation at diverging plate margins. But volcanic eruptions do not only bring short term destruction of the earth surface and destruction of flora and fauna through outpouring of hot lava and ejection of hot ash. Volcanism also forms new landscapes and creates niches and new habitats for new growth of plants and habitats for animals.

A review on the general distribution of fertile versus infertile soils reveals that relatively fertile soils develop in areas that have experienced either volcanic activity with volcanic flows and ejection of volcanic rock and ash, or redistribution of fresh weatherable rocks and weatherable primary minerals through transport by water as well as aerial and glacial activities (van Straaten 2009). Areas with inherently fertile soils are not only found at converging or diverging plate boundaries, areas with geologically speaking ‘young’ volcanic rocks, they are also found overlying ‘mantle plumes’, like the Paraná Basin, or the voluminous potassic-rich mafic melts of the Mata da Corda area in central Brazil (Gibson et al., 1995) or overlying areas that underwent volcanic activities in Precambrian times, e.g. ‘greenstone belts’. A generalized section across South America (Fig. 1) shows the different geological environments and their associated inherent soil fertility.

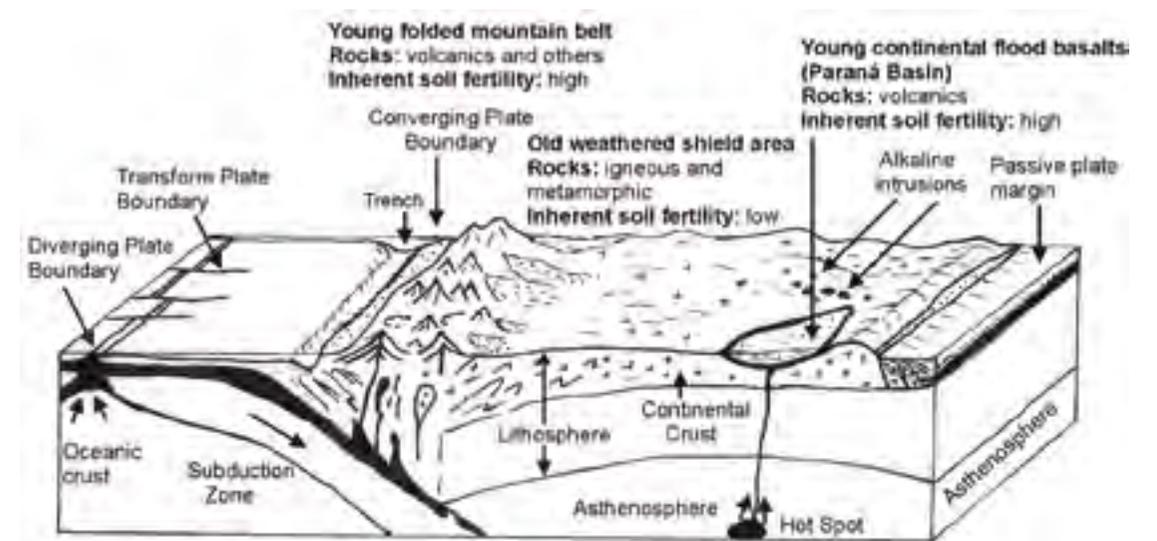


Fig. 1. The general relationship between rocks and soils and soil fertility in different geological and geotectonic environments in South America (source: van Straaten 2009).

High inherent soil fertilities are also found in alluvial plains formed by redistribution processes of newly formed or exposed rock formations, for examples along the River Nile and the Nile delta or the alluvial plains in Mesopotamia, the plains of the Indus and Ganges in Pakistan and India, and in China. The fertility of soils along the lower flood plains of the Yangtse River (Cháng Jiāng) and Yellow River (Huáng Hé) are annually rejuvenated by layers of silt derived from the highlands of central China.

Other redistributed inherently fertile geological materials are dusts from deserts and glacial areas. Large volumes of dust particles from deserts or floodplains of glacial melt water streams are blown over long distances and deposited in thick blankets across the landscape. Because of their high nutrient reserves and good physical conditions soils developed on loess are fertile and productive provided sufficient moisture is available. Fertile soils derived from windblown or water born redistributed glacial materials are found in parts of central Europe, North America, and China.

Biodiversity, or biological diversity refers to the variety and variability of all living biota, the relationship between them and the habitats in which they occur. It includes endemic species richness and species diversity. Biodiversity is our living resources base, our biological capital in the global biological bank. Fig. 2 outlines the distribution and densities of vascular plants which are indicator groups in terrestrial habitats, based on species numbers per 10,000 km<sup>2</sup>. It shows the densest zones along the Northern Andes and Meso-America, Cuba, some coastal zones in Brazil, coastal South Africa, Madagascar, along the Western Rift Valley, along the volcanic chain of Cameroon, large parts of SE Asia, including Sumatra, Borneo, New Guinea, and parts of the mountain ranges in Central Asia, and the Mediterranean. In general, the highest densities of vascular plants are found in mountainous areas.

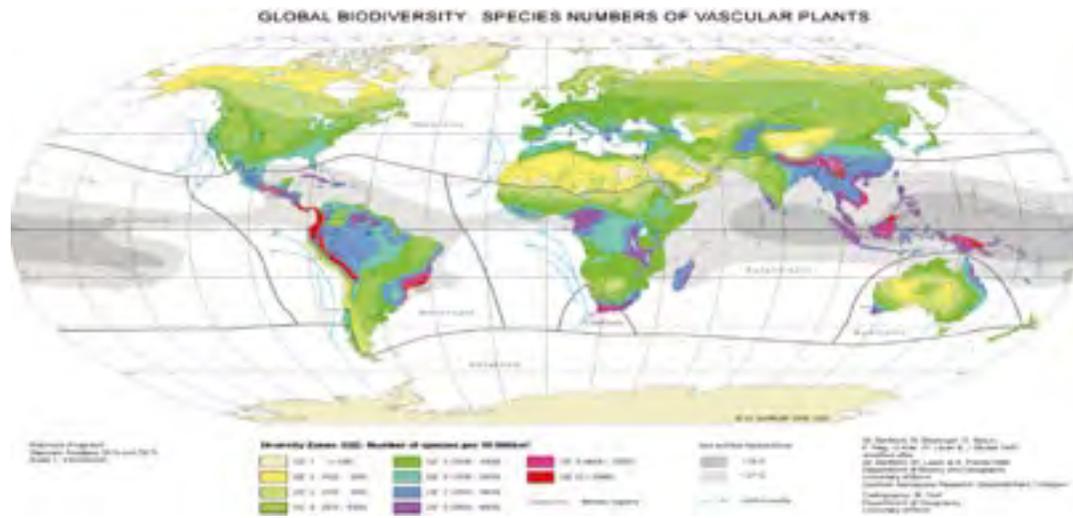


Fig. 2. Distribution and density zones of vascular plants (number of species of per 10,000 km²) (source: Barthlott et. al. 1997).

Another term used frequently is ‘biodiversity hotspots’ (Fig. 3). These ‘hotspots’ are areas of exceptional concentrations of endemic species and experiencing exceptional loss of habitat due to human intervention. It should be noted that the Cerrado in Brazil is one of those biodiversity hotspots.

An open question related to geodiversity and biodiversity pertains to the potential relationship between these two ‘diversities’, between abiotic and biotic diversity. Is there a spatial or causal relationship between geodiversity and biodiversity?



Fig. 3. Distribution of biodiversity hotspots.

When plotting the areas of highest biodiversity with mountain ranges developed from moving plates (high geodiversities) a spatial pattern seems to indicate a relationship between areas of high biodiversity (species densities) and mountain areas formed by plate tectonics. However, there are marked exceptions to this spatial correlation, e.g. areas like Madagascar and coastal zones of South Africa and Brazil for example. What is common to this picture is that the highest biodiversities seem to be found in mountain ranges with sufficient rainfall (Fig. 4). These sites display a multitude of rock types, a high geodiversity over short distances, at different altitudes and in different climates, supporting higher biodiversity than in monotonous, flat lying infertile terranes. While the climates set the limits for crops, geological diversity and topography shape the land and biodiversity enrichment and selection.



Fig. 4. Distribution of mountain ranges (source: Gerard 1990) and areas of enhanced global biodiversity of vascular plants (source: Barthlott et al., 1997).

Soils are the product of the interaction of five environmental variables: climate (cl), organisms (o), relief (r), parent material (p) and time (t), expressed by Jenny (1941) as  $s=f(cl,o,r,p,t)$ . Similarly, plant species diversity largely depends on the action and interaction of cl, o, r, p, t plus genetic diversity, heredity (Kruckeberg 1986). Thus, it is plausible that biological rejuvenation and speciation is related to changing environments related to plate tectonics and mountain formation which create new niches and evolutionary opportunities, climatic differentiation, organic matter niches, differences in relief, different parent material, over time (cl o r p t). High geodiversity at dynamic plate margins can promote higher biodiversity due to a higher gradient in relief, different parent materials which include new, nutrient-rich rock. There are, however, some mountain areas (e.g. the Atlantic forests, the ‘Mata Atlantica’ of Brazil, and in South Africa) that show high biodiversity but relatively low geodiversity.

As seen before, plate margins, either convergent margins e.g. the Andes, or divergent plate margins, e.g. the Rift valley in East Africa, are related to increased soil fertility and are also areas with high biodiversity.

The question arises whether these conditions provide also suitable and optimal ecological environmental conditions for the high variability of crops and their subsequent domestication?

Many studies have been carried out discussing the origins of agriculture, the zones of the first domestication of crops and animals, e.g. Harlan (1992). The domestication of agricultural crops has a relatively recent history only, starting after the last glacial periods, just over 10,000 years ago. Domestication of crops and animals started during a period of climate change (from high climatic variability to lower variability (climatic effect) and/or disequilibrium between supply and demand of food stuff (population pressure) (Richerson et al., 2001). The famous Russian botanist and geneticist Nikolai I. Vavilov (1887-1943) developed the concept of broad 'centres' of origins of crop domestication, a concept that has since been modified into a more complex distribution pattern.

Obviously, the locations of the origin and domestication of food crops are not equally distributed across the earth. Plotting the sites of early domestication shows that many of the 'centres' or regions of origin and domestication of cultivated plants are located in or at the flanks of mountain ranges, at lake shores and in alluvial plains that receive nutrient rich ground rock materials and have pronounced seasonality. The spatial distribution of many of the 200 or more domesticated plant species show that some of these regions coincide with mountain ranges formed by relatively young geological processes, for example the Andes, where the progenitors of maize, beans and potatoes originate from, and the Taurus and Zagros mountains in the Middle East where the ancestors of wheat and barley originate from. These sites are commonly on relatively young, often volcanic soils, and dominated by strong relief and climatic gradients. When climatic change for example at the Pleistocene/Holocene border affected these areas, biota and whole ecological zones could move up or down the mountain slopes over relatively short distances. Other progenitors of crops seem to be related to hydromorphic conditions (e.g. rice) and climatic conditions, likely unrelated to mountain belts, e.g. bananas (in tropical forests of SE Asia) and sorghum (in semi-arid West and Central Africa) (Harlan 1992).

The geography of the domestication of the main food crops seems to indicate that many of the crops developed along zones that are also zones of high bio- and geodiversity: the ancestors of maize, potatoes, wheat, beans are found in geologically speaking young mountain ranges or along the flanks of mountains related to plate margins.

The new area of research, genetic fingerprinting, for example through Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP) can outline the area in which major crops originate from. For example, DNA fingerprinting and genetic methods could delineate geographical centres of maize and other crops which give us some indications of environmental conditions in which the ancestors of major crops lived before domestication and breeding. However, so far most of this interdisciplinary research is conducted by biologists, plant geneticists, archeologists, without or with little involvement of soil scientists or geologists. Crop domestication was not by genes alone, there were certainly human and environmental aspects involved.

Maize is a crop originating from Mexico. The wild ancestors of maize (*Zea mays ssp. parviglumis*) grew widely in the Central Balsas watershed of tropical southwest Mexico since the late

Pleistocene. The area of the Balsas River catchment is dominated by limestones. Archeological and genetic mapping techniques show that the earliest domestication by people took place at lake edges at around 9,000 years before the present (Piperno et al., 2007; Matsuoka et al., 2002).

Common beans (*Phaseolus vulgaris*) originated and was domesticated in two primary centres, in the southern Andes (mainly on the eastern sides of the Andes) and in Meso-America (Gepts and Debouk 1991; Papa *et al.* 2006). It is observed that, in general, most of the world's most important crops including rice (from alluvial wetland environments in SW Asia), originate spatially from areas with relatively young soils that experienced geological soil rejuvenation. These include zones of either plate margins (young mountain areas) or areas that have experienced redistribution of new fresh rock, for example the lower flood plains of the Yangtze River, and the Yellow *et al.* 2006). Biodiversity exploration using geographical information systems (GIS) shows environments of 'bean-favouring' climates (Jones et al., 1997) sharply coinciding with the eastern branch of the Andes in Colombia and Venezuela. So far, no studies have been conducted by soil scientists or geologists to determine 'bean favouring' soil factors or geological environments in which these ancestors of the common beans occurred.

Extensive archeological and biological work has been done in the 'Fertile Crescent' of the Middle East, where the origin of wheat, barley and many other crops has been well documented. DNA fingerprinting methods that show the progenitors of food grain crops like wheat and barley originate from the Karacadag region in SE Turkey, an area dominated by soils on basaltic rocks (Heun et al., 1997, Ozkan et al., 2005).

Potatoes originate from areas with cool climatic conditions in the southern Andes, areas dominated by pumice-rich volcanic River in China, or the Mekong.



Fig. 5. Distribution and areas of origin of domestication of maize (left, source: Matsuoka et al., 2002) and beans (right, source: Papa et al., 2006).

When reconstructing the original soil and climatic environment of the origins of crops it is important to understand the specific climatic and edaphic constraints to which the crops adapted to and the habitat in which they thrived. They likely inherited specific traits in their gene pools that make them adapt and suitable for certain habitats to flourish. We have to understand better the environmental conditions under which our biodiverse germplasms developed from and to which the ancestors of our main crops adapted.

Extensive breeding has changed the conditions in which crops can be grown, but usually only with the help of soil modifying management practices, for example through the use of fossil-fuel-based and high-grade phosphate based agrochemicals, fertilizers, pesticides and herbicides. In breeding and soil fertility programs the natural edaphic conditions are commonly altered: chemical and biological soil parameters are manipulated to obtain optimal growth conditions and ultimately yield. Synthetic fertilizers and pesticides/herbicides are used together with irrigation systems to provide newly bred hybrids with optimal growth conditions and high yields. The soil is only a 'substrate'.

In the last two years we experienced a drastic increase in fertilizer prices. Nitrogen fertilizers, strongly linked to the price and availability of natural gas, spiked in late 2008, and phosphate as well as potash fertilizers have experienced strong price hikes in recent years. Most of these commodity prices are based on the availability of cheap fossil fuel and low prices of non-renewable resources of phosphate and potash. The long-term outlook indicates that input intensive farming will have reduced availabilities of fossil-fuel-based nitrogen fertilizers (related to peak oil) and high grade phosphate ores (between 50 and 100 years according to Vaccari 2009 and Cordell et al., 2009) as well as irrigation water. Food security faces the geological dilemma of limited resources of fossil fuel and high grade phosphate rocks in the future.

A new paradigm of thinking is necessary of managing our most vital resources for food production (water and soils) that will compel the conventional agricultural communities to develop new strategies that better link crops to inherent soil properties and develop soil management practices that need less or other nutrient inputs and water.

By better understanding natural systems of rock-soil-plant relationships we will be able to develop more ecologically sound systems that are more sustainable than the current systems. We have to think WITH nature and not how to manipulate nature, specifically soils as lifeless substrates that we can change to suit crops that naturally would grow in other ecosystem habitats. One of the alternative ways of sustaining a more ecologically balanced natural soil fertility approach is to match the crops to soil conditions from which they originate from (hence the need to understand the past edaphic and climatic conditions of plant origins) and use rocks that have shown to provide a wide spectrum of nutrients to soils (hence the need to understand the processes of natural – geological - soil rejuvenation).

The alternative proposed in this meeting is to apply those rocks and minerals that are the bases for inherently fertile soils, e.g. nutrient-rich volcanic rocks, young or old, to infertile soils in the near surrounding. Provided these materials are not transported over long distances (thus consuming fossil fuels) these rocks, in combination with good organic management (utilizing available animal and green manures, crop rotation) will be an alternative to non-renewable fossil-fuel-based fertilizer and irrigation based farming systems. This new system will mimic natural systems and, over the long term, provide the basis for a stable food production system. The way forward is to support the science-based approach of 'rochagem' (rocks for crops) as part of a forward looking, ecological approach to farming using organic matter and - 'fertile' rocks for healthy crops.

## REFERENCES

- BARTHLOTT, W.; MUTKE, J.; and KIER, J. BIOMAPS - Biodiversity Mapping for Protection and Sustainable Use of Natural Resources. [http://74.125.93.132/search?q=cache:w1jrKh4mRxEJ:www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/bonn/Biodiv\\_mapping/biomaps.htm+Barthlott+et+al.+1997+biodiversit&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ca](http://74.125.93.132/search?q=cache:w1jrKh4mRxEJ:www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/bonn/Biodiv_mapping/biomaps.htm+Barthlott+et+al.+1997+biodiversit&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ca), 1997
- CORDELL, D.; DRANGERT, JO.; WHITE S. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change* 19:292-305, 2009.
- CPRM. Mapa geodiversidade do Brasil: escala 1:2.500.000, CPRM, SGM, MME, 68p. 2006.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some oxisols in Brazil. *Soil Sci Soc Am J*, 51:153-158, 1987.
- GERARD, A. J. *Mountain environments: An examination of the physical geography of mountains*. London, Belhaven Press, 317p. 1990.
- GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: van Schoonhoven A and Voysest O (eds) *Common beans: Research for crop improvement*. CAB International/CIAT, Wallingford, UK, pp.7-53. 1991.
- GIBSON, S.A.; THOMSON, R.N.; LEONARDOS, O.H.; DICKIN, A.P.; MITCHELL, J.G. The late Cretaceous impact of the Trindale mantle plume: Evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. *J Petrol* 36:189-229. 1995.
- GRAY, M. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley and Sons Ltd, London, 434p. 2004.
- HARLAN, J.R. *Crops and man*. 2<sup>nd</sup> edition. Am Soc Agr. Madison/Wisconsin, 284p.1992.

HEUN, M.; SCHAEFER-PREGL, R.; KLAWAN, D.; CASTAGNA, R.; ACCERBI, M.; BORGHI, B.; SALAMINI, F. Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science* 278:1312-1314. 1997.

JONES, P. G.; BEEBE, S.E.; THOME, J. The use of geographical information systems in biodiversity exploration and conservation. *Biodiversity and Conservation* 6:947-958. 1997.

KRUCKEBERG, A.R. *Geology and plant life*. University of Washington Press, 362p. 2002.

MARQUES, J.J.; SCHULZE, D.G.; CURI, N.; MERTZMAN, S.A. Major element geochemistry and geomorphological relationship in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma* 119:179-195. 2004.

MATSUOKA, Y.; VIGOUROUX, Y.; GOODMAN, M. M.; SANCHEZ, J.; BUCKLER, E.; DOEBLEY, J. *Proceedings of the National Academy of Science* 99 (9): 6080-6084. 2002.

NASCIMENTO, M. A. L.; RUCHKYS, U. A.; MANTESSO NETO, V. *Geodiversidade, geoconservação e geoturismo, trinômio importante para a proteção do patrimônio geológico*. Sociedade Brasileira de Geologia, Série Livro Textos, São Paulo, 84p., 2008.

OZKAN, H.; BRANDOLINI, A.; POZZI, C.; EFFGEN, S.; WUNDER, J.; SALAMINI, F. A reconsideration of the domestication geography of tetraploid wheats. *Theor. Appl. Genet* 110:1052-1060. 2005.

PAPA, R.; NANNI, L.; SICARD, D.; RAU, D.; ATTENE, G. Evolution of genetic diversity in *Phaseolus vulgaris* L. In: Motley TJ, Zerega N and Cross H *Darwin's Harvest: New approaches to the origins, evolution, and conservation of crops*. Columbia University Press New York, 121-142. 2006.

RICHERSON, P.J.; BOYD, R.; BETTINGER, R.L. Was agriculture impossible during the Pleistocene but mandatory during the Holocene? A climate change hypothesis. *Am Antiq* 66:387-411. 2001.

VACCARI, D. Phosphorus: a looming crisis, *Scientific American*, June 2009:54-60. 2009

VAN STRAATEN, P. Agrogeology: Geological soil rejuvenation processes and agromineral resources. In: Ribeiro MR, Clístenes WAN, Ribeiro Filho MR, and Cantalice JRB (eds) *Tópicos em Ciência do solo* (Topics in Soil Science), Vo. VI, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 319-412. 2009.

## DIRECT APPLICATION OF INDIGENEOUS GROUND ROCKS TO IMPROVE AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN UGANDA

Vincent Kato

Agro-Geology Association of Uganda Senior Exploration Geologist Industrial Minerals.  
Ministry of Energy and Mineral Development. Department of Geological Survey and Mines.  
Plot 21-29 Johnston Road. P.O. Box 9 Entebbe, kato\_vicent@hotmail.com

### 1. Introduction

About 80 % of Ugandans are depending directly on agriculture for their livelihood. Major exports include coffee, cotton, tea, tobacco, sim-sim, maize, beans, and flowers. The agriculture sector accounts for 34 % of Real Gross Domestic Product (GDP) next to the service sector. However, Ugandan soils like most soils in developing countries are characterized by inherent low soil nutrient levels and reduced soil fertility. About 80 % of Ugandan soil is of fair to very low productivity in terms of agriculture. This has resulted in low crop yields, low incomes and food insecurity. Nutrient depletion is reaching alarming levels in Uganda. There is need for urgent intervention to restore, maintain and enhance soil fertility. While there may be several interventions, the major one would be to replenish the macro and micro soil nutrients.

Though chemical fertilizers can solve this problem agronomically, they are not cost effective for ordinary Ugandan subsistence farmers who live on less than one dollar per day. Currently, a 50 kg bag of fertilizer, costs between US \$ 35 and US\$ 50 depending on the fertilizer type in Uganda. All these chemical fertilizers are virtually imported and sometimes unsuitable in high rainfall tropical areas. Emphasis on imported fertilizers has resulted in the potential use of local materials being overlooked where otherwise these might have had a significant impact on enhancing soil fertility. Direct application of ground indigenous rocks and minerals can be an alternative to expensive chemical fertilizers like Urea, DAP, SSP, CAN and MOP. Research is aimed at investigating the feasibility of directly applying local ground rocks and minerals to improve agricultural productivity. The Association has involved liaison with Department of Geological Survey and Mines and National Agricultural Research Laboratories.

## 2. Fertilizer minerals in Uganda

Phosphorous for fertilizers can be sourced from deposits of phosphate rock (apatite) in the carbonatite complexes of Bukusu and Sukulu. At Bukusu, assays indicate a value ranging from 3.20 % to 24.5 %  $P_2O_5$  in the soils and soft rock. Hard rock assays between 20.37 to 33.86 %  $P_2O_5$ . A reserve of 50 million tons is estimated at Bukusu. Detailed prospecting at Sukulu proved 130 million tons averaging 13.1 %  $P_2O_5$ . There are several small prospects of apatite in the carbonatites in eastern Uganda. Others possible sources of phosphorous include guano (excrement of bats and birds) from several caves and mine adits in Uganda.

The sources of potassium in Uganda are the potassic volcanic rocks in Uganda. These potassic rocks are limy which is an added advantage as they can be a source of lime as well as calcium. Others possible K-sources are potash trachytes and evaporates in the rift valley (Lake Katwe). About 425,000 tons of sylvite (KCl), a principal potash ore, is estimated in Lake Katwe brine (Morton, 1973). About 17 million tons of sodium carbonate is estimated in Lake Katwe brines (Morton, 1973). Pegmatites which have both potassium feldspars and micas are potential sources of potassium. Nitrogen sources can be from fixation from the air. Natural organic sources of nitrogen are derived from proteins in plant and animal tissues. Others secondary and micronutrient sources include vermiculite, gypsum, limestone, dolomite, carbonatites etc.

## 3. Research hypothesis

Observation made in Uganda indicates that bananas are doing well in areas underlain by potassic volcanic rocks. Also areas covered by alluvial materials washed from mica schist and pegmatites are doing well with bananas. This is possibly attributed to potassium released from K-sources (potassic volcanic ash, mica schist and potassium feldspars).

It has also been observed that these bananas are doing well in carbonatite areas where there is high phosphorous. The aim of this collaborative study between Department of Geological Survey and Mines and AGAU, is to see whether direct application of these rocks together with subsequent amendments can alleviate the problem of soil infertility in other areas of Uganda. This can be a viable alternative to expensive fertilizers. There is need for agriculturists and soil scientists to work with earth scientists to solve the problem of impoverished soils. Majority of farmers extract nutrient mainly through harvested crops without replenishing them through fertilizers.

Hierarchy of objectives: Apply fertilizers...>improve soil fertility ...>improve crop productivity.....Achieve food security

Table 1. Retail cost of fertilizer in Uganda as per August 2009

Fertilizer type (50 kg)	Cost in US\$
Urea	36
NPK 17:17:17	42
DAP	52
SSP	40
CAN	39
MOP	50

## 4. Ugandan soils

land area of Uganda); soils of moderate productivity (14 % of land area of Uganda); soils of fair productivity (43 % of land area of Uganda); soils of low productivity (30 % of the land area In Uganda most soils are ferralitic (FAO: Ferralsols). They are very old and in their last stages of development with little mineral resources left. Their productivity, therefore, depends on the delicate balance of nutrient recycling propagated by dense vegetation cover with deep rooting systems. The other varieties of soils include ferruginous soils which are richer in mineral resources, and the volcanic soils, most of which are very productive. Alluvial soils occur in many places, associated with present or past drainage systems. In terms of productivity (essentially for agriculture), Uganda's soils can be divided into six categories (EASD); Soils of very high to high productivity (8 % of of Uganda); soils of negligible productivity 3 % of land area of Uganda); and soils of nil productivity (2 % of land area). Ref: State of environment Report.

## 5. Assessment of agro-minerals

Materials were assessed in the field and in laboratory prior to application. These agro-mineral resources included volcanic ash, limestone, phosphates, vermiculite, gypsum, dolomite and salts. This was supplemented by analyses done by the Department of Geological Survey and Mines. DGSM has located and compiled inventories of the occurrence of rocks and minerals containing the required nutrients.

Table 2. Tests on selected agro-mineral resources

Mineral	Grade	Reference
Guano-Entebbe cave	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 44.0 %, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 32.5 %	Laboratory report 12538
Limestone-Muhokya	CaO = 53.90 %, MgO=1.05,	Laboratory report 12722
Limestone-Rugando	CaO = 35.36 %, MgO = 8.14 %	SEAMIC/M/2008/064
Rock phosphate-Busumbu	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = 22.17.0 %,	Laboratory report 12269
Limestone	CaO = 38.19 %, MgO = 4 %	Laboratory report 27,457
Volcanic ash-Saka hill	K <sub>2</sub> O = 4.58 %, CaO = 5.56 %	
Bukusu, Potash-trachytes	K <sub>2</sub> O = 12.5 to 14.0 %,	Baldock, 1967
Trachytes-Toror	K <sub>2</sub> O = 10.4 to 14.6 %,	Sutherland, 1965.
Gypsum-Kibuku	SiO <sub>2</sub> = 16.67-43.08 %, CaO=13.72-25.18 %, R2O3=9.11-19.34 %	Laboratory report 10206
Hydrated lime-Muhokya	CaO = 53.38 %, P2O5 = 3.55 %,	Laboratory report 10,136

There is a preponderance of potassium over sodium in the volcanic ash and tuffs in the fields near Rwenzori.

### 5.1. Soil sampling

Field trials on the feasibility of using ground agro-mineral resources are being carried out at Kawanda. Soil sampling was undertaken in collaboration with specialists from National Agricultural Research Laboratories (NARL), Kawanda. This was to ensure that soil samples are taken correctly since poor sampling may give misleading test results. This was also intended to strengthen capacity of AGAU scientists on conducting on-farm research, analyzing on-farm data and subsequent interpretation

### 5.2. Analyzing samples

Eight soil samples were collected from the demonstration plot and these were analyzed at NARL, Kawanda, an agricultural research Institute. These samples were analyzed using routine analytical methods for soil texture (% sand, clay, silt), soil pH (acidity/alkalinity), soil organic matter content (% OM), extractable phosphorus (P), and available bases (K, Ca, and Mg) as shown in table 3 below..

Table 3. Soil sample analyses.

Depth	pH	OM	N	P	Ca	Mg	K	SAND	CLAY	SILT	Textural class
		%	%	ppm	ppm	ppm		%	%	%	
0-20	5.4	2.4	0.15	4.1	4811.1	719.3	93.5	39.7	51.0	9.3	Clay
20-40	5.1	1.8	0.13	1.6	4111.1	638.2	38.2	37.7	51.0	11.3	Clay
0-20	5.4	2.6	0.16	3.3	5122.2	756.3	127.9	45.7	41.0	13.3	Clay
20-40	5.2	2.2	0.15	1.3	4500.0	699.3	160.0	39.7	45.0	15.3	Clay
0-20	5.1	2.8	0.17	2.9	5666.7	715.7	130.1	45.7	41.0	13.3	Clay
20-40	5.2	2.0	0.14	0.9	4344.4	655.1	29.2	39.7	51.0	9.3	Clay
0-20	5.4	2.6	0.16	5.6	4811.1	620.6	261.0	45.7	51.0	3.3	Clay
20-40	5.0	1.7	0.13	3.2	6366.7	700.6	207.9	39.7	41.0	19.3	Clay
Critical values	5.2	3.00	0.20	5.0	350.0	100.0	150.0				

### 5.3. Interpreting the results

According to table 3 above all soil samples are clay with 37.7- 45.7 % sand, 41-51 % clay and 3.3-19.3 % silt. This is good soil texture for most crops because the sand fraction ensures good soil drainage, while the clay fraction ensures that the soil is still able to retain some soil moisture and plant nutrients. These soils have pH ranging between 5.0 and 5.4. Most crops grow well on soils of pH 5.2-7.0. This is also the pH range at which most plant nutrients are easily available to crops. Therefore, these soils have good soil pH for most crops and the crops that the client wants to grow, i.e. bananas, maize beans and cassava, should be able to grow well at this pH.

Soil organic matter content in these soils is low. A soil is considered to have high soil organic matter content when it has 6.0 % or more OM and a soil with organic matter content below 3.0 %, is considered to be very low in organic matter and is likely to show response to any additions of organic materials. Therefore, these soils require addition of organic matter for the crops to do well. Nitrogen is the most important plant nutrient obtained from the soil. Therefore it is very necessary that nitrogen is available in sufficient amounts in the soil if fertilizers are not being used. Total nitrogen content in these samples, ranging between 0.13 and 0.17 %, is also very low, i.e. below 0.20 %, the critical value for soil nitrogen. Therefore, all these soils require N fertilizers like urea or organic materials rich in nitrogen in order for them to support good crop growth.

All the samples have very low phosphorus levels in general i.e. below the critical level 5.0 ppm. A good soil is supposed to have at least 20ppm or more extractable P while any soil with less than 5ppm of extractable P is considered to be poor in P and is likely to give good responses to P fertilizers. So the fields where these samples were collected will need to be supplied with P fertilizers or organic materials rich in P e.g. poultry manure in order for these areas to support good crop growth and yields. Extractable Potassium (K), another important plant nutrient from the soil, is also low in all the samples. A soil with good K content is supposed to have at least 500ppm. This means that for these soils to support good crop growth, some K fertilizers are required to boost plant growth.

Extractable Calcium (Ca) content in these soils, (at 4111.1-6366.7 ppm) is good. A soil with good Ca content is supposed to have at least 2000ppm while the critical value for Ca is 350 ppm. Extractable Magnesium (Mg) content is also good in all the samples i.e. above the critical level of 100 ppm.

#### 5.4. Field Preparation

The field was found to be in the period of grass fallow for sometime. The field was ploughed twice and disked. Prior to planting of bananas, the field was limed with slaked lime. Broadcast application was applied to a field of 50 m by 50 m using *1 tonne of ground and screened lime*. Suckers were pared to remove all nematodes and weevils. To ensure a higher level of weevil and nematode removal from the sucker and the corms, chemical dip treatment was also applied. The pared suckers and corms were planted 3 m apart. Planting materials were cleaned to remove pests that stay in corms or suckers and their roots.

#### 5.5. Fertilizer application

Spot application of finely ground phosphate rock and vermiculite was undertaken. Some plants were given fertilizers while others were starved as control. Amount per hole was 2 kg of vermiculite and 2 kg of phosphate. There were applied in the hole so that there are not blown off. There were mixed thoroughly in soil for better soils. Other plants were given a mixture of finely ground volcanic ash and phosphate. Tithonia tender biomass 1 ton/acre will be applied with phosphate rock to supply nitrogen to bananas.

#### 5.6. Planned activities

- Routine soil testing to ascertain fertilizer effects
- Monitoring and Laboratory field agronomical evaluation in collaboration with agricultural research institute.
- Adaptive research involving farmers
- Report writing and dissemination of results.
- Establish working relationships with more institutes involved in agro-geology research
- Initiate cooperation projects
- Produce agro-geology map of Uganda
- Send AGAU members to participate in national and international conferences, workshops and seminars.

#### 6. Constraints

- Ugandan phosphate is of igneous origin, with igneous apatite, as the dominant phosphate mineral. The apatite is insoluble, hence there is need for innovations to convert it into soluble form and so able to enter soil solutions for uptake by plants. The *low reactivity* of igneous phosphate rock generally makes it unsuitable for use as direct application fertilizer.
- Guano in Uganda has been reported to contain a deadly virus (Marburg) carried by bats.

### ACKNOWLEDGEMENTS

This research work is being undertaken and funded by the Agro-Geology Association of Uganda (AGAU) and Department of Geological Survey and Mines (DGSM). Special thanks are extended to Prof. Peter Van Straaten, the Patron of AGAU who has wholeheartedly financially, technically and morally supported AGAU. National Agriculture Research Organization is also thanked for lending a demonstration plot to AGAU and advising technically.

# USE OF PYROCLASTIC ROCKS FROM THE CAMEROON VOLCANIC LINE AS ROCK FERTILIZERS: PRELIMINARY RESULTS

Jean Pierre Tchouankoue<sup>1</sup>, David Guimolaire Nkouathio<sup>2</sup>, Clementine Njofang<sup>\*\*</sup>

<sup>1</sup> Dpt. of Earth Sciences, University of Yaounde I, P.O. Box 812 Yaounde-Cameroon,

\*tchouankoue@uy1.uninet.cm; \*\*Dpt. of Plant Biology. clementinenjofang@yahoo.fr -

<sup>2</sup> Dpt. Earth Sciences, University of Dschang. P.O. Box 67 Dschang-Cameroon. nkouathio@yahoo.fr

## 1. Introduction

The geology of Cameroon is very diversified, as rocks here cover both the geological column and the main petrographic rock groups : Archean metamorphic bedrocks, Panafrikan granito-gneissic formations, Cretaceous sedimentary rocks, Tertiary anorogenic plutonic rocks and Tertiary to Present volcanic rocks of the Cameroon Volcanic Line (CVL).

The CVL is an alignment of plutonic anorogenic complexes and volcanic centers and fields along a 100 km wide tectonic corridor trending N30° over more than 1600 km, from the Atlantic ocean islands of Pagalu through Mount Cameroon to lake Chad (Fig. 1). Fitton, (1980, 1983) defined the CVL as a “Y-shape” structure stretching from the Atlantic ocean Pagalu through Mount Cameroon to the Ngaoundere Plateau where it splits into two branches, one running eastwards to Sudan and the other northwards to the Biu Plateau in Nigeria. Summarily, the CVL is characterized by the existence of about 60 anorogenic ring-complexes (amongst others Mboutou, Golda Zuelva, Bana, etc...) and 15 volcanic fields, 8 of which are large central volcanoes (Manengouba Mountains and Bambouto Mountains) and strato-volcanoes (Pagalu, Sao Tome, Principe and Bioko islands, Mount Cameroon and Bamenda mountains) and 7 monogenetic volcanoes fields (Kumba graben, Mbô plain, Noun plain, Ndop plain, Tikar plain, Ngaoundere plateau, Benue trough and Kapsiki plateau. Magmatic rocks cross cut or overlap Precambrian metamorphic rocks (gneisses, quartzites, amphibolites and migmatites), Proterozoic plutonic rocks (alkaline and

calco-alkaline granitoids and diorites), and Cretaceous sedimentary rocks of coastal (Douala and Rio Del Rey) or intra-continental (Mamfe and Mbere-Djerem) basins.

Volcanism is lined by central volcanoes, strato-volcanoes and monogenetic volcanoes and plateau basalts fields. It has continuously been active from the Eocene to Recent times (Tchoua, 1974; Déruelle et al., 1982; Dunlop, 1983; Fitton et Dunlop, 1985; Déruelle et al., 1991). Eruptive mechanisms are effusive and/or explosive on horsts, solely explosive in grabens.



Fig. 1. Geological sketch map of the Cameroon Volcanic Line (in black). The Noun plain is situated between Bambouto and Manengouba mountains and the Tombel plain between Mt Manengouba and Mt. Cameroon.

## 2. Preliminary results and discussion

### Noun plain

In the Noun plain, Strombolian volcanism was at the origin of important ash deposits. They are voluminous with thickness greater than 1m. They extend at the east of the Noun river and clear links to fertility are shown by the agriculture more developed at the east than at the west of River Noun. These rocks are the youngest (less than one million years) within the volcanism of the CVL which started some 70 years ago. Preliminary works carried out in the area show clear differences between soils in areas of ash deposits and soils in areas of lateritic soils. Highest pH (6.4) are found in the areas of volcanic products (Fig. 2) and correspond to minimum values for microbial activity that help availability of N and S in soils.

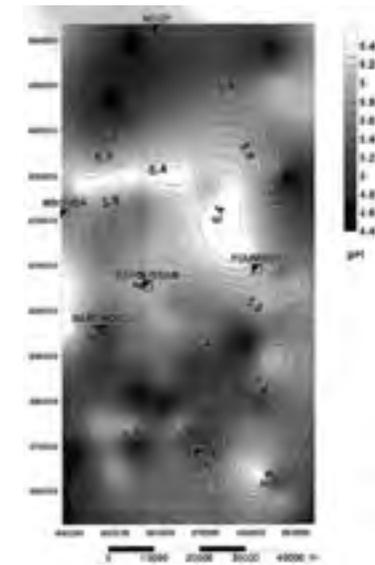


Fig. 2. Distribution of PH values in soils from the Noun river basin. Areas with pH=6.4 correspond to soils developed of volcanic ashes. (Njofang et al., 2008)

Carbon, Nitrogen and Sulfur values are consequently higher in these soils formed on volcanic ashes. Their variations are as follow from poorest lateritic soils to soils on volcanic ashes:  $2.27 < C < 11.21$  %,  $0.13 < N < 1.13$  %,  $0.012 < S < 0.048$  %,  $5.26 < C/N < 24.74$ ,  $5 < N/S < 23.54$ . Mean values and ratios of above elements are shown in Fig. 3.

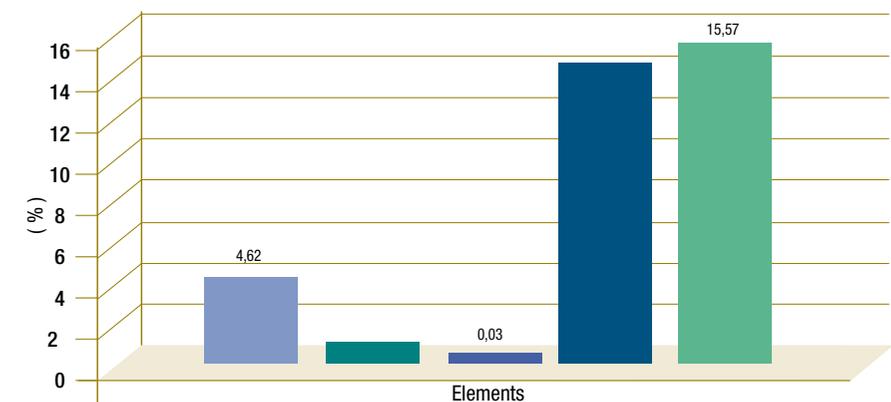


Fig. 3. Mean values of Carbon, Nitrogen and Sulfur in soils of the Noun river basin. (Njofang, 2007).

### Tombel plain

In the Tombel plain, volcanic ashes origin are compatible with those of the Noun river basin. Their age is ca. 0.2 million years (Nkouathio, 2006). The Tombel plain is also characterized by high fertile soils relatively to areas uncovered by volcanic ashes. Intensive agriculture is carried out by European companies: banana, mainly. Nkouathio et al., (2007) carried some laboratory test in

remineralising strong lateritic soils with these ash products and found possibilities of amelioration of PH values, capacity of cationic exchange.

Concerning plants growth, Nkouathio et al., (2007) noted that grain size of pyroclastites is of minimum influence and that the significant increase of pH following pyroclastites addition can reach 6.4; values found by Njofang (2005) in the soils of the Noun river basin. On Fig. 4, samples B3 and B4 can be considered as references for

### 3. Conclusion

Areas covered by volcanic ashes overlap areas of intensive agriculture in Cameroon. Preliminary results show that addition of ash volcanic to sterile lateritic soils developed on precambrian granitoids can increase the pH up to 6.4. Additions of amounts of ash volcanic products between 10 and 25 % seem to give good results and the size of the rocks has no influence on the soil fertility.

The evaluation of available volumes of pyroclastic materials, their detailed cartography and grain size studies seem to constitute basic steps in studies aiming the use of these rocks by small farmers to ameliorate their basic food production.

### REFERENCES

Njofang C. (2007). *Eléments en traces dans les sédiments, les sols et les plantes comestibles dans le bassin versant du Noun (Cameroun): bases pour une gestion géochimique de l'environnement*. Unpublished PhD thesis, University of Yaoundé I-Cameroon, 300p (including annexes).

Njofang C., Matschullat J., Tchouankoue J. P. and Amougou A. Contribution to the Geochemistry of Trace Elements in the Sediments of the Noun River and Tributaries, Western Cameroon. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10 (18): 3048-3056. 2007.

Njofang C., Matschullat G., Amougou A., Tchouankoue J.P. and Heilmeier H. Soil and plant composition in the Noun river catchment basin, Western Cameroon: contribution to the development of a biogeochemical baseline. *Environmental Geology*, Vol. 56, N°7, pp. 1427-1436. 2008.

Nkouathio D., Wandji P., Bardintzeff J.M., Temato P., Kagou Dongmo A. and Tchoua F. Utilisation des roches volcaniques pour la reminéralisation des sols ferrallitiques des régions tropicales. Cas des pyroclastites basaltiques du graben de Tombel (Ligne Volcanique du Cameroun). *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 91.1 :pp. 1-14. 2007.

### CAPÍTULO 3 USE OF PYROCLASTIC ROCKS FROM THE CAMEROON VOLCANIC LINE AS ROCK FERTILIZERS: PRELIMINARY RESULTS

Jean Pierre Tchouankoue, David Guimolaire Nkouathio, Clementine Njofang

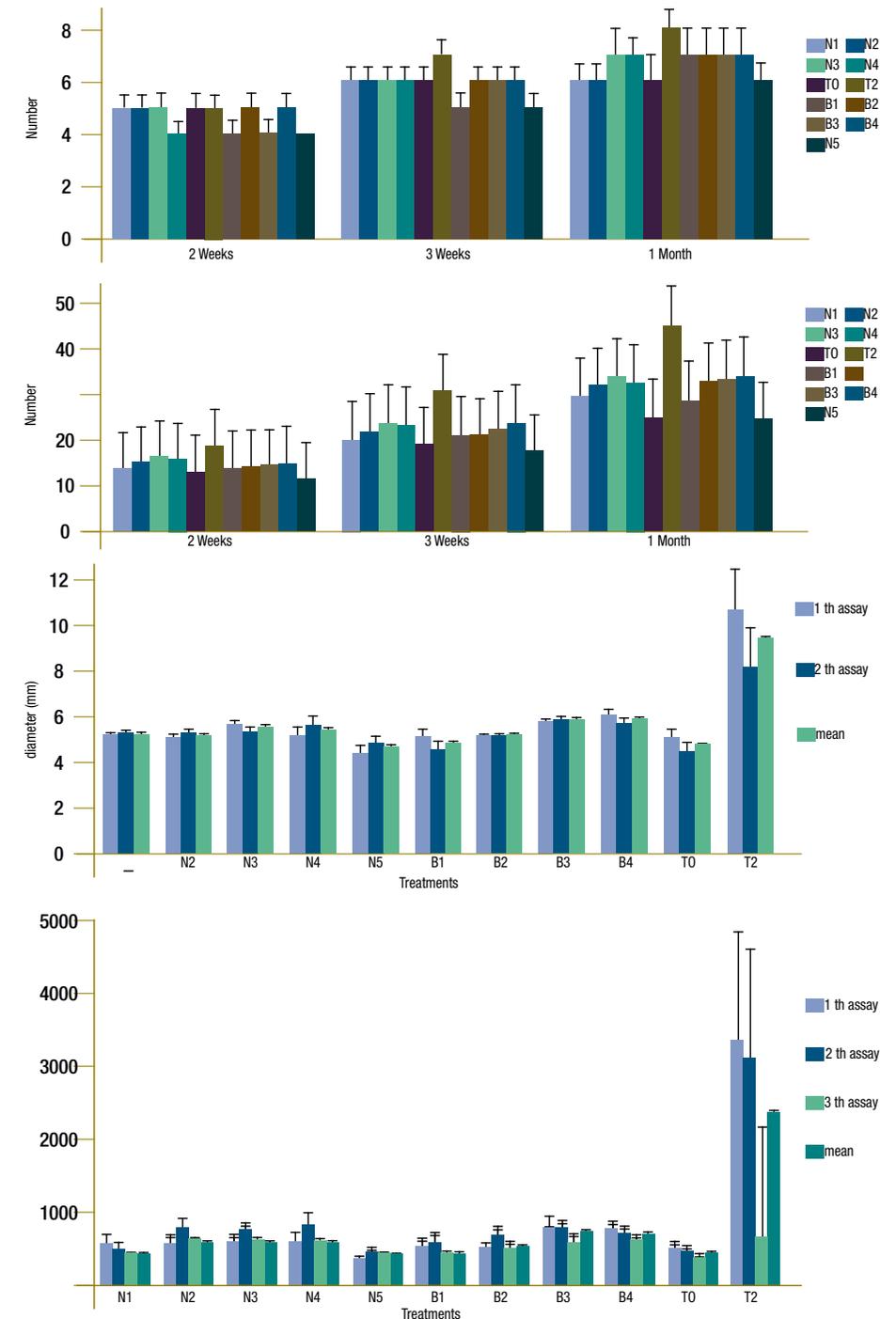


Fig. 4. Effects of volcanic ashes addition to ferrallitic soils on plant growth in pots.

Grain size in B : <0.063 mm. Grain size in N: <2 mm.

T0: 1000 g and 0 % of ash volcanic products

T2: 1000 g of ferralitic soils + NPK(20-10-10) and 0 % of pyroclastites

B1: 950 g of ferralitic soils + 50 g of pyroclastites

B2: 900 g of ferralitic soils + 100 g of pyroclastites

B3: 750 g of ferralitic soils + 250 g of pyroclastites

B4: 500 g of ferralitic soils + 500 g of pyroclastites

N1: 950 g of ferralitic soils + 50 g of pyroclastites

N2: 900 g of ferralitic soils + 100 g of pyroclastites

N3: 750 g of ferralitic soils + 250 g of pyroclastites

N4: 500 g of ferralitic soils + 500 g of pyroclastites

N5: 0 g of ferralitic soils + 100 g of pyroclastites

## POTENTIAL OF FLY ASH AS SOURCE OF ALKALINITY FOR AMELIORATION OF ACID SOILS OF THE SOUTH AFRICAN HIGHVELD

J. R. Harper<sup>1,4</sup>, M. V. Fey<sup>2</sup>, I. Mbakw<sup>3</sup>, and M. Awkes<sup>1</sup>

Department of Soil Science, University of Stellenbosch, South Africa. Department of Earth Sciences, University of Western Australia. Department of Plant Production and Soil Science, University of Pretoria, South Africa. Corresponding author, jrs@sun.ac.za

### 1. Introduction and rationale

Soil acidity is one of the greatest limitations to crop production in most of the world (McBride 1994, Naramabuye et al., 2008), and the ubiquitous nature of its natural and anthropogenic causes makes it imperative for periodic applications of lime to be made to most agronomic soils if crop yield is to be sustained. Over the years lime costs have risen and efforts to find cheaper substitutes have intensified. More particularly, research has been directed to the reuse of alkaline waste materials as a lime substitute both to reduce crop production costs and as a panacea for waste disposal problems and resulting environmental pollution.

One such waste for which use as an agricultural liming material has been suggested by its alkaline nature is coal ash (also known as fly ash (FA)), a waste material resulting from the combustion of coal in coal-fired power stations. Every year, millions of tons of FA are produced worldwide. The largest commercial use of FA is in the cement industry (ACAA, 2002). However, carbon contents in FA above 6 % are not suitable for direct use in concrete due to interactions between the carbon and the chemical admixtures used in concrete (Stevens and Dunn, 2004). Consequently, huge quantities of FA are left unutilised and are usually piled up in dumps, or emplaced in landfills at substantial financial cost (Heidrich, 2003). The long-term environmental and health hazards posed by landfill disposal of FA have long been recognised (Adriano et al., 1980). It is therefore, imperative to explore both the economic and environmental gains of using FA as a soil amendment.

Since Rees and Sidrak (1956), the use of FA as a soil amendment in agriculture has been widely investigated. Encouraging increases in yield have been observed in most of these studies. In some other studies, however (e.g. Hammermeister et al., 1998; Singh et al., 2008), yield decreases and element toxicities have posed serious questions regarding the advisability of using FA as a soil amendment for agronomic crops. Low interest in the use of ash in agriculture has been mainly due to the presumption of high levels of heavy metals, uncertainty about the buffering capacity of ash to ameliorate acidity, and the costs of transportation (Yunusa et al., 2006).

According to Jala and Goyal (2006) the properties of FA depend on the nature of parent coal, conditions of combustion, type of emission control devices and storage and handling methods. Accordingly, FA generated from different sources may differ in their effects on soil properties making it an extremely heterogeneous material to work with.

In South Africa, coal-fired power plants are the main sources of energy generation and ash production is estimated to be 28 million tons per annum (Reynolds et al., 2002). Fly ash produced as waste in South Africa's power plants hold the potential of being a cheap source of alkalinity especially for acidic soils that are in close proximity to these power stations. Many of the agricultural soils surrounding coal-burning power stations on the South African Highveld are acidic and require liming. The large volume of FA produced as a by-product from the power stations may hold agricultural potential as a liming material.

A factorial field trial was designed in order to test the effectiveness of an under-researched ash from Dhuva power station in South Africa. The purpose of the trial is to assess the viability of using FA as a liming material, and compare its performance to other neutralizing materials that are commonly used, namely agricultural lime (L), another slag material (calcium silicate) from stainless steel production that is locally produced called Calmasil® (C), and additionally observing the interaction of gypsum with these materials.

## 2. Materials & methods (Site description)

The experiment was conducted on Beestepan Farm located in Middelburg, in the Highveld area of Mpumalanga Province of South Africa (25° 46' 60S, 29° 28' 0E), annual precipitation 878 mm. In June 2007, an area of the farm (7776 m<sup>2</sup>) was marked out for the trial. The area was a newly cleared tree plantation site with soils dominantly comprising Avalon and Bainsvlei forms (MacVicar et al., 1991) and according to IUSS Working Group WRB (2006) the soil would classify approximately as a *plinthic acrisol* (dystric, rhodic). The area was divided into 72 plots of 9 m×12 m (108 m<sup>2</sup>) each. As a baseline comparison before any treatments were added, top and subsoil samples were taken from each plot and analysed for pH, exchangeable acidity, and Ca and Mg contents. Values were fairly homogenous across the area and averages are shown in Table 1.

Table 1. Selected soil properties of experimental site before the start of the experiment

	Topsoil	Subsoil
pH(KCl)	3.8	4.1
Exchangeable acidity (mmolc/kg)	6.83	7.11
Ca (mg/kg)	53.6	47.04
Mg (mg/kg)	13.4	16.4

## 3. Treatments and experimental layout

The treatments used were FA obtained from Duvha power station, Calmasil, calcitic lime and phosphogypsum, their basic properties are shown in Table 2. Based on the lime requirement (double buffer method) of the soil and the CCE of the liming materials, the FA, Calmasil and lime were applied at 4 levels; 0, ½, 1 and 2 times the lime requirement of the soil. Actual rates of application were 0, 1, 2 and 4 tons/ha for lime and Calmasil, and 0, 7, 14 and 28 tons/ha for ash. Gypsum was applied at a rate of 4 tons/ha on half of the plots. All treatments were replicated thrice. The plots were completely randomised to reduce spatial variability.

Treatments were applied by hand and were disc ploughed into the soil to a depth of about ±20 cm. Planting was done in the last week of November 2007, and November 2008, after the first rains. Bean seeds were sown in 2007 and maize (variety Phb 30D07B) in 2008 at a plant population density of 45,000/ha. In both seasons a basal dressing of 4:3:4 (40) (200 kg ha<sup>-1</sup>) and urea (120 kg ha<sup>-1</sup>) was applied to all plots in order to reduce the likelihood of other growth limiting factors playing a role. The plots were harvested manually in April 2008 and June 2009, harvesting only a central area of 43.4m<sup>2</sup> in order to minimise edge effects from adjacent plots.

Table 2. Chemical properties of soil amendments

	Ash	Calmasil	Lime	Gypsum
pH	10.0	11.9	8.53	3.45
EC (dS/m)	0.235	2.16	0.317	2.09
CCE (%)	10	99	77	n.d.
SiO <sub>2</sub> (%)	55.1	15.0	15.5	12.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	28.6	1.78	1.44	0.285
MgO (%)	0.746	7.29	4.60	0.527
CaO (%)	2.74	32.5	37.9	50.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5.60	2.32	0.779	b.d.l.
MnO (%)	0.047	0.48	0.042	b.d.l.
TiO <sub>2</sub> (%)	1.66	0.53	0.125	0.021
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.050	1.37	0.008	b.d.l.
Na <sub>2</sub> O (%)	0.068	n.d.	0.045	b.d.l.
K <sub>2</sub> O (%)	0.655	n.d.	0.104	b.d.l.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.438	n.d.	0.367	1.68
NiO (%)	0.012	0.170	b.d.l.	b.d.l.

n.d.= not determined; b.d.l. = below detection limit

#### 4. Data collection and analyses

Before any treatments were applied, soils were sampled in each plot at 0-20cm and 20-40cm intervals. In January 2008, 6 months after application of treatments, and during pod development of the bean 15 topsoil samples were collected from each plot using a soil auger, and bulked together to form a composite sample. In July 2008 12 months after application, 2 core samples were taken at 10cm intervals (to a depth of 50cm) down the profile in each plot and composited, and this was done at 20cm intervals (to a depth of 80cm) in June 2009 24 months after treatment application. All samples were air-dried and passed through a 2mm sieve. Each sample was analysed for the following;

Soil pH was measured in a 1:2.5 soil:1M KCl and 1:2.5 soil:water mixture (White, 1997). If the pH was found to be less than  $pH_{KCl}$  4.5, titratable acidity was measured using 0.01M NaOH and phenolphthalein (White, 1997). The supernatant from a filtered 1:5 soil: $NH_4OAc$  extract was analysed by atomic absorption spectrometry (AAS) for K, Na, Ca and Mg. A composite bean and maize sample was taken from each harvested plot in order to test the levels of metals in the plant tissues. The dry plant samples were milled, ashed and dissolved in a 1:1 dilution of  $HNO_3$ , according to Ryan et al., (2001). This ashed material was then analysed for full elemental spectrum by ICP-MS.

#### 5. Results & discussion

The general yield response to FA, Calmasil, lime and gypsum is positive and of the approximate order of a 0.2 tonnes of beans and about 1-2 tonnes of maize grain/ha as shown in Fig. 1 and 2. Ash increased the bean yield in season one from 0.96 to 1.72 t.ha<sup>-1</sup> and maize yield in season two from 5.6 to 7.8 t.ha<sup>-1</sup>.

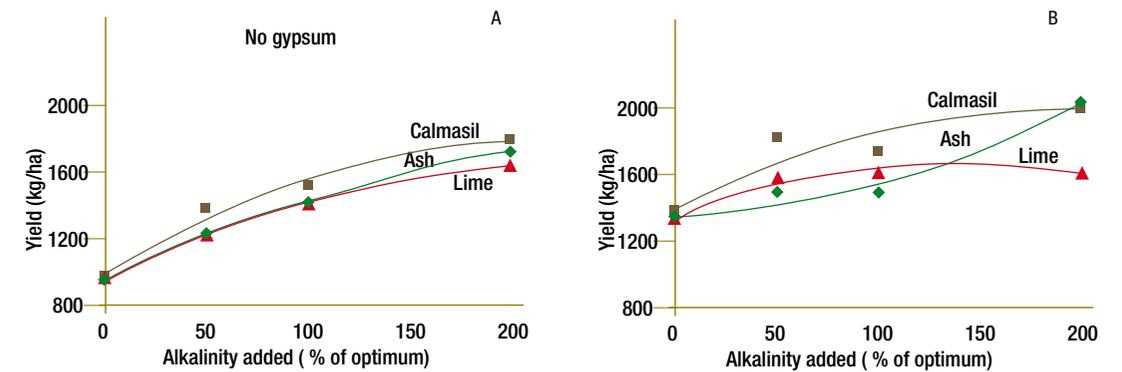


Fig. 1. The effect of lime, Calmasil, fly ash and gypsum on bean yield from season one (A) without the addition of gypsum and (B) with 4t/ha gypsum. Points represent means of replicates.

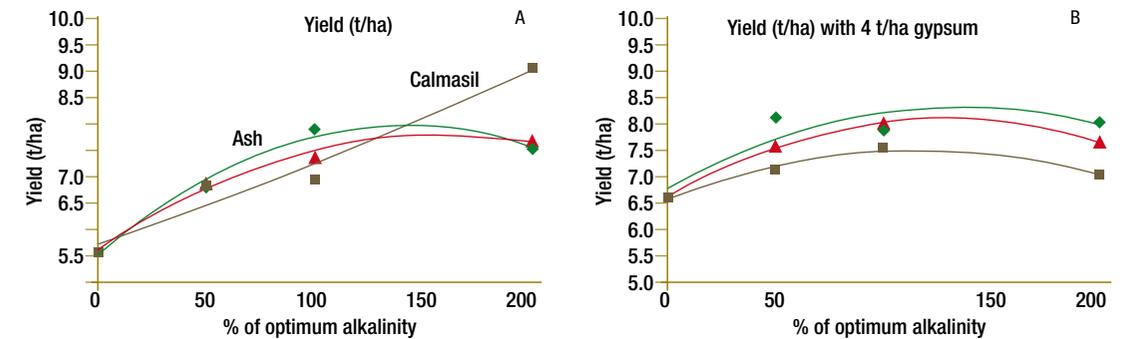


Fig. 2. The effect of lime, Calmasil, fly ash and gypsum on maize yield from season two (A) without the addition of gypsum; (B) with 4t/ha gypsum. Points represent means of replicates.

Treatment effects for pH and acidity were interesting. Trends are shown in Fig 3. There was an increase in pH and reduction of acidity with increasing levels of amendment with Calmasil having the greatest effect and ash the least. Fly ash caused a 48 % reduction of acidity where no gypsum was added and reduced acidity by 42 % in the presence of gypsum. Gypsum did not have any significant effect on soil pH. Change in soil pH as a result of gypsum addition has been observed to have a small magnitude in the order of 0.2-0.3 pH units and is hardly detectable in an electrolyte suspension (Shainberg et al., 1989). Gypsum had a slight significant effect on acidity. In the unlimed plots with only gypsum added the mean acidity value was 6.59 mmolc/kg while it was 10.0 mmolc/kg in the unlimed plots without gypsum. The significant increase in yield with the FA application may have been enhanced by the availability of nutrients such as K and P in the FA

which at high rates of FA application could supply large amounts of these easily deficient nutrients to the soil. For example at an application rate of 28 tons/ha, FA being composed of 0.7 %  $K_2O$  and 0.4 %  $P_2O_5$  will supply about 163 kg/ha K and about 49 kg/ha P to the soil. These inputs of K and P on soils deficient in these nutrients could cause significant yield responses.

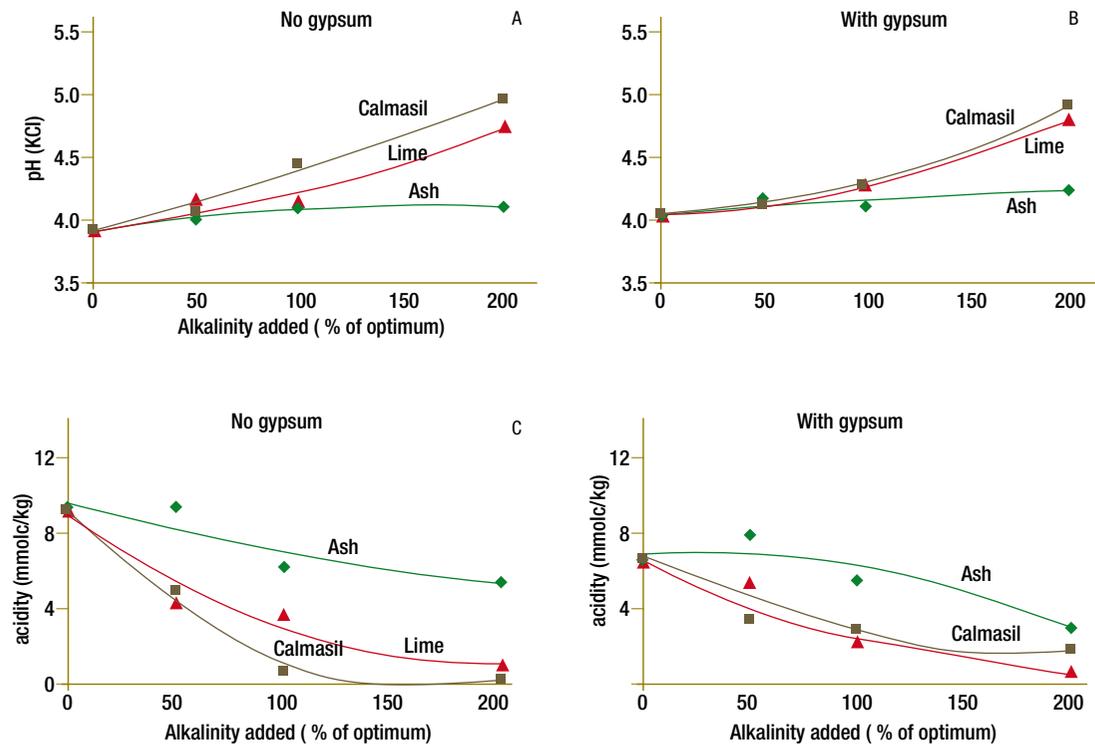


Fig. 3. The effect of lime, Calmasil, fly ash and gypsum on pH (KCl) (A and B) and exchangeable acidity (C and D). Points represent means of replicates.

It has to be noted however, that the release of P and K from FA may not be rapid despite their substantial levels in the ash. Warren and Dudas (1984) found that un-reacted FA consists of spherical micron-sized particles composed of mullite in a two-phased glassy matrix. They observed that the external glass is enriched in Ca, Mg, Fe, and Al while the interior glass matrix is composed mainly of Si and a major portion of the total K and Na. So although ash may contain considerable quantities of K, the possibility that most of it is “locked up” in the interior glass matrix may limit its availability or possibly delay its release. Several authors (for example Adriano et al., 1980; Kumar et al., 1998 and Bhattacharya and Chattopadhyay, 2002) have also reported low P availability in FA in spite of high concentrations.

Gypsum application gave rise to a slightly higher yield of beans. This may be attributed to the extra nutrients (P, Ca and S) added by gypsum and the ability of gypsum to effect a downward movement of Ca to the subsoil where it ameliorates the toxic effects of aluminium on root growth (Brady et al., 1993). Moreover, fungal infection in many legumes caused by fungi such as *Phytium*

*ultimum*, *Fusarium* ssp., and *Rhizoctonia solani* (Kühn) are prevalent on acid soils and have been shown to be alleviated by Ca application (Buerkert and Marschner, 1992). Beneficial effects of sulphur applied as gypsum on bean yield have been observed. For example, Siag and Yadav (2003) in a trial with mung bean observed that the number of pods per plant increased with increasing sulphur rates. Data from the trial shows that FA is effective at raising yield and can compete with the two other liming materials.

## 6. Extractable cations

Calcium in the soil increased with increasing levels of amendment particularly of Calmasil and lime. Although unlimed gypsum plots had higher extractable Ca (137 mg/kg) than unlimed plots with no gypsum (71 mg/kg), gypsum had a smaller effect on extractable Ca than the other amendments. Moreover, with the gypsum treatment, there seemed to be a suppression of release of Ca from the liming materials probably arising from a common ion effect.

Extractable Mg increased with increasing levels of application of liming materials. Calmasil because of its high Mg content had the greatest effect on extractable Mg. Lime and FA only increased extractable Mg marginally. Gypsum had a highly significant effect on extractable Mg. There is an obvious reduction of extractable Mg in the pots that received gypsum. Many authors such as Carvalho et al., (1986), Farina and Channon (1988), and Sumner and Carter (1988) have reported a reduction in levels of exchangeable Mg after gypsum application.

Sumner (1990, 1993) also suggested that Mg should be applied after gypsum application in order to maintain an adequate Mg level. The reduction in extractable Mg may also have been as a result of Mg leaching. The application of Ca generally increases the leaching of Mg because the adsorption affinity for Ca is greater than that for Mg in non-vermiculitic soils (Camberato and Pan, 2000). Because of its smaller ionic radius and consequently strongly packed charges, the Mg ion is able to attract water molecules and is easily hydrated thus having a much larger effective radius. As a result, it is held more loosely on soil surfaces and is easily displaced by Ca and readily leached. Extractable Na and K were not significantly affected by amendment application including gypsum.

## 7. Conclusions

Liming in this field experiment reduced soil acidity and improved soil nutrient status and bean yield for season one and maize yield in season two. Although FA was the least effective in increasing pH and improving soil basic cation levels among the liming materials evaluated, its effects on improvement of bean and maize yield was comparable to the other liming materials, and may be as a result of its content and supply of deficient plant nutrients such as P and K.

## REFERENCES

---

- ACAA. Production and use of coal combustion products (Category 1 (dry) and category II (ponded)) in 2001 (Online). American Coal Ash Association. Available at [http://www.aaa-usa.org/PDF/ACAA\\_2001CCPSurvey.pdf](http://www.aaa-usa.org/PDF/ACAA_2001CCPSurvey.pdf). ACAA, Aurora, CO. 2002.
- ADRIANO, D.C.; PAGE, A.L.; ELSEEWI, A.A.; CHANG, A.C.; STRAUGHAN, I. Utilization and disposal of FA and other coal residues in terrestrial ecosystems: a review. *Journal of Environmental Quality*, 9:333-344. 1980.
- HAMMERMEISTER, A.M.; NAETH, M.A.; CHANASYK, D.S. Implications of FA application to soil for plant growth and feed quality. *Environmental Technology*, 19 (2): 143-152. 1998.
- HEIDRICH, C. Ash (CCP's) utilisation – an Australian perspective. In: Proceedings of the international ash utilization symposium, CAER, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA, April 11-15, 2003
- IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources* 2nd edition. World Soil Resources Reports 103. FAO, Rome. 2006.
- JALA, S.; GOYAL, D. Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production – a review. *Bioresource Technology*, 97 (9): 1136-1147. 2006.
- MCBRIDE, M.B. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York. 1994.
- MACVICAR, C. N.; DE VILLIERS, J. M. Soil classification, a taxonomic system for South Africa. Department of Agricultural Development, Pretoria, South Africa. 1991.
- NARAMABUYE, F.X.; HAYNES, R.J.; MODI, A.T. Cattle manure and grass residues as liming materials in a semi-subsistence farming system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 124: 136-141. 2008.
- REES, W.I.; SIDRAK, G.H. Plant nutrition on fly ash. *Plant and Soil*, 8: 141-153. 1956.
- REYNOLDS, K.; KRUGER, R.; RETHMAN, N.; TRUTER, W. The production of an artificial soil from sewage sludge and fly-ash and the subsequent evaluation of growth enhancement, heavy metal translocation and leaching potential. WISA Proceedings 2002. pp 73-77. 2002.
- RYAN, J.; ESTEFAN, G.; RASHID, A. Soil and Plant Analysis, Laboratory manual. 2<sup>nd</sup> Edition. Jointly published by the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and the National Agricultural Research Center (NARC). Available from ICARDA, Aleppo, Syria. 2001.
- SHAINBERG, I.; SUMNER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.W.; PAVAN, M.A.; FEY, M.V. Use of gypsum on soils: a review. *Advances in Soil Science*, 9:1-111. 1989.

- SINGH, A.; SHARMA, R.K.; AGRAWAL, S.B. Effects of fly ash incorporation on heavy metal accumulation, growth and yield responses of *Beta vulgaris* plants. *Bioresource Technology*, 99: 7200-7207. 2008.
- STEVENS, G.; AND DUNN, D. Fly ash as a liming material for cotton. *Journal of Environmental Quality*, 33: 343-348. 2004.
- WHITE, R. E. *Principles and Practice of Soil Science: The soil as a Natural Resource*. 3<sup>rd</sup> Edition. Blackwell Science, Oxford, UK. 1997.
- YUNUSA, I.A.M.; EAMUS, D.; DESILVA, D.L.; MURRAY, B.R.; BURCHETT, M.D.; SKILBECK, G.C.; HEIDRICH, C. Fly-ash: An exploitable resource for management of Australian soils. *Fuel*, 85: 2337-2344. 2006.
-

## STONE MEAL AS A SOURCE OF PLANT NUTRIENTS, ESPECIALLY POTASH: A MINERALOGICAL APPROACH

David A. C. Manning

Professor of Soil Science and Director, Institute for Research on Environment and Sustainability, Newcastle University,  
Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK. Formerly Director, Mineral Solutions Ltd., david.manning@ncl.ac.uk

### 1. Introduction

Potash (designated K or  $K_2O$ ) is a nutrient, like nitrogen (N) and phosphorus (P) vital for the growth of healthy plants and crops. Without sufficient K, plants are unable to make use of other fertilisers especially N. Ultimately, both phosphorus and potassium fertilisers are exclusively derived from geological (rock) sources, whereas N is obtained predominantly from natural gas or the atmosphere. Conventionally, N, P and K fertilisers are produced by a global industry that derives raw materials from a rather limited number of geographical locations, and the resulting fertiliser products are traded internationally as bulk products.

The price of fertiliser products has changed dramatically since the beginning of 2007. Fig 1 shows the prices for three widely traded products: diammonium phosphate (DAP), urea and muriate of potash (MOP). Prices of DAP and urea essentially follow changes in the oil price during this period, reflecting that they require ten times as much energy in their manufacture as does potash (Lægriid et al., 1999). Their prices decreased at the end of 2008, as part of the global depression, and are now at or below the prices for the start of 2007. In contrast, the price of potash has stayed high. At its peak in 2008, potash reached an index price of US\$800 per tonne, and in some markets (according to internet sources) prices of US\$1000 per tonne were achieved. It has fallen back to about US\$ 650 per tonne, almost 4 times higher than in January 2007, and over 5 times higher than the price in 2000 (US\$ 120/tonne).

The high price of potash partly reflects demand exceeding supply, enabling some markets to support high prices. Global potash production in 2007 was around 30 million tonnes/year as K<sub>2</sub>O (USGS, 2008), dominated by production from Canada (11 million tonnes/year), Russia (6.3 million tonnes/year) and Belarus (5.4 million tonnes/year). The UK and Brazil each produced around 400000-450000 tonnes in 2007.

World requirements for potash can be assessed in two ways. The Food and Agriculture Organisation of the United Nations assesses global trade in fertilisers (FAO, 2008), and suggests that supply is expected to meet demand, which will grow at about 2.4 % per year. But this approach does not take completely into account the need for potash in developing countries. On a continental scale, the FAO reports that 47 out of 57 African countries do not consume fertiliser products in any significant way, and that the entire continent consumes around 485000 tonnes of potash annually, again expected to grow at around 2 % annually, and all imported. That is about 1.5 % of global potash production, to support about 15 % of the world's population.

An alternative approach to determining the need for fertiliser inputs is to undertake a nutrient budget in which nutrients removed by cropping are balanced against inputs from fertilisers, crop residues and manures or composts. This has been undertaken by Sheldrick et al., (2002), on a national, continental and global scale. Sheldrick et al., (2002) showed that it is K that is the nutrient that is most seriously in deficit. Globally, there is an annual deficit of 20 kg K per hectare. In terms of the inputs required to balance offtakes, Africa needs to find 4.1 million tonnes of K per year, equivalent to around 5 million tonnes of K<sub>2</sub>O, or ten times current consumption (Sheldrick and Lingard, 2004). At current prices, this would cost several billion dollars. At a global scale, Sheldrick et al's (2002) analysis suggest that worldwide potash consumption needs to double to maintain nutrient balances, requiring an addition 60 million tonnes of KCl ore to be mined. This deficit is currently removed from the soils by current agricultural practice, representing nutrient mining on an unsustainable scale.

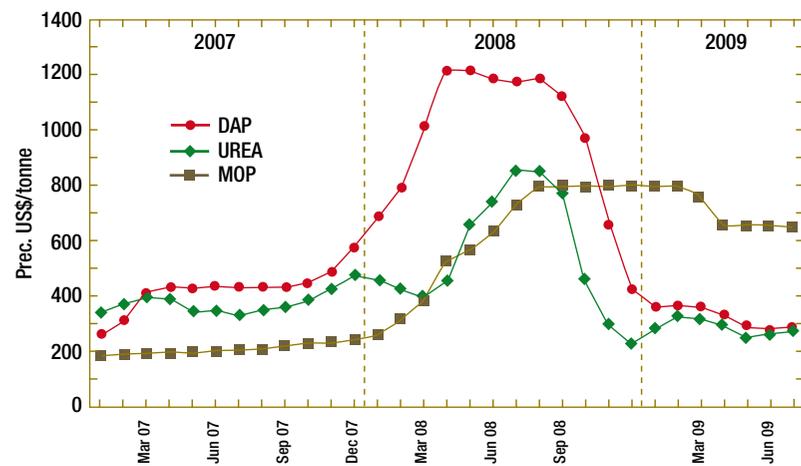


Fig. 1. Changes in the prices of phosphorus, nitrogen (urea) and potassium fertilisers since 2007. DAP is diammonium phosphate, and MOP is muriate of potash. Calculated using data purchased from ICIS; www.icis.com).

## 2. Alternatives to conventional fertiliser products

The agronomic problems associated with conventional fertiliser use especially within developing countries have long been recognised, and are criticised by Leonardos et al (1987): “Unfortunately, the standard concept and technology of soil fertilizer ... is behind that of the superphosphate concept developed by J. B. Lawes in England, 150 years ago. .. Had this technology been originally developed for the deep leached laterite soils of the tropics instead for (sic) the glacial and rock-debris-rich soils of the northern hemisphere our present fertilizers might have been quite different.”

Potassium is the seventh most abundant element in the Earth's continental crust, where it occurs as a wide range of silicate minerals (Table 1). Of these, the feldspars are most common in basement rocks, and weather to produce potassium-bearing micas and clays. Depending on climate conditions, weathering ultimately removes K and other soluble components, leaving the aluminosilicate clays (kaolinite), quartz, and Al and Fe oxyhydroxides typical of the low cation exchange capacity oxisols that commonly occur within tropical regions. In contrast, northern hemisphere soils derived from mechanically-weathered glacial materials may be rich in clays with a high cation exchange capacity, and respond well to the application of chemical fertilisers.

Table 1. Summary of the compositions of the major potassium silicate minerals, and their relative dissolution rates (Manning, 2009).

Mineral	Mineral family	Formula	Weight % K	Weight % K <sub>2</sub> O	Relative dissolution rate
K-feldspar	Feldspar	KAISi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	14.0	16.9	1-2
Leucite	Feldspathoid	KAISi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	17.9	21.6	nd1
Nepheline	Feldspathoid	(Na,K)AISiO <sub>4</sub>	13.0	15.7	40-100
Kalsilite	Feldspathoid	KAISiO <sub>4</sub>	24.7	29.8	nd
Muscovite	Mica	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	9.0	10.9	n/a2
Biotite	Mica	K <sub>2</sub> Fe <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub>	7.6	9.2	n/a
Phlogopite	Mica	K <sub>2</sub> Mg <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub>	9.4	11.3	n/a

<sup>1</sup>not determined <sup>2</sup>not applicable

The potential value of crushed rock materials relates not only to their absolute content of K. It is important also to consider their dissolution rate. Table 1 shows these, in terms of the relative rate of dissolution comparing potassium feldspar and nepheline, as these are the only two framework silicate minerals for which dissolution rate data are available (Blum and Stillings, 1995; Tole et al., 1986). Dissolution rate data are not given for the micas, as cation exchange (reversible and relatively rapid) is the dominant process by which they contribute K. The feldspars and feldspathoids have a three dimensional Al-Si-O framework structure, which must be disrupted to allow dissolution to occur. No dissolution rate data appear to be available for kalsilite, but it can be assumed that the rate will be similar to that of nepheline, given similarities in the structure of the two minerals. It is quite likely that leucite's dissolution rate lies between that of kalsilite and potassium feldspar, on the basis of the number of covalent bonds that need to be broken to disrupt the structure. However, leucite commonly occurs in rocks as a partly-altered mineral, replaced by zeolites with a high cation exchange capacity, and K derived from leucite is readily available as a consequence of this.

### 3. Trials with potassium silicate-bearing rocks.

Reports of trials using potassium silicate-bearing rocks as sources of K for the growth of 20 different crops are summarised by Manning (2009). Most trials have used crushed granite, granitic potassium feldspar or granitic gneiss. Nepheline syenite from mine tailings has also been used. In general terms, plant growth has responded to application of crushed rocks to varying extents. In a review of information available at the time, Harley and Gilkes (2000) note that there is an observed yield response, but that this is not sufficient to justify use of crushed rock fertilisers if conventional fertilisers are available. Similarly, Sanz-Scovino and Rowell (1988) use feldspars (the variety sanidine) in trials with grasses and beans. Although they found positive but statistically insignificant results, these authors concluded that use of feldspars might be justified in circumstances where conventional fertilisers were unavailable on the grounds of cost, but that conventional fertilisers were preferable.

Positive results that appear to be statistically significant are reported for use of potassium feldspars in the cultivation of okra (Abdel Mouty and El-Greadily, 2008), onions (Ali and Taalab, 2008) and tomatoes (Badr, 2006). For onions and tomatoes, yields almost doubled with applications of around 300 kg K/ha as feldspar. Application of granitic rocks led to increased growth of clover (Coroneos et al, 1996), rye grass (Wang et al., 2000; Coroneos et al, 1996) pak choi and maize (Wang et al, 2000), and wheat (Hinsinger et al, 1996). The use of nepheline syenite gave significant increases in yield for grasses, which was sustained for more than one year after application (Bakken et al., 1997; 2000).

Other studies have investigated the use of crushed rock materials capable of providing K as well as other mineral nutrients. In some cases, these involve the use simultaneously of composts or manures (e.g. Fyfe et al, 2006; Theodoro and Leonardos, 2006). Although increased yields are reported, it is important to recognise that the compost or manure may act as a source of K, and it can be difficult to separate the contribution of the rock from that of other added materials.

### 4. Economics of production of K fertiliser from crushed silicate rock

In the late 1990's, the UK company Mineral Solutions Ltd ([www.mineralsolutions.co.uk](http://www.mineralsolutions.co.uk)) developed a silicate rock-based potassium fertiliser, MSL-K, for the organic farming sector. Raw materials were sought on the basis of the approach outlined here – high potash content combined with high levels of availability resulting from the presence of the feldspathoids, nepheline or leucite. Initially, wastes from a building stone quarry that worked a leucitic tuff were used as a raw material; once crushed and milled to a fine powder, these gave a consistent product with about 7 %  $K_2O$ . Although no statistically rigorous trials were carried out, this product was sold especially to tomato growers, who reported good results, and repeated purchases. The source of raw material became unavailable, and a new source was identified, again consisting of leucite-bearing basic volcanic rocks. MSL-K is now marketed by Glenside Organics Ltd ([www.glensideorganics.co.uk](http://www.glensideorganics.co.uk)).

co.uk) as one of a number of products for the organic farming sector. At the time that Mineral Solutions started to develop MSL-K, organic farmers in England and Wales were not freely able to use muriate of potash, and so there was a clear need to identify alternatives. Subsequently, the Soil Association accepted that muriate of potash could be used, removing a key restriction, and reducing justification for use of silicate rock fertilisers. To compete with conventional fertilisers in a conventional market, a crushed silicate rock fertiliser must be available at an acceptable price. The change in unit price of K since 2007 is shown in Fig 2.

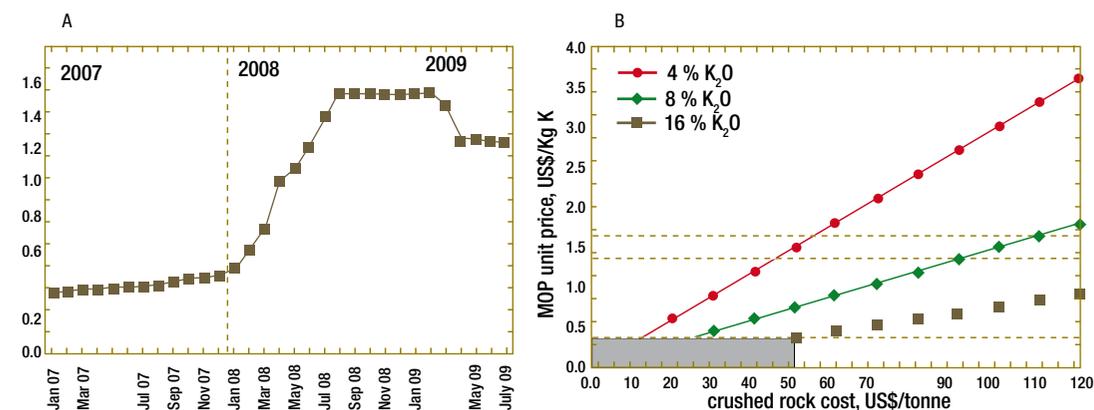


Fig. 2. (A) Changes in unit price of K since January 2007, and (B) threshold costs for crushed rocks of different  $K_2O$  contents that correspond to the unit price in Fig 2(A).

For a crushed rock material, the cost of crushing and milling to produce a fertiliser product should be similar or less than the unit cost of muriate of potash, if competing on potash content alone. Fig 2(B) shows that in 2007, a feldspar-based product at 16 %  $K_2O$ , for example, would have to be produced at US\$ 50/tonne or less, a rock with 8 %  $K_2O$  at US\$ 25/tonne or less, and a rock at 4 %  $K_2O$  at 12 US\$/tonne or less. Crushing and milling costs alone mean that this would be difficult to achieve. However, in 2008 and 2009, a feldspar-based product could have a production cost per unit of up to  $K_2O$  of US\$ 150/tonne, and still be cheaper per unit of K than muriate of potash. Rocks with 8 % and 4 %  $K_2O$ , in 2009, need production costs of 90 and 45 US\$/tonne to have a cost directly comparable to muriate of potash. These production costs are not unreasonable depending on the amounts of crushing, milling, drying and prilling that are required.

### 5. Future trials of potash-bearing silicate rocks

In his review, Manning (2009) points out that it can be difficult to compare the trial data for the 20 crops (including grasses and clover) from one study to another. A wide range of crop types is used, with different species or varieties, under a range of climatic conditions, and with a wide range of rock types. It is quite common that the studies are carried out with an emphasis on either plant science or geochemistry, and in some cases there are incomplete descriptions of either the plants or the rocks that have been used. It is rare that the soil composition or properties

are reported. Also, as already stated, the use of composts or manures complicates trials, as it then becomes difficult to separate out the effects of the rock alone.

In order to produce a body of knowledge that justifies use of crushed rock materials as alternatives to conventional potash fertilisers, it is essential that rigorous statistical trials are carried out, and ideally these should be within a strategic framework that allows direct comparison of (a) specific rock types and (b) specific crops. Only then can convincing arguments be made. With that in mind, current work in Newcastle and with collaborators elsewhere is focusing on pot trials with tomatoes, which in a number of countries are a potentially important cash crop that has a high K demand. In field trials, the depth of rooting needs to be taken into account; for example, wheat roots commonly extend to depths of two metres or more (e.g. Thorup-Kristensen et al., 2009), meaning that surface applications are perhaps irrelevant if the plant derives much of its nutrition from greater depths. In addition to using similar crops for a range of rock materials, it is necessary to carry out studies using similar rocks. Of particular interest is the use of crushed granite or potassium feldspar (provide the variety is the same), as these materials, with similar compositions, are widespread globally. In addition, it would be beneficial if work on basic rocks could focus on potassic volcanic rocks from geological rift environments, as these are likely to include leucite or nepheline. In all cases, both the chemical and mineralogical composition of the rocks should be determined and reported. The urgent need to identify sources of K that are available to farmers who cannot afford conventional fertilisers at current prices justifies thorough investigation of silicate rocks that can be mined locally, crushed and prepared in a form suitable for local markets. This does not threaten global trade in conventional fertilisers, but recognises the difficulties inherent in supplying sufficient cheap potash to meet the needs of growing, poor, populations.

## REFERENCES

- ABDEL-MOUTY, M. M.; EL-GREADLY, N. H. M. The productivity of two okra cultivars as affected by gibberilic acid, organic N, rock phosphate and feldspar applications. *Journal of Applied Sciences Research*, 4, 627-636. 2008.
- ALI, H. A.; TAALAB, A. S. Effect of natural and/or chemical potassium fertilizers on growth, bulbs yield and some physical and chemical constituents of onion (*Allium cepa*, L.). *Research Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4, 228-237. 2008.
- BADR, M. A. Efficiency of K-feldspar combined with organic materials and silicate-dissolving bacteria on tomato yield. *Journal of Applied Sciences Research*, 2, 1191-1198. 2006.
- BAKKEN, A. K.; GAUTNEB, H.; MYHR, K. The potential of crushed rocks and mine tailings as slow-releasing K fertilizers assessed by intensive cropping with Italian ryegrass in different soil types. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 47, 41-48. 1997.
- BAKKEN, A. K.; GAUTNEB, H.; SVEISTRUP, T.; MYHR, K. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56, 53-57. 2000.
- BLUM, A. E.; STILLINGS, L. L. Feldspar dissolution kinetics. In: Chemical weathering rates of silicate minerals (eds A. F. White and S. L. Brantley), *Reviews in Mineralogy* 31, 291-351 1995.
- COREONOS, C.; HINSINGER, P.; GILKES, R. J. Granite powder as a source of potassium for plants: a glasshouse bioassay comparing two pasture species. *Fertilizer Research* 45, 143-152. 1996.
- FAO. Current world fertilizer trends and outlook to 2011-12. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome, 44pp. 2008.
- FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 78, 715-720. 2006.
- HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrients from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56, 11-36. 2000.
- 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 assessed in a glasshouse experiment. *Fertilizer Research*, 45, 69-79. 1996.
- LÆGRID, M.; BØCKMAN, O. C.; KAASTAD, O. *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. CABI Publishing, Wallingford, 294pp. 1999.
- 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*, 60, 361-370. 1987.
- MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, in press. 2009.

SANZ SCOVINO, J. I.; ROWELL, D. L. The use of feldspars as potassium fertilizers in the savannah of Columbia. *Fertilizer Research*, 17, 71-83. 1988.

SHELDRIK, W. F.; LINGARD, J. The use of nutrient audits to determine nutrient balances in Africa. *Food Policy* 29, 61-98. 2004.

SHELDRIK, W. F.; SYERS, J. K.; LINGARD, J. A conceptual model for conducting nutrient audits national, regional and global scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62, 61-67. 2002.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 78, 721 – 730. 2006.

THORUP-KRISTENSEN, K.; SALMARÓN CORTASA, M.; LOGES, R. 'Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses?', *Plant and Soil*. 2009.

TOLE, M. P.; LASAGA, A. C.; PANTANO, C.; WHITE, W. B. The kinetics of dissolution of nepheline (NaAl-SiO<sub>4</sub>). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50, 379-392. 1986.

USGS. *Mineral Commodity Summary 2007: Potash*. United States Geological Survey, Reston, VA. 2008.

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.

## INTRODUCING STONE MEAL IN THE NETHERLANDS

H.L.T Bergsma<sup>1</sup>, A.T. Campos dos Santos<sup>2</sup>, and E.A.P.M. Carpay<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ARCADIS Netherlands The Netherlands huig.bergsma@arcadis.nl, <sup>2</sup>ARCADIS Netherlands The Netherlands alba.camposdosantos@arcadis.nl, <sup>3</sup>ARCADIS Netherlands The Netherlands bert.carpay@arcadis.nl

### 1. Introduction

The Netherlands is the second biggest agricultural exporter of the world. However, besides being a huge exporter of food, the Netherlands also imports an enormous amount of fodder, the bigger part destined for our meat production (Lamers 2007). Between 2003-2005 the Netherlands imported about 10 million tpa of solid soy products (beans and cake), mostly from Brazil (LEI, 2006). In total 85-90 % of all fodder for meat production has to be imported. As a result, 75-85 % of the agricultural area needed to sustain the Dutch economy lies outside of the Netherlands (Ministerie VROM, 2002). Due to this unbalanced import, surplus manure equalling this external production area is piling up. As much as possible manure is spread out on farmland. Besides this, most farmers (>97 %) are applying inorganic fertilizers to their land (Ministerie VROM, 2002). This way of fertilization makes that, without adequate countermeasures, Dutch soils will face some serious problems. Its chemistry will progressively be affected, microscopic soil life and the quality and quantity of soil organic matter will decline. If we wait till crop production the 'conventional' way definitely becomes unsustainable, the way back to the 'organic' top will be much longer. We therefore should start looking for alternatives for current practices, optimize the phosphate cycle, restore the chemical balance in soils and stimulate nitrogen fixing properties of soil. Besides restructuring Dutch agriculture (more crops, less meat), application of stone meal can help mitigate future problems related to conventional agriculture.

## 2. Consequences of conventional farming in the Netherlands

In the next paragraphs some of the negative consequences of conventional farming are being presented and explained. Afterwards possible benefits of stone meal with respect to these problems are presented.

- **Loss of nutrients:** Most farmers in the Netherlands use the maximal allowed lot of manure by spreading it on farmland. This manure is usually rich in ammonia, very liquid and aggressive towards farmland vegetation and soil organic life. It causes pH to drop and enhances leaching of important spore elements. Upon neutralization, those spore elements are in most cases solely replaced by calcium or magnesium from lime or dolomite. Besides liquid manure, the use of chemical fertilizers is common. Inorganic fertilizers are usually applied at the beginning of the growing season in order to boost growth rate of plants. Addition of soluble fertilizer causes a sudden increase in ionic strength in soil moisture, followed by a rapid exchange and leaching of cations (Ermani 1996; Yanai 1998). Qian and Cai (2007) show how this leaching develops in time for three soil types. Pierson-Wickmann et al., (2009) conclude that the large cation export induced by agricultural pressure should be considered as a potential mechanism that leads to soil destabilization and agriculture productivity decrease. Above described fertilization processes alter the original soil chemistry which, transferred through crop uptake, also influences food mineral content. Life as we know it has adapted and optimized itself to the chemical balances that once prevailed in nature. Therefore, in order to stop the decline of food production and quality, restoration of soil chemistry could be a prerequisite.
- **Declining soil organic matter:** Due to decades of over-application of fertilizers, Dutch soils and ground water are oversaturated with phosphorous. As leaching of phosphate severely threatens the quality of ground and surface waters and protected nature reserves, the Dutch government has begun to force farmers to reduce their phosphate input in soils. In order to effectively reduce the soil phosphorous content, the legally allowed phosphate gifts are far below the amounts farmers were accustomed to. The limit for phosphate fertilization automatically determines the maximum amount of organic manure that can be applied. This however, does not cover the maximum allowed nitrogen fertilization, which implies that many farmers add inorganic nitrogen fertilizers to compensate. If inorganic nitrogen fertilizer is applied without sufficient balancing organic carbon, it may cause a serious loss of soil organic matter (Hati et al., 2008).
- **Reduced functioning of soil life:** It is known that chemical fertilizers negatively influence the mutual benefits between soil life and crops. The symbiosis between mycorrhizae and plants is strongly reduced after application of chemical fertilizers. NPK fertilizers significantly reduce the amount of hyphae and vesicles formed by mycorrhizas (Titus and Leps, 2000) and favour growth of mycorrhizas that are less beneficial. Mycorrhizas of unfertilized sites are far more effective in enhancing plant growth and reproduction (Corkidi et al.,

2002). In general soil organic life changes from species that grow slow on little resources towards species that grow fast in periods that substrate is abundant (Maly et al., 2009). Nematodes that feed on microbes are replaced by nematodes that feed on grass-roots (van Eekeren et al., 2009). Once changed it takes a long time for beneficial soil life to re-establish. Farmers in the Netherlands who turn organic after years of conventional farming usually see their crop yields drop dramatically only to return to acceptable levels after about seven years.

- **Quality of agricultural products:** There is a general feeling that nowadays conventional grown crops are less nutritious and tasty than they used to be. A review by Heaton (2001) supports this by showing that 50 % of the studies revealed that organically grown food contains more minerals on fresh weight basis, 43 % of the studies was non significant, and 7 % (one study) concludes the opposite. Organically grown tomatoes contain almost double the amount of flavonoids found in conventional tomatoes (Mitchell, 2007).
- **Plagues and diseases:** As the degree of symbiotic plant root infections by beneficial mycorrhizas is reduced, pathogens are more able to infect plants (Corkidi, 2002). Liu et al., (2007) showed in experiments that soil from a conventional farm was less suppressive to blight than soils from organic and sustainable farms. Besides this, deficiency of spore elements as a result of leaching causes a considerable amount of diseases.
- **Climate change:** The use of fertilizers represents 45 % of the energy used in agriculture world production. Especially the production of chemical nitrogen fertilizers requires an enormous amount of energy. For every tonne of nitrogen converted to ammonia the equivalent of 2 tonnes of diesel are used (Fluck, 1992). It is estimated that fertilizer production consumes approximately 1.2 % of the world's energy and is responsible for approximately 1.2 % of the total GHG emissions (Kongshaug, 1998; Bellarby 2008). A relatively big part of this GHG emission is caused by the release of N<sub>2</sub>O during nitrate synthesis. According to Kongshaug (1998) this nitrous oxide contributes 26 % of the global total fertilizer production GHG emissions. The fertilizer industry is aware and many efforts are done to reduce this. After application almost 50 % of nitrate is not used by plants but accumulates in the soil. It is subsequently either lost directly as nitrous oxide, or leaches into water courses, enhancing downstream indirect nitrous oxide emissions.

## 3. How does the application of stone meal relate to these problems?

**Nutrients:** Except nitrogen, all essential elements required for plant life are present in rocks. High concentrations of elements like Mg, Ca and K can be found in dunites, basalts and syenites. These rocks also contain relatively high concentrations of essential spore elements like Co, Zn and Cr. Most soils contain main and spore elements in proportions that resemble the rocks (in-situ soil formation) or geological area (sediments) they are derived from. As stated before, plants

have adapted themselves to these mixtures of elements that were available and therefore it seems obvious that crops grown on a diet solely of K, Ca and Mg will perform less well. The function of some spore elements is quite well known and awareness of the function of others is growing. Nevertheless, as long as we don't fully understand the chemistry of plant nutrition we might as well give them what chemically most closely resembles original soil: stone meal.

- **Functioning of soil life:** Microbiology plays a key role in the dissolution of nutrients from rocks. Where lichens are the pioneers carrying out the initial attack on fresh rocks, mycorrhizas are the main dissolvers and distributors of soil minerals. About 80 % of all plants are able to live symbiotically with mycorrhizas (Gadd, 2007). Other soil life, like nematodes play a role in the mechanical abrasion of minerals (Schneider and Le Campion-Alsumard, 1999). Although not all mechanisms are fully understood, it is clear that a thriving soil life considerably enhances mineral weathering and thus supply of nutrients. This is the main reason why initially, the introduction of stone meal in the Netherlands is focused on organic agriculture.
- **Quality of agricultural products:** Analysis of rubidium (Rb) suggests that, compared to conventional grown tomatoes, the spore mineral content of organically grown tomatoes is significantly more influenced by soil mineralogy (Kelly, 2009). This supports the thesis that stone meal can contribute to a more varying mineral content of organically grown crops.
- **Plagues and diseases:** Together with a good functioning soil life, application of stone meal will very probably help to cure diseases related to mineral deficiencies. Those deficiencies can be restored by application of minerals enriched in the required spore elements or even ores containing these elements.
- **Climate change:** With respect to climate change stone meal application offers a number of advantages compared to chemical fertilizers. First of all, it takes considerably less energy to produce stone meal. Secondly, it reacts slowly and does not leach from soil, which implies less frequent, and therefore less diesel spent on application. More remarkable is that after application of silicate stone meal, carbon dioxide is sequestered (Hartmann and Kempe, 2008).

#### 4. Stone meal in the Netherlands

Most attention in the Netherlands is paid to the problems surrounding nitrogen and phosphorous. These problems are directly related to our meat industry of which the long-term sustainability is questionable. However, being at the very fundament of the food chain, crop agriculture will always be necessary. By introducing stone meal in the Netherlands ARCADIS chooses to contribute to sustainability of cropland and dairy grassland. Stone meal and its benefits are hardly known in the Netherlands. Despite its approval by law as one of the fertilizers for organic agriculture and

despite its commercial availability (Vulkamin), hardly anybody knows or uses it. It is our aim to promote stone meal as a valuable carrier of bulk and spore nutrients. Further we would like stone meal to replace carbonates (lime and dolomite) as soil conditioner, thereby reducing carbon dioxide emission and/or promoting carbon dioxide sequestration. Thirdly, a significant amount of energy will be saved by introducing a fertilizer that consumes relatively little manufacturing energy.

**Adaptation of agricultural consultancy to stone meal:** In the Netherlands there are numerous agricultural analytical and consulting laboratories (for example BLGG, B-ware, Team Ecosys, KOCH Bodemtechniek), with a corresponding number of strongly differing analytical techniques, philosophies and advices. Most of them are consulting conventional agriculture according to prevailing opinions on nutrient availability. We think that for the application of stone meal in the Netherlands, a new analytical approach is needed including whole rock analysis, a mineralogical analysis and a biological screening.

**'Cradle to cradle':** For the future we also would like to evaluate the possibility to use industrial slag or mine tailings. Due to mistakes made in the past their application was banned. Uncontrolled, large scale application of slag from both steel and base metal industry resulted in elevated heavy metal concentrations in soil. Our intention is not to use them on a large scale for their bulk elements (Ca, Mg etc.) but especially for their spore element content (Co, Mo, Cu, Zn, Cr etc).

**Tailor made stone meal:** All soils are different and have different mineralogical needs. For optimal results from stone meal application we want to investigate the idea of customized mixtures of minerals. This can be done very simply by selecting one rock upon its specific chemical content or this can be done by putting together a blend of rocks if one rock cannot cover all chemical needs. If rocks do not contain all spore elements in the right doses, we suggest looking for ores or (mechanically obtained) mineral concentrates.

**Stone meal and compost:** Plain inorganically chemical release of nutrients from silicate rocks is slow; soil life is able to speed up this process (Banfield, 1999). On the other side, stone meal is being applied to compost to speed up the composting process (Sikora, 2003; Szmids, 2004). Besides mutual benefits for both the composting process and mineral weathering, the addition of stone meal also suppresses the release of ammonia (Szmids, 2004). The same author also highlights the advantage of mineral carbon sequestration.

#### 5. Experiments by ARCADIS

Experiments by ARCADIS will serve to convince interested parties on the benefits of stone meal. Further we hope to gather more information on the interaction between vegetation, soil life, chemistry and stone meal. Currently, two types of experiments will be carried out: one experiment involving two mixtures of stone meal directly applied to grassland and a co-composting experiment also involving two mixtures of stone meal.

### Field experiment in Utrecht

The experiments are carried out at an organic dairy farm in Achterveld, the province of Utrecht, on a grassland area of approximately 1,2 ha. This area has been purchased recently and it still carries chemical signs of liquid swine manure fertilization. According to the farmer, hay yields and floral variety on this field are low. The area will be divided in six plots of approximately 2000 m<sup>2</sup>. Two plots will serve as control, two plots will be fertilized with a relatively fast reacting/ high dosage mineral blend (Mixture A), and two parts will be fertilized with a slower reacting / lower dosage mineral blend (Mixture B). An extra reference plot was chosen outside of the test area, in a field that, according to the farmer, was performing better.

### Minerals used in Utrecht

Based on the fertilization consult given by Team Ecosys, a search for suitable minerals was started. Rocks or minerals were selected that a) contained the required element in sufficient quantities and b) were considered reactive enough for fertilization practices. Two stone meal blends were composed (table 1), stoichiometrically based on the consult by TEAM Ecosys (table 2). Minerals used are commercially available grades, except for the manganese which was ground at the institute for ceramic research (TCKI). Implication of restriction to commercial available grades is that the experiments will be carried out with a relatively coarse grained anorthosite. On the other hand, a relatively coarse anhydrite was chosen deliberately in order to bring down its dissolution rate (for details see table 3). Application of the mixtures is planned for late August/ early September 2009 on a dry and quiet day. Stone meal will be spread out on top of the soil using a fertilizer spreader. To prevent dusting finer and courser material will be homogeneously mixed. Screens will be placed between plots to avoid contamination.

Table 1. Calculated mineral blends for test area in Achterveld (NL)

Material	Mixture A (kg/ha)	Mixture B (kg/ha)	Source
Anorthosite	8640	8640	Ca
Mn ore grade A	20	20	Mn
Mn ore grade B	24	0	Mn
Anhydrite	600	396	Ca,S
Nepheline syenite	780	780	K

Table 2. Stoichiometrically fulfillment of advised mineral gift by calculated mineral dosages

	S	Ca	K	B	Mn	Co
Recommended dosage (Team Ecosys, kg/ha)	76.44	896.80	64.71	2.42	7.84	0.24
Mixture A	156 %	100 %	113 %	0.4 %	152 %	5 %
Mixture B	101 %	94 %	113 %	0 %	102 %	0 %

Table 3. Grain sizes and other important differences between minerals, rocks and ores used

Material	Mixture A	Mixture B
Anorthosite	0-2 mm	Ca mainly in anorthite
Mn ore grade A	< 750 μ	50 Mn %
Mn ore grade B	<250 μ	20 Mn %
Anhydrite	0-3 mm	0-3mm
Nepheline syenite	< 60 μ	< 300 μ

**Parameters measured:** The benefits or changes as a result of the application of stone meal will be observed by measuring the following parameters: vegetation, soil life and soil chemistry. On May 19<sup>th</sup> sampling for the baseline measurements was carried out.

**Vegetation:** Vegetation of all plots was recorded on May 19<sup>th</sup> 2009 according to the Braun-Blanquet scale. Although the variety of plant species in both test area and reference plot was the same, vegetation of the test area was clearly dominated by perennial ryegrass. The vegetation of the healthier reference plot was more evenly distributed between perennial ryegrass, annual meadow grass and creeping buttercup. Vegetation will be recorded on a yearly basis; from 2010 onwards hay yields will be recorded.

**Soil life (mycorrhizas and nematodes):** Yearly analyses of mycorrhizas and nematodes will be done in order to observe changes in population size or species composition. Of all plots the mycorrhizal infection percentage has been determined. This percentage is in general low (0-25 %), and weakly correlates with plant available P. A composite sample of all plots together is analysed for mycorrhizal DNA. Nematode population size and species have been analysed.

**Soil chemistry (plant availability of nutrients):** The plant availability of the following elements is of main interest: Ca, S, K and Mn. Samples will be taken on a yearly basis in the same period as the baseline sampling. Analysis will be carried out by agricultural laboratory BLGG in Oosterbeek. For this we will use their standard analyses package for grasslands (N, P, K, Mg, Na, pH, OM, CEC), micronutrients package (Mn, Cu, Co and Se) and exchangeable cation analysis (Na, K, Ca, Mg).

### Co-Composting experiment

The positive effect of co-composting on weathering of primary minerals will be studied in one experiment. One composting batch will be divided into three parts. One part will be untreated, one part will be mixed with a stone meal mixture resembling mixture A and/or B, and the third part will be mixed with finely ground eclogite. This eclogite mainly consists of Ca-plagioclase, pyroxene, amphibole, garnet and rutile. It has fairly high CaO and MgO contents of 10 and 6 wt % respectively and contains useful spore elements like Zn (150 ppm) and Co (60 ppm). To avoid the risk of leaching through rainfall, experiments will be carried out in a shed.

## 6. Some concluding remarks

Two years ago ARCADIS started investigating the application of olivine for soil conditioning and CO<sub>2</sub> sequestration. Contact with farmers and miners on this subject led to the idea that extending this concept with more minerals could have a broader impact than only on climate. Supported by the province of Utrecht, our first project on this topic started in January 2009. After that, perhaps in an unusual order, we started looking for supporting literature. We came across literature (Leonardos, Theodoro and Assad, 2000; van Straaten, 2006), that confirmed us in our assumptions. Besides confirming us, it provides us with a scientific base that we need for convincing people. Despite a growing number of farmers complaining about decreasing crop yields, the chemical consequences of inorganic fertilization for soil are far from recognized and acknowledged. Conventional farming is still the standard on which concepts of plant availability of nutrients are based. In order to successfully introduce stone meal in the Netherlands we have to develop a new view on soil fertility and how it is linked to soil biology, with new analytical techniques and consulting.

## REFERENCES

- BANFIELD, J.F.; BARKER, W.W.; WELCH, S.A.; TAUNTON, A. Biological impact on mineral dissolution: Application of the lichen model to understanding mineral weathering in the rhizosphere. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 96, pp. 3404–3411, March Colloquium Paper. 1999.
- BELLARBY, J.; FOEREID, B.; HASTINGS, A.; SMITH, P. *Cool farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential*. Greenpeace International. 2008.
- CORKIDI, L.; ROWLAND, D.L.; JOHNSON, N.C.; ALLEN, E.B. Nitrogen fertilization alters the functioning of arbuscular mycorrhizas at two semiarid grasslands. *Plant and Soil* 240:299–310. 2002.
- VAN EEKEREN, N.; DE BOER, H.; BLOEM, J.; SCHOUTEN, T.; RUTGERS, M.; DE GOEDE, R.; BRUSSARD, L. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. *Biol Fertil Soils* 45:595–608. 2009.
- ERNANI, P.R. The effect of ionic strength on soil P reactions is negligible. *Fertilizer Research* 45: 193-197. 1996.
- FLUCK, R.C. Energy in Farm Production. *In: Energy in World Agriculture*. Elsevier, New York. Vol 6 pp.177-201. 1992.
- GADD, G.M. Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. *Mycological Research* 111: 3–49. 2007.

- HARTMANN, J.; KEMPE, S. What is the maximum potential for CO<sub>2</sub> sequestration by “stimulated” weathering on the global scale? *Naturwissenschaften* 95: 1159-1164. 2008.
- HATI, K. M.; SWARUP, A.; MISHRA, B. MANNA, M.C.; WANJARI, R.H.; MANDAL, K.G.; MISRA, A.K. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. *Geoderma* 148: 173–179. 2008.
- HEATON, S. *Organic farming, food quality and human health—a review of the evidence*. Bristol, UK: Soil Association. 2001.
- KELLY, S.D.; SATEMAN, A. S. Comparison of mineral concentrations in commercially grown organic and conventional crops – tomatoes (*lycopersicon esculentum*) and lettuces (*Lactuca sativa*). *J.Foodchem* (In Press) Elsevier. 2009.
- KONGSHAUG, G.; JENSSEN, T. K. *Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production*. International Fertiliser Society Meeting. York, UK, Proceedings No. 509. International Fertiliser Society. 2003.
- LAMERS, L. Het grote groene misverstand. Published by *Uitgeverij Landwerk*. 2007.
- LEI (Landbouw-Economisch Instituut) Sojahanandel- en ketenrelaties: Sojaketens in Brazilië, Argentinië en Nederland. *Den Haag*. 2006.
- 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.
- LIU, B.; TU, C.; HUA, S.; GUMPERTZ, M.; BEAGLE RISTAINO, J. Effect of organic, sustainable, and conventional management strategies in grower fields on soil physical, chemical, and biological factors and the incidence of Southern blight. *Applied Soil Ecology* 37: 202-214. 2007.
- MALÝ, S.; KRÁLOVEC, J.; HAMPEL, D. Effects of long-term mineral fertilization on microbial biomass, microbial activity, and the presence of r- and K-strategists in soil. *Biol Fertil Soils* 45:753–760. 2009.
- MINISTERIE VROM. Nationale strategie voor duurzame ontwikkeling: *Maatschappelijke verkenning*. 2002.
- MINISTERIE LNV DEN HAAG. Beleidsnota biologische landbouwketen 2008-2011: *Biologisch in verbinding, perspectief op groei*. 2007.
- MITCHELL, A. E.; YUN-YEONG, H.; EUNMI, K.; BARRET, D. M.; BRYANT, D.E.; FORD DENISON, R.; KAFFKA, S. Ten year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. *J. Agric. Food Chem.* 55: 6154-6159. 2007.

PIERSON-WICKMANN, A.; AQUILINA, L.; WEYER, C.; MOLE, J.; LISCHIED, G. Acidification processes and soil leaching influenced by agricultural practices revealed by strontium isotopic ratios. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73: 4688–4704. 2009.

QIAN, C.; CAI, Z.C. Leaching of nitrogen from subtropical soils as affected by nitrification potential and base cations. *Plant Soil* 300:197–205. 2007.

SCHNEIDER, J.; LE CAMPION-ALSUMARD, T. *Construction and destruction of carbonates by marine and freshwater cyanobacteria*. Eu417-426. 1999.

SIKORA, L.J. Effects of basaltic mineral fines on composting. *Waste Management* 24:139-142. 2004.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 78(4): 731-747. 2006.

SZMIDT, R.A.K.; FERGUSON, J. *Co-utilization of Rockdust, Mineral Fines and Compost*. Active Compost Limited/SEPA. 2004.

TITUS, J.H.; LEPS, J. The response of arbuscular mycorrhizae to fertilization, mowing, and removal of dominante species in a diverse oligotrophic wet meadow. *American Journal of Botany* 87(3): 392-401. 2000.

YANAI, J.; ROBINSON, D.; YOUNG, I.M.; KYUMA, K.,; KOSAKI, T. Effects of the chemical form of inorganic nitrogen fertilizers on the dynamics of the soil solution composition and on nutrient uptake by wheat. *Plant and Soil* 202: 263–270. 1998.

## THE HIDROELECTRICITY IN TROPICAL AND MEDITERRANEAN REGIONS: ENVIRONMENTAL IMPACTS AND BENEFITS OF SEDIMENTARY RETENTION AS AGROECOLOGICAL RESOURCE

R. Fonseca<sup>1</sup>, F.J.A.S. Barriga<sup>2</sup>, S. Theodoro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geociências, Univ. de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora e Creminer LA/ISR, Faculdade de Ciências, Univ. de Lisboa, Campo Grande, 1794-016 Lisboa, Portugal, rfonseca@uevora.pt

<sup>2</sup>Departamento de Geologia e Creminer LA/ISR, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1794-016 Lisboa, Portugal, fbarriga@fc.ul.pt

<sup>3</sup>Lab. Energia e Ambiente, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Brasília, DF, Brasil. suzitheodoro@unb.br

### 1. Introduction

There is growing concern over the construction of dams for environmental reasons and dams have had an exponential growth, due to many regions dependence on surface-water storage. Besides breaking important ecological links, dams are a problem because they represent barriers to the natural sediment transport cycle and rivers don't flow anymore freely to the oceans. Also, over-use of dam lake water for irrigation frequently produces damage in soils, because of precipitation of salts such as chlorides and sulphates. The continents must be flushed and dams inhibit this. On the other hand, the reservoirs themselves lose value as they become filled with sediment causing loss of storage capacity and the quality of water progressively decrease owing to nutrients and metals release from bottom sediments. This latter feature may be responsible for increased eutrophication in rivers downstream and even in the ocean.

The accelerated sedimentation results from natural processes and over-erosion in drainage areas. In agricultural regions, reservoir sediments include a large part of the topsoil lost as a result of agriculture, generally a highly erosive process. In nowadays one of the major problems of the planet Earth, is the progressive desertification of soils. According to the World Watch Institute, topsoils loss globally is approaching 1 % per year, while natural remediation can take hundreds of years (Fyfe, 1997, 2000). The geochemistry and the mineralogy of soils are critical in estimating their capacity for sustainable organic productivity and to increase the chemical and physical properties of these soils, we need to give them some additives containing macronutrients and appropriate trace metals. The

types of additives should be closely linked to soil type and climate to avoid pollution problems, so, instead of soluble chemical fertilizers we should use mineral fertilizers which should be strict quality control (Fyfe, 1997). One of these mineral fertilizers could be the sediments accumulated in the bottom of dam reservoirs, which have enclosed nutritional elements much needed in soils, where they came from. Besides being a feasible resource for agricultural use, the removal of nutrient-rich sediments by watchfully dredging, could represent an important method to recover eutrophic systems (Ryding, 1982).

The main objective of our working is studying sediments that accumulate in dam reservoirs, from a point of view of their possible removal and use. Our project started in Portugal a few years ago where we have studied three reservoirs in the South Mediterranean region (Maranhão, Monte Novo and Divor), carefully selected among Portuguese reservoirs, using diverse criteria, which included: (1) drainage of a large, geologically diverse area in an agricultural region free from polluting industries, (2) adequate size/depth for an efficient sampling and (3) sufficient age for an advanced state of sediment infilling. Following a marked decrease in agricultural development in vast regions of Portugal (partly as a consequence of European Union's Common Agricultural Policy), we decided to continue our studies elsewhere. Our first contacts were with Brazil, with immediate success. Thus we have studied two dam reservoirs in the State of Rio Grande do Sul (Passo Real and Capingüi) and, in closed cooperation with a researcher from University of Brasília, Três Marias dam reservoir, in Minas Gerais State and Tucuruí, in the Amazon Basin (State of Pará). The choose of the overall systems were derived from the marked differences in the geological nature of drainage areas, geomorphology, tectonics, soil management practices and, especially, from the very contrasted weathering/erosion regimes (temperate versus sub-tropical versus tropical).

## 2. Characteristics of the Reservoirs

Considering the strong relationship between precipitation/temperature and the weathering rate of soils and rocks, this study aims at comparing the properties of sediments accumulated in reservoirs under various climatic conditions and determining the effect of weathering reactions on the fertility index of sediments: (1) Portuguese Reservoirs: Mediterranean climate, characterized by a hot, dry summer and a rainy winter (Csa in Köppen classification); (2) Brazilian Reservoirs: *i*) sub-tropical climate characterized by homogeneous rain distribution along the annual cycle (Passo Real and Capingüi); *ii*) tropical climate of savanna (Aw type, Köppen classification), characterized by severe dry winters and rainy summers (Três Marias) and *iii*) wet tropical climate (Tucuruí). Comparing to the Mediterranean group, the conditions of the tropical systems, particularly in the Amazonic basin, lead to a much higher intensity of rock and soil weathering, followed by high leaching rates and salt movement from soils to the hydric systems inward.

Considering the geology of the feeding areas, Portuguese reservoirs encompass a remarkable geological diversity. The Maranhão drainage area includes a Cenozoic sedimentary cover over Paleozoic and Precambrian formations. This basement includes a large diversity of metasediments

(mostly shales and also pelitic schists, greywackes, quartzites, conglomerates, carbonate rocks) metavolcanic sequences ranging in composition from acid to basic rocks and a large intrusive massif (geochemically diverse granitic rocks and mafic and ultramafic intrusive bodies). The Cenozoic sedimentary cover is mainly detrital. The geology of the smaller Monte Novo and Divor systems is less diverse, composed mainly of schists with some basic and acid volcanics and intrusive acid rocks (tonalitic and granitic), and scarce zones of Miocene cover (shales, conglomerates and carbonate rocks;) (Fonseca, 2002; Fonseca et.al. 2007a).

The sources of the sediments of the Brazilian reservoirs are far more homogeneous: (1) Passo Real and Capingüi: tholeiitic basalts associated with fewer zones of felsic volcanics (Serra Geral Formation) and detrital cover (Tupanciretã Formation) (Fonseca et al., 2002; Fonseca et.al. 2007a); (2) Três Marias: the geological setting is dominated by the Três Marias Formation which belongs to the "Série Bambuí" group, mainly composed of detrital sedimentary rocks consisting of micaceous and clayey siltstones with calcareous matrix, arkoses, ferruginous shales and metamorphic limestones. In the West sector there occur plentiful zones of alluvial cover and the Mata da Corda Formation, which is responsible for the inputs of a large variety of nutrients, due to its composition represented by kamafugitic volcanic rocks. These are intrusive and extrusive ultrabasic, potassic rocks, mainly lavas, volcanic breccias, tuffs and ash (Fonseca et al., 2007b); (3) Tucuruí: The sources of the sediments accumulated in the bottom of Tucuruí reservoir have a higher diversity of age, genesis and deformation and belong to three large geological unities: Cráton Amazônico, Araguaia Belt and Sedimentary Basin of Parnaíba. Synthetically we can describe the outcropping geology as: 1. Sedimentary rocks (Cretacic-Quaternary) – Fe-sandstones, Fe-siltstones, shales, lateritic cover, alluvium; 2. Igneous rocks (lower Precambrian) granitic rocks, basalts; 3. Metamorphic rocks (Precambrian)-schists, quartzites, filites, amphibolites, gnaisses, ortognaisses (Theodoro et al., 2007 ; Leonardos et al., 2009).

## 3. Methods

We have mapped the distribution of sediments through the floors of the reservoirs from a regular sampling net, relating this distribution not only to distance to the dam wall, but also to the position and importance of the various water streams that feed the reservoir. In all the reservoirs, sediments were collected with a modified Shipeck dredge and the sampling was performed in two distinct periods, after the rainy season and after the dry season. Soils samples, representative of the different pedological units of the drainage basins have also been collected. Sediments were studied in order of testing their fertility through chemical, physical and mineralogical analysis and comparative growth studies using a few different vegetal species. To test the fertility level of sediments, each parameter was compared with: (1) corresponding medium interval as defined for various pattern soils and (2) chemical and mineralogical composition of parent rocks / soils that develop on them by weathering.

**Mineralogical and Geochemical Studies:** Sediments were subjected to most of studies routinely used for the evaluation of soil fertility, with appropriate modifications attending the physical difference between a soil and an aquatic sediment: grain size, organic matter, pH, N Kjeldahl, total N, available macronutrients (P, K), available micronutrients (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo), cation exchange capacity (CEC) and exchangeable cations. To have a more complete knowledge regarding the sediments capacity for nutrients retention, we have also studied total elemental geochemistry and clay minerals identification and characterization. In relation to P, because this element in sediments is present in a wide number of chemical forms, exhibiting different physical and chemical behaviour with respect to mobility and availability to plants and because the role played by sediments on the eutrophication of aquatic systems depends on the sediment phase to which it is associated, it was necessary to know not only the total amount of phosphorus in the sediment, but the main sediment phases to which it is associated.

**Fertility Tests:** Simultaneously, sediments were tested as artificial soils and as additives to soils, via mixtures with various proportions of inert materials in a first step (Fonseca et al., 2003) and with milled rocks and organic products in a second step. All experiments were conducted with appropriate reference samples and plants tested were selected on the basis of economic interest and biological suitability as indicators of substrate adequacy. In a first step we have conducted fertility test with tulips and pepper plants in a controlled greenhouse, using a few representative sediments from the Portuguese reservoirs, Maranhão and Monte Novo.

The second step has been performed in Brazil, in the margins of Tucuruí reservoir, using sediments from one emerged portion of the lake during the dry season. Following the principles of sequential agroforests, two experimental unities have been implanted in 12 parcels with the same size having 3 different mixtures with different proportions: sediments, milled rocks and/or manure. In each parcel they were sowed or planted native forest species and agricultural and leguminous species with different densities.

#### 4. Results and Discussion

In spite of large differences in geomorphic characteristics, climate and basin drainage lithology, our results clearly show that for most variables, the sediments compare well or even exceed the corresponding values for soils in general (Fonseca et al., 1998; Fonseca, 2002). However, comparing the two groups of reservoirs, the larger diversity of the Portuguese drainage basins and the weaker intensity of weathering processes, enhance large differences in sedimentary diversity and mineralogical composition.

1. In the overall studied systems, grain-size distribution clearly evidences the important influence of the drainage basin lithology. The sedimentary distribution in the bottom coincides with the major contribution of fine material; most sediments fall in the silty clay and clayey silt textural classes and are mainly deposited in the old watercourse bed

along the reservoirs. In Portuguese reservoirs the various textural classes reflect the large sedimentary diversity, owing to (1) large geological diversity of the drainage basins and (2) local and seasonal fluctuation of the hydraulic flow, which produces distinct energetic conditions inside the lakes. Concerning the fertility of the sediments, the high contribution of fine-grained particles is extremely important as they are the more chemically reactive part of any hydric system; they enhance the accumulation of organic matter and have higher potential of interaction with the water column.

2. Carbon and nitrogen values are usually far higher than average values for soils of the drainage basins. This shows that the sediments accumulated in the bottom of both groups of reservoirs represent an efficient sink for nutrients resulting from erosion of soils in the catchment area. The high values of these nutrients and the available potassium form, especially in clayey/silty sediments, show the suitability of the overall studied dam sediments as potassium and nitrogen fertilizers.

3. In the Portuguese reservoirs, the Mediterranean climate of South Portugal associated with (1) weak intensity of rock weathering, (2) several alteration states of weathering products accumulated in the bottom and (3) geological variation of drainage basins, enhance more complex clay assemblages. The mineralogical composition of sediments, mainly composed by a large variety of minerals (K-illites, dioctahedral Ca-smectites, trioctahedral chlorites, medium to highly disordered kaolinites) including expanding clay minerals, often randomly interstratified and medium-disordered crystallized, further the use of nutrients by plants, through slow release of components from relatively loose crystal structures (Fonseca et al., 2002; Fonseca et al., 2007a; Fonseca et al., 2009a,b). The sediments of this group have a high fertility index as Kjeldahl nitrogen and available forms of phosphorus and potassium have high abundances, and clayey and silty sediments far exceed medium values for mineral soils. Besides, sediments have chemical and mineralogical conditions advantageous to organic matter mineralization and solubility of adsorbed-P/adsorbed-K on clay minerals and organic particles surfaces.

4. In the Brazilian reservoirs, the tropical climate (sub-tropical, dry and wet tropical) together with (1) high intensity of rock weathering, (2) leaching of soluble elements (Ca, Na, K, Mg) and accumulation of stable elements (Si, Al, Fe), (3) high transformation processes during cycles of erosion-transport-accumulation in bottom reservoirs, produce a more simple clay assemblages dominated by kaolinite and amorphous and crystalline Fe-Al oxides/hydroxides. Degraded-chlorite, with instable interlayers, does not occur in all the sediments, but when present, it occurs in small quantities (always < 10 %) and is often interstratified with illite. As a consequence of the main soil group in the catchment area of Brazilian reservoirs, acid red Latosols rich in Fe and Al, illites have generally low contents and are often Fe-rich (Fonseca et al., 2007b; Fonseca et al., 2009a). In these sediments, due to the mineralogy of weathering products, the crystal structure of its

components and the acid environment (pH 4-5), (1) phosphorus is strongly retained, giving low contents of its soluble forms and (2) exchangeable bases are scarce.

For a better knowledge of the biogeochemical and mineralogical processes responsible for the low values of the soluble form of P, we have determined and quantified various inorganic P forms with the aim of suggesting possible solutions for the increase of P-solubility. Chemical fractionation showed that the predominant inorganic P fraction (Pi), is P bonded to Fe, followed by P bonded to Ca. This indicates that P is mainly retained by adsorption, fixation or precipitation on Fe-oxides and hydroxides in the reservoir sediments. As these mechanisms are surface phenomena, they occur to a great extent with the finer particles, which have higher specific surface and are chemically and physically more reactive (Fonseca et al., 2009a).

5. Total abundances of metallic micronutrients (Fe, Cu, Mn, Zn) in sediments are within the normal ranges for soils and have similar distribution patterns. This means that (1) they originate from the same sources in the drainage areas and (2) they have preferential association to the same mineral and organic compounds. In the tropical systems, however, values are much higher than the ones attained in sediments from similar systems under Mediterranean climate (Fonseca, 2002; Fonseca et al., 2003) as a consequence of (1) higher rainfall and temperature throughout the annual cycle, allowing higher leaching rates of metallic elements from the basin and (2) predominance of kaolinite in the clay fraction. Although kaolinite has low cationic exchange capacity, it strongly adsorbs metallic elements through its siliceous tetrahedral surfaces. Owing to the prevailing redox conditions of bottom reservoirs and pH values, from acid (Brazil) to near neutral (Portugal), metallic micronutrients have high solubility, seldom exceeding the concentration considered toxic to the majority of soils.
6. According to textural characteristics of sediments, cationic exchange capacity values (CEC) are from medium (Brazilian reservoirs) to medium-high (Portuguese reservoirs), in relation to medium intervals fixed for different granulometric groups of soils. The high contents of expanding clay minerals (pH-independent charge) and pH values near neutral, in Portuguese systems, enhance higher CEC and high levels of exchangeable bases. Unlike, the lower CEC and the high adsorption of hydrogen and aluminium (exchangeable acidity) in Brazilian reservoirs, reflect the low pH environment and the nature of major compounds with prevailing surface charge minerals (pH-dependent).
7. Our fertility experiments confirm the high levels of nutrients, in soluble and exchangeable forms, specially the experience using the Portuguese dam sediments. With respect to development/productivity of nutrient-demanding species, sediments far exceed the results from a common soil. The lack of good drainage conditions of samples composed of a mixture of sediment and a clayey soil, due to the formation of impermeable layers, clearly show that bottom sediments from dam reservoirs with similar textural characteris-

tics (high contribution of silt-clay particles) should be used as additive in a coarse-grained soil or on lands that ensure adequate free drainage.

In the field experiment carried out in the acid and poor-nutrient soils of Tucuruí region, we could observe that fertility levels had increased after the first year. In the experimental area we followed the principles of agroforestry system. In this area, the remineralization of local soils were done using a mixture formed by the sediments from one representative site of the reservoir, crushed rocks (mainly phillites and carbonate marls) and organic compost. The results obtained in this agroforestry system indicate that the use of sediments and crushed rocks to recuperate or improve the fertility characteristics of impoverish lateritic soils are very positive, since great part of the agricultural and forestry species presented a great and accelerated development. In regards of nutrients, we could observe a significant increase of macronutrients. Potassium level was increased up to five fold the magnitude degree in relation to the soil before the experiment implementation. Calcium and magnesium were strongly increased in the soil, improving the pH conditions in the experimental area. Only the phosphorus' levels showed no significant change in the soil.

## 5. Conclusion

Considering the growing concern over the construction of dams for environmental reasons and the progressive degradation of soils as one of the major problems of our planet, we have studied sediments that accumulate in dam reservoirs, developed in distinct climatic regions to test their feasibility for extraction and use as soils or additives in over-erosion regions and to determine the effect of weathering reactions on the fertility index of sediments.

In spite of marked differences between Tropical and Mediterranean reservoirs, derived from marked differences in the nature of drainage areas and especially from the very contrasted weathering/erosion regimes, our results clearly show the good quality of sediments for agricultural use. For most variables, the overall sediments compare well or even exceed the corresponding values for soils in general.

Sediments from Mediterranean reservoirs have a higher fertility index, because their mineralogical composition, dominated by expanding clay minerals, often randomly interstratified, medium-disordered crystallized, facilitate the use of nutrients by plants, through slow release of components from relatively loose crystal structures. In sediments from Brazilian reservoirs, due to an acid environment (pH 4-5) and simpler clay mineralogy (preponderance of kaolinite associated with high levels of iron oxides) (1) phosphorus is strongly retained, giving low contents of soluble fraction and (2) exchangeable bases are scarce. Although nutrient levels in tropical sediments are not so high as values found in Portugal, they are far higher than soils collected in the drainage area. Besides, the transformation mechanisms inherent to erosion + transport + accumulation in the bottom of reservoirs, leads to a significant increase of soluble and exchangeable forms.

This study shows that it worth evaluating the economic feasibility of removing reservoir sediments and using them for agricultural purposes in areas with scarce soils or using coarse sediments for geotechnical uses (decreasing the sand extraction in the rivers and coastal areas). We are envisaging several ways of removing and transporting bottom sediment from dam reservoirs, including dredging and slurry pumping and pipeline without making any sediments resuspension. If the sediments removal becomes economically feasible, it may eventually resolve some classical problems in the world dams: (1) the period of life of dam sediments filling with sediments; (2) the water quality, (3) the scarcity of soils in some regions and (4) the sediment scarcity in coastal areas.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The study of Três Marias and Tucuruí reservoirs (Central and North Brazil) is a part of a wide research and it was co-financed by FEDER (UE) and FCT (Portugal) through project SABRE (POCI/CTE-GEX/59277/2004) and by Eletronorte (Empresa Elétrica do Brasil), through the project “Progressive degradation of soils: geological challenges and strategies to a sustainable resolution of the problem”

## REFERENCES

FONSECA, R.; BARRIGA, F.J.A.S.; FYFE, W. Reversing desertification by using dam reservoir sediments as agriculture soils, *Episodes*, Vol.21, n°4, pp. 218- 224. 1998.

FONSECA, R. As albufeiras como estações de trânsito na sedimentação. Estudo geológico sobre a re-utilização de sedimentos de sistemas portugueses e brasileiros. Unpublished. Ph. D. Thesis, University of Évora, 649p. [In Portuguese]. 2002.

FONSECA, R.; BARRIGA, F.J.A.S.; FYFE, W. Dam Reservoir Sediments as Fertilizers and Artificial Soils. Case Studies from Portugal and Brazil. In: Kazue Tazaki (Eds.) *Proceedings, Water and Soil Environments, Biological and Geological Perspectives*, International Symposium of the Kanazawa University 21st – Century COE Program, Kanazawa, Japan, p. 55-62. 2003.

FONSECA, R.; BARRIGA, F.J.A.S.; TAZAKI, K. Land erosion and associated evolution of clay minerals assemblages from soils to artificial lakes in two distinct climate regimes in Portugal and Brazil. *Clay Minerals*, 42(2), pp. 153-171. 2007a.

FONSECA, R.; BARRIGA, F.J.A.S.; THEODORO, S.; CANÁRIO, T.; MORAIS, M. The Três Marias reservoir, a sink for sediments outcoming from over-erosion of soils in Minas gerais (Brazil). In: Sobral, M. & Gunkel, G. (Eds.) *Reservoirs and River Basins Management: Exchange of Experience from Brazil, Portugal and Germany*. Technical University of Berlin, Berlin, pp.182-196. 2007.

FONSECA, R.; BARRIGA, F.J.A.S.; CANÁRIO, T.; THEODORO, S. Mineralogy and geochemistry of Brazilian reservoir sediments: an approach to the green revolution in tropical environments. In: van Straaten, P. And Oram, N. (Eds.) – *Proceedings of the Second International Workshop “Rocks for Crops”*, Nairobi and Kisumu, Kenya, pp.171-198. 2009a.

FONSECA, R.; BARRIGA, F.J.A.S.; CONCEIÇÃO, P. Clay minerals in sediments of Portuguese reservoirs and their significance as weathering products from over-eroded soils. Comparative study of the Maranhão, Monte Novo and Divor Reservoirs (South Portugal). Accepted for publication in *International Journal of Earth Sciences*. 2009b.

FYFE, W. S. Earth sciences for the 21st Century: Evolve or die, *GFF*, v. 119, pp. 85-90. 1997.

FYFE, W.S. Truly sustainable development for a positive future: the role of the earth sciences”, *Trends in Geochemistry* Vol. 1, pp. 125-132. 2000.

RYDING, S.O. Lake Trehorningen restoration project. Changes in water quality after sediment dredging. *Hydrobiologia* 92, Dr W. Junk Publishers, The Hague, pp. 549-558. 1982.

THEODORO, S.; LEONARDOS, O.H.; OLIVEIRA, D.; FONSECA, R. & BARRIGA, F.J.A.S. Nutrient assesment of dam sediments in the Amazon for using in local subsistence agriculture: the case of Tucuruí. In: van Straaten, P. And Oram, N. (Ed.) - *Proceedings of the Second International Work shop “Rocks for Crops*, Nairobi and Kisumu, Kenya, pp. 199-224. 2009.

THEODORO, S.; FONSECA, R.; BARRIGA, F.J.A.S.; MACEDO, I.; MORAIS, M. The use of accumulated sediments in the Tucuruí and Três Marias dams to recuperate degraded areas. In: Sobral M, and Gunkel G (Eds) *Reservoirs and River Basins Management. Topic 6 – Use of deposited sediments in reservoirs*, Technical University of Berlin, pp. 211-225. 2007.

## FONOLITO COMO SUBSTITUTO DO CLORETO DE POTÁSSIO E/OU OUTRAS FONTES DE POTÁSSIO NA AGRICULTURA E PECUÁRIA NO BRASIL

Guilherme de Paiva Cortes<sup>1</sup>, Rafael Curimbaba Ferreira<sup>2</sup>,  
Gabriel de Paiva Cortes<sup>3</sup>, Lúcio Rampazzo<sup>4</sup> & Leonardo Curimbaba Ferreira<sup>5</sup>

Mineração Curimbaba Ltda - <sup>1</sup>guilherme@curimbaba.com.br, <sup>2</sup>rafael@curimbaba.com.br,  
<sup>3</sup>gabriel.warwick@curimbaba.com.br, <sup>4</sup>minas@curimbaba.com.br, <sup>5</sup>leonardo@curimbaba.com.br

### 1. Introdução

Segundo Martins et al, em 2007, foram produzidas no Brasil 471 mil toneladas de  $K_2O$ , correspondendo à 11 % da demanda nacional, que atingiu 4,7 milhões de toneladas. A importação para atender o consumo foi de 4,1 milhões, num total de USD 1,5 bilhões. Atualmente, segundo site da Aliceweb, o preço médio de janeiro de 2009 a junho de 2009, do cloreto de potássio, está em USD 726 por tonelada e, no 1º semestre de 2009, o Brasil importou 695 mil toneladas, o que representou cerca de USD 504 milhões em divisas. Há previsões de que a demanda brasileira por  $K_2O$  cresça 50 % até 2050, ou seja, consumo na ordem de 7 milhões de toneladas naquele ano.

Devido à grande dependência do potássio no Brasil, o Grupo Curimbaba e, principalmente, a Mineração Curimbaba Ltda., vem desenvolvendo fontes alternativas de potássio. Dentre as várias opções pesquisadas pela empresa, a que apresentou o melhor resultado tanto em termos técnicos quanto em termos econômicos foi o fonolito. O pó do fonolito mostrou-se bem eficiente na substituição do cloreto de potássio tanto nas fazendas do Grupo Curimbaba quanto em testes experimentais da UNESP em Botucatu/SP. A empresa acredita que pode fornecer um produto competitivo e que possui recursos minerais para abastecer o mercado doméstico de potássio para a agricultura.

#### 1.1. Geologia no Planalto de Poços de Caldas

O planalto de Poços de Caldas, no sul de Minas Gerais, de forma circular e com área de 800 Km<sup>2</sup>, possui uma gama considerável de minérios, dentre os quais se destacam as bauxitas, urânio, zircônio, tório, terras raras, argilas industriais, além das rochas enriquecidas em potássio,

conforme apresentado na Fig. 1. Dentre as principais obras que realmente contribuíram para o desenvolvimento científico e técnico do maciço no planalto de Poços de Caldas, cumpre-nos citar, em primeiro lugar, as obras de Derby e Machado. Foi Derby quem aplicou pela primeira vez os termos foiaito e fonolito para as rochas encontradas no planalto, e Machado apresentou diversas análises químicas das rochas citadas no estudo petrográfico desenvolvido no maciço.

De acordo com a classificação de Johannsen (in Ellert, 1959), as rochas alcalinas são classificadas pela sua textura. Assim os **foiaitos** – são rochas claras, de textura grosseira, porfirítica, abissais predominantemente formadas por feldspatos e nefelina. Já as rochas vulcânicas seriam representadas pelos termos de textura fina, ou seja, pelos **tinguaitos** e **fonolitos** que apresentam textura sacaroidais a afaníticas, desde vítrea até microcristalina, de cores, verde a preto. Outra litologia que ocorre em grande extensão, principalmente na parte central do planalto, é representada pelas **rochas potássicas**. Ações hidrotermais ocorreram durante um longo período em quase todo o planalto, após a intrusão alcalina. Nas áreas onde esta ação foi mais intensa, houve profundas modificações das rochas que sofreram re-mineralizações mais ou menos intensas, além de uma completa alteração dos seus minerais constituintes com carreamento muitas vezes quase que total de alguns de seus componentes químicos e, conseqüentemente, enriquecimento em relação a outros. Nesta fase e nestas circunstâncias, formaram-se depósitos de zircônio, urânio, tório, molibdênio, vanádio e terras raras.

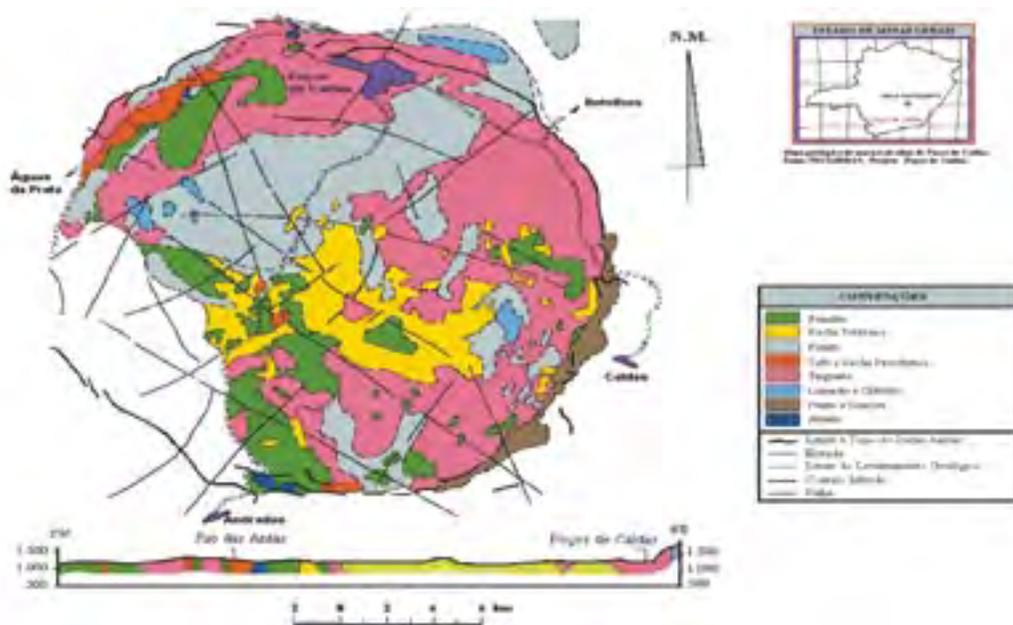


Fig. 1. Mapa geológico do maciço alcalino de Poços de Caldas. Fonte: Comissão nacional de Energia Nuclear (1.974)

As rochas do planalto de Poços de Caldas são ricas em potássio, notadamente as hídricas ou potássicas. No entanto as vulcânicas, embora apresentem teores de potássio mais baixo, da ordem de 8,5 %, não se observa variações significativas nesses teores, resultando numa regulari-

dade que as diferenciam potássicas cujos teores de potássio variam numa faixa de 7 % a 14 %. O mineral dominante é o feldspato potássico. Neste grupo de minerais, o elemento potássio está “prisioneiro” da estrutura cristalina. Este fato os torna insolúveis em ácidos fracos, que ocorrem normalmente na natureza, o que os torna de difícil aproveitamento, quando assim utilizados com finalidades agrícolas.

Inúmeros trabalhos têm sido conduzidos por pesquisadores, inclusive pela Curimbaba, nas rochas potássicas, visando o seu emprego na agricultura. Estas rochas, embora apresentem teores anômalos de  $K_2O$  apresentam o grande inconveniente da heterogeneidade de teores. Análises químicas efetuadas pela empresa e encontradas na literatura especializada indicam teores entre 8 e 14,5 % de  $K_2O$ . Este parâmetro, importantíssimo nos estudos agrônômicos, levou a empresa a conduzir os experimentos em rochas que apresentam uma homogeneidade e constância nos teores, notadamente nos de  $K_2O$ . Fundamentada neste parâmetro, a empresa vem trabalhando com as rochas vulcânicas, ou seja, com aquelas que apresentam texturas finas, onde a presença dos minerais que as constituem ocorrem em proporções muito semelhantes e os teores químicos são praticamente idênticos. A Tabela 1 abaixo mostra as diferentes rochas com os teores dos óxidos de maior representatividade.

O mapa geológico do maciço alcalino de Poços de Caldas, elaborado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (1.974) mostra uma distribuição aproximadamente igual para os fonolitos, foiaitos e rochas alteradas hidrotermalmente (20 % para cada), e um ligeiro domínio dos tinguaitos que ocorrem em praticamente 30 % do planalto. Estimam-se, considerando apenas os grandes afloramentos das rochas de textura fina, aflorantes no interior da caldeira vulcânica, reservas da ordem de 5 bilhões de toneladas a serem exploradas até o nível da drenagem atual (cota base: 1.280 m). Não existe um trabalho criterioso a respeito destas reservas. Apenas levantamentos da base dos maciços aflorantes.

Tabela 1. Análises químicas típicas dos nefelina sienitos de Poços de Caldas (valores em %)

Principais Elementos	Rochas			
	Fonolito	Tinguaito	Foiaito	R. Potássica. (*)
$Al_2O_3$	23,3	21,4	21,2	26,0
$SiO_2$	52,8	57,5	53,2	55,0
$Fe_2O_3$	3,4	4,3	4,2	4,0
$TiO_2$	0,5	0,6	1,2	1,0
$K_2O$	8,4	8,4	8,2	12,0
$Na_2O$	7,0	6,7	7,4	0,5
$CaO$	1,5	2,5	1,0	0,3
$MnO$	0,1	0,2	0,4	traços
$MgO$	0,5	1,0	1,6	traços

Fonte: Mineração Curimbaba Ltda. 1996. Documentos internos. Valores em %.

## 1.2. Potencial do Maciço Alcalino de Poços de Caldas

Devido à proximidade com a planta da Mineração Curimbaba, a empresa vem trabalhando nos últimos anos nas rochas do vale das Campinas, cujas reservas dimensionadas até o momento atingem 100 milhões de toneladas de rochas vulcânicas, principalmente de fonolitos totalmente encravados em concessões da empresa, devidamente licenciadas. Daí, o termo fonolito ter sido escolhido comercialmente como denominação do produto desenvolvido para fins agrícolas.

## 2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é mostrar os vários benefícios do fonolito em relação à adubação tradicional N-P-K. Além disso, será apresentado o potencial do Grupo Curimbaba para atender o mercado nacional e, finalmente, será mostrado que o fonolito, em alguns casos, é mais eficiente do que o cloreto de potássio para a mesma quantidade de  $K_2O$ .

## 3. Metodologia

A metodologia utilizada para mostrar a eficiência do fonolito em relação ao cloreto de potássio foi teste de campo tanto nas fazendas do Grupo Curimbaba quanto em fazendas da UNESP campus Botucatu/SP. Numa primeira abordagem, o Grupo Curimbaba também testou o fonolito em suas próprias fazendas de café, tanto em São Sebastião do Paraíso/MG quanto em Areado/MG. O fonolito começou a ser aplicado nas fazendas de café do Grupo Curimbaba a partir de 2003 na mesma proporção de  $K_2O$ . Ou seja, como o fonolito possui aproximadamente 8,4 % de  $K_2O$  e o KCl possui em média 58 % de  $K_2O$ . Dessa forma, foi adicionado 6,9 vezes a quantidade de fonolito, em massa de modo a distribuir no solo a mesma quantidade equivalente de potássio. Por outro lado, a fertilização do solo com o N (Nitrogênio) e o P (Fósforo) assim como a adição de calcário magnesiano continuaram da mesma forma.

Em um segundo experimento foram realizados testes comparativos entre o fonolito e o KCl nas culturas de arroz, feijão, milho e soja na instituição de ensino da UNESP de Botucatu/SP. Novamente, foram comparadas as mesmas quantidades de  $K_2O$ .

## 4. Resultados e Reflexão

A Tabela 2 mostra os resultados de composição química do solo para uma situação prévia sem fonolito (utilizando o KCl como fonte de potássio) e uma situação posterior com fonolito. Pode-se perceber que o solo com o fonolito é mais balanceado com melhores relações de Ca/Mg, Ca/K e Mg/K. Exceto pelos teores de ferro, que o fonolito realmente acaba adicionando esse ingrediente em demasia ao solo.

É importante salientar que a substituição KCl pelo fonolito se iniciou em 2003, ou seja, tem-se 4 a 5 anos de adição de fonolito no solo e, apesar do alto teor de alumínio do fonolito de 23,3 %, esse alumínio não foi solubilizado, uma vez que seu teor continua muito pequeno após esse período. Isso porque o alumínio reage fortemente com o silício, formando um cristal que dificilmente será separado.

Tabela 2. Análise química do solo com e sem fonolito

	Níveis Médios Adequados		Sem fonolito		Com fonolito	
	Café	Cereais	Ano 2000	Ano 2001	Ano 2007	Ano 2008
Matéria Orgânica (g/dm <sup>3</sup> )	30 a 40	30 - 40	30	23	23	33
pH	5,2 a 5,6	5,2 a 5,6	5,6	5,8	5,2	5,4
P Fósforo (mg/dm <sup>3</sup> )	15 a 30	15 a 30	14	12,5	8	19
K Potássio (mmolc/dm <sup>3</sup> )	2,5 a 3,5	2,5 a 3,5	4,25	4,85	3,85	3
Ca Cálcio (mmolc/dm <sup>3</sup> )	25 a 40	25 a 40	37	33	39,5	36
Mg Magnésio (mmolc/dm <sup>3</sup> )	8 a 15	8 a 15	12	12	12	12
Al Alumínio (mmolc/dm <sup>3</sup> )	0 a 1	0 a 1	<1	<1	<1	<1
H + Al Ac. Potencial (mmolc/dm <sup>3</sup> )	40 a 45	40 a 45	54,25	50,1	55,6	52,4
S. B. Soma de Bases (mmolc/dm <sup>3</sup> )	40 a 55	40 a 55	54,25	50,1	55,6	52,4
CTC Cap. Troca de Cátions (mmolc/dm <sup>3</sup> )	80 a 100	80 a 100	74,35	73,75	80,4	86,4
V % Saturação de Bases %	50 a 60	50 a 60	72,5	72	72	60
S Enxofre (mg/dm <sup>3</sup> )	15 a 20	15 a 20	8	9	7	13
B Boro (mg/dm <sup>3</sup> )	0,6 a 0,8	0,3 a 0,6	0,58	0,61	0,67	0,63
Cu Cobre (mg/dm <sup>3</sup> )	0,7 a 1	0,3 a 0,8	1,95	1,50	1,95	1,90
Zn Zinco (mg/dm <sup>3</sup> )	1,2 a 1,5	0,6 a 1,2	24,5	20	2,85	2,7
Fe Ferro (mg/dm <sup>3</sup> )	5 a 12	5 a 12	5,4	5,05	27	31
Mn Manganês (mg/dm <sup>3</sup> )	2,6 a 5	0,6 a 1,2	2,5	2,15	4,5	5
K %	3,5 a 5	3,5 a 5	5,57	6,68	4,74	3,6
Ca %	35 a 50	35 a 50	50,26	46,83	49,315	43
Mg %	13 a 20	13 a 20	16,07	16,87	15,62	13,26
Al %	0 a 2	0 a 2	0,01	0,01	0,73	0,64
H %	15 a 30	15 a 30	27,57	29,22	27,50	39,57
Ca/Mg Relação Ca/Mg	2,5 a 5	1,5 a 5	2,99	2,75	3,18	3,25
Ca/K Relação Ca/K	7 a 10	5 a 20	8,74	6,42	10,00	11,10
Mg/K Relação Mg/K	2,5 a 4	2 a 6	2,85	2,35	3,30	3,45

Fonte: Mineração Curimbaba Ltda. 2008. Documentos internos.

A Tabela 3 mostra os resultados em análise foliar. Pode-se perceber que a folha fica mais balanceada com o fonolito do que com o KCl. Os níveis de Boro, devido aos micro elementos do fonolito, se mostram bem superiores e dentro do nível ótimo na folha. As relações de N/Cu (Nitrogênio e Cobre), P/Zn (Fósforo e Zinco) e Fe/Mn (Ferro Manganês) ficaram dentro dos níveis ótimos, enquanto que com o KCl, esses níveis extrapolaram os níveis ótimos.

Tabela 3. Análise Foliar

	Níveis Ótimos	Sem Fonolito	Com Fonolito
N Nitrogênio g/kg	26 a 32	29,75	28,51
P Fósforo g/kg	1,2 a 1,9	1,40	1,35
K Potássio g/kg	16 a 31	24,21	20,98
Ca Cálcio g/kg	10 a 19	10,07	9,32
Mg Magnésio g/kg	2,7 a 4,1	3,34	2,82
S Enxofre g/kg	1,5 a 2,4	1,14	1,47
Zn Zinco	8 a 20	6,03	13,74
B Boro mg/kg	40 a 80	29,26	49,32
Cu Cobre mg/kg	10 a 15	9,23	15,24
Mn Manganês mg/kg	70 a 250	27,10	31,62
Fe Ferro mg/kg	110 a 350	93,72	95,03
N/P Relação N/P	14 a 24	21,46	21,40
N/K Relação N/K	0,9 a 1,8	1,27	1,38
N/B Relação N/B	325 a 640	26,90	19,67
N/Cu Relação N/Cu	1733 a 3200	3383,16	2282,93
P/Mg Relação P/Mg	0,3 a 0,7	0,42	0,48
P/Zn Relação P/Zn	75 a 200	252,04	109,13
K/Ca Relação K/Ca	1 a 2,6	2,42	2,25
K/Mn Relação K/Mn	64 a 440	900,00	736,63
Ca/Mg Relação Ca/Mg	2,8 a 5,9	3,05	3,34
Ca/Mn Relação Ca/Mn	44 a 214	407,29	329,44
Fe/Mn Relação Fe/Mn	0,5 a 3,6	3,76	3,29

Fonte: Mineração Curimbaba Ltda. 2008. Documentos internos.

Tudo isso demonstra que o fonolito proporciona ao solo um maior equilíbrio e esse equilíbrio é passado para a folha. É importante ressaltar que mesmo nos itens no qual o fonolito não está dentro dos níveis considerados ótimos, os resultados são melhores do que com o KCl. Desta forma, como a planta está mais balanceada, ela consegue não só ter uma melhor produtividade como também uma melhor resistência a doenças e pragas. Como mencionado anteriormente, os resultados do fonolito não ficaram restritos às fazendas do Grupo Curimbaba. Durante o ano de 2008, foram realizados testes comparativos entre o fonolito e o KCl nas culturas de arroz, feijão, milho e soja na instituição de ensino da UNESP de Botucatu/SP. Novamente, foram comparadas as mesmas quantidades de  $K_2O$ . Nos ensaios conduzidos na UNESP de Botucatu/SP, segunda a abordagem dos experimentos, observou-se que no arroz sequeiro, o fonolito diminui os teores de Mg (Magnésio) para níveis considerados deficientes e aumentou os teores de P (fósforo) e S (Enxofre) para níveis acima do adequado, enquanto que o KCl manteve os níveis de todos os macro elementos. A produtividade, medida em peso, com ambas as fontes de  $K_2O$  teve um desempenho melhor para o KCl em 48 % melhor em relação à testemunha (solo sem  $K_2O$ ), enquanto que o fonolito teve um desempenho 38 % melhor do que a testemunha (vide Tabela 4).

Segundo a Agrobiológica, empresa especialista em fertilizantes, como a cultura do arroz é, normalmente, realizada em terras ácidas, o fonolito só trará resultados no médio e longo prazos, uma vez que a alcalinidade do fonolito retardará a produtividade num primeiro momento. É importante observar que, a pesar de uma menor produtividade média no fonolito, o melhor resultado aconteceu no fonolito quando foram adicionados 40 kg por hectare, com uma produtividade de 1.908 Kg por hectare contra um melhor resultado de 1.903 kg/ha do KCl.

Na cultura do feijão, o N (Nitrogênio) foi reduzido com a aplicação do fonolito e o teor de Si (Silício) aumentou de forma significativa com o tratamento com o KCl. A produtividade aumentou em ambas as aplicações em relação à testemunha, sendo que o KCl teve um aumento médio na produtividade em torno de 11 % e o fonolito teve um aumento médio de 6 %, como se pode observar também na Tabela 4.

É possível que devido o rápido crescimento do feijão, o resultado do fonolito não tenha sido satisfatório, uma vez que um ano não é suficiente para uma cultura de crescimento rápido. Desta forma, é esperado um resultado melhor para o feijão no médio e longo prazo.

Já na cultura do milho, o número de grãos e a massa dos grãos foram afetados em favor do fonolito. Com isso, o fonolito teve uma produtividade média melhor do que a testemunha em 22 % enquanto que o KCl teve um desempenho de 21 %. Ou seja, para o primeiro ano de comparação, o fonolito foi superior que ao KCl em termos de produtividade (ver Tabela 4 abaixo). É possível que o desempenho do fonolito seja ainda maior nos anos subseqüente, porém, testes subseqüentes mostrarão esses resultados no início de 2010.

Tabela 4. Produtividade do arroz, feijão, milho e soja em função de fontes de potássio

Dose de $K_2O$ (Kg por ha)	Produtividade dos Grãos (Kg por ha)								% Em favor do fonolito			
	Arroz		Feijão		Milho		Soja		Arroz	Feijão	Milho	Soja
	Fonolito	KCl	Fonolito	KCl	Fonolito	KCl	Fonolito	KCl				
Testemunha	1.148	1.148	1.792	1.792	6.516	6.516	1.723	1.723	-	-	-	-
20	1.377	1.896	1.848	1.735	8.156	7.650	2.487	2.459	-27 %	7 %	7 %	1 %
40	1.906	1.854	1.868	2.165	8.516	8.346	2.570	2.476	3 %	-14 %	2 %	4 %
80	1.891	1.903	2.087	2.2240	8.620	8.620	2.780	2.669	-1 %	-7 %	-5 %	4 %
Media	1.581	1.700	1.899	1.983	7.955	7.955	2.390	2.332	-7 %	-4 %	1 %	2 %
Resultado	38 %	48 %	6 %	11 %	22 %	21 %	39 %	35 %				

Fonte: Trabalho UNESP campus Botucatu/SP

O mesmo resultado positivo do milho foi observado também na soja. A utilização do fonolito proporcionou uma quantidade de grãos por vagem maior do que no KCl. Como resultado, o fonolito proporcionou uma produtividade média de 39 % maior do que a testemunha enquanto que o KCl teve uma produtividade média de 35 %. O fonolito, neste caso, demonstrou uma produtividade maior do que o KCl em todas as doses de  $K_2O$  (ver na tabela 4 acima), como no caso do milho, é possível que o resultado seja ainda melhor nos anos subseqüentes.

### 3. Conclusões e/ou Recomendações

Como demonstrado nos testes de campo realizados na UNESP de Botucatu/SP, o uso de fonolito como potencial remineralizador de solos, ou como fonte de Potássio apresentou-se altamente positivo, quando comparado à fonte solúvel convencional (cloreto de potássio). Em algumas culturas, o resultado obtido com o uso de fonolito foi superior ao cloreto de potássio. É importante destacar que os resultados obtidos nos testes realizados na UNESP representam apenas um ano de safra. Resultados melhores são esperados após o primeiro ano. Os trabalhos realizados nas fazendas do Grupo Curimbaba, demonstraram que o fonolito possibilitou não só um solo mais equilibrado como também plantas mais equilibradas.

É importante salientar que o fonolito, como muitos pós de rocha utilizados na agricultura, também trará benefícios adicionais às plantas, tais como os micronutrientes e uma melhor estruturação dos solos. Além disso, o pH do fonolito é básico. Os solos brasileiros apresentam pH ácido e, nesse caso, o alumínio presente naturalmente no solo, bem como na rocha, reagirá com o fósforo do fertilizante (N-P-K), retendo o fósforo não permitido, assim, a sua absorção pela planta. Como o fonolito é extremamente básico, possui um pH médio de 10,4, esse problema não ocorre.

Dentro destes pressupostos, o fonolito configura-se como uma alternativa técnica e economicamente viável ao cloreto de potássio que, atualmente, se mantém em patamares historicamente elevados em termos de preço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARTINS, E.S., OLIVEIRA, C.G., RESENDE, A.V. & MATOS, M.S.F. *Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para a Agricultura*. CETEM: Centro de Tecnologia Mineral, p. 1-19, 2003.

BJÖRNBERG, J.A.S.. *Rochas Clásticas do Planalto de Poços de Caldas*, Boletim n° 237 da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras - Geologia. 18: 65-122, 1959.

ELLERT, R.. *Contribuição à Geologia do Maciço Alcalino de Poços de Caldas*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras - USP, Boletim n° 237, 1.959.

FIORI, A. P. et al.. *Evolução Geológica da parte SW do Estado de Minas Gerais*. *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia*. Camboriú, SC. vl.5, 2893-2905 pp., 1980.

FUJIMORI, K. *Desenvolvimento da tecnologia de produção do fertilizante potássico tipo kalsilita, próprio para agricultura tropical a partir das rochas potássicas*. *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro – Páginas 4.892 a 4.902, 1.984.

GORSKY V.A. & GORSKY E. *Contribuição à Mineralogia e Petrografia do Planalto de Poços de Caldas*. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, Boletim 13. 93 p.. 1.974.

MACHADO FILHO, L., et al., *Geologia*. In: Projeto RADAMBRASIL. Folhas SF 23 - Rio de Janeiro e SF 24-Vitória. Rio de Janeiro, (Levantamento dos Recursos Naturais, 32) 1.983.

MONIZ, A.C.. *Estudo Mineralógico das Argilas do Maciço de Poços de Caldas*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras - USP, Geologia. Boletim n.º 23, 134p.

MOTOKI, A. & OLIVEIRA, J.L.S.. *Reconsiderações sobre a Hipótese de Caldeira Vulcânica no Complexo Alcalino de Poços de Caldas, MG*. *Anais do Simpósio de Geologia de M. Gerais*, Belo Horizonte, pp. 420-433, 1987.

PARADELLA, W.R., & ALMEIDA FILHO, R.. *Condicionamento das Mineralizações radioativas no Planalto de Poços de Caldas, MG*. Relatório INPE-953-PE/044, out/76. *Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Geologia - Ouro Preto*, 1976.

SOARES GATTO, L. C. et al., *Geomorfologia - Projeto RADAMBRASIL*. Folhas SF 23 - Rio de Janeiro e SF 24 - Vitória. Rio de Janeiro, 1983 (Levantamento dos Recursos Minerais, 32).

ÜLBRICH, H.H.G.J.; GARDA, G.H.; ULBRICH, M.N.C., *Avaliação das Idades K/Ar nos Maciços Alcalinos do Brasil Sul Oriental e Paraguai Oriental*, 1990. *Boletim Especial de Trabalhos apresentados*, Inst. Geociências - USP, pp. 147 -152.

ULBRICH, H. H. G. *A Petrografia, a Estrutura e o Quimismo de Nefelina Sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP*. Tese de Livre Docência. Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da USP, SP. 1984.

ULBRICH, M.N.C., GOMES, C.B. & ULBRICH, E.H.G.J. *Nefelina Sienitos do maciço alcalino de Poços de Caldas, MG-SP: Caracterização Mineralógica e Petrológica*, MG-SP. *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*. Rio de Janeiro, p 4362-4370. 1.984

## AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL, ÁREA FOLIAR E DENSIDADE POPULACIONAL DE DUAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR INFLUENCIADAS PELA APLICAÇÃO DE MB-4

Renato Galdino Duarte Bezerra<sup>1</sup>, Glauco de Andrade Antunes<sup>2</sup>, Mauro Wagner de Oliveira<sup>3</sup>,  
Edna Vieira dos Santos Aristides<sup>4</sup>, Thiago Batista dos Santos<sup>5</sup> e José Harlisson de Araujo Ferro<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo pelo CECA/Universidade Federal de Alagoas renatoduarte\_agro@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo pela UnB Universidade de Brasília, Brasília-DF. altopar@ig.com

<sup>3</sup> Prof. Dr. CECA/UFAL, Universidade Federal de Alagoas Maceió/AL, mwol@oi.com.br

<sup>4</sup> Estudante de Agronomia, CECA/ Universidade Federal de Alagoas ednaaristides@gmail.com

<sup>5</sup> Estudante de Agronomia, CECA/Universidade Federal de Alagoas Thiagobatistasmc@hotmail.com

<sup>6</sup> Estudante de Agronomia, CECA/Universidade Federal de Alagoas harlissonferro@hotmail.com

### 1. Introdução

A cultura da cana-de-açúcar, no Brasil, expandiu-se bastante nos últimos anos, influenciada pelos bons preços de venda dos seus principais produtos: o açúcar e o álcool. Atualmente, a área cultivada com cana situa-se próximo a 9,0 milhões de hectares (Conab, 2008), sendo uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial. No entanto, grande parte destas lavouras está sobre solos pobres em silício trocável, que é o silício disponível para as plantas (Oliveira et al., 2007).

A cana de açúcar é uma planta que acumula grande quantidade de silício, assim, nestas áreas há grande demanda do elemento pela cultura da cana-de-açúcar, mas o solo não o supre em quantidade suficiente, havendo portanto grande possibilidade de resposta ao fornecimento deste elemento na forma de fertilizantes, rochas moídas ou corretivos silicatados.

Uma alternativa ecológica para reposição do solo de nutrientes removidos pela cultura é o uso do pó de rocha (rochagem), um produto obtido pelo beneficiamento simples de matérias minerais, de solubilidade mais lenta, disponibilizando os nutrientes para as plantas por um período maior do que o de fertilizantes convencionais. Um desses produtos é o MB-4, um pó de rochas,

desenvolvido pela Mineração Barreto S.A. – MIBASA, sediada em Arapiraca – Alagoas. Os minerais que compõem o MB-4 são os feldspatos, a antigorita, o talco, a clorita e o quartzo, desta forma o produto contém principalmente silicatos, além de óxidos de ferro, de manganês, de titânio e sulfetos de zinco e cobre. O objetivo deste trabalho foi avaliar a área foliar, o estado nutricional e a densidade populacional das variedades RB867515 e RB92579, adubadas com MB-4.

## 2. Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida em área experimental pertencente a Usina Santa Clotilde, localizada no Município de Rio Largo - AL, com latitude de 9° 29' 45" S, longitude de 35° 49' 54" W e altitude média de 127 metros. Na região o outono e o inverno são chuvosos e a primavera e o verão são secos. Antecedendo à instalação do experimento realizou-se análise química do solo nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, cujos resultados encontram-se na tabela abaixo (Tabela 1). De posse dos resultados calculou-se a quantidade de calcário dolomítico a ser aplicada para se elevar a saturação por bases a 60 %. Após a aplicação do calcário a área experimental foi arada, gradeada e sulcada, tendo-se realizado o plantio da cana em 30 de maio de 2008.

Tabela 1. Resultados da análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.

Profundidades	pH	P	K	Al <sub>3+</sub>	H++ Al <sub>3+</sub>	Ca <sub>2+</sub>	Mg <sub>2+</sub>	CTC (T)	V	m
	H <sub>2</sub> O	-- mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----				---- % ----		
0 – 20 cm	5,4	93	129	0,1	3,63	1,5	0,7	6,16	41	4
20 – 40 cm	4,7	18	50	1,0	4,62	0,5	0,3	5,55	17	52

Extratores químicos utilizados: 1) Para P e K: Mehlich; 2) Para Ca, Mg e Al: KCl 1,0 M, 3) Para H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>: acetato de cálcio 0,5 M a pH 7,0 - 7,2.

O estudo foi um fatorial 2 x 5, constituído de duas variedades de cana; RB867515 e RB92579, e quatro doses de MB-4: zero, 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 por hectare, aplicados no fundo e laterais do sulco de plantio. Devido a fertilidade do solo não houve aplicação de fertilizantes químicos. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas de cinco sulcos de 5,0 metros de comprimento, espaçadas de 1,00 metros. O controle químico de plantas daninhas foi feito utilizando-se herbicida pré-emergente alachor e atrazine. A área foliar foi estimada pelo método proposto por Hermann e Câmara (1999), que se baseia em medidas lineares da folha +3, conforme descrito a seguir:

$AF = [C \times L \times 0,75 \times (N + 2)]$ , em que:

C = comprimento da folha +3 estudada;

L = largura da folha +3 estudada;

N = n° de folhas totalmente abertas com mais 20 % de área verde;

2 = fator de correção.

As estimativas de área foliar, densidade populacional e estado nutricional das plantas foram realizadas na fase de crescimento máximo da cana, maio de 2009, cerca de um ano após o plantio da cana, amostrando-se, áreas de 2,0 m<sup>2</sup>, no centro de cada parcela. Posteriormente,

para o cálculo do Índice de Área Foliar (IAF), expresso em m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, dividiu-se a área foliar de todas as plantas amostradas pelo espaço (m<sup>2</sup>) ocupado por elas. A análise do estado nutricional foi realizada, seguindo método descrito por Malavolta et al., (1989). O terço médio da folha +3, sem a nervura principal, foi seco em estufa de ventilação forçada a 65 °C, passado em moinho tipo Willey, sendo, posteriormente, quantificados os teores de nutrientes. Os valores médios da densidade populacional, área foliar e estado nutricional foram submetidos à análise de variância e, de regressão para as variáveis estudadas.

## 3. Resultados e Discussão

Nas tabelas 2 e 3 estão apresentados os quadrados médios da análise de variância para o índice de área foliar, densidade populacional e teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco, nas duas variedades, RB867515 e RB92579, de cana adubadas com quatro doses de MB-4. Houve efeito da aplicação de MB-4 no índice de área foliar, na densidade populacional e nos teores de nitrogênio e fósforo.

Tabela 2. Quadrados médios da análise de variância para índice de área foliar (IAF), densidade populacional (Dens. Pop.) e teores foliares de nitrogênio (Teor N), fósforo (Teor P), potássio (Teor K) em duas variedades de cana-de-açúcar adubadas com quatro doses de MB-4.

Fonte de variação	GL	-----Quadrado médio-----					
		Teor Ca	Teor Mg	Teor Cu	Teor Fe	Teor Mn	Teor Zn
Dose	4	0.012 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	0.170 <sup>ns</sup>	408.1 <sup>ns</sup>	0.807 <sup>ns</sup>	3.237 <sup>ns</sup>
Bloco	1	0.024 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>	0.205 <sup>ns</sup>	741.4 <sup>ns</sup>	0.632 <sup>ns</sup>	37.378 <sup>***</sup>
Variedade	3	0.165 <sup>***</sup>	0.025 <sup>***</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	86.112 <sup>ns</sup>	1.999 <sup>*</sup>	0.343 <sup>ns</sup>
VxMB-4	4	0.002 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.063 <sup>ns</sup>	86.112 <sup>ns</sup>	0.291 <sup>ns</sup>	0.916 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	0.007 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.102 <sup>ns</sup>	264.9 <sup>ns</sup>	0.291 <sup>ns</sup>	1.348 <sup>ns</sup>
CV (%)		15.43	10.33	15.09	18.08	12.43	18.99

Tabela 3. Quadrados médios da análise de variância para cálcio (Teor Ca), magnésio (Teor Mg), cobre (Teor Cu), ferro (Teor Fe), manganês (Teor Mn) e zinco (Teor Zn), em duas variedades de cana adubadas com quatro doses de MB-4.

Fonte de variação	GL	-----Quadrado médio-----				
		IAF	Des. Pop.	Teor N	Teor P	Teor K
Dose	4	9.811 <sup>***</sup>	8.973 <sup>**</sup>	2.021 <sup>*</sup>	0.002 <sup>*</sup>	0.030 <sup>ns</sup>
Bloco	1	0.036 <sup>*</sup>	40.000 <sup>ns</sup>	18.574 <sup>*</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.091 <sup>ns</sup>
Variedade	3	1.502 <sup>ns</sup>	0.437 <sup>*</sup>	0.160 <sup>ns</sup>	0.069 <sup>***</sup>	0.024 <sup>ns</sup>
VxMB-4	4	0.263 <sup>ns</sup>	8.866 <sup>ns</sup>	0.048 <sup>ns</sup>	0.065 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>
Resíduo	27	0.275 <sup>ns</sup>	0.070 <sup>ns</sup>	0.796 <sup>ns</sup>	0.090 <sup>ns</sup>	0.029 <sup>ns</sup>
CV (%)		15.55	2.21	9.46	9.99	7.17

ns, \*, \*\* e \*\*\* = não significativo e significativo ao nível de 5, 1 e 0,1 % de probabilidade, pelo teste F, respectivamente.

Para o índice de área foliar verificou-se incremento médio de 0,671 m<sup>2</sup> de folha de cana para cada tonelada de MB-4 aplicado e para a densidade populacional obteve-se um aumento médio de 0,65 plantas/m<sup>2</sup> para cada tonelada de MB-4 aplicado (Fig.1).

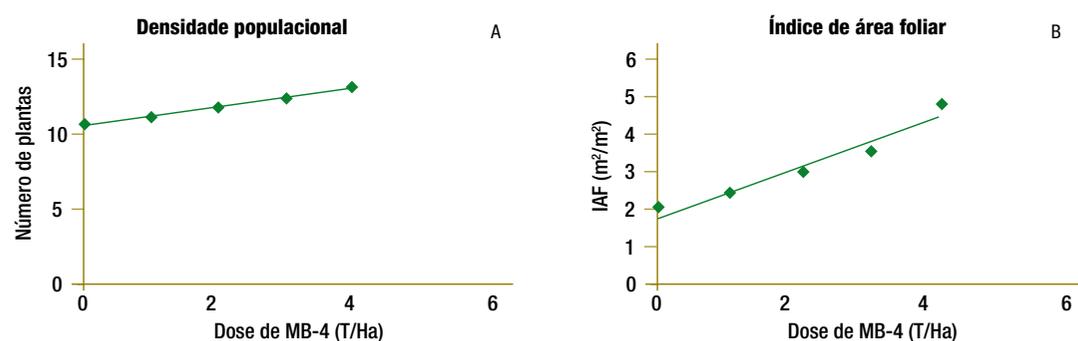


Fig. 1. Medias de duas variedades de cana-de-açúcar em função do efeito das doses de MB-4 sobre a densidade populacional (A) e o índice de área foliar (B).

Em estudos conduzidos por Silva (2007) com as mesmas variedades do presente trabalho, em Rio Largo – AL foi observado que a RB92579 apresentou índice de área foliar de aproximadamente 5,0, aos 310 dias após o plantio. Oliveira (2004), em trabalhos de avaliação de crescimento de variedades de cana-de-açúcar na região produtora do centro Sul, observou que os cultivares apresentaram comportamentos diferentes quanto à densidade populacional. Na fase de crescimento máximo os cultivares RB855536, RB72454, RB855536 e RB855113, apresentando números de perfilhos da ordem de 16,4; 10,0; 14,0 e 16,4, respectivamente por metro quadrado, aos 182 DAP, seguido de um declínio até a estabilização da população final (323 DAP). Comportamento semelhante foi relatado por Silva (2007), que constataram densidade populacional média de 10,3 e 14,7 plantas/m<sup>2</sup>, respectivamente para a RB867515 e RB92579.

Nos teores foliares analisados houve incrementos significativos a 5 % pelo teste tukey, para os teores de nitrogênio e fósforo (Fig. 2). Romano & Vriesman (2007) avaliando atributos químicos do solo e nodulação em soja, concluíram que a aplicação de pó de rocha, demonstrou que a nodulação apresentada pelas plantas que recebe pó de rocha é semelhante à obtida com o tratamento com fertilização mineral solúvel o que indica o aumento da atividade de bactérias fixadoras de nitrogênio. Para os teores de fósforo podemos atribuir esse aumento a competição entre fosfato e silicato, pois o pó de rocha MB-4 possui em sua composição 39,73 % em sílica (SiO<sub>2</sub>) segundo Pinheiro, S. & Barreto, S. B. (1996). Fosfato e silicato são retidos (adsorvidos) pelos óxidos de ferro e de alumínio da fração argila, podendo assim competir entre si pelos mesmos sítios de adsorção, ou seja, silicato pode deslocar fosfato previamente adsorvido, e vice-versa, das superfícies oxídicas (Obihara & Russel, 1972; Oliveira, 1984; Leite, 1997).

**AValiação DO ESTADO NUTRICIONAL, ÁREA FOLIAR E DENSIDADE POPULACIONAL DE DUAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR INFLUENCIADAS PELA APLICAÇÃO DE MB-4.**

Renato G. Duarte Bezerra, Glauco de A. Antunes, Mauro W. de Oliveira, Edna V. dos Santos Aristides, Thiago B. dos Santos e José Harlison de A. Ferro.

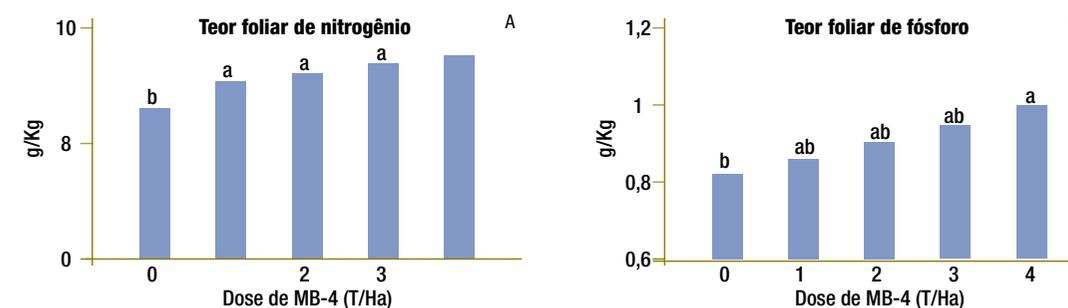


Fig. 2. Efeito da aplicação de MB-4 sobre os teores foliares de nitrogênio (A) e fósforo (B) em duas variedades de cana-de-açúcar, colunas seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey (P<0,05). Os valores médios e os testes destas médias para índice de área foliar, densidade populacional, teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco, nas duas variedades de cana, em função de doses de MB-4 estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Os valores médios e os testes destas médias para índice de área foliar, densidade populacional, teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco, nas duas variedades de cana, em função de doses de MB-4. Médias seguidas de diferentes letras diferem pelo teste Tukey (P<0,05).

Variedade	IAF	Dens. Pop.	Teor N		Teor P		Teor K		Teor Ca		Teor Mg		Teor Cu		Teor Fe		Teor Mn		Teor Zn	
			g kg <sup>-1</sup>																	
RB867515	3,40a	13,0a	9,5a	1,01a	12,4a	3,95a	1,71a	4,7a	88,5a	27,0a	42,3a									
RB92579	3,35a	11,0b	9,4a	0,88b	11,9a	2,67b	1,21b	4,5a	91,4a	22,5b	40,7a									

Comparando-se os valores médios dos teores de nutrientes na folha +3 com os da Tabela 5, verifica-se que as plantas apresentavam-se bem nutridas, à exceção do cobre. Para este elemento, Raji et al (1996) considera os teores foliares adequados quando superiores a 6,0 mg/kg, enquanto para Malavolta et al (1989) e Orlando Filho (1983) essas concentrações devem situarem-se acima de 8,0 mg/kg de matéria seca.

Tabela 5 - Faixas de concentração de nutrientes no terço médio da folha +2, ou +3, consideradas adequadas.

Autores	Nutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg <sup>-1</sup>						
Malavolta et al., (1989) *	19-21	2,0-2,4	11-13	8,0-10	2,0-3,0	2,5-3,0
Malavolta et al., (1989) **	20-22	1,8-2,0	13-15	5,0-7,0	2,0-2,5	2,5-3,0
Raji et al., (1996)	18-25	1,5-3,0	10-16	2,0-8,0	1,0-3,0	1,5-3,0
Orlando Filho (1983)	16-26	2,0-3,5	6-14	4,3-7,6	1,1-3,6	1,3-2,8

Autores	B	Cu	mg kg <sup>-1</sup>			Zn
			Fe	Mn	Mo	
Malavolta et al., (1989)*	15-50	8-10	200-500	100-250	0,150,30	25-50
Malavolta et al., (1989)**	-----	8-10	80-150	50-125	-----	25-30
Raij et al., (1996)	10-30	6-15	40-250	25-250	0,050,20	10-50
Orlando Filho (1983)	6-29	9-17	76-392	73-249	-----	-----

\* e \*\*: Faixas de concentração para a cana-planta e rebrotas, respectivamente.

#### 4. Considerações Finais

A aplicação de MB-4 demonstrou eficiência agrônômica repercutindo em maior índice de área foliar e densidade populacional elevando também os teores foliares de nitrogênio e fósforo. Constatou-se efeito varietal para densidade populacional e teores foliares de fósforo, cálcio, magnésio e manganês. A pesquisa está em andamento e por ocasião da colheita serão avaliadas a qualidade do caldo e a produção de açúcares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – Conab, *Acompanhamento de Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar- safra 2008*, segundo levantamento, agosto 2008, Brasília, p. 6.

LEITE, P. C. *Interação silício-fósforo em Latossolo-Roxo cultivado com sorgo em casa-de-vegetação*. Viçosa: UFV, 1997. 87 p. Tese de Doutorado

HERMANN, E.R.; CÂMARA, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Stab. Açúcar, Álcool & Subprodutos*, v.17, n.5, p.32-34, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, 1989. 201p.

OBIHARA, C. H.; RUSSEL, E. W. Specific adsorption of the silicate and phosphate by soils. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 23, p. 105-117, 1972.

OLIVEIRA, M. G. A. *Determinação, adsorção e deslocamento recíproco de silício e fósforo em Latossolos do Triângulo Mineiro*. Viçosa : UFV, 1984. 68 p. Dissertação de Mestrado.

OLIVEIRA, M.W.; FREIRE, F.M.; MACÊDO, G.A.R. et al., Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.28, n.239, p.30-43, 2007.

OLIVEIRA, R. A. *Análise de Crescimento da Cana-de-Açúcar, na Região Noroeste do Paraná*. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. Dissertação de Mestrado, 2004.

ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Instituto do Açúcar e do Álcool. *Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar. Planalsucar*. 1983. 368 p.

PINHEIRO, S. & BARRETO, S. B. “MB4” - *Agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes*. Porto Alegre: Junqueira Candiru, 1996, p 116

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A & FURLANI, A.M.C., eds. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas & Fundação IAC(Boletim Técnico, 100), 1996. 255p.

ROMANO, M.R. & VRIESMAN, A.K. Alterações nas propriedades químicas do solo e na nodulação de soja pela adubação com pó-de-rocha. In: *XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 2007, Gramado. Anais. Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.

SILVA, E.T. *Análise de crescimento e produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar (saccharum spp) influenciadas por doses de fósforo*. Universidade Federal de Alagoas. Maceió- AL. Dissertação de Mestrado, 2007.

## EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS DE ROCHA ITAFÓS, UTILIZADOS ISOLADAMENTE OU ASSOCIADOS AO SUPERFOSFATO SIMPLES NO OESTE DA BAHIA, PARA A CULTURA DA SOJA

Iury B. Paçô<sup>1</sup> & Sebastião Alberto de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Itafós Mineração Ltda ipaco@itafos.com.br

<sup>2</sup> Faculdade de Agronomia e Med. Veterinária/UnB oliveira@unb.br

### 1. Introdução

O fósforo, nitrogênio e o potássio, são os macronutrientes primários necessários para a planta. Na crosta terrestre, o fósforo é um elemento pouco abundante, concentrando-se principalmente, em jazimento sedimentares e secundariamente em jazimento magmático (CHAVES; OBA, 2004). Segundo algumas estimativas, as reservas mundiais de P com atual viabilidade econômica de exploração podem ser suficientes até 2050 (VANCE; UHDE-STONE; ALAN, 2003), este fato nos leva a pesquisar e estudar eficiência agronômica de fontes alternativas de P.

A maioria dos solos agricultáveis do mundo é deficiente em pelo menos um nutriente de plantas (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001) e o P é considerado um nutriente que limita a produção em aproximadamente 5,7 bilhões de hectares desses solos (HINSIGER, 2001). No Brasil, particularmente na região sob Cerrados, cerca de 90 % das análises químicas de amostras de terra coletadas apresentam teor de P disponível (Mehlich) inferior a 2 mg dm<sup>3</sup> (LOPES; COX, 1977). Em meados da década de 70, com a elevação dos preços dos insumos agrícolas, dentre eles os fertilizantes fosfatados, acentuaram-se os estudos para fontes alternativas de P que apresentasse eficiência semelhante ou até superior aos fosfatos acidulados e com menor custo (HAMMOND; CHIEN; MOKWUNY, 1986).

O uso de fertilizantes fosfatados acidulados solúveis em água, como o Superfosfato Triplo ou Simple, pelos agricultores de baixa renda é limitado nos países em desenvolvimento, principalmente pelo seu custo. Uma alternativa seria a utilização de pelo menos uma parte, de fosfatos

naturais (FN), de menor custo. Não obstante, embora o Brasil apresente inúmeras reservas de FN, eles são poucos utilizados, devido a baixa eficiência que eles apresentam.

Pesquisas mais recentes têm demonstrado que uma maneira de melhorar a eficiência de FN é sua aplicação juntamente com uma fonte de P solúvel em água em solos ácidos ou mesmo em solos ligeiramente alcalinos. A maioria desses estudos tem sido realizada em condições de solos, assim como de fontes naturais de fósforo distintas às do Brasil. Além disso, estes trabalhos têm utilizado a proporção de 50:50 nas misturas destas fontes e o efeito das proporções não tem sido relatados (FRANZINE, 2006). Outra alternativa desenvolvida e testada naquela época foi a produção dos Fosfatos Parcialmente Acidulados (FPA) obtido por meio de adição de quantidades menor do que a estequiomericamente requerida para a completa reação. Novais e Smyth (1999) citam que teoricamente os FPAs são produtos que teriam a capacidade de suprir a demanda inicial da planta (parte acidulada) e apresentando ainda liberação lenta do restante que não foi acidulado. Dessa forma, a cinética de liberação do P pelos fertilizantes estaria em maior sincronia com a cinética de absorção e acúmulo de P pelas plantas.

No entanto, os resultados obtidos com o uso do FPA foram muito contraditórios, uma vez que, em algumas condições essas fontes apresentaram Eficiência Agronômica Relativa (EAR) equivalentes ou até superiores a dos superfosfatos (MOKWUNY; CHIEN, 1980; REIN et al., 1988), porém, em outros trabalhos os FPAs apresentaram EAR muito baixas (GOEDERT; REIN; SOUSA, 1988; BATIONO et al., 1990). Dessa forma a eficiência agronômica dos FPAs, além das propriedades do solo, também é dependente da natureza física da rocha fosfática (NOVAIS; SMYTH, 1999), tipo de ácido utilizado no processo (RAJAN; WATKINSON; SINCLAIR, 1996) e da natureza física do produto final (granulado ou pó) entre outros fatores, que levaram a obtenção de resultados agronômicos controversos e, conseqüentemente, a pequena adoção por partes dos produtores.

Com o intuito de avaliar a EA de fontes a partir da mistura de FR com fosfato acidulado, foram conduzidos estudos no Brasil e no exterior, bem como, obter a proporção ideal entre a fração solúvel e a fração não-solúvel de P que resultasse maiores valores EA nos cultivos com aplicação dos fertilizantes e, também nos cultivos com efeito residual (JUNIOR, 2007).

Oba e Chaves (2004) citam que o modelo atual de uso de fertilizante no Brasil (solos tropicais) com fontes de alta solubilidade não é o modelo mais adequado, donde a conveniência e a necessidade de se buscarem alternativas a ela. Acrescenta Oba, o único fertilizante alternativo no país, em pequena escala, é o termofosfato magnésiano fundido, de solubilização lenta e com fixação reduzida nos solos.

A soja é a oleaginosa mais importante cultivada no mundo e de maior expressão no planeta. E vem sendo cultivada no Brasil a partir da década de 50, mas foi nos anos 70, com cultivares adaptados as baixas latitudes, deu início a expansão nas fronteiras agrícolas para a região central do país. Nessas áreas predominam solos com baixa fertilidade química, mas, com relevo e condições climáticas extremamente favoráveis ao cultivo. Toda essa região é comumente denominada de Cerrado e constitui 25 % da área total do território brasileiro. A cultura da soja se destaca como uma das principais do Oeste da Bahia, com 6

milhões de hectares de Cerrado, o Oeste da Bahia por ter uma topografia plana, favoreceu a mecanização e permitiu o surgimento de um pólo de agricultura empresarial e intensiva. Trata-se de uma das maiores chapadas planas do Brasil, com 80 % da área agricultável em terrenos planos.

O relevo favorável soma-se a uma insolação e a uma estação de chuva bem-definida e com índices pluviométricos que chegam a 1.800 mm. Essas características proporcionam bom níveis de segurança quanto ao resultado das colheitas.

A região responde por mais de 80 % da produção de grãos do Estado da Bahia e pela quase totalidade do algodão, fazendo da Bahia, hoje, o segundo maior produtor nacional da pluma, atrás apenas do Mato Grosso. Na safra 2007/08, foram cultivados 1,6 milhões de hectares no Cerrado do Oeste da Bahia, número que não inclui a agricultura familiar. A soja ocupa a maior área plantada da região Norte, com 935 mil hectares. No entanto, pela peculiaridade dos solos locais, com texturas predominantemente arenosas (Neossolos) a médias (Latosolos). A mineralogia da fração argila é composta principalmente Caulinita e por Oxido de Ferro e Alumínio. Quanto aos atributos químicos, sabe-se que em geral, esses solos se caracterizam por apresentar baixos valores de pH, de CTC e baixos teores de nutrientes, além de elevada capacidade de fixar o P e altos teores de Al trocáveis (LEAL; VELOSO, 1973). Sabe-se também, que o principal nutriente limitante à produção nestas áreas é o fósforo.

## 2. Objetivo

O trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência agronômica de fontes de P para a soja, em função da solubilidade dos fertilizantes. No Oeste da Bahia foi utilizado como fonte de fósforo o Fosfato de Rocha Itafós, e o superfosfato simples, aplicadas isoladamente ou associadas (aplicando-se as fontes separadamente no mesmo tratamento), definindo o método de diagnose foliar para avaliar o estado nutricional das plantas.

## 3. Material e Métodos

O experimento foi realizado em área pertencente a Fazenda Cristo Rei, município de Correntina, BA, situado a 12°21'09" de latitude sul e 46°17'03" de latitude oeste, em 2 de fevereiro de 2009. O solo do local foi classificado como Latossolo Amarelo Alico, com textura média (220 g kg<sup>-1</sup>) e teor de P de 4 mg/dm<sup>3</sup> (Mehlich). A área foi aberta em 2006/07, foi realizada a calagem com 5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT = 85 %) e 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso (17 % SO<sub>4</sub>). Foram realizados 3 cultivos convencional, sendo o primeiro com arroz (300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 12-00-20 na linha), o segundo com soja (450 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 00-30-00 na linha, mais 180 kg ha<sup>-1</sup> KCl a lanço) e o terceiro ano também com soja (450 kg ha<sup>-1</sup> de SSP na linha, mais 130 kg ha<sup>-1</sup> de KCl a lanço). Foi utilizando a cultivar de soja 9350, área total útil das parcelas foi de 7,5 m<sup>2</sup> (3 m x 2,5 m), cultivando-se 5 linhas de soja espaçadas a 0,5 m e o plantio aconteceu no dia 27 de novembro de 2008. Os tratamentos do estudo estão divididos em três com 50 repetições cada: A – tratamento com 450 kg ha<sup>-1</sup> de

(SSP) na linha de plantio; B – 1200 kg ha<sup>-1</sup> de Repositor Mineral Sustentável (RMS) a lanço; C – 1200 kg ha<sup>-1</sup> de RMS a lanço mais 150 kg ha<sup>-1</sup> SSP na linha do plantio. Todos os tratamentos tiveram adubação a lanço de 130 kg ha<sup>-1</sup> de KCl. O RMS é constituído de Rocha fosfática Itafós (a rocha da Itafós é um silito fosforoso, com minerais do grupo da apatita, tipo francólita, hidroxiapatita, etc.) com 8 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total sendo 45 % solúvel em ácido cítrico a 1:200, 20 % de CaO, 1 % MgO e 3 % SO<sub>4</sub>. A definição dos tratamentos foi realizada buscando três objetivos específicos: 1. verificar a resposta a cultura com os tratamento e conseqüentemente a produtividade; 2. verificar o estado nutricional das plantas; 3. determinar Índice de Balanço Nutricional (IBN) por meio do DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação).

É importante ressaltar que SSP utilizado consiste de um produto granulado e o RMS estava na forma pó. Na aplicação a lanço foi realizado com máquina de distribuição de calcário de precisão, sendo incorporada ao solo com uma grade niveladora de 28” de diâmetro, no sentido da semeadura. A aplicação localizada (sulco) aconteceu junto com a plantio usando uma plantadeira de alta precisão para distribuição das sementes e do adubo. Foram distribuídas 12 plantas por metro, as sementes foram tratadas com inoculantes, fungicidas e inseticidas de acordo com a recomendação oficial para a cultura da soja, além disso, quando necessário, os procedimentos de controle de plantas daninhas, pragas e doenças também foram realizados utilizando produtos apropriados e oficialmente recomendados pela EMBRAPA (2003). O regime pluviométrico durante a condução do experimento, não foi adequado para o normal desenvolvimento das plantas (Fig. 1), os valores acumulados entre setembro e junho foi de 1507 mm.

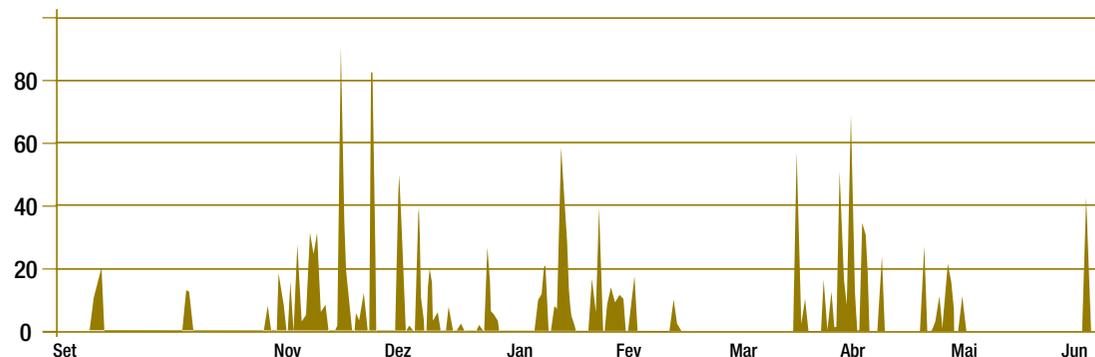


Fig. 1. Dado pluviométricos referente à safra 2008/09 (precipitação diária, mm).

Apesar do valor acumulado ter sido alto, a distribuição de cada mês foi prejudicada sendo observado período de estiagem de 30 dias com uma quebra de safra calculada em 60 %. Foi coletado e avaliado o estado nutricional das plantas, em 18 de fevereiro, estágio fonológico R2, foram coletados 15 folhas de plantas diferentes sendo estas com o terceiro trifólio maduro, sendo encaminhado ao laboratório da Campo em Paracatu MG. Para avaliar a produtividade dos grãos, foram colido toda a parcela, ensacado em saco plástico e encaminhado para a Universidade de Brasília para determinar o peso e umidade. Para avaliar o estado nutricional da soja em amostras no experimento no Oeste da Bahia, foram calculados os índices DRIS e os valores do IBN.

#### 4. Resultados e Discussões

Os teores foliares dos nutrientes são influenciados por diversos fatores, e isso dificulta o diagnóstico do estado nutricional da lavoura, comparando os valores da amostra com um único valor numérico do padrão, definido como nível crítico. Assim, para boa parte das culturas, os padrões da literatura têm apresentado não apenas um valor crítico dos nutrientes nas folhas, mas um estreito intervalo de teores denominado de “faixas de teores adequados” ou “faixas de suficiência”. Em relação ao nível crítico, a adoção de faixas de suficiência melhora a flexibilidade na diagnose, embora haja perda na exatidão, principalmente quando os limites das faixas são muito amplos (Faquim, 1997). A distribuição de frequência para macro e micronutrientes para toda a população das regiões do Oeste da Bahia (150 amostras) seguiu uma distribuição próxima a normalidade (Tabela 1). Com exceção de cobre, todas as concentrações médias dos nutrientes na folha se encontram na classe suficiente de acordo com os critérios das faixas de suficiência sugeridos pela EMBRAPA (2004).

Para cobre a concentração foliar média é considerada baixa segundo o critério de faixa de suficiência da EMBRAPA (2004). A produtividade média da soja (Tabela 1) pode ser justificada quando analisado os índices pluviométricos nos meses de fevereiro a março de 2009 (Fig. 1), onde a planta iniciava o estágio fonológico R5, não havendo enchimento de grãos.

Tabela 1. Produtividade e teores foliares dos nutrientes para a soja.

Tratamento	Prod. sc/ha	N g/kg	P g/kg	K g/kg	Ca g/kg	Mg g/kg	S g/kg	B mg/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg
A	14,8	51,5	2,3	11	8,4	4	2,7	43,4	35	93,7	61,9	3,7
B	18,8	48,5	2	12,7	6,9	4,1	2,4	41,2	28,4	85,7	50,5	3,5
C	12,3	48,5	2,3	12,3	8,9	4,1	2,5	47	39,4	92	76	4,5

A seleção da norma DRIS, a população de referência foi definida pela população de alta produtividade cujo o método de cálculo DRIS apresentou melhor relação entre o IBN e a produtividade. As concentrações médias dos nutrientes por classe de produtividade, foram submetidas aos diferentes cálculos de funções DRIS (ELWALI E GASCHO, 1984). Observou-se que houve relação positiva entre a produtividade e o IBN para todos os níveis de produtividade e para os métodos de cálculo das funções DRIS (Tabela 2 e Fig. 2). E que todos os índices DRIS houve relação significativa com as respectivas concentrações nas folhas dos nutrientes.

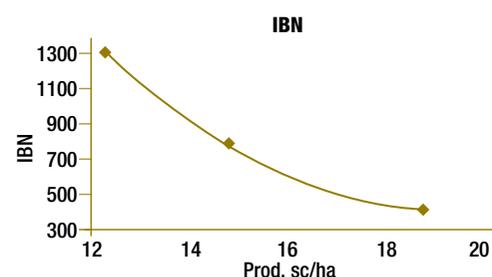


Fig. 2. Relação produtividade a produtividade e o IBN.

Mostrando que o índice DRIS foi fortemente dependente da concentração dos nutrientes na folha. As interpretações dos índices DRIS consideraram os valores negativos forma deficientes, valores positivos com excesso e, igual a zero com equilíbrio nutricional (tab. 2).

Tabela 2. Produtividade e índices DRIS foliares dos nutrientes para a soja.

Tratamento	Prod. sc/ha	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Fe	Mn	Cu	IBN
A	14,8	49	75	-106	106	14	68	40	110	65	101	44	778
B	18,8	-10	-49	37	-68	13	-36	-34	-71	-30	-44	-29	420
C	12,3	-5	104	-71	175	12	28	141	241	66	256	210	1309

## 5. Conclusões

1. O uso do Fosfato Itafós isolado propiciou produtividade superior ao SSP isolado, ademais de ter apresentado um melhor equilíbrio entre os nutrientes, avaliado por meio do Índice de Balanço Nutricional (IBN). A utilização associadas das fontes o FR a lanço e o SSP no sulco apresentou produtividade semelhante ao uso isolado de superfosfato simples. Conclui-se portanto que o uso do Fosfato Itafós mostrou ser alternativa viável para o manejo da adubação fosfatada.
2. Estudos complementares são necessários, pois seria perfeitamente possível aumentar a eficiência da adubação fosfatada trabalhando com as solubilidades das fontes, podendo reduzir custos e impactos ambientais referente à acidulação das rochas fosfáticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 32, p. 921-950, 2001.
- BATIONO, A.; CHIEN, S. H.; HENAO, J.; MOKWUNYE, A. U. Agronomic evaluation of two unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. *Soil Science of American Journal*, Madison, v. 54, p. 1772-1777, 1990.
- CHAVES, A. P.; OBA, C. A. I.; *Crítica ao modelo brasileiro de fertilizantes de alta solubilidade*. Coletânea fertilizantes VI. Rio de Janeiro. CETEM/MCT, p. 11, 2004.
- ELWALI, A. M. O.; GASCHO, G. I. Soil testing foliar analysis and DRIS as guides for sugar cane fertilization. *Agronomy Journal*, v. 76, p. 466-470, 1984.
- FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: UFLA/FAEPE, p. 227, 1997.
- FRANZINI, V. I.; *Efeito do superfosfato tripla na absorção do fósforo do fosfato natural pelas plantas de milho e soja*. Tese de mestrado USP-ESALQ, 2006.
- GOEDER, W. L.; REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. Eficiência Agronômica de um fosfato parcialmente acidulado em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.12, p. 179-183, 1988.
- HAMMOND, L. L.; CHIEN, S. H.; MOKWUNYE, A. U. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the crops. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 40, p. 89-140, 1986.
- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 237, p. 173-195, 2001.
- JUNIOR, A.O. *Eficiência agronômica de fosfato de rocha, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato triplo, para a cultura da soja*. Tese Doutorado USP-ESALQ, 2007.
- LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. *Soil Science Society of American Journal*. Madison, v. 41, p. 742-747, 1977.
- MOKWUNYE, A. V.; CHIEN, S. H. Reactions of partially acidulated phosphate rock with soil from the tropics. *Soil Science, Society of American Journal*, Madison, v.44, p.477-482, 1980.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, p. 399, 1990.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct application to soil. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 57, p. 77-159, 1996.

REIN, T. A.; FEITOSA, C. T.; GOEDERT, W. J.; RAIJ, B. van; SOUSA, D. M. G.; ALBUQUERQUE, P.C.W.; COSTA, F. G. M. Avaliação agronômica do concentrado fosfático de Patos de Minas tratado com bissulfato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Campinas, v. 12, p. 171-177, 1988.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, Lancaster, v. 157, p. 423-447, 2003.

## UTILIZAÇÃO DA FARINHA DE ROCHA NA PRODUÇÃO DE FRUTEIRAS

Manoel Teixeira de Castro Neto<sup>1</sup> e Mariana Souza da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador PhD., Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB  
<sup>2</sup> Estudante de Graduação do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas,  
 UFRB manoelc@ufrb.edu.br, aduboipira@ipiranet.com.br

### 1. Introdução

O solo é o grande recurso para qualquer exploração agrícola. Sendo ele originalmente fértil, o sucesso do empreendimento está praticamente garantido. No entanto, no Brasil, apesar de sua grande extensão, são relativamente poucas as áreas que apresentam solos com uma boa condição de fertilidade. A maioria dos solos brasileiros necessita de adubos ou corretivos para que suportem o potencial genético produtivo das culturas. Baseados em sistemas produtivistas, a maioria dos agricultores brasileiros tem usado indiscriminadamente adubos e corretivos para sustentar grandes produtividades. Leonardos et al., (2000) mencionam que a agricultura brasileira foi muito influenciada pelos países Europeus e Americanos, seguindo a utilização de adubos químicos e mecanização pesada. Em um país tropical, com chuvas frequentes, os solos são sujeitos a lixiviação pesada removendo grande quantidade de nutrientes. Para os autores, neste tipo de clima o enfoque sobre a agricultura deve minimizar o uso de fertilizantes solúveis.

Atualmente, os sistemas de exploração agrícola são menos produtivos que os do passado devido a degradação do uso e utilização inadequada de insumos (Hartge et al., 2004). Esse problema é agravado devido os produtores objetivando altas produtividades acabam por usarem intensivamente a mecanização e diferentes adubos químicos aumentando a degradação do solo. No Brasil, exemplos deste tipo de comportamento são os mais variados possíveis. A exploração de áreas recentemente desmatadas e o plantio de culturas em sistemas intensivos de mecanização e fertilizantes, geralmente iniciam com grandes produtividades que vão diminuindo ao longo dos anos até que sejam adotadas para pastagens. Ainda assim, pode-se também observar que a capaci-

dade de suporte animal vai diminuindo com o tempo. Atualmente os agricultores estão adotando sistemas agroecológicos, orgânicos ou a produção integrada como sistema de produção onde as preocupações com o meio ambiente e com a qualidade dos alimentos é uma obrigatoriedade essencial.

Seja qual for o sistema de produção adotado, o solo é um dos fatores mais essenciais, por ser o fornecedor natural de nutrientes para as plantas. Uma vez degradado, a recuperação de sua fertilidade natural é apenas viável pela adoção de técnicas agroecológicas (Atieri, 2002; Gliessman, 2001), técnicas da agricultura orgânica (Souza e Rezende, 2003) ou pelo uso de farinha de rocha (Lisle, 1994; Pinheiro e Barreto, 1996; Leonardos et al., 2000).

Em referência às farinhas de rochas constituídas de mais de um elemento, ainda não se tem nenhuma classificação para sua especificação. Algumas delas disponíveis no mercado são classificadas por possuir um elemento em evidência para o qual ela é uma fonte fornecedora (Ex. farinha de rocha fosfatada). Outras, possuindo vários elementos em sua composição, são usadas como alternativa na recuperação, rejuvenescimento ou remineralização de solos pobres e desequilibrados (Harley e Gilkes, 2000 e Leonardos et al., 2000). Levando-se em conta que seus nutrientes são de baixa solubilidade em água, eles são lentamente liberados para as plantas. Diversos fatores como a composição da solução do solo, temperatura, regime hídrico, pH e ação das raízes afetam sua solubilidade (Harley e Gilkes, 2000). Um dos fatores importantes para a disponibilização dos nutrientes é a presença de ácidos orgânicos, que são geralmente produzidos por microrganismos do solo ou presentes na matéria orgânica (Osterroht, 2003). Harley e Gilkes (2000) admitem que as farinhas de rochas sejam mais eficientes em solos ácidos, devido a acidez do solo provocar a solubilização dos nutrientes, que nos demais tipos.

Para Leonardos et al., (2000) a baixa solubilidade das farinhas de rochas faz delas um importante componente para a fertilização de áreas com problemas de salinidade e locais sujeito a chuvas frequentes devidos seus nutrientes não serem prontamente lixiviados. A aplicação de farinha de rocha em sistemas agroflorestais foi suficiente para manter o bom aspecto das plantas e viabilizar a colheita de fruteiras por um período de 10 anos (Osterroht, 2003). Sua aplicação minimizou as perdas de nutrientes, promoveu o enriquecimento da matéria orgânica, de modo crescente e cumulativo (maior quantidade de nutrientes por mais tempo), disponibilizou nutrientes adequadamente para culturas plurianuais e de ciclo longo, e forneceu quantidade moderada de fósforo, elemento desbalanceador quando aplicado em excesso.

## 2. O caso do maracujazeiro

O Brasil, por ser o centro de origem do maracujazeiro com uma infinidade de espécies, apresenta também sérios problemas em relação às pragas e doenças que evoluíram juntamente com a cultura. Neste sentido, o manejo da cultura com fertilizantes químicos e agrotóxicos pode desequilibrar o meio favorecendo a resistências de pragas e doenças. Embora seja cultivado por médios e grandes produtores, o maracujazeiro foi preferencialmente adotado por pequenos produtores que não têm condição de arcar com grandes custos de produção. Neste sentido, a adoção de técnicas de produção de baixo custo é de grande interesse, demandando soluções viáveis da pesquisa.

Fisiologicamente o maracujazeiro é uma planta de crescimento rápido que demanda boa disponibilidade de nutrientes. No Brasil, a produtividade média da cultura encontra-se em torno de 8 a 10 t/ha, haja vista que nem sempre os pomares são devidamente adubados, ou os melhores solos lhe são apresentados. Por ter um crescimento rápido, o maracujazeiro pode rapidamente expressar diminuição da sua taxa de crescimento por deficiência nutricional ou apresentar sintomas de escassez de nutrientes. Estudos com a farinha de rocha mostraram que ela pode rapidamente suprir as demandas por nutrientes do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg) aumentando seu tamanho e sua biomassa seca.

As plantas semeadas em vasos contendo 10 litros de solo adubados com diferentes dosagens (v/v) da farinha de rocha NaturalPlus (T0 = 0 %; T1 = 5 %; T2 = 10 %; T3 = 15 %; T4 = 20 % e T5 = 25 %) mostraram variações na área foliar e na biomassa seca da planta que refletiu no tamanho da planta (Fig. 1). Essas variações sugerem que ela rapidamente libera seus nutrientes para o crescimento das plantas dentro de um período de 52 dias, contrariando suposições que, por ser de baixa solubilidade, levaria um tempo longo para a disponibilização dos elementos.



Fig. 1. Aspecto visual das plantas tratadas com NaturalPlus aos 52 dias após a semeadura da semente. As dosagens estão indicadas nos vasos.

Para melhor compreendermos a contribuição da farinha de rocha para a fertilidade do solo e nutrição da planta, as análises realizadas antes (Tabela 1) e no final (Tabela 2) do experimento revelaram que ela significativamente contribuiu para o aumento do teor de fósforo do solo. O maracujazeiro é conhecido exportador de nutrientes através de seus frutos e, portanto necessita de bom suprimento de nutrientes, sendo o fósforo um elemento de grande importância para o seu crescimento. Embora o teor de fósforo no NaturalPlus seja considerado baixo, seu teor de sílica é um dos mais altos encontrados entre as farinha de rochas. Estudos realizados para verificar a disponibilidade de fósforo mediante adubação com silício mostraram que esse elemento foi eficiente no aumento dos teores de fósforo do solo (Fassbender, 1987). Segundo o autor, a disponibilidade de fósforo acontece porque ambos elementos competem pelo mesmo local de ação no colóide do solo. Para os demais elementos a farinha de rocha manteve a fertilidade natural do solo.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo antes do plantio das sementes do maracujazeiro

Tratamento NaturalPlus	P pH	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	S	CTC	V	MO	
	mg/dm <sup>3</sup>	emH <sub>2</sub> O	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%				g/kg				
0 %	62	6,2	0,18	3,8	1,1	0,1	0,09	1,76	6,16	6,92	75	6,45
5 %	64	6,6	0,64	3,9	1,3	0,0	0,23	1,54	6,08	7,62	80	10,40
10 %	66	6,2	0,13	3,5	0,8	0,1	0,10	1,65	4,54	6,19	73	8,18
15 %	66	6,4	0,16	3,7	1,3	0,0	0,13	1,75	5,29	7,05	75	7,22
20 %	66	6,9	0,19	5,3	1,6	0,0	0,12	0,99	7,22	8,21	88	3,95
25 %	66	6,8	0,72	5,8	1,4	0,0	0,14	0,88	8,06	8,94	90	12,03

Tabela 2. Resultado da análise química do solo no final do experimento, após coleta dos dados de crescimento do maracujazeiro.

Tratamento NaturalPlus	pH em H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	S	CTC	V	MO
%		mg/dm <sup>3</sup>				cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					%	g/kg
0	6,0	8	0,17	2,4	0,6	0,1	0,41	1,76	3,58	5,34	67	5,90
5	6,2	40	0,15	2,8	1,2	0,1	0,57	1,65	4,71	6,36	74	14,27
10	6,4	90	0,14	3,0	2,2	0,1	0,70	1,43	6,04	7,47	81	3,33
15	6,6	80	0,12	3,8	2,8	0,0	1,09	1,32	7,81	9,13	86	4,85
20	6,6	90	0,12	3,5	3,4	0,1	1,17	1,32	8,20	9,52	86	4,57
25	6,6	90	0,13	4,5	4,5	0,1	1,83	1,10	10,96	12,06	91	2,38

A teoria da trofobiose defendida por Chaboussou (1987) sugere que a nutrição com produtos naturais não permite a produção de nutrientes em excesso e seu armazenamento nos tecidos das plantas. Assim, como não há alimentos livres não ocorre o ataque de pragas e doenças. No presente trabalho o fusarium ocorreu naturalmente (Fig. 2) matando mais as plantas que não foram fertilizadas e diminuindo o número de plantas mortas até aquelas que receberam 10 % de farinha de rocha. Embora não se possa afirmar categoricamente que a doença foi controlada pela farinha de rocha, a presença do sintoma nas plantas que receberam quantidades superiores a 10 %, sem que houvesse expressão da doença, sugere que ela possa ter evitado o progresso da doença.



Fig. 2. Estrutura de propagação do fusarium isolada de plantas jovens de maracujá.

### 3. O caso do coqueiro

Em coqueiros adultos, em plena produção, a farinha de rocha aumentou o número de folhas e frutos por planta (Tabela 3). As aplicações foram feitas em trincheiras com 30 cm de profundidade e 30 cm de largura, afastadas 1 m do tronco da planta, durante a estiagem.

A aplicação de 10 litros de farinha de rocha com 30 litros de esterco por planta foi a que mais influenciou o aumento de folhas (Tabela 3). No entanto, as dosagens da farinha de rocha com fosbahia ou calcário foram a que tiveram maior produção. O número de folhas por planta foi mantido em observações futuras. A queda da produção de frutos foi atribuída ao ataque da traça do coqueiro e arapuá.

Tabela 3. Número médio de folhas e frutos por planta para as diferentes dosagens de NaturalPlus aplicado ao coqueiro.

Quantidade de NaturalPlus (NP) e outros produtos	23/08/2004 (Data de aplicação dos produtos)		Datas de Avaliações			
	Número Médio de Folhas/Planta	Número Médio de Frutos/Planta	04/01/2005	17/05/2005	04/01/2005	17/05/2005
	17,33 ± 1,53	36,33 ± 5,69				
5 L (NP)	21,50 ± 2,43	22,83 ± 1,17	61,83 ± 16,46	59,83 ± 11,79		
10 L (NP)	23,33 ± 1,51	22,17 ± 1,60	82,83 ± 13,53	60,50 ± 18,81		
5 L (NP)+ 30 L (esterco bovino)	22,17 ± 4,12	26,33 ± 1,37	105,00 ± 44,14	94,33 ± 19,20		
10 L (NP)+ 30 L (esterco bovino)	25,17 ± 2,32	25,50 ± 1,22	109,00 ± 12,66	66,17 ± 32,71		
15 L (NP)+ 30 L (esterco bovino) + 2 L (Fosbahia)	24,00 ± 1,90	27,17 ± 0,98	135,33 ± 21,63	81,83 ± 10,07		
15 L (NP)+ 30 L (esterco bovino) + 2 L (calcário dolomítico)	23,33 ± 2,66	25,17 ± 0,75	131,00 ± 21,55	59,00 ± 13,25		
<b>Sem material nenhum</b>	<b>21,00 ± 1,26</b>	<b>18,33 ± 12,93</b>	<b>116,33 ± 25,87</b>	<b>7,67 ± 18,78</b>		

Observação das análises químicas do solo das áreas tratadas diferentemente (Tabela 4) mostrou que a farinha de rocha melhorou a fertilidade do solo.

Tabela 4. Análise de fertilidade do solo, em duas profundidades, 9,5 meses depois da aplicação da farinha de rocha.

Tratamento Natural Plus mais outros produtos*	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Na	Al+H	S	CTC	V	MO
	em H <sub>2</sub> O	mg/dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	%	g/kg							
	6,1	0,6	0,13	1,0	0,6	0,2	0,04	1,98	1,77	3,75	47	2,41
	5,6	0,5	0,06	0,9	0,5	0,2	0,03	2,31	1,49	3,80	39	7,99
	8,2	48	0,95	3,4	0,9	0,0	0,08	0,00	5,33	5,33	100	9,43
	7,8	48	1,18	2,8	0,9	0,0	0,07	0,55	4,95	5,50	90	5,87
	7,4	48	0,69	4,3	1,2	0,0	0,28	0,44	6,47	6,91	94	12,03
	7,6	48	0,46	2,2	0,8	0,0	0,14	0,55	3,60	4,15	87	5,01
	8,0	40	0,18	3,8	0,3	0,0	0,13	0,22	4,42	4,64	95	7,60
	8,0	40	0,18	4,5	0,7	0,0	0,15	0,33	5,53	5,86	94	10,20
	7,9	44	0,09	5,1	0,5	0,0	0,20	0,22	5,89	6,11	96	10,59
	7,8	44	0,07	4,0	0,5	0,0	0,11	0,33	4,68	5,01	93	7,70
	7,7	44	0,41	2,8	0,8	0,0	0,20	0,55	4,21	4,76	88	7,99
	7,5	44	0,29	1,8	0,7	0,0	0,18	0,55	2,97	3,52	84	3,66
	8,1	44	0,31	3,9	0,7	0,0	0,28	0,11	5,19	5,30	98	9,63
	7,8	27	0,19	2,0	0,3	0,0	0,18	0,22	2,68	2,90	92	4,52
Testemunha (Tratamento Químico)												
	8,0	44	0,25	4,3	0,7	0,0	0,23	0,11	5,49	5,60	98	8,86
	7,5	38	0,24	2,6	0,6	0,0	0,12	0,66	3,56	4,22	84	6,26

Os solos com farinha de rocha aumentaram a quantidade de fósforo, potássio e cálcio, quando comparados aos solos sem adubação. Os dados da análise de solo foram confirmados pela análise foliar (Tabela 5), que revelou aumento progressivo com as dosagens para os elementos fósforo, potássio e nitrogênio.

Tabela 5. Análise química foliar aos 9,5 meses após aplicação da farinha de rocha comparada com o tratamento químico.

Tratamento	Cu	Fe	Zn	Mn	B	P	Ca	Mg	K	S	N
5 L	36,0	2690	66,5	179	28	0,66	39,4	2,3	4,0	1,72	14,6
10 L	3,2	103	46,5	64	28	1,05	4,1	3,8	7,0	1,27	13,4
5 L + 30 L esterco	7,3	103	19,0	76	20	1,09	3,7	3,5	8,0	1,27	17,1
10 L + 30 L esterco	7,3	93	24,0	71	20	1,17	3,3	3,8	10,0	1,07	16,8
15 L + 30 L esterco + 2 L fosbahia	7,3	80	10,5	69	20	1,23	2,9	2,9	10,0	1,43	18,5
15 L + 30 L esterco + 2 L calcário	5,3	103	9,0	56	12	1,11	3,3	2,9	11,0	1,13	16,2
Tratamento Químico	12,7	84	8,9	30	25	0,99	0,9	2,1	12,0	1,54	13,2

#### 4. O caso da videira

A cultura da uva, expressivas na pauta de exportação de frutas frescas do Nordeste, tem enfrentado problemas com alto custo de produção, distúrbios fisiológicos e doenças. Tais problemas aliados ao recente aumento da demanda por produtos orgânicos têm levados os produtores a procura de alternativas. A aplicação de farinha de rocha na videira vem eliminar esses problemas. Sua aplicação provocou aumento significativo do número de cacho por planta (Fig. 3), e da quantidade colhida por planta (Fig. 4). Como neste experimento a quantidade de adubos não foi reduzida por planta, o NaturalPlus potencializou o efeito deste.

O efeito do NaturalPlus não foi apenas no aumento do número de cachos/planta e na produção por planta, mas também na qualidade dos cachos, que eram mais limpos e viabilizaram uma colheita rápida. A baixa produtividade, mesmo para o melhor tratamento foi devida às chuvas constantes que ocorreram durante o período de condução dos trabalhos. Isso reforça a sugestão de que mesmo sob condição desfavorável a farinha de rocha NaturalPlus pode viabilizar uma melhor produtividade.

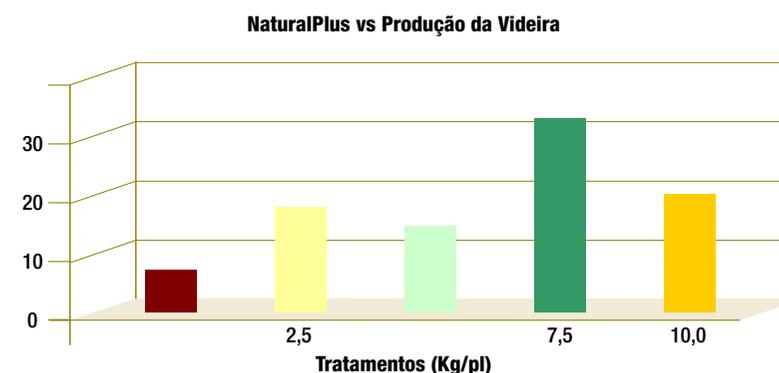


Fig. 3. Número de cachos por planta para as diferentes dosagens de NaturalPlus usada na videira sem semente (cv. Festival).

Em relação à qualidade das bagas elas possuíam o Brix (14) semelhante para todos os tratamentos. Embora nenhum estudo de conservação tenha sido feito, admite-se que as plantas tratadas com a farinha de rocha possuam mais condições de ficarem firmes durante um tempo maior.

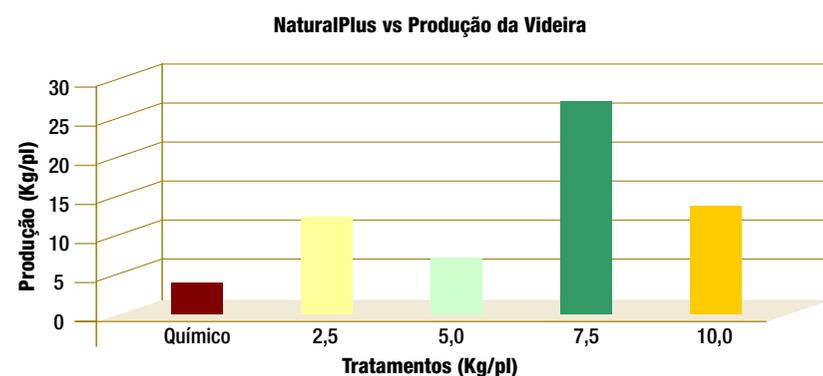


Fig. 4. Produção de uva para as diferentes dosagens de NaturalPlus usada na videira sem semente (cv. Festival).

## 5. Considerações Finais

Os dados aqui apresentados são resultados de experimentos conduzidos em condição de campo ou em ambientes controlados. O principal objetivo é mostrar que as altas produtividades podem ser alcançadas com a farinha de rocha NATURAL PLUS, separadamente aplicada ou misturada aos adubos químicos ela pode viabilizar a redução dos custos de produção mantendo ou aumentando a produtividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M. *Agroecologia: Bases científicas para uma agricultura sustentável*, Editora Agropecuária, Bento Gonçalves – RS, 529p. 2002.
- AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. *Agroecologia Hoje*, No. 20, Agosto/Setembro, pg. 10-11, 2003.
- CHABOUSSOU, F. *Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos; teoria da trofobiose*. L &PM, São Paulo, 1987.
- FASSBENDER, H. W. *Química de suelos com ênfasis em suelos de América latina*, 2 ed., San José, IICA, 420p, 1987.
- GLIESSMAN, S. R., *Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável*. Editora da Universidade, 2.ed. 653p., 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, pg. 11-36, 2000.

HARTGE, H; HORN, R.; KERTSCHMER, H. Why are the dominating areas of agricultural food production not identical with the initial farming regions? *Berichte Uber Landwirtschaft*, 82 (4), p. 479-493, Dec. 2004.

LISLE, H. *The enlivened rock powders*, Acer, USA. 1994.

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, pg. 3-9, 2000.

OSTERROHT, M. Rochagem, Para quê?, *Agroecologia Hoje*, No. 20, Agosto/Setembro, pg. 12-15, 2003.

POLITO, W. L., Mobilização ativa de nutrientes em agricultura orgânica e agricultura de processo. *Agroecologia Hoje*, No. 20, Agosto/Setembro, pg. 16-19, 2003.

PINHEIRO, S.; BARRETO, S. B., *MB-4 – Agricultura Sustentável, Trofobiose e Biofertilizantes*, Fundação Junqueira Candiru – MIBASA, 1996.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. *Manual de horticultura orgânica*, Editora Aprenda Fácil, Viçosa- MG., 564p. 2003.

## TECNOLOGIAS DE APLICAÇÃO DE GLAUCONITA COMO FONTE DE POTÁSSIO NA AGRICULTURA: O CASO BRASILEIRO E A EXPERIÊNCIA INDIANA

Francisco E. Lapido-Loureiro<sup>1</sup>, Marisa Nascimento<sup>2</sup>, Reiner Neumann<sup>3</sup> & Andrea C Rizzo<sup>4</sup>

Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) <sup>1</sup> flapido@cetem.gov.br <sup>2</sup> marisa@cetem.gov.br <sup>3</sup> rneumann@cetem.gov.br <sup>4</sup> arizzo@cetem.gov.br

### 1. Introdução

O solo resulta das transformações que a crosta terrestre sofre pela interação com a atmosfera (ar), hidrosfera (água) e biosfera (plantas e animais). É um conjunto de modificações de ordem física (desagregação) e química (decomposição) que as rochas sofrem. Estas modificações são dinamizadas pela intervenção da riquíssima flora e fauna do solo.

Do intemperismo resultam modificações que além de serem químico-mineralógicas são também estruturais e originam uma sucessão de níveis, isto é, um **perfil de alteração** ou **perfil de solo**, onde se verifica intensa reorganização que envolve transferência dos minerais formadores do solo, principalmente argilominerais e óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio, nos horizontes (níveis) superiores (TOLEDO et al., 2000, *in*: TEIXEIRA et al., 2000).

É como participante de todo este conjunto vivo, mineralógico e bioquímico, que a **rochagem** (*rocks for crops*), um processo de fertilização natural (remineralização do solo), tem importante função a desempenhar.

Os solos estão a deteriorar-se em todo o mundo. 20 % da terra cultivada já é considerada degradada de algum modo. Em termos de micronutrientes, a má nutrição atinge cerca de 3 bilhões de pessoas.

No gigantismo da produção agrícola e da agroindústria brasileiras há um ponto fraco: os fertilizantes. O País depende fortemente de importações que, no caso do potássio, é superior a 90 % do total consumido. Mesmo assim, o déficit de nutrientes, é da ordem de 25 a 30 kg ha<sup>-1</sup>.

Sobre esta temática, com uma abordagem multidisciplinar, foi editado recentemente, pelo CETEM, com apoio financeiro da Petrobras, o livro “Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade” (LAPIDO-LOUREIRO, MELAMED & FIGUEIREDO Neto, editores. 2009).

## 2. Objetivos

- Apresentar, de forma sintética, o ‘estado da arte’ da aplicação da glauconita como fonte de potássio na agricultura da Índia e do Brasil.
- Indicar/sugerir rumos para seu aproveitamento como fonte de potássio na agricultura do Brasil

## 3. A glauconita como fonte de potássio para a agricultura

O termo glauconita se refere a uma série de minerais com deficiência de cátions interplanares, do grupo das micas (RIEDER et al 1999, BACK & MANDARINO 2008), cuja fórmula geral é  $K_{0,8}R^{3+}_{1,33}R^{2+}_{0,67}Al_{0,13}Si_{3,87}O_{10}(OH)_2^{vi}R^{2+}/(^{vi}R^{2+} + ^{vi}R^{3+}) \geq 0,15$  e  $^{vi}Al/(^{vi}Al + ^{vi}Fe^{3+}) \leq 0,5$ .

SiO<sub>2</sub> pode variar de 40 a 56 %; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de 16 a 27,9 % nas variedades ferruginosas, ou de 5 a 18 % nas aluminosas; FeO, de 0,8 a 3 %, ou de 8,6 a 9,6 % nas variedades altamente ferruginosas; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, de 4 a 16 % e até 21 % nas variedades aluminosas; K<sub>2</sub>O, de 4,0 a 7,5 % e, raramente, até 10,5 %; Na<sub>2</sub>O, de 0 a 3,3, e quando Na predomina sobre K, designa-se natro-glauconita; MgO, de 1,6 % a 4,6 %; H<sub>2</sub>O, de 4,9 a 13,5 %.

Os valores médios são: K<sub>2</sub>O (6,62 %), Na<sub>2</sub>O (0,36 %), MgO (3,78 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,58 %), Fe / FeO / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (19,62 % / 3,37 % / 24,3 %), SiO<sub>2</sub> (53,48 %), H<sub>2</sub>O (4,22 %), O (44,97 %) (TIFAC, 2001).

É considerada como mineral de sedimentos marinhos, mas pode formar-se por intemperismo de várias rochas e resultar também de processos hidrotermais. Seus depósitos originais podem ser retrabalhados dando origem a típicos depósitos continentais, aluvionares ou lagunares.

Segundo Lazarenko (1956) citado no livro editado por TIFAC (2001) as glauconitas podem ser: i) ferruginosas; ii) aluminosas (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 4:1); iii) ferro-magnesianas

A glauconita começou a ser usada na agricultura durante a 1ª Guerra Mundial, devido ao embargo imposto pela Alemanha à exportação de sais de potássio das suas ricas minas de Stassfurt, que haviam iniciado a produção em 1861. Com a descoberta e implementação da produção de importantes reservas de KCl, com altos teores de potássio (de até 65 %), no Canadá, EUA, e de outros sais de potássio na Rússia e países do Médio Oriente, o uso de outros materiais alternativos, como a glauconita, quase desapareceu após a 2ª Guerra Mundial. Apenas em certos locais dos

estados de New Jersey e da Virgínia, (*Nanjemoy formation*), nos EUA, e em Gingin (Austrália ocidental) se manteve, embora de forma insipiente. Em New Jersey areias glauconíticas com 6 % de K<sub>2</sub>O eram aplicadas diretamente no solo, enquanto na Virgínia eram concentradas, secas, moídas e comercializadas como fertilizantes.

Segundo o pesquisador britânico, A.J. Notholt (1980), *glauconite has not been used to any significant commercial extent, perhaps owing to lack of research on its potential application*. À exceção da Índia, não foram feitos esforços sérios, em todo o mundo, para utilização da glauconita como fertilizante, certamente por ser um silicato e conter apenas 4-8 % de K<sub>2</sub>O.

As micas pela estrutura em folhas, propriedades cristalo-químicas e composição, mostram bom potencial como minerais fertilizantes. O intemperismo da biotita, por exemplo, é fonte de potássio para a solução solo, como é bem ilustrado no livro *Agrogeology* (van STRAATEN, 2007).

### 3.1. Rochagem e compostagem

Não há dados sobre remineralização (rochagem) de solos recorrendo à aplicação direta de glauconito (vulgo ‘verdete’), ou de seus concentrados, no Brasil. Na Índia foram realizados e estão a ser desenvolvidos amplos trabalhos de pesquisa, com areias glauconíticas, que indicam várias situações e caminhos a serem seguidos (TIFAC, 2001).

- Ficou comprovado em experimentos de campo, desenvolvidos por universidades de agronomia da Índia, que aplicação direta de glauconita como fertilizante potássico de ação lenta, em solos ácidos, na proximidade de suas ocorrências, “*is found to be economic as well as eco-friendly*” (www.tifac.org.in).
- Deve ser feita a prévia concentração da glauconita, por separação magnética, por se tratar de um mineral ferro-magnésiano.
- Inicialmente as areias glauconíticas devem ser usadas em combinação com outros fertilizantes não potássicos e estrume para se estabelecer a eficiência da adubação com glauconita.
- As pequenas lavras manuais devem ser gradualmente mecanizadas.
- A liberação do potássio da glauconita pode ser incrementada com compostagens, previamente estudadas e definidas em função das condições locais, ou por calcinação: i) glauconita + matéria orgânica; ii) glauconita + fosfato; iii) glauconita + fosfato + pirita; iii) glauconita + microorganismos ; iv) calcinação de glauconita a 200°C.

### 3.2. Processos metalúrgicos

O ‘verdete’ é uma rocha sedimentar rica em minerais potássicos como a glauconita, ilita e sericita, com teores de 5 a 15 % de K<sub>2</sub>O. No Brasil as ocorrências melhor conhecidas são as da Serra da Saudade pertencentes ao grupo Bambuí.

A experiência brasileira na utilização de minérios glauconíticos está focada no ‘verdete’ (glauconito) da região de Cedro do Abaeté, Serra da Saudade (MG), município do mesmo nome, a cerca de 285 Km a noroeste de Belo Horizonte.

Estudos visando a obtenção de termofosfatos potássicos para fertilizantes, a partir de, silicatos potássicos, foram desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, nos anos 80. Utilizou o processo da fusão em forno elétrico a arco submerso, de uma mistura de rocha fosfática, rocha potássica e outras rochas de alta disponibilidade no Brasil. A mistura foi fundida a altas temperaturas e, em seguida, resfriada rapidamente, por contato direto com jatos de água, tornando-se granulada, com características vítreas. Testes de laboratório mostraram que o produto, contendo fósforo, potássio, cálcio e magnésio, fica disponível para os vegetais (VALARELLI, 1981).

V. Eichler (1983) testou a combinação ‘verdete’ (50 %) + calcário (50 %) e aqueceu-a a 1.100°. Realizou testes agrônômicos que mostraram ser o ‘TermoPotássioCalcário’ (TKC) amplamente efetivo como fertilizante potássico. Leite (1985) e Valarelli (1993) desenvolveram um processo para produção de “Termofosfato Potássico Cálcico-Magnésiano” e “Termofosfato Potássico”, a partir da mistura de rocha potássica (‘verdete’) de Abaeté, rocha fosfatada de Araxá e, no primeiro caso, também calcário magnésiano. O processo de Leite (1985) teve por objetivo desenvolver um tipo de fertilizante com ação simultânea de correção da acidez do solo e fonte de potássio e magnésio. Foram empregados vários tratamentos térmicos para avaliação da disponibilidade de fósforo e potássio no produto. Valarelli (1993) concluiu em seus estudos que o termofosfato fundido, tendo como fonte de  $K_2O$  o ‘verdete’ de Cedro do Abaeté, é equivalente, em suas características, ao termofosfato produzido com rochas ígneas como as de Poços de Caldas.

Do mesmo modo, na Índia, foi utilizada glauconita como fonte para extração de potássio. MAZUNDER e colaboradores (1993) misturaram glauconita pulverizada com cloreto de cálcio em cadinhos de sílica. A mistura então foi aquecida em forno a 1220-1300 °C. O produto obtido foi então lixiviado em água. Os autores sugerem que o cloreto de cálcio seria um efetivo agente cloretante para o minério em questão. De um modo geral, a percentagem de extração de potássio aumentou com a temperatura e com o tempo de calcinação. E o produto obtido pode ser facilmente lixiviado em água a temperatura ambiente por um tempo mínimo de 10 minutos.

Mais recentemente, Freitas e colaboradores (2007) avaliaram a extração de potássio contido no verdete de Cedro do Abaeté por meio de lixiviação alcalina sob pressão. A proposta neste caso era a obtenção de um sal de potássio solúvel por meio de uma rota hidrometalúrgica. Os resultados mostraram ser tecnicamente possível extrair potássio a partir do verdete do Abaeté: obteve-se uma taxa de extração de até 85,7 % de potássio extraído. Os testes que apresentaram maiores valores de extração de potássio foram acompanhados da formação de fases zeolíticas no resíduo de lixiviação tais como, hidroxicantrinita e analcima cúbica.

A empresa Amazon Mining iniciou, em 2008, o projeto “Cerrado Verde” na porção centro-oeste da Serra da Saudade para viabilizar a produção industrial de termofosfato potássico a partir de ‘verdete’. O término do projeto está previsto para 2011.

Está em andamento uma tese de doutorado (Adriana A. Soeiro da Silva) no Instituto de Química da UFRJ em parceria com o CETEM - Centro de Tecnologia Mineral que tem como objetivos: i) obtenção de termofosfato potássio obtido por fusão de uma mistura ponderada de rochas potássica, magnésiana e de um concentrado fosfático; ii) avaliação do potencial de liberação de potássio e fósforo do termofosfato; iii) realização de um estudo do risco da aplicação destas rochas para se detectarem eventuais agentes contaminantes tais como metais pesados e/ou elementos radioativos.

Na Rússia a glauconita tem sido usada como fertilizante potássico após tratamento pirometalúrgico envolvendo moagem fina e mistura com  $CaCl_2$  e  $CaCO_3$  e aquecimento a 1200-1300 °C. *The KCl dust was trapped for absorption, while a suitable cement clinker is formed at the bottom of the chamber* (TIFAC, 2001). Outro material, já estudado, para obtenção de um fertilizante de solubilização é constituído por uma mistura de minerais com potássio, tais como K-feldspato, K-‘liparito’ (K-riolito), sericita e glauconita e um composto contendo cálcio e/ou magnésio. A mistura é calcinada acima de 1100 °C. e pulverizada. O processo conduz a um fertilizante que não necessita de ser neutralizado nem lavado. Os compostos de Ca e/ou Mg podem ser obtidos facilmente: dolomita, calcário, serpentina, etc. (TIFAC, 2001)

### 3.3. Biolixiviação

A utilização de rochas na fertilização de solos é conhecida desde os primeiros tempos da agricultura. No entanto, a liberação do nutriente pode ser lenta e incompatível com a dinâmica de sistemas de produção agrícola. Uma tendência atual é a de se maximizar a liberação de K das rochas silicáticas mediante processos de biossolubilização (RESENDE et al., 2006). Alguns estudos (BIGHAM et al., 2001; YUAN et al., 2004; BADRET et al., 2006; PARIS et al., 2006; CALVARUSO et al., 2008), demonstram a existência de microrganismos capazes de promover a solubilização de rochas potássicas, o que abre caminho para a geração de tecnologias de produção de fertilizantes diferenciados. Neste sentido alguns autores indicam que o desenvolvimento de processos biotecnológicos para solubilização destes agro-minerais configura-se como uma alternativa atrativa.

O contato da rocha com microrganismos e/ou subprodutos derivados do metabolismo microbiano, poderá resultar na biossolubilização da mesma e na conseqüente liberação do nutriente para o meio. No entanto, os mecanismos envolvidos neste processo ainda não são suficientemente claros para uma aplicação em maior escala. Além disso, uma vez que existam evidências do envolvimento direto de ácidos como o cítrico e o oxálico e/ou enzimas no processo de biossolubilização, faz-se necessária a seleção de linhagens capazes de produzir quantidades significativas de ácidos orgânicos.

Diversos microrganismos conseguem solubilizar o K através da decomposição de minerais silicatados. Hungria e Urquiaga (1992) relatam em sua revisão o crescimento de *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus* e *Penicillium* em meio de cultura deficiente em K, ao qual se adicionou uma rocha. Os mesmos autores relatam que o K pode ser liberado de minerais como biotita, muscovita, ortoclásio entre outros. Wallander e Wickman (1999) relatam a utilização de K de biotita e microclínio por ectomicorrizas em *Pinus* e Yuan et al., (2004) relatam utilização de flogopita e vermiculita em eucalipto por fungos ectomicorrízicos. A liberação do K desses minerais ocorre principalmente pela ação de ácidos orgânicos e inorgânicos produzidos pela atividade biológica que agem pela liberação de H<sup>+</sup> ou como complexantes. Por outro lado, a própria remoção do K solúvel pela assimilação microbiana favorece a liberação do K dos minerais, aumentando o gradiente de concentração durante a reação de hidrólise dos minerais (DALCIN, 2008).

Atualmente o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT), através de um projeto do Fundo Setorial do Agronegócio (CT-Agronegócio), vem realizando estudo prospectivo sobre o desenvolvimento de processos biotecnológicos a serem aplicadas na biossolubilização de agro-minerais brasileiros, dentre eles a glauconita, visando posterior aplicação como fontes alternativas de fertilizantes tanto para a produção de alimentos quanto para a produção de bioenergia. O projeto, que encontra-se em fase inicial de desenvolvimento, abrange a seleção de linhagens microbianas com potencial aplicação no processo de biossolubilização dos agro-minerais e conseqüente liberação do potássio, a avaliação, em ensaios de bancada, da aplicabilidade das linhagens selecionadas e a efetividade das mesmas na liberação do potássio em meio líquido e, posteriormente, a proposição um processo técnico e economicamente viável para a biossolubilização de rocha(s) e/ou mineral(is) potássicas nacionais.

### 3.4. O “Plano de Ação” da Índia

No final dos anos 90, a Índia, totalmente dependente de importações de potássio fertilizante, mas com grandes reservas de glauconita, lançou um “Plano de Ação” com o objetivo de produzir 20 % das necessidades do país, no espaço de 10 anos.

Levou em consideração que as areias glauconíticas (*green sand*) haviam sido usadas, como fertilizante potássico, no período pré- e durante a II Guerra Mundial, na Austrália, EUA, Inglaterra e em outros países e, principalmente considerando os resultados positivos já obtidos no próprio país, com aplicação direta em solos ácidos dos estados de U.P. (Uttar Pradesh) e de Bengala.

Consideraram que deveriam ser encaradas duas situações abrangentes para utilização da glauconita como fertilizante: i) extração do potássio por processos metalúrgicos; ii) beneficiamento dos materiais glauconíticos para uso direto. O Plano apresentava as seguintes recomendações: i) iniciar imediatamente em solos ácidos de 5 estados a aplicação direta de areias glauconíticas que ocorram na proximidade das áreas escolhidas; ii) as areias glauconíticas seriam aplicadas, inicialmente, com outros fertilizantes não potássicos e esterco animal; iii) a extração da glauconita em pequenas lavras seria progressivamente mecanizada; iv) várias instituições procederiam desde o

início a estudos e testes de campo para avaliar a sua aplicabilidade/eficiência em diferentes sistemas de culturas; v) dois centros de pesquisa estudariam a extração de potássio da glauconita e três outros estabeleceriam técnicas simples e econômicas de beneficiamento; vi) seriam incentivados estudos para formação de compostos amorfos de glauconita por calcinação com pó de calcário a 200°C; vii) definir, em escala piloto, a viabilidade de processos pirometalúrgicos.

## 4. Reflexões

- O Brasil, com forte dependência de importações de fertilizantes, principalmente potássio, precisa intensificar a pesquisa geológica para identificação, caracterização e definição de materiais alternativos e desenvolver novos processos de aproveitamento direto, extração e produção.
- Como fonte alternativa de potássio deve ser dada particular atenção às rochas glauconíticas (‘verdetes’, ‘areias verdes’), entre várias outras, e ao desenvolvimento de novos processos para seu aproveitamento como fonte de potássio fertilizante, sob a forma de aplicação direta (rochagem), ou através de produtos industriais.
- Um primeiro passo seria a prospecção, mapeamento e caracterização químico-mineralógica das ocorrências de glauconita, sendo que já são conhecidas em várias regiões do País, destacando-se as da Formação Serra da Saudade do Grupo Bambuí, na região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais e Grupo Paranoá na região de Cabeceiras (GO).
- Não há referências ao uso direto de glauconita (rochagem) na agricultura brasileira, nem de estudos nesse sentido. A experiência da Índia mostra haver todo o interesse em pesquisar tal caminho no Brasil. Nesse sentido, deveria ser feito um planejamento de P&D.
- Nesse planejamento poderia ser incluída a criação de pequenos núcleos de produção de material amorfo (vítreo) potássico, por calcinação de uma mistura de glauconita com calcário, a temperaturas da ordem de 200°C, o que, muito provavelmente, aumentaria a eficiência de liberação do potássio no solo.
- Nos anos de 70 e 80 foram realizados estudos envolvendo processos metalúrgicos, para produção de termofosfatos potássicos, e de sua aplicabilidade agrônoma, com bons resultados, mas não tiveram a necessária continuidade. Seria desejável a sua retomada, até porque o preço do KCl importado quase decuplicou.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACK, M.E. & MANDARINO, J.A., *Fleisher's Glossary of Mineral Species 2008*. 346 p. The Mineralogical Record Inc., Tucson. 2008.
- BADRET, M. A., et al., *The dissolution of K and P-bearing minerals by silicate dissolving bacteria and their effect on sorghum growth*. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2 (1), 5-11. 2006.
- BIGHAM, J. M. et al., *Dissolution and structural alteration of phlogopite mediated by proton attack and bacterial oxidation of ferrous iron*. Hydrometallurgy, 59, 301 – 309. 2001.
- CALVARUSO, C.; TURPAULT, M-P.; FREY-KLETT, P., *Root-Associated Bacteria Contribute to Mineral Weathering and to Mineral Nutrition in Trees: a Budgeting Analysis*. Applied And Environmental Microbiology 72 (2): 1258–1266.2006.
- DALCIN, G., *Seleção de Microrganismos Promotores da Disponibilidade de Nutrientes Contidos em Rochas, Produtos e Rejeitos de Mineração*. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, SC, 95 p. 2008.
- EICHLER, V., *Disponibilidade do potássio do verdete de abaeté calcinado com e sem calcário magnesiano para a cultura do milho (zea mays L.), em solos de textura média e argilosa*, Dissertação de mestrado, UFLA. 1983.
- FREITAS, L.R. de; NASCIMENTO, M.; ALMENDRA, E.R. & PATENTE, PI 0602252-9, *Process for Recovery of Potassium Values Contained in Verdete Slates*; Companhia Vale Do Rio Doce. 2007.
- HUNGRIA, M.; URQUIAGA, S., *Transformações microbianas de outros elementos (potássio, micronutrientes e metais pesados)*. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. e NEVES, M.C.P. Microbiologia do Solo. Campinas – SP, cap. 23, p. 329-340. 1992.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E., MELAMED, R. & FIGUEIREDO NETO, J., Editores, *Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade*, CETEM / PETROBRAS, 656p. 2009.
- LEITE, P. C., *Efeitos de Tratamentos Térmicos em Misturas de Verdete de Abaeté, Fosfato de Araxá e Calcário Magnesiano*, Tese de M. Sc., UFLA, Lavras, SP, Brasil. 1985.
- MAZUNDER, A.K.; SHARMA; T.; RAO, T.C., *Extraction of Potassium from Glauconitic Sandstone by the Roast-Leach Method*, International Journal of Mineral Processing, 38, pp. 111-123. 1993.
- NOTHOLT, A.J., *Phosphatic and glauconitic sediments*. Jour. Geol. Soc., 137: 657-659. 1980.
- PARIS, F. et al., *In vitro weathering of phlogopite by ectomycorrhizal fungi*. Plant and Soil, 177 (2). 191-201. 1995.

- RESENDE, A. V. et al., *Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas "in natura" na agricultura brasileira*. Espaço e Geografia, 19 (1), 19-42. 2006.
- RIEDER, M., et al., *Nomenclature of the micas*. The Canadian Mineralogist, 36, 41-48. 1998.
- TEIXEIRA, W. et al., organizadores, *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos, São Paulo, 558 p. 2000.
- TIFAC, *Techno market survey on technologies for agricultural applications of glauconite – a potash mineral*. Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC), 242p. 2001.
- TOLEDO, M.C. et al., *Intemperismo e formação do solo* (In: Teixeira et al., organizadores, 2000, Capítulo 8). 2000.
- VALARELLI, J.V. & GUARDANI, R., *Estudos Experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como fertilizantes*, Fertilizantes, v. 3, nº 3: 4-7. 1981.
- VALARELLI, J.V., NOVAIS, R.F., VAZ DE MELO, M.T. et.al. , *Ardósias verdetes de cedro do Abaeté na produção de termofosfato potássico fundido e sua eficiência agrônômica*. In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.65, pp.343-375. 1993.
- Van STRAATEN, P., *Agrogeology – The use of Rocks for Crops*. Universidade de Guelph / P. van Straaten., 440 p. 2007.
- WALLANDER, H. & WICKAN, T., *Biotite and microcline as potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal Pinus sylvestris seedings*. Mycorrhiza, v. 9, nº 1, pp. 25-32. 1991.
- YUAN et al., *Biological mobilization of potassium from clay minerals by ectomycorrhizal fungi and eucalypt seedling roots*. Plant and Soil, v. 262, p.351-361. 2004.

## CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DE LIBERAÇÃO LENTA DE NUTRIENTES DE UM CONCENTRADO ZEOLÍTICO BRASILEIRO

Marisa Monte<sup>1</sup>; Alberto Bernardo<sup>2</sup>; Paulo Paiva<sup>1</sup>; Fernando de Souza-Barros<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) mmonte@cetem.gov.br; <sup>2</sup> Empresa Brasileira de Agropecuária –Sudeste

<sup>3</sup> Instituto de Física/Universidade Federal do Rio de Janeiro

### 1. Introdução

O conceito de condicionadores envolve a aplicação de materiais aos solos para modificar favoravelmente propriedades físicas adversas, como por exemplo, a baixa capacidade de retenção de água (Stewart, 1975). Dentre os condicionadores naturais, as zeolitas podem ser utilizadas para aumentar a capacidade de retenção de água em solos sujeitos a freqüentes episódios de deficiência hídrica.

Zeolitas são um grupo de tectosilicatos com 50 tipos de minerais de ocorrência natural, além de 150 tipos sintetizados, o que demonstra a grande variedade e o interesse crescente na sua aplicação na indústria e na agricultura (Gasparyan et al., 2006; Pickering *et al.*, 2002). No Brasil, não se tem notícia de exploração comercial de depósitos naturais de zeolitas. Há apenas alguns estudos sobre ocorrência, os quais, entretanto não apresentaram a análise de aproveitamento econômico. Na bacia do Parnaíba, no Maranhão, está provavelmente o principal depósito de zeolita natural do Brasil com potencial de aproveitamento econômico (Rezende e Angélica, 1991).

Esses minerais têm três propriedades principais que lhes conferem grande interesse para uso na agricultura: capacidade de troca de cátions; de retenção de água livre nos canais e; a habilidade na captura de íons. A zeolita pode atuar na melhoria da eficiência do uso de nutrientes

pelo aumento da disponibilidade de P da rocha fosfática, e na melhora do aproveitamento do N ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) e redução das perdas por lixiviação dos cátions trocáveis (especialmente  $\text{K}^+$ ). Outro fator importante a ser observado seria a produtividade das culturas, que dependem dentre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes, sendo o fornecimento de fósforo via adubação, uma prática essencial nos solos brasileiros. A deficiência de fósforo nos solos tropicais é intensa devido ao seu caráter ácido e à presença de grandes proporções de argila sesquioxídica, o que aumenta muito a adsorção de fosfatos e a formação de precipitados formados pela sua interação com Fe e Al, reduzindo, conseqüentemente, a disponibilidade de fósforo para as plantas [Butkus et al., 1999]. Por outro lado, a solubilidade das fontes de fósforo é de grande importância em relação à resposta a adubação: os fosfatos de maior solubilidade, sendo mais prontamente disponíveis, favoreceriam a absorção e o aproveitamento do nutriente, principalmente pelas culturas de ciclo curto (rápido crescimento). No entanto, essa rápida liberação do fósforo pode também favorecer o processo de adsorção e precipitação das formas solúveis pelos componentes do solo, originando compostos fosfatados de baixa solubilidade e impedindo a liberação dos nutrientes para as plantas. Este fenômeno é tanto mais expressivo quanto mais argiloso for o solo. Dessa maneira, os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o fósforo, minimizariam os processos de fixação e poderiam conferir maior eficiência no aproveitamento do nutriente pelas culturas [Bilali et al., 2001].

É importante ainda mencionar a importância da adubação potássica nos solos tropicais, em função da grande extração pela maioria das culturas, associada às baixas reservas do nutriente nestes solos muito intemperizados. O suprimento de potássio às plantas varia em função da forma em que se encontra no solo, da sua quantidade e do seu grau de disponibilidade nas diferentes formas, além dos fatores que interferem no deslocamento do nutriente na solução do solo até as raízes. Neste trabalho investiga-se a adsorção e liberação dos íons  $\text{K}^+$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  em substratos zeolíticos, visando o desenvolvimento de novas tecnologias para aplicação desses insumos minerais como fertilizantes de liberação lenta de nutrientes e substratos para crescimento de plantas.

## 2. Experimental

Nesta seção apresentam-se as principais técnicas usadas para caracterizar o sedimento zeolítico, sua concentração e modificação química para transformá-la na forma homoiônica. A amostra estudada foi coletada na porção W do Maranhão e NE do Tocantins, na região de divisa entre os dois estados (na Bacia Sedimentar do Parnaíba) e trata-se de um arenito portador de zeolitas, as quais constituem o cimento da rocha. As amostras foram analisadas por difratometria de Raios-X, usando um difratômetro da marca Siemens, modelo AXS D5005 (radiação Cu-K $\alpha$  e geometria paralela). A determinação da composição química das amostras foi executada pelos princípios da fluorescência de Raios-X com um espectrômetro modelo PW2400 e por um difratômetro de Raios-X, tipo F, Bragg-Bretano da Siemens (radiação Cu-K $\alpha$ ) acoplado a uma fonte estabilizadora de alta voltagem da marca Philips 1830/25. As simulações numéricas foram feitas pelo auxílio do programa computacional DBWS, desenvolvido por Young et al., (1995). A Fig. 1

apresenta o difratograma da amostra em estudo. Grãos de quartzo, feldspatos e fragmentos de rochas são os principais componentes da fração dentrítica (terrígena). Esses componentes estão sempre impregnados de óxidos e hidróxidos de ferro e revestidos por um filme de esmectita. O componente zeolítico foi identificado como estilbita, do grupo da heulandita, composição ideal  $(\text{Na,K}) \text{Ca}_2[\text{Al}_5\text{Si}_{13}\text{O}_{36}]\cdot 14\text{H}_2\text{O}$ .

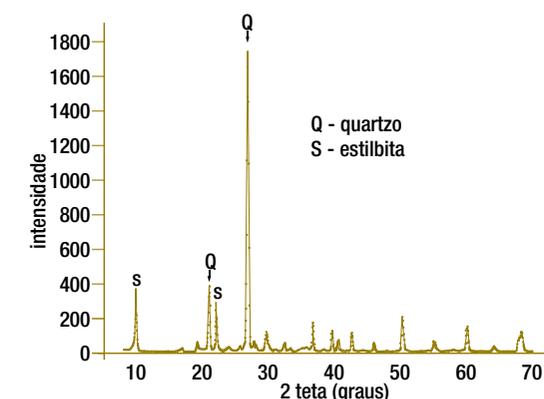


Fig.1. Difratograma de Raios-X da amostra de sedimento zeolítico, Q (quartzo) e S (estilbita).

### 2.1. Caracterização e Obtenção do Concentrado Zeolítico (CZ)

A amostra em estudo foi, inicialmente, homogeneizada, quarteada e cominuída para produzir partículas de tamanho inferiores a 4,67mm. Neste trabalho, duas técnicas diferentes foram avaliadas para concentrar os principais componentes do sedimento zeolítico: i) a concentração gravítica por mesa vibratória e espiral de Humphrey e ii) a magnética com separador Boxmag Rapid. Cada produto obtido foi submetido à separação por meio denso e à análise por difratometria de Raios-X para quantificar a eficiência de separação da zeolita da fase mais leve do sedimento. A Tabela 1 apresenta os rendimentos obtidos para os três diferentes métodos de concentração avaliados. A técnica de concentração gravítica apresentou o melhor desempenho, obtendo-se um concentrado contendo 67 % da fração zeolita. A Fig. 1 apresenta o difratograma do CZ, representado aqui pelo concentrado gravítico obtido por mesagem. As Tabelas 2a e b mostram a composição química do CZ para os elementos maiores e traços, respectivamente. Na Tabela 2a, a presença de  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$  na composição do CZ pode estar associada à esmectita, conforme discutido por Monte et al., 2009.

Tabela 1. Uma comparação entre os métodos de concentração

Métodos de Concentração	Teor de zeolita no concentrado (%)
Magnética	41,8
Espiral de Humphrey	59,1
Mesa vibratória	66,8

Tabela 2.a Composição do CZ (% em peso dos principais componentes)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	BaO
64,7	12,7	0,8	0,97	3,1	1,5	3,3	0,12	0,60	0,12

Tabela 2.b Composição química do CZ (compostos presentes em menor proporção)

MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	NiO	Co
0,06	0,05	<0,1	<0,1	0,02

As determinações da área de superfície BET e volume de poros do concentrado gravítico obtido (CZ) foram feitas com um equipamento ASAP da *Micromeritics Instruments Corporation*. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de volume de poros pela curva t-plot (método de tratamento de dados de Harkins&amp; Jura)

Volume Microporo (cm <sup>3</sup> /g)	Área Microporo (m <sup>2</sup> /g)	Área de Superfície Externa
0,005742	12,0882	9,7112

## 2.2. Preparação dos concentrados zeolíticos (CZ) modificados quimicamente

Os principais objetivos, nesta etapa do trabalho, foram: i) observar a correlação entre a saturação de sais de sódio e potássio no CZ no aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e; ii) a disponibilidade dos compostos modificados quimicamente na liberação de macronutrientes. Para tal finalidade, uma amostra de CZ foi condicionada com uma solução de NaCl 0,5N ou KNO<sub>3</sub> 0,5N, na proporção de 1:10 p/v. A suspensão foi agitada por 24 h, a temperatura ambiente, centrifugada e filtrada. Os concentrados modificados aqui, identificados como CZ-Na e Zeo-K foram secados a 100 °C. As determinações dos teores de sódio e potássio nos concentrados modificados foram realizadas a partir da análise dos sobrenadantes por EAA. As capacidades (Q) de incorporação de sódio e potássio estão apresentadas na Tabela 4. A Tabela 5 mostra que o CZ comporta-se como uma zeolita padrão, exibindo um aumento da CTC para a forma homoiônica.

Tabela 4. Capacidade de incorporação de sódio e potássio por g de CZ

Sódio	Q <sub>Na</sub> = 3mg/g de ZC-Na
Potássio	Q <sub>K</sub> = 25 mg/g de Zeo-K

Tabela 5. Propriedades do CZ modificado (CZ-Na)

Potássio incorporado por g de CZ-Na	Q <sub>K</sub> = 128 mg/g
CTC	3,3 meq/g

## 2.3. Ensaios de adsorção e desprendimento de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

Os estudos de adsorção foram iniciados pela preparação de soluções de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> nas concentrações de 0,0057M, 0,014M e 0,029M em solução aquosa e a força iônica constante (solução de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> na concentração de 0,05M). Alíquotas dessas soluções foram colocadas em tubos de centrifuga contendo 4g da amostra de ZC, CZ-Na e Zeo-K. Esses tubos foram completados até um volume de 40 mL com água ou solução de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> na concentração de 0,05M, conforme a fonte. Em seguida, os tubos foram submetidos a uma agitação de 200 ciclos/min por 48 horas em um agitador mecânico. Após este tempo, as soluções foram centrifugadas a 4500 rpm por 15 min, o sobrenadante recolhido foi enviado para análise química. As determinações quantitativas de Na e K foram realizadas por espectrometria de absorção atômica (EAA), equipamento da Marca *Varian*, modelo 55B. Para a determinação quantitativa dos teores de fósforo em solução, foi usado um espectrômetro de UV/VIS (HACH, modelo DR/2010). Após o período de incubação e extração do sobrenadante, os resíduos centrifugados foram lavados com água ou eletrólito (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 0,05M) e a seguir, dispersos novamente em 20 mL dessas mesmas soluções, agitados por 2h a 200ciclos/min e então, centrifugados. O sobrenadante foi transferido para balões volumétricos de 100mL. Este último procedimento foi repetido por intervalos de tempo distintos e os sobrenadantes analisados.

## 3. Resultados e Discussão

As Fig. 2a e b mostram os resultados dos ensaios de adsorção de potássio (K<sup>+</sup>) e fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) no substrato ZC, na ausência e na presença de eletrólito. Em meio aquoso, a captura de K<sup>+</sup> e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> apresenta mecanismos de interação diferentes, com uma maior taxa de adsorção de potássio.

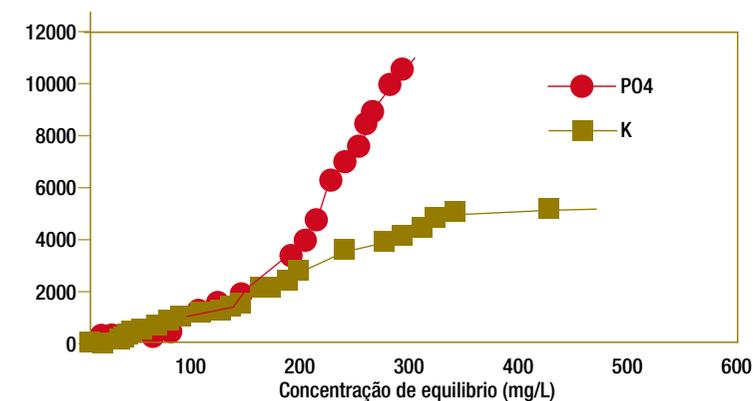


Fig. 2. Isothermas de adsorção dos íons K<sup>+</sup> e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> na CZ na ausência (a) e presença (b) de eletrólito NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (0,05M). Continua...

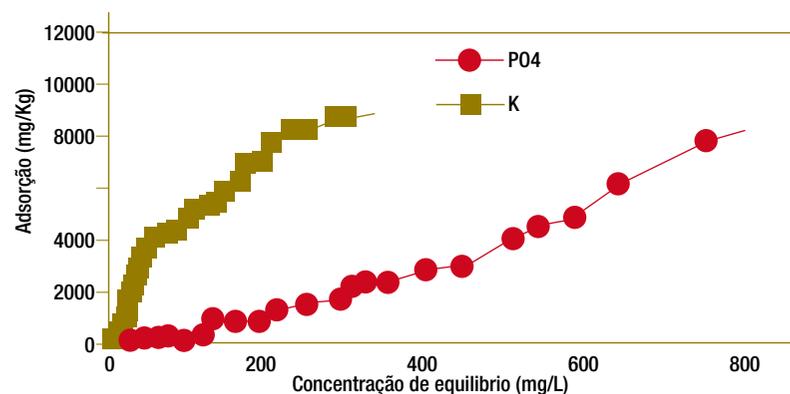
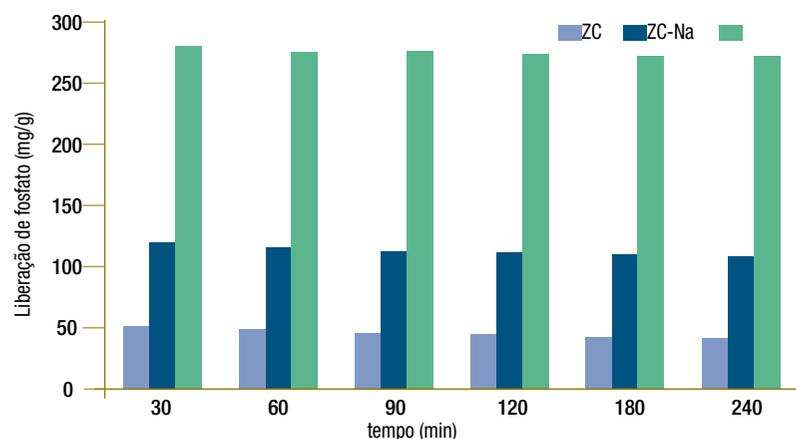


Fig. 2. Continuação.

A adsorção de  $\text{PO}_4^{3-}$  no CZ é maior em meio de nitrato de amônio, atribuído à carga de superfície negativa, que predomina nos sítios ativos presentes no substrato, favorecendo a adsorção de fosfato, após a interação do íon amônio. Por outro lado, o  $\text{K}^+$  adsorve até uma concentração de equilíbrio de 300 mg/L, e a partir deste último valor, a quantidade adsorvida torna-se constante (próxima a 5000 mg/Kg), independente da concentração de equilíbrio. Os resultados dos ensaios de dessorção sugerem que a liberação de  $\text{PO}_4^{3-}$  é constante para as três formas de substrato avaliadas – um pré-requisito para aplicação como um condicionador de solos e fertilizante (Fig. 3).

Fig. 3. Liberação de  $\text{PO}_4^{3-}$  em função do tempo, para os três diferentes tipos de substrato.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho apresenta-se a aplicação de um arenito portador de zeolita como um substrato com propriedades de liberação lenta de nutrientes. Esses sedimentos ocorrem na Bacia do Parnaíba, na região norte do Brasil. A caracterização da amostra revelou que a mesma é composta por estilbita intercalada com esmectita, associada aos grãos de quartzo. O uso de uma técnica de baixo custo para separar as partículas de quartzo, liberadas do composto zeolítico, permitiria sua utilização como um produto comercial zeolítico. Os estudos de adsorção e de liberação de fósforo e potássio sugerem que o CZ pode atuar na melhoria da eficiência do uso de nutrientes na agricultura.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BILALI, L.; KOUHILA, M.; BENCHANAA; MOKHLISSE, A. and BELGHIT, A. Experimental Study and Modeling of Isotherms of Sorption of Humid Natural Phosphate. *Energy Conversion and Management*. Vol. 42, 467-481. 2001.
- BUTKUS, M. A. and GRASSO, D. Impact of Phosphate Sorption on Water-Treatment Residual Surface Characteristics: Prelude to Reuse. *Environmental Engineering Science*. Vol. 16, no 2, 117-129. 1999.
- GASPARYAN, T.A.; KARAMYAN, G.G.; ALEKSANYAN, G.G.; and REVAZYAN, L.R. New organo zeolite fertilizer. In: BOWMAN R.S. and DELAP, S.E. (Eds) *Zeolite 2006 – 7<sup>th</sup> international Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of natural zeolites*, New Mexico, p.114. 2006.
- MONTE, M.B.M.; MIDDEA, A. PAIVA, P.R.P., BERNARDI, A.C.C.; REZENDE, N.G.A.M.; BAPTISTA-FILHO, M.; SILVA, M.G.; VARGAS, H.; AMORIM, H.S. and SOUZA-BARROS, F. Nutrient Release by a Brazilian Sedimentary Zeolite. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* Vol. 81(4): 1-13. 2009.
- PICKERING, H.W.; MENZIES, N.W.; AND HUNTER, M.M. Zeolite/Rock Phosphate – A Novel Slow Release Phosphorus Fertilizer for Potted Plant production. *Sci. Hortic – Amsterdam* 94: 333-343. 2002.
- REZENDE, N. G. A. M.; ANGÉLICA, R. S. Sedimentary zeolites in Brazil. *Miner Petrog Acta*, 42: 71-82. 1991.
- STEWART, B.A. *Soil Conditioners*. In: Soil Science Society of America – Special Publication, Madison, 7p. 186. 1975.
- YOUNG, R.A.; SAKTHIVEL, A. MOSS, T.S. and PAIVA-SANTOS, C.O. Up-grade of DBWS Programs for Rietveld Refinement with PC and Main Frame Computers. *J. Appl Phys*, 28: 366-367. 1995.

# INFLUÊNCIA DE RESÍDUOS DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE SOLOS E NA QUALIDADE DA ÁGUA

A.P.A. Bertossi<sup>1</sup>, M.S.N. Cardoso<sup>2</sup>, A.C.A. Prado<sup>3</sup>, S.P. Caetano<sup>4</sup>, M.A. Neves<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail anapaulabertossi@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail kvneves@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail acaprado@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail simonepaiva01@yahoo.com.br

<sup>5</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, e-mail mirnaan@gamil.com

## 1. Introdução

**T**rabalhos anteriores relatam à possibilidade de utilização de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais no processo de rochagem, no qual o pó de rocha é agregado ao solo para induzir enriquecimento mineral e corrigir acidez.

Os resíduos gerados durante o beneficiamento de rochas ornamentais podem ser utilizados neste processo, já que aproximadamente 30 % do bloco rochoso, rico em vários tipos de minerais, são incorporados à lama de serragem. A transformação de resíduos em subprodutos apresenta, dentre outras, a vantagem de diminuir a quantidade de rejeito a ser descartado no ambiente, além de agregar valor a um resíduo indesejável.

Muitos solos brasileiros apresentam média a alta acidez, com deficiências de Cálcio, Magnésio e Fósforo. O cultivo agrícola dos solos ácidos exige a aplicação de corretivos que, ao elevarem o pH, neutralizam o efeito dos elementos tóxicos e fornecem Cálcio e Magnésio como nutrientes (VELOSO et al., 1992). O Cálcio, ao reagir com o Hidrogênio em excesso, diminui a concentração deste, elevando o pH do solo (LUZ; LINS, 2005). Segundo Yoshioka e Lima (2005), a calagem (ou agregação de compostos básicos de Cálcio e Magnésio ao solo) favorece o aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas, por estimular os sistemas radiculares extensos.

A correção de acidez pode, portanto, ser obtida com agregação de resíduos de mármore ao solo. Já os efeitos dos resíduos dos vários tipos de granito serrados no sul capixaba ainda não são conhecidos, sendo necessários testes para verificar possibilidades de seu uso em solos agrícolas. Um cuidado especial deve ser tomado devido à fina granulação dos resíduos, que tendem a diminuir a condutividade hidráulica do solo, conforme resultados preliminares obtidos pela equipe do projeto (dados inéditos). São necessários testes detalhados utilizando vários tratamentos com repetições para comparar os efeitos da agregação de diferentes tipos de resíduos no solo.

Para estudar estas variações, serão conduzidos testes de condutividade hidráulica em misturas com diferentes porcentagens de solo e de resíduos, acompanhados da análise química da água em diferentes intervalos de tempo. A velocidade com que a água penetra no solo pode ser medida pela condutividade hidráulica saturada (MESQUITA; MORAES, 2004), que representa a facilidade com que um solo transmite água. Este parâmetro é determinado pela geometria e continuidade dos poros preenchidos por água; pela forma, quantidade, distribuição e continuidade dos poros, além de depender da estrutura do solo. A perda de substâncias químicas por lixiviação é geralmente relacionada ao fluxo desse líquido, o qual influencia todo o processo de utilização dos recursos solo e água.

## 2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a influência da adição de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais na condutividade hidráulica de solos e na qualidade da água de percolação. Para tanto, definiu-se, como objetivos específicos:

- Realizar testes de permeabilidade em amostras destorroadas de solo, agregado com diferentes porcentagens de resíduos de mármore.
- Analisar as características químicas da água de percolação.

Os resultados serão importantes para o estudo das possibilidades de utilização de resíduos de mármore como corretivo de acidez.

## 3. Metodologia

A condutividade hidráulica saturada foi determinada em laboratório utilizando-se um permeâmetro de carga constante e fluxo estacionário construído de acordo com os métodos propostos por Ferreira (2002).

O resíduo foi cedido por uma serraria de Cachoeiro de Itapemirim (ES) e o solo coletado em um local com características conhecidas da região de Alegre (ES). Estes materiais foram analisados no laboratório da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Solos do Rio de Janeiro.

As amostras de solo e de resíduos foram secas, destorroadas, pesadas em balança de precisão e homogeneizadas para composição das misturas. As porcentagens de solo + resíduo de mármore foram determinadas pelo Método de Saturação de Bases, proposto no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007), de modo a corrigir a acidez do solo detectada na análise realizada pela EMBRAPA. Determinados os valores a serem usados, optou-se por testar também, o dobro desse valor para detecção de possíveis alterações.

O teste constou de quatro repetições pra assegurar a validade estatística e diminuir o erro experimental. Além das misturas de solo + resíduo, foi testada também a condutividade hidráulica do solo puro, para servir de testemunha e comparação. Os tratamentos utilizados foram mármore 0 %, 0,2 % e 0,4 %.

O permeâmetro (construído pela equipe do projeto) era composto por um apoio de madeira com espaço para três tubos de PVC, na porção inferior dos tubos foram acoplados ralos para deixar passar a água de percolação e reter a amostra de solo (Fig. 1). As paredes dos tubos foram revestidas com fina camada de areia grossa (aderida às paredes com cola à prova d'água), evitando a formação de caminhos preferenciais para o fluxo. Na extremidade inferior do tubo (sobre o ralo), colocou-se uma manta de lã de vidro e, sobre ela, a amostra.

Uma quantidade pré-determinada de amostra é depositada aos poucos no tubo e compactada, até atingir a altura desejada. Com o propósito de aproximar a densidade da amostra no tubo à densidade real do solo, optou-se por utilizar uma massa de 2640 g da mistura, como o volume ocupado por ela foi de 2149 cm<sup>3</sup>, a densidade dentro do tubo foi de 1,2 g/cm<sup>3</sup> - os tubos foram preenchidos com as misturas até a altura de 30 centímetros (L). Foi utilizado o mesmo processo de compactação das amostras nos vários tratamentos e repetições, que no caso foi feito por um número definido de impactos por um peso conhecido. Tal procedimento é importante para evitar a formação de estratos ou camadas, tentando-se tornar o material o mais homogêneo possível, já que a estrutura exerce forte influência sobre a condutividade.

Na parte superior (sobre a amostra) também foi colocada manta de lã de vidro para evitar a formação de depressões causadas pelo fluxo da água.

Antes da realização do teste foi necessária à saturação da coluna de solo, que deve ser de baixo para cima para eliminar as bolhas de ar. A saturação foi alcançada colocando-se a coluna dentro de um recipiente contendo água, por aproximadamente 48 horas. Concluída a saturação, colocaram-se os tubos no suporte de madeira, elevou-se o frasco de Mariotte a uma determinada altura de forma que a espessura da lâmina de água (l) sobre a amostra dentro do tubo estivesse entre 10 e 15 cm e se mantivesse constante como demonstra a Fig. 1 (a) e (b).

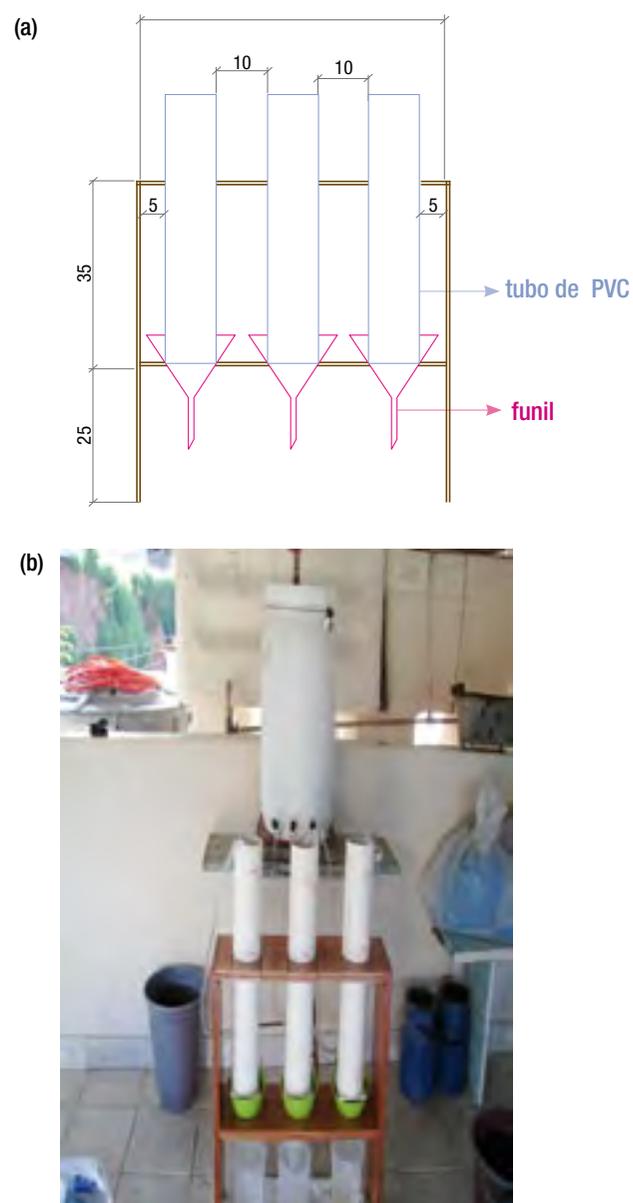


Fig. 1. Equipamento utilizado para medir a condutividade hidráulica saturada. Foi mantido um fluxo estacionário de água (Q) sobre a coluna. (a) Esquema de montagem, (b) Foto.

Então, iniciou-se a contagem do tempo de percolação de determinado volume de água, ou seja, quando a água começou a sair pela parte inferior dos tubos, mediu-se o volume e o tempo necessário desse evento, a água de percolação foi canalizada por funis e coletada em jarras dispostas sob os tubos. Durante o teste mediu-se a temperatura da água utilizada, pois ela influencia a viscosidade da água a ser percolada.

A condutividade hidráulica foi calculada pela Lei de Darcy, a partir da fórmula:

$$K_0 = Q / (A * i), \text{ onde:}$$

Q = Volume coletado/tempo,

A é a área da seção transversal do tubo e;

$i = - (l + L) / L$ , onde:

L é a altura da mistura colocada no tubo de PVC.

L é a altura da mistura colocada no tubo de PVC.

$K_0$  foi corrigida para a temperatura de 20 ° C, utilizando a fórmula:

$$K_0^{20} = K_0 * h_0 / h_0^{20}, \text{ onde:}$$

$h_0$  é a viscosidade da água na temperatura de medida e

$h_0^{20}$  é a viscosidade da água a 20 ° C

Os valores das viscosidades da água para diferentes temperaturas estão enunciados na Tabela 1. A condutividade hidráulica a 20 ° C das amostras foi classificada segundo as classes para solos saturados mostrados na Tabela 2.

Tabela 1. Viscosidade da água em função da temperatura.

Temperatura (T) °C	Viscosidade (η) Centipoise
15	1,134
20	1,002
25	0,890
30	0,797

Tabela 2. Classes de condutividade hidráulica – solos saturados.

Classes de condutividade	Condutividade a 20 ° C $K_0$ (cm/h)
Muito lenta	< 0,125
Lenta	0,125 – 0,5
Moderadamente lenta	0,5 – 2,0
Moderada	2,0 – 6,25
Moderadamente rápida	6,25 – 12,5
Rápida	12,5 – 25,0
Muito rápida	> 25,0

Após a medição do volume do líquido, o mesmo foi armazenado na geladeira para análise química. As amostras de água foram coletadas no final do ensaio de acordo com o volume infiltrado. As análises da água percolada foram feitas no Espectrômetro de Absorção Atômica do Laboratório de Nutrição de Plantas do CCA/UFES. Foi determinada a concentração dos seguintes elementos: Ca, Mg, Na, K, Zn, Fe, Mn e Cu. Além destes elementos, foram feitas medidas de pH, turbidez (T) e condutividade elétrica (CE).

Para tratamento estatístico dos dados foi utilizado um teste de ANOVA em um delineamento experimental inteiramente casualizado e para os parâmetros que apresentaram significância, em nível de 5 % de probabilidade, foram realizadas análise de regressão no programa R (versão 2.7.2). A fim de eliminar os valores discrepantes foi feito um pré tratamento dos dados utilizando o teste de Grubbs (EPA, 1992).

#### 4. Resultados e Reflexão

Os valores de condutividade hidráulica obtidos nas misturas de pó de mármore, comparados com a testemunha (solo sem adição de resíduo), foram semelhantes apesar da adição do resíduo que possui uma fina granulação, sendo classificada como muito rápida. Este atributo não demonstrou alteração significativa, mostrando não haver influência do resíduo na movimentação de água no solo. O valor médio da condutividade hidráulica está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Valor médio de condutividade hidráulica dos tratamentos.

MÉDIA (cm/h)	DESVIO PADRÃO	CLASSE
79,88	13,58	Muito rápida

Depois de terminado os testes de condutividade, a água percolada no fim dos ensaios foi analisada para quantificação de seus parâmetros físicos e químicos.

Segundo os resultados apresentados na Tabela 4, não foi observado variação significativa dos parâmetros T, Fe, Cu, K e Na com a dose de resíduo aplicada. Os valores médios de suas concentrações na água percolada estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 4. Resultados da análise de ANOVA para os parâmetros estudados.

Parâmetro	Valor de F	Parâmetro	Valor de F	Parâmetro	Valor de F
CE	30.037*	Zn	6.5684*	Ca	25.645*
T	0.6027	Cu	2.7113	Mg	12.232*
pH	36.669*	Mn	6.2191*	Na	1.5928
Fe	0.5562	K	0.7051		

\*Valores significativos em nível 5 % de probabilidade.

Tabela 5. Valores médios de T, Fe, Cu, K e Na na água percolada.

PARÂMETRO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
T	2,90	0,8227
Fe	0,54	0,3163
Cu	0,03	0,0645
K	4,71	3,8362
Na	8,11	1,2497

Os parâmetros CE, pH, Zn, Mn, Ca e Mg, apresentaram significância em nível de 5 % de probabilidade (Tabela 4), a análise de regressão está apresentada na Fig. 2.

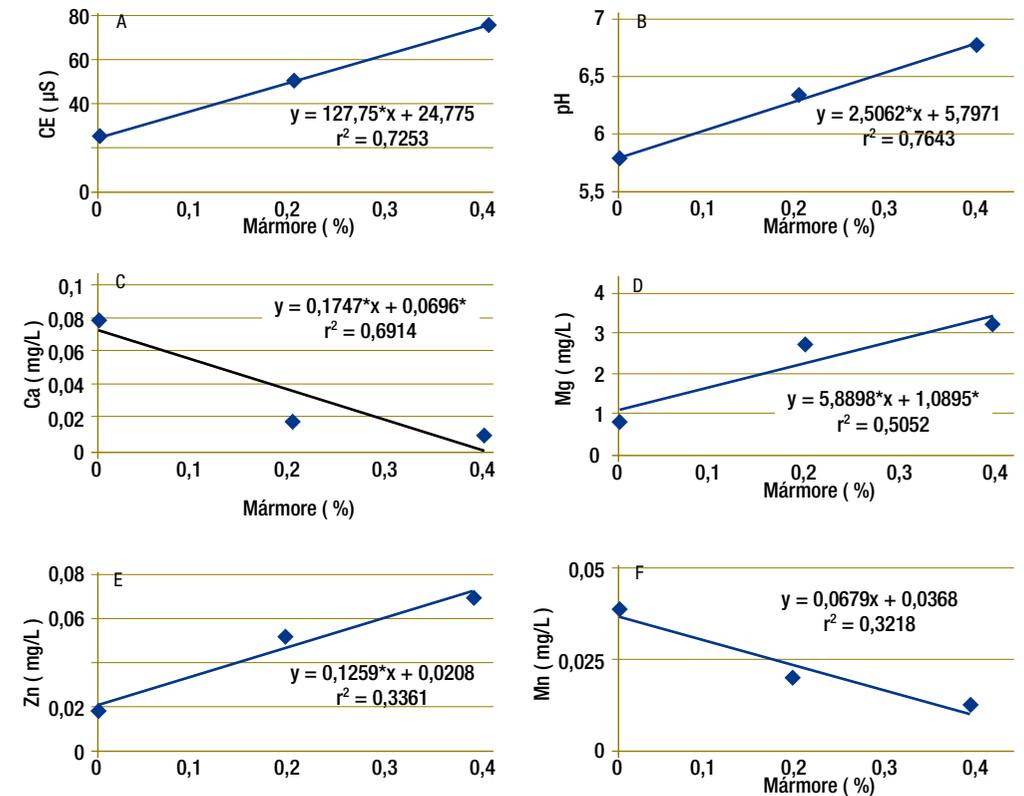


Fig. 2. Variação dos parâmetros analisados na água percolada em função da dose de resíduo de mármore: (A) CE, (B) pH, (C) Ca, (D) Mg, (E) Zn, (F) Mn.

Com o aumento da dose de resíduo de mármore houve um aumento linear dos parâmetros CE, pH, Mg e Zn e diminuição do Ca e Mn. Como não existe uma legislação específica com valores limites de contaminantes em água subterrânea, optou-se por adotar como referência a portaria de potabilidade de água ANVISA n° 518/2004.

Observa-se que a água percolada no solo sem tratamento apresenta uma não conformidade com a portaria em relação ao parâmetro Fe (Tabela 5). Esta não conformidade se manteve na água percolada nos dois tratamentos. Com relação aos demais parâmetros, a água percolada no solo não tratado apresentou conformidade com a portaria, situação que se manteve em ambos os tratamentos.

## 5. Conclusões

O resíduo utilizado não alterou a condutividade hidráulica do solo, como também, não alterou a situação de conformidade e não conformidade da água percolada em relação à portaria ANVISA 518/2004 para os parâmetros estudados.

As análises desta água de percolação deverão ser estendidas para outros metais pesados e fenóis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. *Portaria nº 518 de 25 de março de 2004*. Disponível em <[http://www.agrolab.com.br/portaria\\_518\\_04.pdf](http://www.agrolab.com.br/portaria_518_04.pdf)> Acesso em: 29 de agosto de 2009.

CAMELO, N. F. F. SILVA, A. L. G. Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro industrial, no município de Cachoeiro de Itapemirim, utilizando ferramentas de geoprocessamento. Vitória, 2007. TCC.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Statistical Training Course for Ground-Water Monitoring Data Analysis. EPA/530-R-93-003, Office of Solid Waste, Washington, 1992. Disponível em <<http://nepis.epa.gov>> Acesso em: 29 ago. 2009.

FERREIRA, P. A. Dinâmica da água no solo. In: \_\_\_\_\_. *Drenagem de terras agrícolas*. Viçosa, 2002. p. 24-36. Apostila.

LUZ, A. B; LINS, F. F. (org.). *Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações*. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 2005. p. 344-345.

MESQUITA, M. G. B. F; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência do solo*, Santa Maria, v. 34, n.3, p. 963-969. mai/jun. 2004.

PREZOTTI, L. C; GOMES, J. A; DADALTO, G. G; OLIVEIRA, J. A. de. *Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação*. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

VELOSO, C. A. C. et al., Efeito de diferentes materiais no pH do solo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 49, n.1, p. 123-128. 1992. Disponível em <<http://www.scielo.br>> Acesso em: 12 mai. 2008.

YOSHIOKA, M; LIMA, M. R. *Experimentoteca de solos: pH do solo*. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR, 2005. (Projeto Solo na Escola). Disponível em <<http://www.escola.agrarias.ufpr.br>> Acesso em: 13 mai. 2008.

## ROCHAGEM: VIABILIZANDO O USO SUSTENTÁVEL DOS DESCARTES DE MINERAÇÃO NO DISTRITO MINEIRO DE AMETISTA DO SUL (DMAS), RS, BRASIL

Magda Bergmann<sup>1</sup>, Rosemary Hoff<sup>2</sup> & Suzi Maria de Córdova Huff Theodoro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. Rua Banco da Província, 105 – CEP 90840-030 - Porto Alegre – Brasil [mbergmann@pa.cprm.gov.br](mailto:mbergmann@pa.cprm.gov.br);

<sup>2</sup> Embrapa Uva e Vinho - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rua Livramento, 515 – CEP. 95700-000 - Bento Gonçalves – RS – Brasil. [rosehoff@cnpv.embrapa.br](mailto:rosehoff@cnpv.embrapa.br);

<sup>3</sup> Petróleo Brasileiro S/A – SAN Q-01 Bloco "D" Edifício Petrobrás - Brasília/DF CEP 70040-901 [suzitheodoro@petrobras.com.br](mailto:suzitheodoro@petrobras.com.br)

### 1. Introdução

Alternativas ao uso de fertilizantes químicos solúveis vêm sendo pesquisadas em função dos recentes aumentos dos custos de aquisição destes insumos, e dos impactos ambientais causados pela aplicação continuada de produtos à base de NPK. No caso do Brasil, a necessidade de se encontrar novas rotas tecnológicas é ainda mais importante, uma vez que o país tem carência de bens minerais necessários à sua produção, apesar de sua grande geodiversidade. Dentre as alternativas mais promissoras, cita-se a rochagem, que prevê o uso de rochas moídas ricas em micro e macronutrientes como forma de melhorar os níveis de fertilidade dos solos (Theodoro e Leonardos, 2006).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa em parceria com o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) concluíram recentemente pesquisa voltada para a construção de novas rotas tecnológicas voltadas para a agricultura. O resultado foi a concentração e o enriquecimento do mineral zeolita que poderá ser usado como fertilizante (CETEM, 2008). A aplicação de fonte alternativa de fertilizantes foi descrita por Bernardi et al., (2007), avaliando a produção e a qualidade dos frutos de tomateiro cv. Finestra, cultivado em substrato com zeolita enriquecida com N, P e K. Paiva et al., (2005) observaram que a estilbita da Bacia do Parnaíba, MA, Brasil, apresentou capacidade de adsorção e dessorção de nutrientes podendo ser empregada na agricultura.

Dentre as litologias mais adequadas ao uso agrícola, segundo os pressupostos da técnica de rochagem, as rochas vulcânicas de composição básica, e secundariamente as ácidas, se destacam pela sua constituição mineralógica e por suas características texturais. A região Sul do Brasil é constituída em boa parte de seu território pelas rochas vulcânicas basálticas e dacíticas da Formação Serra Geral, sendo também os próprios terrenos vulcânicos os sítios mais destacados de agricultura em função da sua fertilidade e do relevo suave, nos platôs, a suavemente ondulado, nas encostas dos vales fluviais. Tais características vêm permitindo a mecanização do plantio e da colheita de soja e milho. A primeira, item essencial da carteira de exportação brasileira, e o segundo, insumo da pecuária bovina, suína e avícola.

O Distrito Mineiro de Ametista do Sul (DMAS), Noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil (Fig. 1), que está inserido em área de agricultura intensiva, é responsável pela exploração de ametista e outras gemas, e paralelamente à extração mineral vem gerando grandes volumes de rejeitos, que são dispostos em encostas de vales, causando conflitos de uso do solo e grandes impactos ambientais, como pilhas de rejeito encobrendo cabeceiras de drenagem e avançando sobre mata nativa reliquiária na região.

O esgotamento das jazidas em parte do Distrito vem deslocando garimpeiros para a agricultura de subsistência com padrão socioeconômico de minifúndios. De modo geral, estes novos agricultores plantam milho, feijão, cítricos, uva, hortaliças. Particularmente em Ametista do Sul, onde a mineração responde por 75 % das atividades econômicas do município, está sendo implantada vitivinicultura que já conta com 150 hectares de videiras, parte em produção e dando origem à vinificação local.

A possibilidade de utilização dos rejeitos gerados pela atividade mineral para viabilizar a recuperação dos níveis de fertilidade dos solos, por meio da tecnologia da rochagem, tende a se configurar como uma excelente oportunidade, pois tais materiais já se encontram parcialmente desagregados e apresentam significativos teores de  $P_2O_5$  e CaO. Além disto, esta iniciativa aponta para uma perspectiva de redução dos impactos ambientais no DMAS e, adicionalmente, pela proximidade do distrito da região de grande produção agrícola no RS o torna um potencial fornecedor de insumos agrícolas.

## 2. Objetivo

O objetivo geral deste trabalho foi apresentar os resultados iniciais da investigação do uso dos rejeitos da mineração do Distrito Mineiro de Ametista do Sul como materiais potenciais para remineralizar os solos agrícolas da região. Além disto, como objetivos específicos buscou-se: (i) Testar, por meio de radiometria espectral, as rochas encaixantes da mineralização de ametista e outras gemas, a fim de determinar a mineralogia de alteração hidrotermal; (ii) Identificar petrograficamente as amostras do rejeito da mineralização, a fim de definir a mineralogia geral da rocha; e (iii) analisar quimicamente os materiais a fim de verificar o grau de fertilidade da rocha.

## 3. O Distrito Mineiro de Ametista do Sul

O Distrito Mineiro de Ametista do Sul (DMAS) compreende oito municípios: Ametista do Sul, Planalto, Frederico Westphalen, Rodeio Bonito, Cristal do Sul, Iraí, Gramado dos Loureiros e Trindade do Sul (Fig. 1), que totalizam 27 Planos de Lavra Garimpeira, envolvendo em torno de 500 garimpos cadastrados na Cooperativa de Garimpeiros do Médio Alto Uruguai Ltda (Coogamai), dos quais 180 estão operantes.



Fig. 1. Localização do Distrito Mineiro de Ametista do Sul (DMAS)

A atividade garimpeira teve início nos anos de 1940, mas tornou-se mais intensa na década de 1970. Inicialmente desenvolvida em condições precárias, hoje conta com orientação técnica e vem se organizando quanto ao uso de equipamentos de proteção, processos de ventilação das galerias subterrâneas e uso seguro de explosivos. Os cuidados com o meio ambiente e a disposição controlada dos rejeitos vem sendo cobrados pelos órgãos ambientais e, no presente momento, se constituem na maior entrave à atividade mineira e sua regularização. A extração de pedras preciosas como a ametista, citrino, quartzo hialino, ágata e outras gemas, gera renda pela exportação in bruto, além de subsidiar uma crescente indústria de lapidação e joalheria em pólos vizinhos como Soledade e Lajeado.

As rochas vulcânicas encaixantes da mineralização em geodos pertencem à Formação Serra Geral, de idade juro-cretácica. Trabalhos como os de Hartmann (2008) vêm reconhecendo intensa alteração hidrotermal e percolação de fluido em grande escala associada às rochas encaixantes dos geodos mineralizados, a exemplo do que acontece no Distrito Mineiro de Artigas (Duarte, 2008).

Em função de tal característica, importantes mudanças mineralógicas e texturais podem ser reconhecidas no basalto do nível produtor, tanto por meio da análise petrográfica como química, e mesmo nas propriedades reológicas do material, que Hartmann (2008) denomina de “metabasalto”. As lavras conformam extensas galerias subterrâneas com acesso pelas encostas dos vales e, como boa parte das jazidas situam-se ao longo de um mesmo derrame basáltico, é comum que as embocaduras das lavras tenham disposição bastante próxima, e que as pilhas de rejeito utilizem vastas áreas dos vales pela sua disposição contígua.

#### 4. Material e método

Considerando que as pilhas de rejeito oriundas da atividade garimpeira do basalto no DMAS são extremamente sensíveis ao intemperismo, este material tende a ser desagregado de forma espontânea após alguns anos de exposição. Neste sentido, a coleta das amostras no campo, para avaliar a aptidão mineralógica e química se deu em níveis diferenciados em função do tempo de lavra e em pontos distintos, a fim de se verificar diferentes composições químicas. As rochas foram testadas de maneira expedita nas pilhas de rejeito com uso de método rápido semiquantitativo (teste do Fósforomolibdato, Quarantotti e Vanacker, 1975). Foram confeccionadas e descritas 3 lâminas delgadas de blocos de diferentes pilhas com uso de microscópio petrográfico.

O equipamento empregado para as análises espectrorradiométricas foi o espectrorradiômetro POSAM, do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Espectrorradiometria da CPRM, obtendo-se medidas radiométricas na faixa do espectro infravermelho próximo, tendo como referência uma placa de sulfato de bário de reflectância absoluta em torno de 100 %. As amostras estavam secas e moídas até a granulometria de 200 mesh. A análise dos dados espectrais foi feita no software MISO 1.0, sendo aplicadas rotinas de classificação baseadas nos parâmetros de posição da feição e forma da curva espectral.

As amostras foram estudadas com base em análises químicas e físicas usadas como rotina na avaliação da fertilidade de um solo, tais como: análise textural, teor de matéria orgânica, pH, teor de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e micronutrientes metálicos (Fe, Mn, Zn, Cu) assimiláveis, capacidade de troca catiônica, doseamento de bases de troca e capacidade de retenção de água (capacidade de campo). Em uma parte das amostras foi usado, como extrator, o ácido cítrico a 2 %. Em outra parte usou-se água régia (ácido nítrico e clorídrico). Os diferentes extratores têm a finalidade de mostrar que alguns elementos passam a serem liberados em ambiente mais ácido e outros em ambiente mais alcalino. De modo geral, o ácido cítrico é o que mais se assemelha aos ácidos orgânicos presentes no ambiente solo-raiz. Posteriormente, após o processo procedeu-se a leitura dos resultados em ICP.

#### 5. Resultados e Discussão

Os testes químicos expeditos para fosfato mostraram reação positiva fraca para fosfato em blocos de rocha intemperizada pela permanência nas pilhas, enquanto que a parte interna dos mesmos, bem como blocos extraídos há menos tempo, responderam mais fortemente, o que indica a disponibilização do nutriente para o ambiente. As pilhas de rejeito muito antigas não apresentaram resultados positivos.

Em lâmina delgada as amostras coletadas nas pilhas consistem em rochas faneríticas finas a médias, com textura porfirítica, e eventualmente glomeroporfirítica com fenocristais de plagioclásio em matriz intergranular constituída de plagioclásio e piroxênio (titano-augita). Ocorrem cavidades diktaxíticas preenchidas por vidro intersertal, castanho-amarelado ou castanho-escuro, em massas de 2-3 mm<sup>2</sup> com bordos irregulares. Foram observadas abundantes agulhas ocas de apatita de espessura da ordem de microns e comprimento de até 0,4 mm, mais frequentes nos espaços intersticiais e incluídas ou dispostas nos bordos dos domínios vítreos.

Esta peculiaridade textura pode ser relatada à disponibilização de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o meio exógeno, uma vez que pela susceptibilidade à alteração intempérica que o vidro apresenta, as apatitas, já de tamanho diminuto, encontram-se entre os primeiros minerais a serem liberados da estrutura da rocha. Ainda é frequente a ocorrência de carbonatos em clivagens de plagioclásios, o que remete aos teores de CaO encontrados nas análises químicas.

Os resultados obtidos com a reflectância espectral, que mostrou a presença de minerais como montmorilonita, ilita, gipsita, anidrita além de heulandita, natrolita e wairakita, pertencentes ao grupo das zeolitas (Fig. 2), também são indicadores da qualidade deste material para fins agrícolas. É importante destacar que a presença de zeolitas favorece o aumento de troca mineral entre o solo e os minerais provenientes do rejeito devido a sua característica de expansão-retração em presença de água. A liberação dos macro e micronutrientes se dá a partir deste processo. Outro ponto positivo deste material está ligado ao fato de que os argilominerais e zeolitas provocam uma reestruturação do solo, tornando-o mais argiloso, o que facilita o aumento da umidade em torno das raízes.

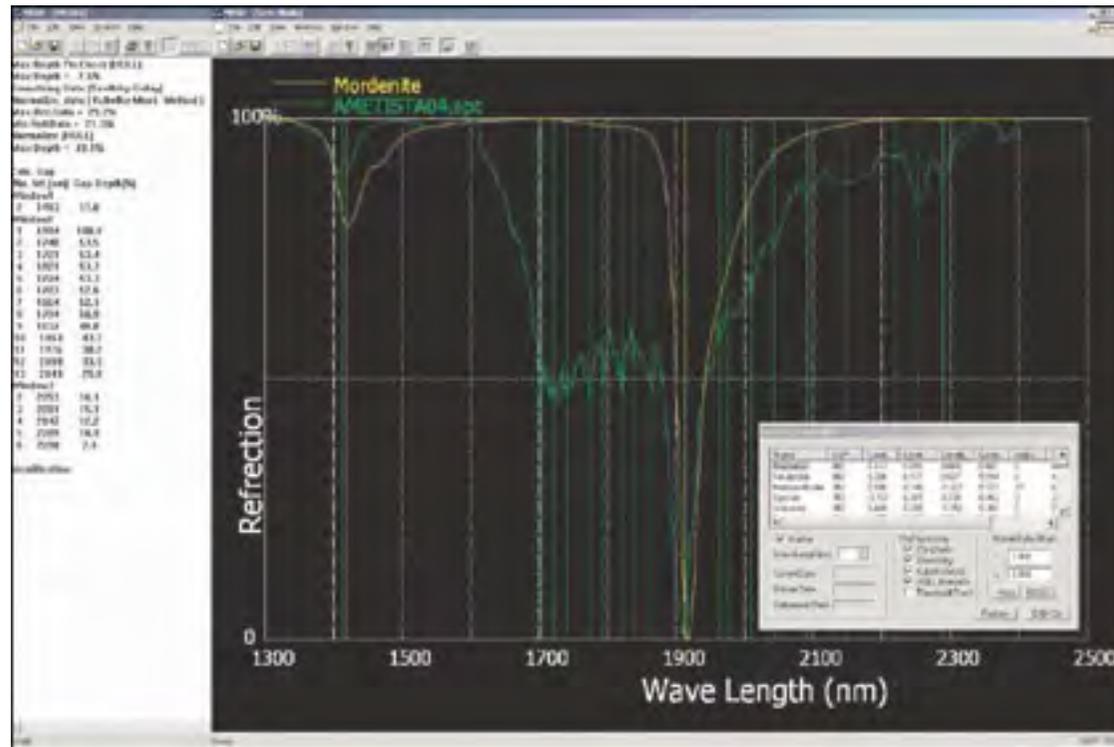


Fig. 2. Curva espectral de rochas do rejeito no DMAS (verde), comparada com curva da biblioteca espectral (amarelo). Amostra R2, com mordenita e heulandita (grupo da zeolita), montmorilonita (argilo-mineral) e gipsita (sulfato).

As análises de fertilidade confirmam o potencial dos descartes de mineração do DMAS (amostras RS1, RS2 e RS3) para uso agrícola, quando se compara tais amostras com outras rochas que já foram objeto de experimentos agrícolas, tais como os tufo vulcânicos da Formação Mata da Corda (MG) e os basaltos RS, SC e PR (Fig. 3). Nesta figura é possível visualizar as diferenças de pronta disponibilidade dos nutrientes segundo a extração por ácido cítrico ou por água régia. As quantidades de fósforo disponível são mais significativas quando o extrator é o ácido cítrico e as quantidades de cálcio e magnésio são maiores com a extração por água régia. Isto sugere que um dos mecanismos para acelerar a liberação do fósforo dos diferentes tipos de rochas, está associado à presença de ácidos orgânicos. Também é possível verificar que os basaltos, de modo geral, são extremamente empobrecidos em potássio, ao contrário das rochas kamafugíticas, da Formação Mata da Corda (MG), que são ultrapotássicas, mas que, também, contêm quantidades apreciáveis de cálcio e magnésio.

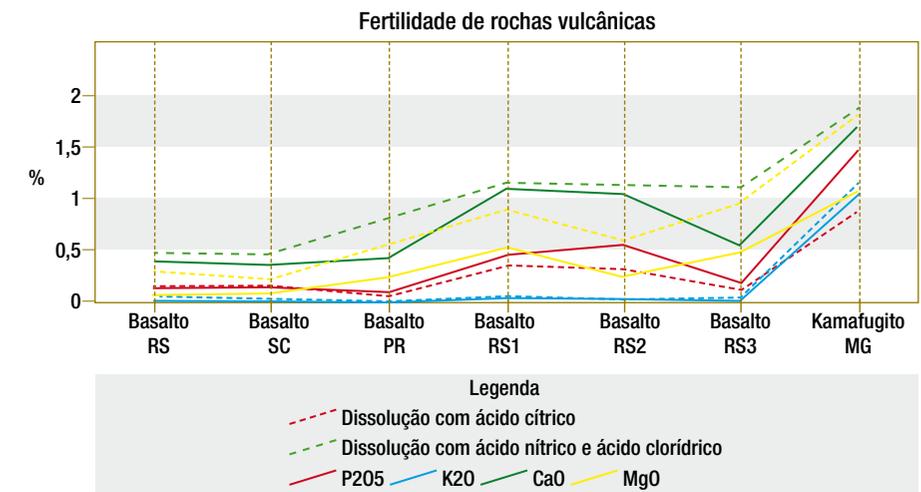


Fig. 3. Mostra a variação da disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio em rochas basálticas de diferentes regiões da Formação Serra Geral e dos tufo vulcânicos (kamafugitos) da Formação Mata da Corda

Outro aspecto interessante revelado pelo gráfico é que os outros basaltos analisados e que não sofreram qualquer tipo de alteração posterior (hidrotermalismo) apresentam quantidades de macronutrientes inferiores a 0,5%. Apesar desta relativa carência, os experimentos conduzidos por Almeida (2006), utilizando os basaltos SC e PR e Theodoro et. al (2006) que utilizou os basaltos RS, têm mostrado resultados surpreendentes em termos de produtividade e alteração no perfil estrutural dos solos.

As análises realizadas nos solos que receberam o basalto RS mostram que houve um acréscimo superior a 2 graus de magnitude após a primeira safra. Os resultados em termos de alteração dos níveis de fertilidade perduraram até o quinto ano consecutivo de produção. Em ambos os casos ocorreu uma mistura com material orgânico. Tais resultados ressaltam ainda mais o grande potencial dos rejeitos gerados pela operação garimpeira no DMAS.

## 6. Conclusões e recomendações

O conjunto das diferentes abordagens analíticas de amostras dos rejeitos oriundos da exploração de gemas no DMAS evidenciou um apreciável potencial para remineralização de solos. A presença de apatita, confirmada pelas análises petrográficas, fornece indicadores confiáveis sobre a ocorrência de fósforo, que é um dos principais nutrientes absorvidos para facilitar o desenvolvimento das plantas. Enquanto isto, a disponibilidade deste elemento é sugerida pelo desempenho dos testes expeditos em blocos de rocha com diferentes graus de intemperismo. Aliado às características químicas, o fato de que tais materiais já se encontram desagregados em blocos e seixos os torna mais atrativos para uso como fonte de insumos agrícolas.

Tal desempenho pode favorecer, além do uso agrícola, a recuperação de áreas degradadas próximo das atividades de garimpo. Apesar desta grande potencialidade, é necessário fazer novas investigações para verificar se ocorre algum tipo de contaminação ao longo do processo de extração antes de se iniciar os experimentos de campo. Ainda torna-se fundamental que a qualquer experimento utilizando os rejeitos do DMAS seja acrescentada uma fonte adicional de potássio. A situação privilegiada do DMAS, inserido em região de agricultura intensiva, o torna um potencial fornecedor de insumos agrícolas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng. Minas Anderson Oliveira da Silva da AND - Assessoria e Consultoria em Mineração, assessor da COOGAMAI) pelas informações sobre lavras e pilhas de rejeito, e à petrógrafa Andréa Sander, da CPRM, pelas observações e orientação na descrição de lâminas petrográficas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. DE, SILVA, F. JR P. & Ralisch Powdered rock to revitalise soils. *LEISA Magazine*, vol. 22 - Issue 4 - Ecological processes at work. 2006.

BERNARDI ACC; WERNECK CG; HAIM PG; BOTREL N; OIANO NETO J; MONTE MBM; VERRUMA-BERNARDI, MR. Produção e qualidade de frutos de tomateiro cultivado em substrato com zeolita. *Horticultura Brasileira* 25: 306-311. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v25n2/34.pdf>. 2007.

CETEM - Centro Tecnológico de Mineral. Zeolita, o novo fertilizante desenvolvido pela Embrapa. Acessado em 29.07.2008, disponível em: FONTE: <http://www.cetem.gov.br/>

DUARTE, L.C. *Evolução geológica, geoquímica e isotópica das mineralizações de geodos com ametista, Artigas, República Oriental do Uruguai*. Tese de Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.

HARTMANN, L. A. *Geodos com ametistas formados por água quente no tempo dos dinossauros*. Amethyst geodes formed from hot water in dinosaur times.. 1. ed. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, v. 1. 57 p. 2008.

PAIVA P.R.P., Monte M.B.M., Falcão G.F, Diaz M.P., Morante F.E. Caracterização tecnológica das zeolitas naturais da costa equatorial e sua aplicação como adsorvente de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . XXI ENTMME, Natal, RN 20 a 24 de novembro de 2005. Anais Volume 2: 482 - 489. Disponível: <http://www.cetem.gov.br/series.htm>

QUARANTOTTI, G.; VANACKER, J. C. Methode rapide semi-quantitative de dosage du phosphate dans les roches. Amelioration du test u phosphomolibdate. Service de sedimentologie, résultats d' études 3p, Bureau de Recherches Geologiques et Minières, Orleans France. 1975.

THEODORO, S.H., LEONARDO, O.H., ROCHA, E. L & REGO, K.G. *Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes*. Revista Espaço & Geografia, V.9, No 2, 263:292 ISSN: 1516-9375 [http://www.unb.br/ih/novo\\_portal/portal\\_gea/lsie/revista/arquivos/volume\\_9\\_numero\\_2\\_2006/E-G\\_2006\\_v9n2\\_263-292\\_Theodoro\\_et\\_al.pdf](http://www.unb.br/ih/novo_portal/portal_gea/lsie/revista/arquivos/volume_9_numero_2_2006/E-G_2006_v9n2_263-292_Theodoro_et_al.pdf). 2006.

THEODORO, S.H & LEONARDOS, O.H Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. Anais da Acad. Bras. de Ciências. Rio de Janeiro/RJ. v.78 no.4 p: 721-730. 2006.

## VIABILIDADE AGRONÔMICA DO USO DO REJEITO DE GARIMPOS DO DISTRITO PEGMATÍTICO DE ARAÇUAÍ, MG

Marcus Manoel Fernandes<sup>1</sup>, Antônio Carlos Pedrosa Soares<sup>2</sup> & Cristiane Valéria de Oliveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fundação Cetec, marcus.fernandes@cetec.br, <sup>2</sup> IGC-UFMG, pedrosasoares@gmail.com <sup>3</sup> IGC-UFMG, crisval\_oliveira@yahoo.com.br

### 1. Introdução

A região nordeste de Minas Gerais é caracterizada por possuir uma das principais províncias gemológicas do mundo. A grande maioria das gemas é extraída de pegmatitos e seus depósitos aluvionares (Castañeda et al., 2001; Pedrosa-Soares et al., 2001).

Historicamente, o objetivo principal da exploração de pegmatitos tem sido a extração de gemas (turmalinas, água-marinha, morganita, topázio azul e incolor, citrino, minerais de coleção e peças ornamentais) que possuem alto valor de mercado e possibilitam rápido retorno financeiro. Contudo, gemas são minerais acessórios e, por isto, representam pequeno volume nos pegmatitos. Contraditoriamente, desperdiça-se o maior volume do material pegmatítico, rico em minerais industriais (feldspatos, mica e quartzo) que têm importante aplicação na indústria cerâmica e vidreira (Tavares, 2004). Este material é o rejeito da garimpagem de pegmatitos; foco do presente trabalho. As pilhas de rejeito também são fator de degradação ambiental, em decorrência de seu lançamento desordenado e descontrolado, nas encostas e drenagens. Sem dúvida, uma das principais questões que merece abordagem de destaque na garimpagem de pegmatitos é o destino final do rejeito.

Atualmente, as pedreiras sobre corpos pegmatíticos para produção de rochas ornamentais são, também, grandes geradoras de rejeitos pegmatíticos e poluidoras do meio. Na área de estudo, além do garimpo de gemas, uma importante atividade econômica é a agricultura de subsistência. Neste cenário, a possibilidade de utilização do rejeito como adubo é uma das questões relevantes para o desenvolvimento regional. Em caso de sucesso, estaria aportada uma contribuição significativa para melhorar a qualidade de vida dos agricultores da região. Em paralelo, este novo destino do rejeito serviria à diminuição do impacto ambiental.

## 2. Objetivos

- Analisar física, química e mineralogicamente o rejeito, a fim de caracterizá-lo e verificar seu potencial como fertilizante;
- Realizar experimentos de campo e em casa de vegetação, avaliando o comportamento das espécies selecionadas por meio de uma série de parâmetros comumente empregados;
- Avaliar a produtividade das culturas testadas nos experimentos, após a aplicação do rejeito devidamente tratado para servir como fertilizante.

## 3. Material e métodos

**A. O Local** - A área de trabalho situa-se na região nordeste do Estado de Minas Gerais, nos municípios de Araçuaí e Coronel Murta, Médio Jequitinhonha, entre os paralelos 16° e 18° de latitude sul e os meridianos 42°30' e 41°30' de longitude oeste (Fig. 1).



Fig. 1. Localização da área de estudo.

**B. Material Empregado** - Foram coletadas doze amostras em cada uma das três lavras selecionadas (Água Santa, Morro Redondo, Pau Alto I), totalizando-se trinta e seis amostras de rejeito.

**C. Determinações Efetuadas** - Preparação das amostras; Mineralogia macroscópica; Análise de fluorescência de Raios-X; Análise de difração de Raios-X; Fósforo e potássio assimiláveis; Determinação dos micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn) assimiláveis.

**D. Experimento de campo** - Para a instalação do experimento de campo (Araçuaí) foram seguidas as recomendações técnicas da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais – EMATER MG, em suas publicações “Informação Tecnológica” (Ferreira & Resende, 2000 - cultura do milho e Felipe & Resende, 2000 - cultura do feijão).

Estabeleceu-se um delineamento com cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5) e quatro repetições (R1, R2, R3, R4), assim distribuídos: T1 – Adubado com rejeito da Lavra Água Santa;

T2 – Adubado com rejeito da Lavra Morro Redondo; T3 – Adubado com rejeito da Lavra Pau Alto I; T4 – Adubado com NPK (4-14-8); T5 – Controle (sem rejeito ou NPK).

- Determinações efetuadas: Teste de germinação; Análise foliar; Fertilidade do solo; Outras determinações: Número de indivíduos/linha; Número de espigas sadias; Comprimento e peso de dez espigas/tratamento; Peso dos grãos (quatro repetições de cem sementes/tratamento).

**E. Experimento em casa de vegetação** - Os Os trabalhos foram conduzidos na Casa de Vegetação do Setor de Recursos da Terra-SAT / Fundação CETEC (Belo Horizonte). Como um dos objetivos é comparar os resultados dos dois experimentos, torna-se imprescindível que o substrato de ambos os experimentos seja o mesmo. Para tanto, foram colhidas quantidades satisfatórias de solo no mesmo local do experimento de campo, localizado em Araçuaí. Após o desembarque do material, foi realizada sua separação conforme a mesma seqüência de tratamentos adotada no experimento de campo. Adotou-se o delineamento experimental com cinco parcelas (tratamentos), sendo dezesseis indivíduos/tratamento, totalizando-se oitenta indivíduos.

- Determinações efetuadas: Teste de germinação; Área foliar; Análise foliar; Fertilidade do solo; Outras determinações: Altura e diâmetro à altura do solo (DAS); Número de espigas/planta; Peso seco da parte aérea. Em ambos os experimentos, os dados foram tratados estatisticamente de acordo com Zar (1990). Aqueles que não atenderam aos pressupostos da análise de variância de medidas repetidas (ANOVA) e ao teste t ou Tukey (5 %) de comparação *a posteriori*, foram analisados pela estatística não-paramétrica Kruskal-Wallis e teste de comparação *a posteriori*, U ou Mann-Whitney.

## 4. Resultados e discussões

### - Mineralogia Macroscópica

A análise mineralógica macroscópica está em consonância com os resultados apresentados na literatura para a região (Pedrosa-Soares, 1984, 1995; Castañeda, 1997; Tavares, 2004). Geralmente, os principais constituintes do rejeito de pegmatito são feldspato sódico-potássico (microclina perítica), quartzo e muscovita. Como minerais acessórios têm-se a turmalina e a granada entre outros.

**- Fluorescência de Raios-X**

A Fig. 2 mostra a média dos percentuais óxidos dos elementos maiores analisados.

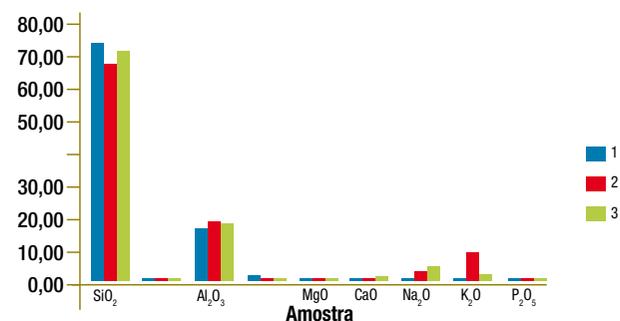


Fig. 2. Teores médios de óxidos maiores das amostras dos rejeitos Pau Alto I (1), Água Santa (2) e Morro Redondo (3), analisados por fluorescência de Raios-X.

Conforme o gráfico mostra, sobressaem-se os teores de silício, seguidos pelos valores de alumínio. Comparando os resultados com os níveis de fertilidade dos solos estabelecidos pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), tem-se: para cálcio, os valores situam-se entre baixos, grande maioria das amostras, e médios; para o magnésio e fósforo, os resultados são baixos em todas as amostras.

Quanto ao potássio, merece destacar os valores mais expressivos nas amostras do rejeito Água Santa. Já as amostras oriundas da Lavra Pau Alto I apresentaram resultados muito baixos. Tal fato também deve ser atribuído ao grande volume de solo presente nas amostras. A maior presença de partículas de solo nas amostras do rejeito Pau Alto I também podem ser responsáveis pelos valores mais expressivos de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>t. O sódio também variou consideravelmente, de baixo nas amostras do rejeito Pau Alto I a alto nas demais amostras.

**- Características Mineralógicas**

Os difratogramas de Raios-X da fração argila, interpretados em lâminas preparadas com glicolação e do fino, colocados em porta amostras, mostram que a mineralogia dos rejeitos pegmatíticos estudados é bastante uniforme.

Os minerais K-feldspato, caulinita, quartzo e albita ocorrem em proporções mais elevadas que os demais constituintes e estão presentes em quase todos os rejeitos. A illita, goethita, hematita, esmectita e mica (muscovita) aparecem em vários difratogramas, porém em menores proporções. Clorita e ilmenita aparecem somente como vestígios.

**- Análises de Macro e Micronutrientes Assimiláveis**

As determinações por espectroscopia de absorção molecular UV/visível (P), fotometria de chama (K) e espectrometria de absorção atômica (Fe, Mn, Cu, Zn) reforçam alguns dos resultados obtidos por fluorescência de Raios-x, apesar de este ensaio avaliar óxidos dos elementos maiores, principalmente em relação ao potássio.

Verifica-se certa homogeneidade no padrão de ocorrência dos elementos nas amostras. Dos elementos analisados, o potássio sobressai muito, apresentando os maiores valores nas amostras do rejeito Água Santa e Morro Redondo, ou seja, todos elevados tendo como valor de referência alto (K > 135,0 ppm).

De acordo com os valores de referência da CFSEMG (1999), o fósforo apresentou comportamento bastante variável. Exceção para as amostras do rejeito Pau Alto I, todas enquadradas como de baixo teor (0,0 a 10,0 ppm). A maioria das amostras do rejeito Água Santa são de teor médio (10,0 a 30,0 ppm). Já grande parte das amostras provenientes do rejeito da Lavra Morro Redondo apresentaram teores altos (> 30,0 ppm).

Quanto aos micronutrientes Fe, Mn, Cu e Zn, tomando-se os valores médios para solos minerais como referência, o ferro apresentou resultados muito abaixo da média considerada para solos minerais. Para o cobre e o zinco, também predominam valores baixos em relação aos índices considerados médios.

**- Experimento de campo**

Quanto à fertilidade do solo da área experimental, não ocorreu diferença significativa após o incremento dos rejeitos das Lavras Água Santa, Morro Redondo e Pau Alto I. A saturação de bases (V) permaneceu acima de 75 % apesar de ligeira queda nos teores de macro e micronutrientes que, provavelmente ocorreu devido à absorção dos elementos pelas plantas durante a condução do experimento.

Na contagem do número de indivíduos por linha de plantio verifica-se um número de indivíduos bem mais elevado para o milho. Tal fato é explicado pela grande perda de plantas de feijão causada pela falta de água.

Em relação ao número de espigas de milho sadias por tratamento, o maior número ocorreu para o tratamento sem rejeito ou NPK (Controle). É muito provável que a série de intempéries que afetou o experimento de campo tenha interferido na produção final. Certamente na distribuição aleatória do experimento, as parcelas com o tratamento 5 (T5-Controle) foram estabelecidas nos locais de maior retenção de umidade.

Na avaliação do comprimento e peso de dez espigas de milho, selecionadas aleatoriamente, aparentemente, não houve diferenças significativas. Tanto para comprimento quanto para peso, os resultados não são significativos, pois os valores de p foram 0,06 e 0,09, respectivamente. Outra determinação realizada foi o peso dos grãos (Fig. 3). Nessa avaliação, os resultados mostraram que ocorreu diferença para T1 x T2, T1 x T3, T1 x T4, T2 x T5, T3 x T5 e T4 x T5.

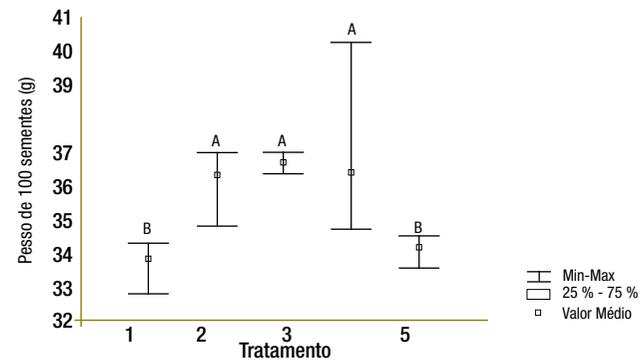


Fig. 3. Comportamento do peso médio de cem sementes de milho. Médias seguidas de letras iguais nos tratamentos não diferem entre si pelo teste U ou Mann-Whitney (5 %). 1-rejeito Água Santa; 2-rejeito Morro Redondo; 3-rejeito Pau Alto I; 4-NPK; 5-Controle.

As diferenças apresentadas pelo peso médio de cem sementes podem ser indicativas de alguma variação entre os tratamentos, pois o tratamento 1 (rejeito Água Santa) diferiu dos demais tratamentos com rejeitos (T2-Morro Redondo e T3-Pau Alto I) e NPK (T4). Porém, não se distinguiu de T5 (Controle). Somente com esta análise, poder-se-ia concluir que os rejeitos Morro Redondo e Pau Alto I são superiores ao rejeito Água Santa.

Quanto à análise foliar, de maneira geral, os elementos determinados apresentaram valores adequados, exceção para enxofre e boro onde algumas amostras resultaram em teores abaixo dos considerados adequados. No caso específico do boro, várias amostras exibiram valores baixos.

O fato dos rejeitos Água Santa e Morro Redondo apresentarem teores elevados de potássio não significa que as plantas irão absorvê-lo. Os minerais muscovita e K-feldspato, ambos silicatos de potássio e constituintes dos rejeitos pegmatíticos, são, de fato, insolúveis considerado o tempo muito restrito dos experimentos. Assim, são necessárias mais pesquisas, pois, a princípio, as plantas não assimilaram o K devido à sua solubilidade.

#### - Experimento em casa de vegetação

No que tange à fertilidade do solo, todas as amostras mostraram uma acidez fraca e teores baixo a médio de cálcio, magnésio e matéria orgânica. Os valores para fósforo são baixos, à exceção da amostra MMd3, com teor médio, provavelmente pela adição de NPK. A saturação de bases (V) é maior que 50 %, ou seja, todas as amostras têm caráter eutrófico. Quanto ao potássio, chama a atenção os altos teores em julho/2006 e janeiro/2007; porém, em outubro/2007, quatro meses depois de colhido

o experimento, os teores passaram a médios. Avaliando o incremento em diâmetro à altura do solo (DAS) (Fig. 4) verificou-se que nas parcelas experimentais com os rejeitos Água Santa, Morro Redondo e Pau Alto I os valores médios do DAS foram inferiores às parcelas com NPK e Controle. Somente com essa análise se poderia concluir que a adição dos rejeitos causa efeito negativo ao desenvolvimento do milho. Entretanto, há outras variáveis que devem ser consideradas; p. ex., luminosidade, umidade etc. e que podem beneficiar mais uma parcela que outra. Assim, outras avaliações tornam-se necessárias.

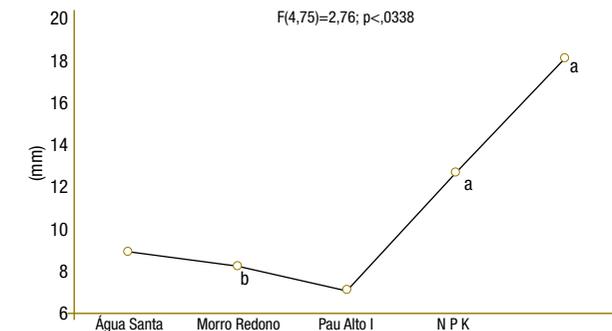


Fig. 4. Comportamento médio do diâmetro à altura do solo (DAS) dos indivíduos de milho entre os tratamentos. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey (5 %).

Para o parâmetro altura, os resultados indicam que somente a parcela adubada com N P K diferiu dos demais tratamentos (Fig. 5). Nesse caso, ao fornecer macronutrientes prontamente assimiláveis, as plantas adubadas apresentaram um incremento em altura superior aos tratamentos com os rejeitos Água Santa, Morro Redondo, Pau Alto I e Controle. Outra possibilidade diz respeito ao consumo de energia, isto é, os indivíduos desses tratamentos deixaram de investir em energia de crescimento para investir em energia das “bonecas” (espigas).

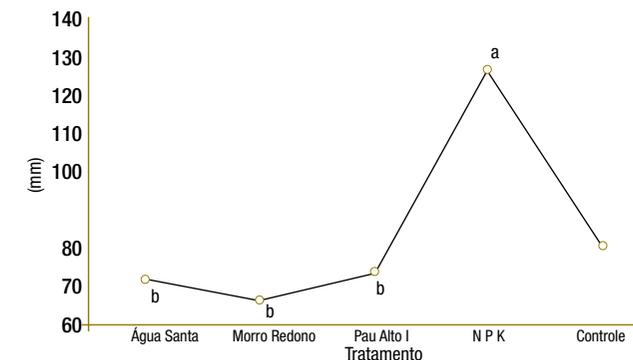


Fig. 5. Comportamento médio de altura dos indivíduos de milho entre os tratamentos. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey (5 %).

Em relação à medida de área foliar, os resultados mostraram que houve diferença para T1 x T4, T1 x T5, T2 x T4, T2 x T5, T3 x T4, T3 x T5 e T4 x T5. Segundo essa avaliação, os tratamentos contendo os rejeitos Água Santa, Morro Redondo e Pau Alto I diferiram dos tratamentos NPK e

Controle, havendo, ainda, diferenças entre NPK e Controle. À semelhança do experimento anterior, também foi realizada avaliação do conteúdo dos elementos macro e micronutrientes nas folhas do milho. De maneira geral, os elementos determinados na análise foliar apresentaram valores entre médios a adequados. Fazendo-se uma comparação com os resultados da análise foliar do experimento de campo, não foram verificados os baixos teores para enxofre e boro. Tal fato pode ser atribuído aos rejeitos terem sido misturados ao substrato (solo) seis meses antes da instalação do experimento e assim, favorecer a disponibilidade destes elementos.

## 5. Conclusões

Os principais constituintes do rejeito de pegmatito são feldspato sódico-potássico, quartzo e muscovita. Como minerais acessórios têm-se a turmalina e a granada entre outros. Os óxidos maiores analisados pela fluorescência de Raios-X indicam os teores de silício, seguidos pelos valores de alumínio como os mais importantes na constituição dos rejeitos. Os resultados para cálcio, magnésio e fósforo foram quase sempre muito baixos.

Verifica-se certa homogeneidade no padrão de ocorrência do fósforo, potássio e micronutrientes nas amostras. O potássio sobressai muito, apresentando os maiores valores nas amostras do rejeito Água Santa e Morro Redondo. O fósforo apresentou comportamento variável. Quanto aos micronutrientes, o ferro apresentou resultados muito abaixo da média considerada para solos minerais. Para o cobre e o zinco também predominam valores baixos em relação aos índices considerados médios. Por meio dos experimentos de campo e em casa de vegetação, a hipótese de uso dos rejeitos pegmatíticos na agricultura não pode ser demonstrada. Pelos resultados, o uso do rejeito dos garimpos Água Santa, Morro Redondo e Pau Alto I não é viável como adubo.

Os pegmatitos (rochas graníticas), cujos minerais originais são constituídos de elementos insolúveis face aos processos de intemperismo em tempo muito curto (meses a anos), não mostraram favoráveis ao emprego na agricultura. Porém, persiste uma questão, pois ao percorrer as áreas de garimpo na região de Araçuaí e Coronel Murta, vêm-se inúmeros plantios de hortaliças, gramíneas e leguminosas, cultivados diretamente sobre os rejeitos pegmatíticos, com produções significativas. Este fato, observado em campo pelo autor e, também, pelo orientador que atua na região há três décadas, poderia indicar que antigas pilhas de rejeito pegmatítico tornam-se progressivamente mais ricas em nutrientes devido ao maior tempo de exposição ao intemperismo.

Todas estas considerações reforçam a necessidade de continuar com a linha de pesquisa “rochas para culturas”, visando encontrar fontes alternativas e economicamente viáveis de fertilizantes (e.g., rejeito de ardósia, pedra-sabão, outros ensaios com os pegmatitos), principalmente voltadas para as populações carentes como ocorre na região do Médio Jequitinhonha.

## Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Capes, pela concessão da bolsa sanduíche e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais-Fapemig, pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTAÑEDA, C. *Caracterização mineralógica de turmalinas do Distrito Pegmatítico de Araçuaí*. Escola de Minas / UFOP, Dissertação de Mestrado. Ouro Preto, 146 p. 1997.
- CASTAÑEDA, C.; ADDAD, J. E.; LICARDO, A. *Gemas de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Soc. Bras. Geologia-MG, 288 p.2001.
- CFSEMG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação/RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; VENEGAS, V. H. A. (ed). Viçosa, 359 p. 1999.*
- FELIPE, M. P. & RESENDE, J. S. *Informação Tecnológica – Cultura do Feijão*, Belo Horizonte: EMATER MG (Bol. Técnico). 2000.
- FERREIRA, L. F. & RESENDE, J. S. *Informação Tecnológica – Cultura do Milho*, Belo Horizonte: EMATER MG (Bol. Técnico). 2000.
- PEDROSA-SOARES, A. C. *Metamorfismo, granitogênese e mineralizações associadas na região de Coronel Murta, NE de Minas Gerais, Brasil*. Departamento de Geociências / UnB, Dissertação de Mestrado. Brasília, 171 p. 1984.
- PEDROSA-SOARES, A. C. *Potencial aurífero do vale do Araçuaí, MG: história e exploração, geologia e controle tectono-metamórfico*. Instituto de Geociências / UnB, Tese de Doutorado. Brasília, 177 p. 1995.
- PEDROSA-SOARES, A. C.; PINTO, C. P.; NETTO, C.; ARAÚJO, M. C.; CASTAÑEDA, C.; ACHTSCHIN, A. B.; BASÍLIO, M. S. A Província Gemológica Oriental do Brasil. In: CASTAÑEDA, C.; ADDAD, J. E.; LICCARDO, A. (org.). *Gemas de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Soc. Bras. Geologia-MG, 288 p. 2001.
- TAVARES, S. T. P., *Estudo de pegmatitos produtores de minerais industriais e gemas, Coronel Murta, MG*. Instituto de Geociências / UFMG, Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, 241 p. 2004.
- ZAR, J. H. *Bioestatistical analysis*. Prentice-Hall, New Jersey. 633 p. 1999.

## POTENCIAL DE APLICAÇÃO DOS SERPENTININJITOS COMO INSUMO NA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Eyler Tavares<sup>1</sup>, Zuleica Castilhos<sup>2</sup>, Adão da Luz<sup>3</sup>, Sílvia França<sup>3</sup>, Ricardo Cesar<sup>3</sup>, Luis Carlos Bertolino<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Graduação de Engenharia Química- UFRJ, <sup>2</sup> e <sup>3</sup> Orientadora do Cetem

### 1. Introdução

Desde a década de 70, com o advento da questão ambiental, autoridades públicas e privadas têm buscado soluções economicamente sustentáveis para o destino final de resíduos sólidos e efluentes. No que se refere à indústria mineral, o interesse em reaproveitar o estéril das minas de amianto decorre do fato desse material possuir minerais que contêm elevados teores de magnésio (Mg). O Mg é um macronutriente secundário, necessário para a formação de um expressivo número de enzimas e para a fotossíntese, uma vez que a clorofila é um complexo de porfirina-magnésio. Os sintomas da falta de Mg aparecem geralmente nas folhas mais velhas, enquanto os frutos produzidos são geralmente menores que os normais (Lima et al., 2009). Além disso, a acidez de solos tropicais está comumente associada a elevadas concentrações de Al e Fe e/ou a baixos teores de Ca e Mg, evidenciando a necessidade de aplicação destes elementos aos solos brasileiros.

Uma preocupação, entretanto, decorrente do uso dessa rocha para agricultura é o fato da mesma apresentar, em sua composição geoquímica, teores consideráveis de cromo (Cr), que podem ser nocivos às plantas, solos e aos consumidores do produto agrícola final. A toxicidade do Cr está atrelada ao seu estado de oxidação, sendo a forma hexavalente cancerígena e, portanto, mais tóxica que a espécie trivalente ( $\text{Cr}_{+3}$ ) (Katz & Salem, 1993). Neste sentido, bioensaios com oligoquetas podem fornecer informações importantes sobre a toxicidade desses elementos no solo, visto que estes organismos facilmente cultivados em laboratório, sensíveis à presença de contaminantes e por desempenharem papel fundamental na cadeia trófica terrestre (Liu et al., 2005 *apud* Cesar et al., 2008). O presente trabalho trata da avaliação preliminar da viabilidade econômica e ambiental do uso de serpentinito, um silicato de Ca e Mg, proveniente do estéril da mina de amianto em Minaçu-Goiás, como insumo na agricultura.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Preparação do Material e Análise Granulométrica

A rocha (serpetintito) utilizada neste trabalho é proveniente dos estéreis das minas de amianto da SAMA, a qual foi enviada ao CETEM, previamente britada. No CETEM, esta foi cominuída a uma granulometria abaixo de 06 malhas. Após essa etapa, o material foi homogeneizado utilizando pilhas cônicas e, em seguida, em pilha longitudinal e quarteado em alíquotas de 1 kg, 2 kg e 3 kg. A análise granulométrica foi executada em um peneirador vibratório a úmido, utilizando 1 kg de amostra, em peneiras da série Tyler. As frações obtidas foram filtradas e secas em estufa a 50 °C.

### 2.2. Caracterização Mineralógica

Esta foi efetuada por Difração de Raios-X. O material moído em moinho de bolas e peneirado a 150 malhas foi analisado utilizando o equipamento Bruker-D4 Endeavor. O difratograma de Raios-X (DRX) da amostra foi obtido pelo método do pó, nas seguintes condições de operação: radiação Co Ka (35 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2 $\theta$  por passo com tempo de contagem de 1 segundo por passo e coletados de 2 a 80° 2 $\theta$ . As fases minerais não detectadas ao DRX foram identificadas por microscopia petrográfica e/ou ataque com ácido clorídrico podendo assim detectar minerais carbonatados.

### 2.3. Caracterização Química

A análise química da amostra foi realizada utilizando a Fluorescência de Raios-X. A amostra foi moída da mesma forma que para DRX e fundida a 1100°C com fundente tetraborato de lítio. A pérola fundida foi analisada em espectrômetro de fluorescência de raios X BRUKER-AXS modelo S4 Explorer, equipado com tubo de Rh. Para obtenção da análise química semi-quantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo software *Spectra plus* v.1.6 no modo *standardless method*, sem curva de calibração específica.

### 2.4. Índice de Trabalho

O ensaio de Índice de Trabalho (WI) foi realizado de acordo com os procedimentos descritos em Barbato & Sampaio (2007). O WI corresponde à energia total, expressa em kWh por tonelada curta (907 kg), necessária para reduzir o minério, desde o tamanho teoricamente infinito até 80 % passante em 106 mm.

### 2.5. Ensaio Gravítico em Mesa oscilatória

Este foi realizado de acordo com Sampaio et al., (2007). Consiste na separação de distintas frações da amostra, com base na diferença de densidade dos grãos. A eficiência do processo foi avaliada pelo balanço de massa e metalúrgico dos produtos. Os testes 1 e 2 diferiram na inclinação.

### 2.6. Ensaio para Extração de Magnésio e Cromo

Para a realização deste experimento, foram utilizados 5 g de amostra (> 65 malhas), que foram agitadas com água deionizada (50 mL), em um agitador Marconi MA-420 e velocidade 300

RPM, durante diferentes tempos de residência: 1, 2, 3, 4, 12, 24, 48, 72 e 96 h. Ao final, a solução extratora foi filtrada e o sobrenadante enviado para a determinação do teor de Mg e Cr total, por Absorção Atômica.

### 2.7. Ensaio Granuloquímico

Este visou determinar a concentração preferencial de Mg e Cr em distintas frações granulométricas, obtidas segundo procedimentos já descritos. As frações obtidas foram enviadas para análise química para-determinação do teor total de Cr e Mg, por Absorção Atômica.

### 2.8. Ensaio de Toxicidade Aguda com Oligoquetas (*Eisenia andrei*)

Para o Teste de toxicidade aguda (15 dias) foi avaliada a letalidade dos oligoquetas expostos aos solos acrescidos de serpentinito, tendo sido realizado de acordo com ASMT (2004), em triplicata, com 200 gramas de solo úmido (45 %) e 10 organismos para cada réplica. O solo artificial, utilizado para o controle e no experimento, é constituído de 70 % de areia, 20 % de caulim e 10 % de casca de coco (ASTM, 2004). Antes de serem introduzidos no solo artificial, os oligoquetas foram deixados sobre papel de filtro umedecido, por 24 horas, para o purgamento do conteúdo intestinal. O critério utilizado para crescer o solo artificial com o serpentinito seguiu a concentração de intervenção agrícola para cromo estabelecida em CETESB (2005), de 150 mg/kg. Dessa forma, os solos foram acrescidos de serpentinito de forma que as concentrações de cromo total correspondessem a cinco (10,12 % - Dose I), dez (20,24 % - Dose II) e quinze vezes (30,36 %- Dose III) aquele teor, criando cenários críticos de toxicidade, para se testar a hipótese de acumulação do contaminante pelas sucessivas aplicações de serpentinito em solo.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Análise Granulométrica e Caracterização Mineralógica

A análise granulométrica da rocha cominuída abaixo de 6 malhas indicou uma maior distribuição em massa (30 %) na fração - 10 + 20 malhas, seguida da fração - 6 + 20 malhas, conforme mostrado na Fig. 1, indicando que mais de 70 % do material estão nestas frações. Os resultados referentes à Difração de Raios-X (Fig. 2) revelaram como fases minerais majoritárias: crisotila, caulinita, gibbsita e olivina. Constatou-se a presença abundante de minerais magnesianos, típico dos serpentinitos, como esperado.

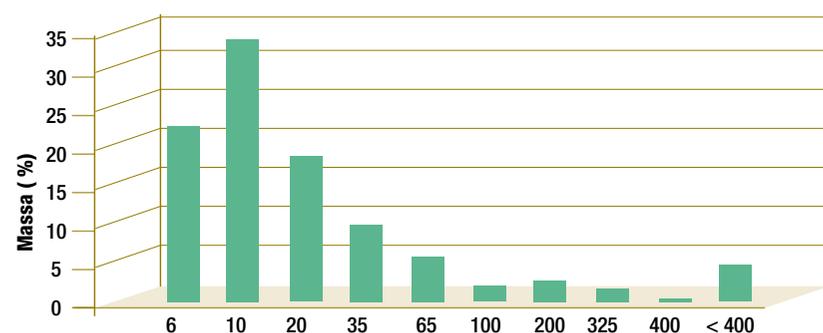


Fig. 1. Distribuição granulométrica da amostra de serpentinito cominuído abaixo de 6malhas.

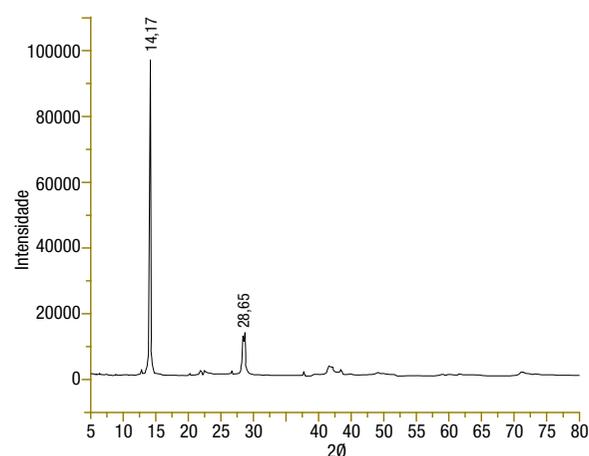


Fig. 2. Difratograma de raios-X da amostra de serpentinito (amostra in natura).

Foi verificada a presença de minerais carbonatados por meio de uma reação com HCl, havendo um borbulhamento provocado pela liberação de dióxido de carbono. Devido à baixa concentração na amostra, não foi possível identificar este mineral carbonatado ao Difratograma de Raios-X. Contudo, a microscopia petrográfica revelou que se tratava de traços de calcita (carbonato de cálcio) (Fig. 3).

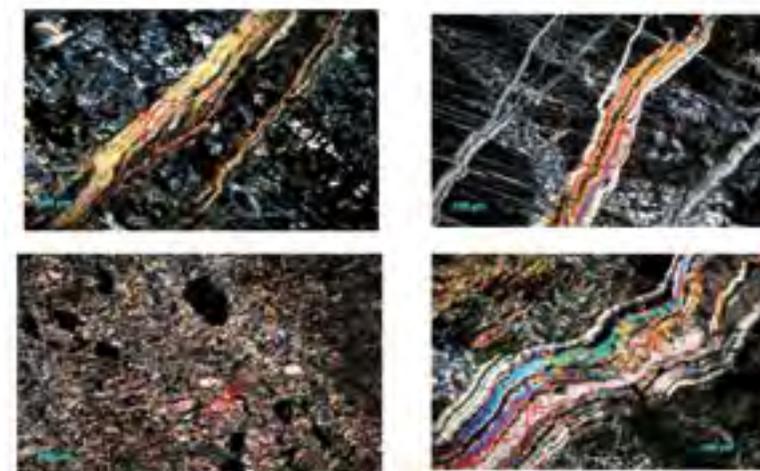


Fig. 3. Imagens do microscópio petrográfico (calcita envolvida em vermelho)

### 3.2. Caracterização Química

A caracterização química (Tabela 1) revelou elevados teores de Mg (mais de 45 % do total) e de Si. No que se refere ao potencial tóxico do uso desse material na agricultura, é importante ressaltar a concentração de 0,54 % de Ni e, sobretudo, do teor de 0,74 % para o Cr, em decorrência da elevada toxicidade associada à espécie hexavalente. Em concordância com a caracterização mineralógica, foram detectados teores de Ca que refletem a presença de minerais de calcita.

Tabela 1. Composição química, expressa em óxidos, para o serpentinito Minaçu

Composição elemental expressão em óxidos	Concentração (%)	Composição elemental expressão em óxidos	Concentração (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,58	MnO	0,13
CaO	0,13	NiO	0,54
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,74	SiO <sub>2</sub>	40,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,34	SO <sub>3</sub>	0,14
MgO	45,70	Perda ao fogo	15,19

A atuação do intemperismo sobre os minerais de cromita, comuns em rocha de serpentinito, sugere a liberação de cromo para o ambiente, ressaltando a necessidade de se avaliar a potencial oxidação e conseqüentes efeitos adversos à saúde de ecossistemas aquáticos e terrestres. Ainda, a crisotila detectada no DRX e a presença de fibras em imagens do Microscópio Eletrônico de Varredura-MEV (Fig. 4) em serpentinito (<200 malhas) apontam para possíveis exposições ambientais e/ou ocupacionais com possíveis danos à saúde humana, sobretudo no que se refere aos efeitos deletérios sobre o sistema respiratório.

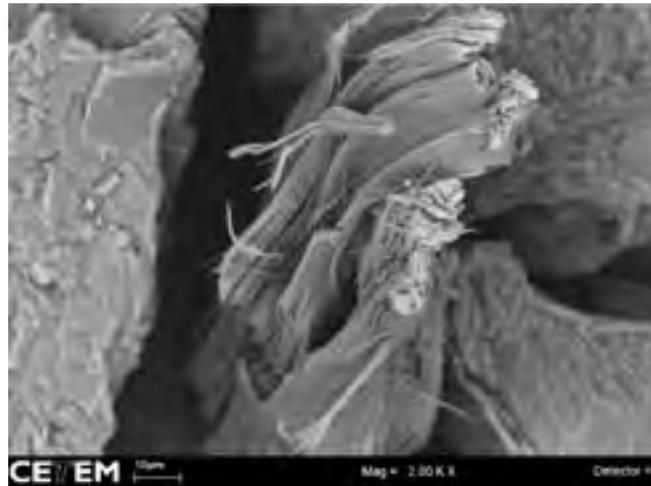


Fig. 4. Imagem de fibra de crisotila em amostra de serpentinito <200malhas (2000x).

**3.3. Ensaio de trabalho**

O experimento revelou que a energia gasta para a moagem foi de 19 KWh/ton. Este resultado será utilizado, futuramente, em avaliação de viabilidade econômica da utilização de serpentinito na agricultura.

**3.4. Ensaio gravítico por mesa oscilatória**

Os resultados mostrados na Tabela 2 demonstram que o método de separação foi eficiente, com o Teste 2 sendo ligeiramente superior, sendo possível obter frações com elevados teores de Mg e baixos teores de Cr (fração mais leve).

Tabela 2. Balanços de massa (Teor) e metalúrgico (Distribuição) para Mg e Cr

	Teste 1					Teste 2				
	Peso (%)	MgO		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Peso (%)	MgO		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		Teor	Dist	Teor	Dist		Teor	Dist	Teor	Dist
Rejeito	12,35	36,97	11,55	2,05	51,48	12,35	30,18	9,68	7,45	78,16
Misto	45,06	39,63	45,2	0,35	32,07	45,06	39,29	45,96	0,41	15,69
Concentrado	42,59	40,12	43,25	0,19	16,45	42,59	40,12	44,36	0,17	16,45
Alimentação	100	45,7	100	0,74	100	100	45,7	100	0,74	100

Do ponto de vista econômico, a obtenção de frações com elevados teores de Mg é extremamente promissora, em virtude da possibilidade da utilização de baixas quantidades do material na agricultura. Sob o viés ambiental, a obtenção de frações com baixas concentrações de Cr é muito importante, devido à potencial toxicidade associada ao Cr<sup>+6</sup>.

**3.5. Ensaio para Extração de Magnésio e Cromo**

Os resultados mostrados na Fig. 5 indicam uma relação positiva entre o tempo de contato com a solução extratora, e o teor de Mg em solução aquosa, sendo que em 72 horas foi atingida uma concentração de 370 mg/L e se manteve praticamente constante em tempos posteriores, o que indica uma concentração alta de magnésio no sobrenadante. Os teores de Cr ficaram abaixo do limite de detecção do método analítico (0,3 mg/L). Estas constatações sugerem uma baixa liberação do Cr para o ambiente, e uma elevada disponibilidade para o Mg em água, realçando o potencial de aplicação do material na agricultura. Em trabalhos futuros serão realizados experimentos com outras soluções extratoras, bem como avaliações toxicológicas destas soluções em solos.

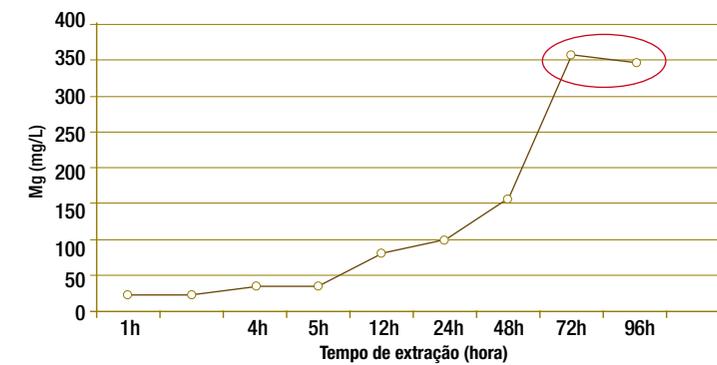


Fig. 5. Influência do tempo na extração aquosa de magnésio a partir de serpentinito (saturação marcada em vermelho)

**3.6. Ensaio Granuloquímico**

A fração mais grosseira, entre 20 e 65 malhas, apresentou maiores teores de Mg em comparação às demais frações. Por outro lado, os teores de Cr total foram preferencialmente maiores para as frações mais finas (entre 100 e 400 malhas) (Fig. 6). Estas constatações sugerem, do ponto de vista econômico e ambiental, que é mais vantajoso trabalhar com as frações mais grosseiras.

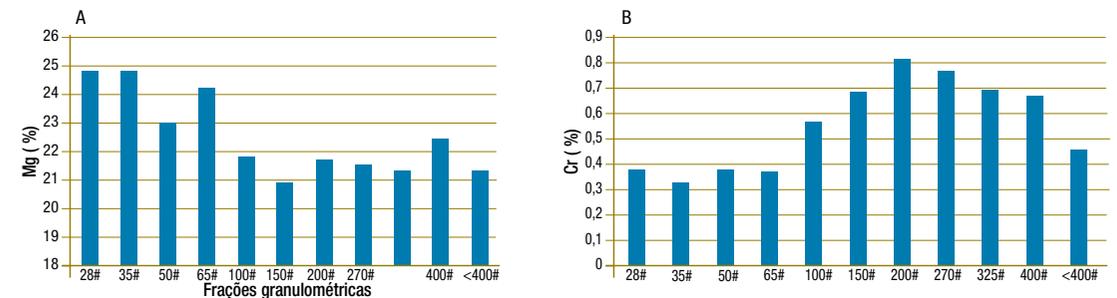


Fig. 6. Teores de Mg (A) e Cr (B) total em distintas frações granulométricas.

**3.7. Ensaio de Toxicidade Aguda com Oligoquetas:** O ensaio demonstrou uma tendência de incremento de letalidade com o crescimento da dose, variando de 60 %, 90 % e 100 % de letalidade, conforme mostrado na Fig. 7, sugerindo uma relação dose-resposta que deverá ser investigada. Quanto avaliação da toxicidade potencial do Cr, é importante destacar que a menor dose utilizada correspondeu a uma concentração de Cr cinco vezes superior à proposta pela CETESB como intervenção agrícola (150 mg/kg) e que nesta dose, o pH do solo atingiu 8,9, extremamente básico. Sugere-se que o pH tenha sido o fator preponderante na mortalidade observada. Estes resultados indicam que outros testes devem ser realizados para investigar a toxicidade do serpentinito, principalmente acrescentando o serpentinito a solo natural e mantendo o pH normal dos solos, como forma de isolar o efeito de exposição ao Cr. Além disso, deve-se avaliar a toxicidade do extrato aquoso de Mg, ressaltando-se que os resultados obtidos com o ensaio de extração (item 3.6) sugerem alta liberação de Mg, indicando a potencialidade do uso deste extrato na agricultura.

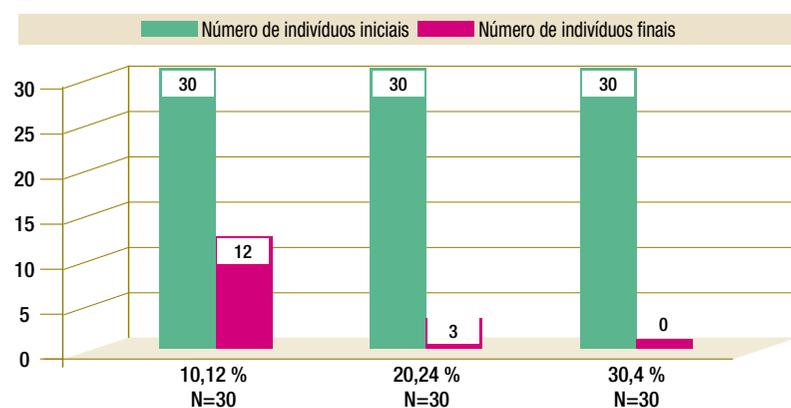


Fig. 7. Mortalidade de oligoquetas expostas, em teste agudo, aos solos acrescidos do serpentinito

#### 4. Conclusões

As principais fases minerais identificadas foram: crisotila, olivina, gibbsita e caulinita. Os resultados sugerem que a fração granulométrica entre 20 e 65 malhas é a mais adequada para o uso do serpentinito na agricultura, uma vez que contém maiores teores de Mg e menores de Cr; corresponde a 30 % da rocha cominuída abaixo de 6malhas, significando baixo gasto energético partindo-se dos estéreis da mina de amianto. No caso de utilização de serpentinito cominuído, como agromineral, aplicado diretamente no solo para correção de pH e/ou enriquecimento em Mg, antes deve ser confirmado se há ou não a presença de fibra de amianto, por ser esta rocha hospedeira natural. Tomando estes cuidados evita-se a liberação não intencional da fibra no solo. Este foi um cuidado deste trabalho e por isso, sugere-se o uso da solução saturada com magnésio na agricultura, pois a extração aquosa de Mg da rocha em 65malhas foi promissora, com cerca de 370 mg/L Mg em 72 horas. Futuros estudos visam avaliar a toxicidade e o uso desta solução aquosa em ensaios em casa de vegetação.

#### Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa concedida; aos colegas do LEMA e do LECOMIN; ao técnico Severino Marques; à técnica Patrícia Araújo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM (American Society for Testing and Materials) Standard Guide for Conducting Laboratory Soil Toxicity or Bioaccumulation Tests with the Lumbricid Earthworm *Eisenia fetida* and the *Enchytraeid* Potworm *Enchytraeus albidus*, 2004.

BARBATO, C.N.; SAMPAIO, J.V. Determinação experimental do índice de trabalho. In: Sampaio JV, França SC, Braga PFA. Tratamento de Minérios – práticas laboratoriais. Ed. CETEM/MCT, cap10, 169-189, 2007.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, 2005.

CESAR, R.G.; EGLER, S.; POLIVANOV, H.; CASTILHOS, Z.; RODRIGUES, A.P.; ARAUJO, P. Biodisponibilidade de metilmercúrio, zinco e cobre em distintas frações granulométricas de solo contaminado utilizando oligoquetas da espécie *Eisenia andrei*. *Anuário do Instituto de Geociências*, 31(2): 33-41, 2008.

KATZ, S.A.; SALEM, H. The toxicology of chromium with respect to its chemical speciation: a review. *J Appl Toxicol* 13: 217-224, 1993.

SAMPAIO, J.A.; ALMEIDA, S.L.M.; SILVA, A.O. Ensaios em mesas oscilatórias. In: Sampaio JV, França SC, Braga PFA. *Tratamento de Minérios – práticas laboratoriais*. Ed. CETEM/MCT, cap 14, 255-268, 2007.

## TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA DE SISTEMAS PRODUTIVOS FAMILIARES NO SUL DO PARANÁ E PLANALTO NORTE CATARINENSE – O RELATO DA EXPERIÊNCIA COM O PÓ DE BASALTO

Edinei de Almeida<sup>1</sup> Fábio Junior Pereira da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo – Bolsista CNPq, <sup>2</sup> Biólogo – Bolsista CNPq DTI / UEL

### 1. Introdução

O pacote tecnológico da revolução verde que foi difundido na região associado principalmente as cadeias produtivas da soja, milho, feijão, batata e fumo, tem inviabilizado economicamente os sistemas produtivos familiares. Este modelo baseado no uso de sementes comerciais, adubos minerais de alta solubilidade (adubos químicos) e agrotóxicos, além de problemas econômicos também criam muitos problemas ambientais e de saúde para os agricultores. Diante deste contexto, 560 famílias de agricultores experimentadores do Sul do Paraná e Planalto Norte Catarinense organizados em associações e grupos comunitários vem buscando alternativas ao sistema convencional. Este trabalho é assessorado pela ASPTA em parceria com várias instituições governamentais e da sociedade civil.

Baseados no uso de pó de basalto, sementes crioulas, adubação verde e adubo da independência os sistemas produtivos em transição agroecológica tem alcançado boas produtividades a um baixo custo, preservando a saúde dos agricultores e o meio ambiente. Os melhores resultados econômicos destes sistemas em transição agroecológico refletem a expressão econômica dos serviços ambientais. No ciclo agrícola 2008 – 2009 os sistemas de produção de milho em transição agroecológica com o uso do pó de basalto

tiveram um custo de produção médio de R\$ 208,32/ha contra R\$ 2013,20/ha dos sistemas convencionais que utilizaram adubos minerais de alta solubilidade e agrotóxicos de forma intensiva (Almeida et al., 2009). Neste ano agrícola de adversidades climáticas a produtividade dos sistemas em transição foram maiores que os sistemas convencionais quando nas mesmas condições de disponibilidade de água. Em anos que a distribuição das chuvas são boas para os sistemas de produção a produtividade dos sistemas convencionais são maiores que os sistemas em transição agroecológica. Entretanto considerando os custos de produção, a receita líquida e a rentabilidade são sempre maiores nos sistemas em transição agroecológica, mesmo não considerando os custos ambientais. Se os custos ambientais fossem considerados esta diferença seria ainda maior. Estas famílias tem alcançado alternativas de geração de renda viabilizando sua permanência no campo e melhorando sua qualidade de vida pela melhora da qualidade dos alimentos consumidos na casa, redução dos custos de produção e pela grande redução ou eliminação do uso de agrotóxicos.

## 2. Objetivo

Construção participativa do conhecimento agroecológico sobre o manejo ecológico de solo baseado no uso do pó de basalto, fosfato natural, adubação verde e sementes crioulas.

## 3. Metodologia

A metodologia utilizada é a desenvolvida pela AS-PTA (Agroecologia e Agricultura Familiar) em 22 anos de atividades de promoção do desenvolvimento agroecológico. Ela implica no estímulo a processos individuais e coletivos de experimentação de práticas agroecológicas selecionadas pelos agricultores participantes para que respondam a problemas produtivos identificados e priorizados por eles mesmos. As experimentações envolvem todas as famílias agricultoras e procuram instrumentalizar os agricultores e agricultoras experimentadores (A/Es) no desenho de sistemas agroecológicos específicos para cada caso. No caso deste projeto o tema gerador foi inicialmente o manejo ecológico de solos com o uso de pó de basalto. O uso de materiais pedagógicos e sistematizações de experiências permitem a divulgação ampla dos resultados deste processo para incentivar outros agricultores a incorporarem-se a esta dinâmica.

Aos técnicos coube apoiar a formação dos A/Es nos princípios da agroecologia e na identificação de práticas a serem avaliadas e testadas pelos A/Es. Agricultores com maior prática nas técnicas agroecológicas assumem um papel de formadores e de facilitadores dos grupos de A/Es e dos intercâmbios entre eles. Neste projeto os intercâmbios são realizados com o objetivo de fortalecer os processos locais. O estímulo à experimentação em grupos tem por base o resgate dos saberes locais e, a partir do olhar coletivo e da agregação de conhecimentos acadêmicos, a apropriação destes conhecimentos pelas famílias que, de forma adequada à sua realidade, reconhecida pela vivência de gerações, passa a incorporar as novas práticas que se comprovam diante do acompanhamento atento do grupo. Trata-se de um exercício de construção onde agricultores e agricultoras, técnicos da extensão e da pesquisa, interagem num equilíbrio dinâmico.

## 4. Resultados e Reflexão

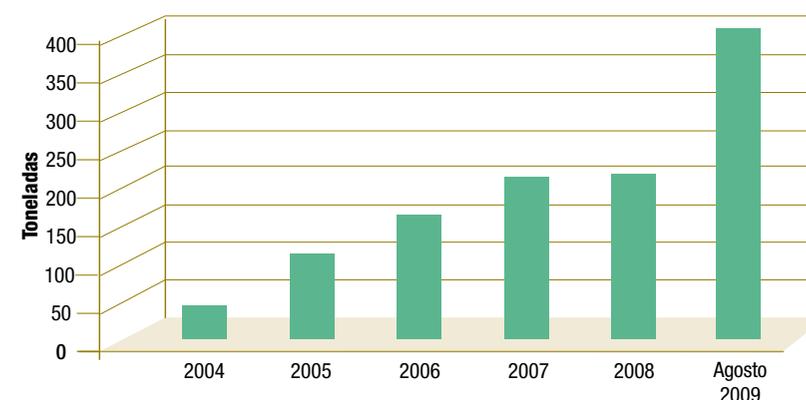
A experimentação participativa utilizando o fosfato natural (Formação Jacupiranga) teve início na região em meados da década de 90. Nesta época os princípios agroecológicos já estavam incorporados no processo de experimentação realizado pelos agricultores na região. O fosfato natural era utilizado associado a adubação verde, ao adubo da independência e as sementes crioulas. A partir de 2004 os grupos de agricultores experimentadores assessorados pela ASPTA começaram a utilizar o pó de basalto nos sistemas de produção. O basalto foi escolhido por seu potencial como remineralizador de solo em função de sua geoquímica e pela sua abundância regional. Neste mesmo período o Prof. Bernardo Knapik e sua equipe da Faculdade de Filosofia e Letras de União da Vitória (FAFI) também desenvolviam um trabalho com o pó de basalto na região. Este grupo desenvolveu um trabalho pioneiro para a construção do primeiro moinho hidráulico para produção de pó de basalto em pequena escala adequado a realidade da agricultura familiar. Em 2005 a integração do trabalho da ASPTA e da FAFI permitiu a ampliação do processo de experimentação com os agricultores e a continuidade do desenvolvimento do moinho. O primeiro moinho elétrico nasceu desta parceria. A partir do conhecimento gerado na construção do primeiro moinho elétrico e com apoio financeiro da Fundação Araucária foi construído o segundo moinho elétrico. Este segundo moinho apresentou um bom desempenho e esta dimensionado para produzir pó de basalto para grupos comunitários de agricultores. Estes moinhos estão instalados na comunidade de Antônio Cândido em Porto União (SC). Com base neste modelo uma pequena metalúrgica familiar, a Knapik, de Porto União (SC) construiu outros dois moinhos para o Sintraf (Sindicato dos Trabalhadores da Agricultura Familiar). O Sintraf iniciou uma experiência pioneira dos próprios agricultores produzirem seu pó de basalto. Atualmente os dois moinhos estão instalados nas comunidades do Salto da Água Verde e Km 13 nos municípios de Canoinhas (SC) e Porto União (SC), respectivamente. Estes moinhos produzem cada um 1000 kg de pó de basalto por dia. A Rede Ecovida de Agroecologia com base nas experiências dos agricultores experimentadores do Planalto Norte Catarinense e outras experiências positivas na Região Sul também esta construindo um trabalho com a utilização do pó de basalto e outros pós de rocha nos sistemas produtivos da agricultura familiar com base nos princípios agroecológicos.

O Movimento dos Trabalhadores Sem Terra da Brigada “Alzemi de Oliveira” de Santa Catarina também participou deste processo de experimentação com bons resultados na utilização do pó de basalto nos sistemas de produção baseado nos princípios agroecológicos nos Assentamentos Mimo e Vale da Conquista em Irineópolis (SC). Com base nestes resultados o MST decidiu construir dois moinhos para fornecer pó de basalto para 500 famílias assentadas nos municípios de Irineópolis, Canoinhas, Bela Vista do Toldo, Rio Negrinho, Rio do Cedro, Araquari, Guaruva, Papanduva, Monte Castelo, Santa Cecília, Mafra, Santa Terezinha e Taio, todos estes municípios em Santa Catarina. Pelo planejamento devem estar funcionando no primeiro semestre de 2010.

Abaixo segue uma Tabela com os municípios, comunidades e instituições parceiras envolvidas no trabalho de experimentação participativa:

Municípios	Comunidades	Instituições Parceiras
Palmeira (PR)	Vileiros, Volta Grande, Pinheiral de Baixo e Água Clara	Sindicato dos Trabalhadores Rurais (Fetraf)
São João do Triunfo (PR)	Canudos, Rio Baio e Guaica dos Pretos	Prefeitura Municipal
São Mateus do Sul (PR)	Aliança Velha, Terra Vermelha, Arroio da Cruz	Sindicato dos Trabalhadores Rurais (Fetraf), Casa Familiar Rural
Paula Freitas (PR)	Reduto Caragatá, Rio das Antas, Rondinha, Macacos e Cachoeira	Movimento Sem Terra, Prefeitura Municipal, FAFI e Emater
Rio Azul (PR)	Invernada, Rio Vinagre	Associação dos Produtores da Invernada, Prefeitura Municipal
Rebouças (PR)	Barro Branco	
Cruz Machado (PR)	Palmital e São Marcos	Prefeitura Municipal, Sindicato dos Trabalhadores Rurais, Coopafi, FAFI e UNIGUAÇU.
Bituruna (PR)	Assentamento Rondon e Santo Antônio do Iratim	Movimento Sem Terra (MST) e UNIGUAÇU.
Porto Vitória (PR)	Espingarda, Colônia Amazonas	Prefeitura Municipal e FAFI.
União da Vitória (PR)	Pinhalão, Guairá, Colônia Amazonas, Britador, Rio Vermelho, Palmital do Meio	Prefeitura Municipal, Emater e FAFI.
Paulo Frontin (PR)	Colônia Santana	Emater, Prefeitura Municipal
Porto União (SC)	Santa Maria, Antônio Candido, Stenghel, Rio dos Pardos, Lança, Pintadinho, Km 8, Km 13, São Pedro do Timbó, Santa Cruz do Timbó, Nova Pátria, Nova Galícia, Pinheiro Seco, São Miguel da Serra, Maratá, Avencal e Legru.	Prefeitura Municipal, Epagri, Sindicato dos Trabalhadores Rurais, Sintraf e UNIGUAÇU.
Irineópolis (SC)	Assentamento Mimo, Assentamento Vale da Conquista, Escada, São José, Rio Branco, Pedra Branca e Santo Antônio	MST, Sintraf, Comsol, Cresol, Epagri (escritório local), Prefeitura Municipal
Bela Vista do Toldo (SC)	Ouro Verde, Serra do Lucindo, Gralha, Rio D'Areia de Cima, Assentamento Pinhalzinho, Tira Fogo, Rio Bonito, Vila Cecília, Lagoa do Sul, Vila Poloniski, Arroio Fundo	Escola "Estanislau Schumann", MST e Epagri (escritório local)
Canoinhas (SC)	Bonetes, Paciência dos Neves, Lageado, Rio D'Areia e Salto D'Água Verde	Sintraf, Comsol, Cresol, Epagri (escritório local), Epagri (Centro de Pesquisa)

Pó de basalto utilizado na Agricultura no Sul do Paraná e Planalto Norte Catarinense



## 5. Conclusões ou Recomendações

A utilização do pó de basalto nos sistemas produtivos da agricultura familiar da região baseados nos princípios agroecológicos tem demonstrado ser uma alternativa viável de recuperação da fertilidade do solo. A construção do conhecimento agroecológico baseado nas experiências dos agricultores experimentadores e nas atividades de formação esta contribuindo para a construção das bases da agroecologia na região. Uma mudança profunda na concepção da fertilidade do solo e do agroecossistema é uma grande qualidade do processo que esta ocorrendo na região e tem permitido que o uso do pó de basalto não tenha caído na lógica da substituição de insumos. A expansão deste trabalho do ponto de vista quantitativo, quantidade de pó de basalto utilizada pela agricultura familiar na região, poderia ter sido muito mais rápido. Entretanto, muitas vezes foram tomadas decisões que fizeram que este crescimento fosse mais lento, mas que o trabalho não perdesse seus princípios e sua qualidade. Este fato fez com que o crescimento ocorresse de forma sólida, sem perder sua essência. Na verdade este é o grande desafio deste momento. Neste ano o crescimento foi muito grande e existe uma falta de profissionais que compreendam os fundamentos deste trabalho e atuem como facilitadores nos processos locais junto com os agricultores experimentadores.

## Agradecimentos

ASPTA, Faculdade de Filosofia e Letras de União da Vitória (FAFI), Fundação Araucária, Universidade do Vale do Iguaçu (UNIGUAÇU), EPAGRI, EMATER, Secretária de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB), Programa Microbacias do Estado de Santa Catarina, as Prefeituras Municipais de São João do Triunfo, Paula Freitas, Rio Azul, Cruz Machado, Porto Vitória e União da Vitória no Paraná e Porto União, Irineópolis e Canoinhas em Santa Catarina.

Ao CNPq (Edital MCT/CNPq/MDA/SAF/MDS/SESAN 36/2007- Agricultura Familiar - Processo 551731/07-0) e (Edital MCT/CNPq/CT-Agronegócio N° 43/2008 – Processo 575067/2008-0), que financiou parte deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E.; PETERSEN, P. & SILVA, F. J. P. Lidando com extremos climáticos: análise comparativa entre lavouras convencionais e em transição ecológica no Planalto Norte de Santa Catarina. *Agriculturas* v. 6, n.1, 2009.

## MECANISMOS PARA DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES MINERAIS A PARTIR DE PROCESSOS BIOLÓGICOS

Suzi Huff Theodoro<sup>1</sup>, Othon H. Leonardos<sup>2</sup> & Edinei de Almeida<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pesquisadora Adjunta senior da FT/ENM [suzitheodoro@unb.br](mailto:suzitheodoro@unb.br)

<sup>2</sup> Pesquisador associado do CDS/UnB [othonleonardos@unb.br](mailto:othonleonardos@unb.br)

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo – Bolsista EXP CNPq / UFPE

### 1. Introdução

Brasil é um país megadiverso. As rochas que recobrem a sua superfície continental apresentam uma ampla variação em termos de gênese, de filiação química e de idade. Apesar de tal variedade de rochas, os solos brasileiros (exceto na região sul e algumas pontas isoladas do país) apresentam índices de fertilidade muito baixos. Este fato decorre de uma série de fatores, entre os quais se destacam: (i) a localização de grandes porções do país em áreas de clima tropical (onde os solos são intensamente lixiviados), (ii) formações geológicas de rochas quartzosas ou aluminosas de origem sedimentar e (iii) solos antigos em regiões de estabilidade tectônica. Assim o tempo de exposição à ação físico-química-biológica acaba por produzir solos quimicamente empobrecidos e, portanto, com baixos níveis de fertilidade. É importante lembrar que os solos derivam de rochas e, portanto, ao se acrescentar rocha moída aos solos está se procedendo o seu rejuvenescimento ou remineralização.

Rochagem é o nome da tecnologia que prevê o uso de rochas ou seus subprodutos no solo como forma de mudar o seu padrão de fertilidade (Leonardos et. al, 1976 e Theodoro, 2000). Fundamenta-se na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produtividade sustentável. Este tripé atende a demanda de um novo paradigma para a agricultura. Para viabilizar a Rochagem como uma tecnologia que atenda a estes fundamentos é necessário conhecer a distribuição geológica das rochas (a descrição petrográfica que acompanha os mapas na escala 1:250.000 da CPRM, é atualmente uma ótima fonte de pesquisa). Além disto, é fundamental conhecer a composição mineralógica e química das rochas passíveis de uso para disponibilizar os nutrientes para os solos e plantas.

Baseados nos estudos de Leonardos, nas últimas duas décadas alguns pesquisadores vêm testando vários tipos de rochas para fins agrícolas (Leonardos, 1976 e 1987; Theodoro e Leonardos 2000, 2006; Barreto, 1994; Almeida, 2006, entre outros). Mais recentemente, e em função da carência e dos altos preços dos fertilizantes, alguns pesquisadores direcionam suas pesquisas para a busca de substituição de determinados nutrientes, especialmente fósforo e potássio, a partir de rochas ricas em tais elementos. A Fig. 1 mostra um mapa com as principais iniciativas e tipos de rochas que vêm sendo utilizadas com a finalidade de prover nutrientes para remineralizar os solos no Brasil. Tais iniciativas partem do pressuposto de que o entendimento e a mensuração do potencial de diferentes tipos de rochas para viabilizar e fortalecer uma nova rota tecnológica (ou um novo modelo de produção) deve ser o grande objetivo dos pesquisadores envolvidos com o tema de fertilização dos solos a partir do uso de pós de rochas. O presente trabalho tem como principal objetivo apresentar os resultados da pesquisa com vários tipos de rochas que são (ou foram) objeto de experimentos agrícolas e mostram resultados positivos no que se refere a aceleração da solubilidade de alguns tipos de rochas o que facilita mudanças na fertilidade dos solos e na produtividade. Em alguns casos os experimentos foram conduzidos de forma empírica, mas na maioria das vezes os resultados atendem os pressupostos agrônômicos.

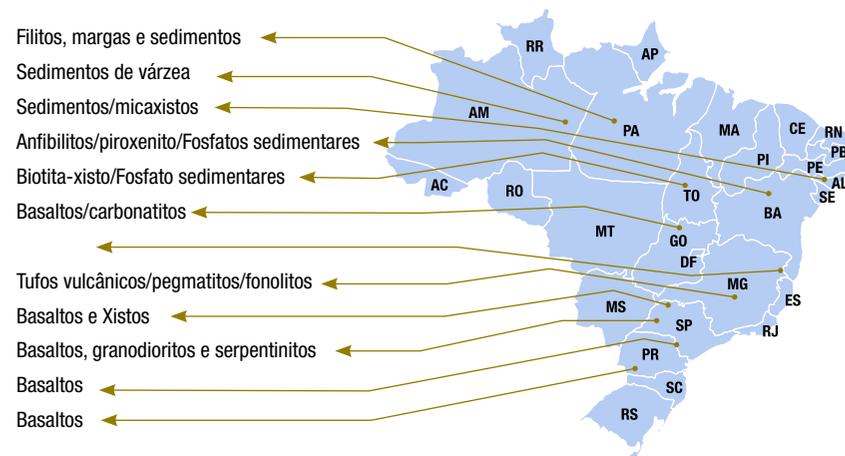


Fig. 1. Mapa das principais iniciativas de pesquisa com rochas moídas no Brasil.

Nos experimentos com pós de rochas conduzidos por Theodoro & Leonardos e por Almeida buscou-se atender aos princípios agroecológicos, que segundo Gliessman (2000) devem unir processos ecológicos com estruturas sociais e econômicas no desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Para Perondi (2004:14) a agroecologia *não significa retrocesso tecnológico, pois este tipo de agricultura não significa um retorno às vidas enclausuradas, oprimidas e penosas das antigas comunidades camponesas, mas sim busca resgatar alguns de seus bons sensores, virtudes, exemplificadas nas dimensões de participação e solidariedade.*

Para Theodoro et. al. 2009, o que a agroecologia propõe, de fato, é o entendimento das adaptações bem sucedidas que foram capazes de permanecer com o passar das gerações e que só agora passam a ser sistematizados. A tecnologia da rochagem adere totalmente a estes princípios, uma vez que representa a base do conhecimento tradicional associada a uma visão mais sistêmica e holística.

## 2. Material e Método

Esta pesquisa procurou sistematizar os dados geoquímicos e de fertilidade obtidos por meio de análises de fertilidade e de química total efetuadas em rochas de várias partes do país. Para uniformizar os dados foram necessários os seguintes procedimentos: (i) coleta de amostras em vários pontos do país; (ii) moagem (200 mesh) e quarteamento das amostras; (iii) diluição usando como extrator o ácido cítrico a 2 % ou uma mistura de ácido nítrico e clorídrico (água régia); (iv) leitura dos resultados em ICP para mediar a disponibilidade dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (B, Zn, Cu, Mn e Fe); (v) elaboração de gráficos comparando os nutrientes disponíveis nas diferentes rochas e segundo cada tipo de extração; (vi) seleção de dois tipos de rochas que passaram pelo processo de “estímulo de dissolução”, para aumentar a oferta de nutrientes de forma mais rápida para as plantas.

## 3. Rochas potencializam a ação biológica

Apesar do grande potencial que as rochas representam para suprir os nutrientes necessários ao pleno desenvolvimento das plantas, uma barreira ainda precisa ser vencida. Trata-se da velocidade de disponibilização (solubilização) dos nutrientes. Alguns mecanismos vêm sendo testados, como por exemplo, o uso de bactérias inoculantes e fixadoras de nitrogênio, o uso de material orgânico compostado com rocha e adubação verde incorporada ao solo junto com os pós de rocha. Os resultados dos testes têm sido muito promissores, no sentido de estimular a liberação dos nutrientes de forma mais rápida para os solos (especialmente para culturas altamente demandantes de nutrientes). Estudos realizados por Arcad e Schneider (2006) confirmam este efeito ao mostrarem o efeito causado por ácidos orgânicos (produzidos pelas plantas e bactérias) em cristais de apatita -  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ . A inoculação de bactérias, micorrizas e outros microorganismos também potencializa a ação de solubilização dos nutrientes em níveis que não comprometem o meio ambiente.

As rochas vulcânicas alcalinas máficas são as mais indicadas para o uso pelas suas características geoquímicas e por possuírem (potencialmente) maiores quantidades de nutrientes, especialmente fósforo, cálcio e magnésio e baixo conteúdo de sílica. Outros tipos de rochas também passíveis de uso como remineralizadores de solos são as rochas metamórficas que tenham sofrido processos hidrotermais com acúmulo de fósforo e cálcio. Alguns tipos de rochas sedimentares também podem ser interessantes, como por exemplo, as rochas fosfáticas. A fosfatagem e a calagem

configuram-se como mecanismos particulares de Rochagem uma vez que fornecem preferencialmente cálcio e fósforo para modificar as condições de fertilidade dos solos (Leonardos 1987).

Como mencionado anteriormente, muitas vezes as rochas precisam ser estimuladas para liberar mais rapidamente os seus nutrientes. A moagem, em diferentes granulometrias, é o primeiro passo para facilitar a disponibilização dos macro e micronutrientes, uma vez que provoca o aumento da superfície de contato e, conseqüentemente, facilita a ação de processos intempéricos (físicos/químicos) e biológicos, aumentando a solubilidade mineral. A liberação dos nutrientes da rede cristalina das minerais ocorre pela ação de ácidos orgânicos produzidos por plantas e microrganismos no solo.

Esta hipótese vem sendo confirmado nos experimentos conduzidos pelos agricultores experimentadores de Santa Catarina e do Paraná, assessorados pela AS-PTA (relatado neste Congresso). Tais experimentos vêm sendo acompanhados e sistematizados por Almeida, Silva e Ralisch (2006). Segundo os autores, neste caso os pós de rocha são empregados pelos agricultores como forma de acelerar os processos de sucessão e dinamização biológica nos solos e, também, como fontes de nutrientes que serão absorvidas por todo um sistema organomineral complexo que facilitará a absorção dos mesmos pelo sistema radicular das plantas que serão cultivadas. Não se trata, portanto, de um sistema de substituição de insumos (adubo químico por pó de rocha), mas de uma mudança de concepção sobre o manejo da fertilidade dos solos.

As rochas que vem sendo utilizadas nos experimentos assessorados pela AS-PTA são os basaltos da Formação Serra Geral, que possuem características geoquímicas muito promissoras. Estas rochas representam o tipo mais comum de rochas vulcânicas. Possuem granulação predominantemente fina e são compostos principalmente por plagioclásio cálcico, piroxênios e em alguns casos, olivinas. Porém, podem ocorrer termos menos máficos compostos também por material vítreo.

No Brasil, os melhores exemplos destas rochas ocorrem nos platôs da Bacia do Paraná, que se estende desde o Rio Grande do Sul até o sul de Goiás e Mato Grosso e que resultou do afastamento dos continentes Africano e Sul-Americano. Pela grande amplitude espacial de ocorrência e diferentes seqüências de derrames (extravasamento) é natural que tais rochas apresentem uma diferenciação química significativa.

Considerando os resultados obtidos pelos agricultores experimentadores e outras iniciativas realizadas em outras regiões e, também a disponibilidade regional destas rochas pode-se supor que o seu uso mais generalizado poderá se converter em uma excelente oportunidade para alterar o panorama de uso de insumos (adubos) com fins agrícolas. Assim, nos últimos cinco anos, os autores vêm realizando um estudo mais detalhado dos índices de fertilidade dos basaltos. A Tabela 1 contém os resultados das análises que mostram a disponibilidade dos principais macronutrientes de rochas basálticas de distintas regiões do país.

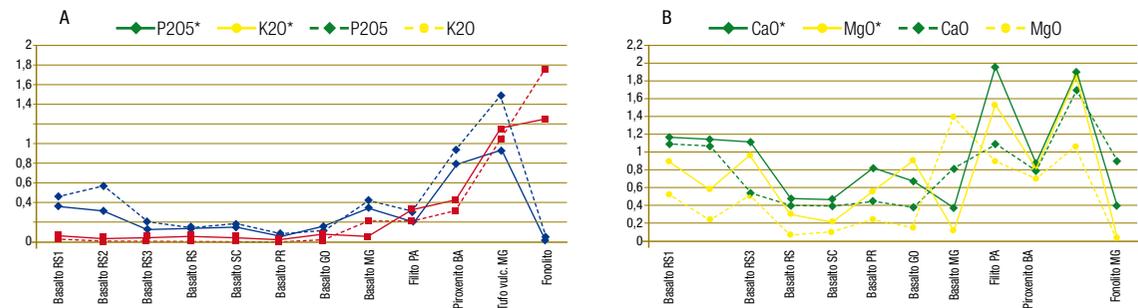
Tabela 1. Disponibilidade de macronutrientes em basaltos e outros tipos de rochas

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	K <sub>2</sub> O*	CaO*	MgO*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Basalto RS1	0,36	0,06	1,16	0,9	0,46	0,03	1,09	0,52
Basalto RS2	0,32	0,03	1,14	0,58	0,57	0,02	1,07	0,25
Basalto RS3	0,13	0,04	1,12	0,97	0,21	0,02	0,54	0,51
Basalto RS	0,14	0,06	0,48	0,3	0,15	0,02	0,41	0,07
Basalto SC	0,16	0,04	0,47	0,22	0,17	0,01	0,39	0,1
Basalto PR	0,06	0,02	0,83	0,56	0,08	0,01	0,45	0,24
Basalto GO	0,15	0,07	0,67	0,91	0,11	0,01	0,38	0,15
Basalto MG	0,35	0,06	0,38	0,12	0,43	0,21	0,81	1,4
Fonolito B	0,03	1,24	0,41	0,02	0,04	1,75	0,91	0,03
Filito PA	0,22	0,32	1,96	1,53	0,31	0,22	1,1	0,9
Piroxenito	0,79	0,43	0,87	0,81	0,94	0,32	0,8	0,7
Tufo vulc. MG	0,93	1,16	1,9	1,85	1,49	1,04	1,7	1,06

\* diluição com Ácido Cítrico a 2 %

Como forma de comparar a variação da composição química de tais rochas e o seu potencial como fonte de nutrientes foram acrescentados na Tabela outros tipos de rochas com comprovada eficácia como remineralizadores de solos.

As Fig. 2a e 2b mostram de forma visual os dados disponíveis na Tabela 1.

Fig. 2. Disponibilidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (A) e CaO e MgO (B) em basaltos e outras rochas.

A partir da Fig. 2a e 2b é possível verificar as diferenças de composição/disponibilidade dos macronutrientes (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO e MgO) obtida em basaltos de diferentes regiões e de outras rochas (piroxenito, filito, kamafugito e fonolito). As variações são significativas entre os diferentes tipos de rochas e os basaltos. No que se refere à disponibilidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, é possível perceber que os basaltos possuem níveis de fertilidade menores que as outras rochas mencionadas, mas ainda assim são interessantes. O fonolito apresenta-se como uma fonte potencial para potássio, mas com os demais macronutrientes pouco significativos. Os basaltos RS1, RS2 e MG possuem níveis intermediários de fertilidade (principais macronutrientes considerados, especialmente cálcio, magnésio e fósforo). Ainda a partir das informações disponíveis na Tabela 2 e Fig. 2a e 2b, é possível verificar que a disponibilidade dos principais macronutrientes é relativamente baixa em quase todas as rochas analisadas, se comparadas aos fertilizantes solúveis. Este fato tem sido

frequentemente apontado como uma barreira ao uso de rochas moídas para suportar as altas produtividades exigidas pelo modelo convencional, que está baseado no uso de fertilizantes químicos solúveis prontamente disponíveis. Porém, conforme mencionado anteriormente, a liberação dos nutrientes pode ser alterada por meio de mecanismos físico-biológicos controlados. Além disto, e mais importante, este mecanismo de liberação mais lenta, porém continuada dos nutrientes, é que torna o uso de rochas moídas mais interessante, uma vez que o efeito de transferência dos nutrientes se prolonga por um tempo maior (até cinco anos, conforme Leonardos 1976 e Theodoro, 2000). Este fato tem dois desdobramentos: (i) diminui os gastos com a aquisição de insumos por períodos maiores e (ii) evita a contaminação do solo e dos recursos hídricos pelo excesso.

#### 4. Agricultores familiares e cientistas: a busca da liberdade de produção

Os experimentos empíricos realizados por agricultores familiares do Paraná e de Santa Catarina – os agricultores experimentadores – confirmam estes desdobramentos. A iniciativa de construção de mistura organo-mineral foi batizada com o nome de “Adubo da Independência”, porque este grupo de agricultores vinha buscando uma estratégia de libertação dos gargalos causados pelas dívidas advindas da aquisição de insumos. Segundo Almeida, Silva e Ralisch (2006) este adubo consiste na mistura de solo (disponível na região); de diferentes tipos de matéria orgânica; rochas moídas; microrganismos encontrados e coletados na matéria orgânica acumulada em áreas de matas preservadas e carboidratos (melaço, mandioca e batata doce), que têm a função de inocular a mistura e facilitar o início do processo de decomposição provocada pela atividade biológica. Os resultados têm sido animadores e difundiu esta alternativa em meio aos agricultores do Paraná e Santa Catarina

Paralelamente às iniciativas conduzidas pelos agricultores experimentadores, outros grupos de agricultores familiares vêm participando de projetos que testam os efeitos de misturas organo-minerais. Trata-se dos agricultores quilombolas (Bahia) e assentados (Minas Gerais). Os resultados destas pesquisas vêm sendo apresentados por Theodoro et. al (2009). Para mensurar as mudanças químicas que ocorrem no solo foram feitos testes controlados, a partir da fórmula utilizada pelos agricultores experimentadores.

No primeiro, realizado junto com os agricultores quilombolas, a rocha utilizada foi composta por piroxenitos calcossilicatadas (comercializados pela Terra Produtiva) e, outra, por fosfato natural (comercializado pelo grupo Galvani). Um segundo experimento foi realizado em Brasília (usando os kamafugitos, da Formação Mata da Corda e o mesmo fosfato do outro teste). As composições químicas destas rochas estão disponíveis na Tabela 2.

Tabela 2. Análises de química total por Fluorescência de Raio-X (XRF)

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO(%)	CaO(%)	K <sub>2</sub> O(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Co(ppm)	V(ppm)	Zn(ppm)
Piroxenito	61,8	13,2	4,8	3,7	6,2	4,5	0,98	17	61	66
Kamafugito*	36,11	6,98	9,92	16,38	11,28	2,13	0,77	150	297	109

Fonte: Theodoro, 2000

Os demais ingredientes foram os mesmos usados na Bahia e no Paraná. A fórmula utilizada está disponível na Tabela 3. Todos os ingredientes foram misturados (em leiras) e compostados por um período de 60 dias. A cada sete dias foi feita uma inversão da parte interna e externa do material. Conforme pode ser observado na Tabela 3 cada ingrediente tem uma função na mistura. Pôde-se verificar que a intensa atividade microbiana que ocorreu ao longo do processo de formação do adubo da independência foi favorecida pelos nutrientes minerais e pela presença de fontes de carbono e de nitrogênio, além do controle da aeração e da umidade. A utilização do pó de rocha e do fosfato natural (com diferentes granulometrias) e a produção de ácidos orgânicos pelos microrganismos favoreceram a liberação dos nutrientes das estruturas cristalinas dos minerais formadores das rochas.

Tabela 3. Ingredientes do Adubo da Liberdade ou da Independência

Ingrediente	Função
Fermento de pão (5 gr) + rapadura (10 gr) + água (1 l)	Inoculante e fonte de carbono *
Solo da região (50 kg)	Estrutura física da compostagem
Mamona (palhada seca) (20 kg)	Fonte de nitrogênio
Esterco (9 kg)	Nitrogênio e microrganismos
Farinha ou farelo de milho (3 kg)	Fonte de carbono
Matéria orgânica oriundas de área preservada (1 kg)	Micro-organismos
Cinza vegetal (1 kg)	Fósforo e potássio
Pó de rocha (5 kg)	Nutrientes minerais
Fosfato natural (1 kg)	Fósforo
Mandioca cozida e/ou batata doce (30 gr)	Fonte de carbono *
Caldo de cana-de-açúcar (1 l)	Fonte de carbono *
Flor do mel (palhada verde) (3 kg)	Fonte de Nitrogênio e fósforo

\* energia prontamente disponível

No experimento realizado em Brasília, foi feito um controle rigoroso das características do solo que serviu como base da mistura. A Tabela 4 mostra os dados do solo antes e depois do processo de “estímulo de liberação” dos nutrientes. A análise de fertilidade das amostras da rocha utilizada (kamafugitos) revelou quantidades apreciáveis de potássio, cálcio e magnésio - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,93 %); K<sub>2</sub>O (1,16 %); CaO (1,9 %) e MgO (1,85 %). O fosfato natural apresentava uma média de 3,7 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Todos os ingredientes mencionados na Tabela 3 foram pesados como forma de se ter um controle das quantidades esperadas de cada nutriente. Ao final de 60 dias o material resultante revelou que o solo apresentava uma diferença estrutural significativa. No que se refere à alteração da oferta de nutrientes, a mudança foi ainda mais impressionante. Os resultados estão disponíveis também na Tabela 4.

Tabela 4. Dados de fertilidade do solo inicial e após 60 dias de compostagem.

	pH	MO	P (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mg/dm <sup>3</sup> )	S(mg/dm <sup>3</sup> )	Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Al(cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )
Solo inicial	4,1	1,5 %	1,3	56	3,1	1,2	0,2	0,9
Solo após 60 dias	7,3	12,9 %	615,7	3864	26	12	6,8	0,0

A partir dos resultados mostrados na Tabela 4 é possível verificar que ocorreu uma liberação expressiva de potássio e fósforo, bem como de cálcio, magnésio e enxofre. Também o pH do solo passou de fortemente ácido para alcalino, o que por si só já favorece a liberação de grande parte dos nutrientes, em especial do fósforo. O aumento na quantidade de enxofre retrata que houve uma intensa atividade orgânica, favorecendo a formação de aminoácidos, importantes para a manutenção dos organismos solubilizadores de fontes minerais. Estes resultados evidenciam que ao contrário do que a maioria dos defensores do modelo agro-químico defende, é possível acelerar a solubilidade dos nutrientes, conforme o manejo utilizado.

Apesar da comprovação de que é possível provocar o aumento da solubilidade dos nutrientes mais rapidamente, é importante mencionar que a liberação mais lenta é um dos grandes trunfos da rochagem, dentro dos parâmetros de sustentabilidade ambiental e de produção. Do ponto de vista ambiental, pode-se afirmar que não haverá contaminação dos solos e dos recursos hídricos pelo excesso de nutrientes solúveis nos solos e não aproveitado pelas plantas. Do ponto de vista de produção, a disponibilização mais lenta dos principais macro e micronutrientes garantirá que a oferta permanecerá por períodos mais longos. É neste sentido que a Rochagem pode ser comparada a um “banco de nutrientes” que é utilizado na medida do necessário. Por tal característica, ela pode ser entendida como um fertilizante inteligente onde não se desperdiça nutriente.

## 5. Conclusão

Este trabalho mostrou que os diferentes tipos de rochas podem suprir de forma adequada a necessidade de nutrientes que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento. Os basaltos configuram-se como uma opção interessante pela presença de macronutrientes e pela ampla distribuição geográfica. Porém, é fundamental para avaliar eficiência de misturas organo-minerais que se compreenda que o estímulo da liberação de nutrientes faz parte de um conjunto de estratégias relacionadas ao manejo da fertilidade dos agroecossistemas. Deve-se ter em mente que esta possibilidade não se configura como uma fonte de nutrientes prontamente disponíveis, que tem o objetivo de substituir os fertilizantes minerais de alta solubilidade.

As práticas e os resultados dos agricultores experimentadores dos estados do Paraná, de Santa Catarina e os quilombolas, da Bahia, mostram que a concepção da fertilidade deve considerar a cultura agrícola e sua biodiversidade associada. Esta possibilidade tem também o objetivo de reintroduzir a biodiversidade microbiana associada às culturas agrícolas nos agroecossistemas e ainda contribuir na solubilização dos nutrientes das rochas. Este princípio que favorece a associação dos conhecimentos e práticas tradicionais com os conhecimentos tecnológicos foi responsável pelo sucesso do experimento realizado em meio aos agricultores experimentadores, quilombolas e assentados.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao MCT/SECIS, financiador do Projeto APACA: Arranjo Produtivo Agroecológico em meio às Comunidades de Afrodescendentes e ao CNPq (Edital MCT/CNPq/MDA/SAF/MDS/SESAN 36/2007- Agricultura Familiar - Processo 551731/07-0), que financiou parte deste trabalho

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E. de, SILVA, F. JR P. & RALISCH Powdered rock to revitalise soils. *LEISA Magazine*, vol. 22 - Issue 4 - Ecological processes at work. 2006.
- ARCAND, M. M. and SCHNEIDER, K. D. Plant- and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* ISSN 0001-3765. www.scielo.br/aabc 78(4): 1-17. 2006.
- BARRETO, S. *A farinha de rocha MB-4 e o solo*, 1998.
- GLIESSMAN, S. *Agroecologia: processo ecológicos em agricultura sustentável*. Porto Alegre: UFRGS, 342p. 2000.
- LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S. AND KROMBERG, B. Rochagem: método de aumento de fertilidades em solos lixiviados e arenosos. *Congr. Bras. Geol. Ouro Preto. Anais. SBG.* p. 137-145. 1976.
- 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*, 60, pp.: 361 – 370. 1987.
- PERONDI, M.A *Agricultura como fronteira entre sociedade e natureza: atributos a multifuncionalidade*. Campinas: Anais do II Encontro Anual da ANPPAS (Associação Nacional de Pós-Graduação em Pesquisa em Ambiente e sociedade, p. 1- 17. 2002.
- THEODORO, S.H. *A Fertilização da Terra pela Terra: Uma Alternativa de Sustentabilidade para o Pequeno Produtor Rural*. Tese de doutoramento. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, 231 p. 2000.
- THEODORO, S.H & LEONARDOS, O.H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais da Acad. Bras. de Ciências*. Rio de Janeiro/RJ. V.78 No.4 p: 715 – 720. 2006.

## EFEITO DA ROCHAGEM NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS DE SOJA SOB MANEJO AGROECOLÓGICO

<sup>1</sup>André Mundstock Xavier de Carvalho; <sup>2</sup>Daniely de Cássia Deliberali & <sup>3</sup>Irene Maria Cardoso

Departamento de Solos – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.  
<sup>1</sup>andre.carvalho@ufv.br, <sup>2</sup>ddeliberali@yahoo.com.br, <sup>3</sup>irene@ufv.br

### 1. Introdução

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 (van STRAATEN, 2006).

O país dispõe de uma grande distribuição e abundância de rochas silicatadas em seu território, e estes materiais podem ser obtidos a baixo custo como subproduto de pedreiras locais (CORONEOS et al., 1996; THEODORO & LEONARDOS, 2006) ou a partir da moagem na própria propriedade (ALMEIDA et al., 2007). Das rochas moídas de uso mais comum na agricultura, destacam-se as calcárias e os fosfatos naturais. Além destas, a utilização de rochas ígneas e metamórficas, comumente ricas em K, Ca, Mg e micronutrientes tem sido relatadas, ainda que timidamente, há várias décadas (LEONARDOS et al., 1987; HINSINGER et al., 1996; GILLMAN et al., 2001; KNAPIK, 2005). Algumas vantagens da utilização dos pós de rochas são a não acidificação ou salinização do solo, a correção do pH, o aumento da CTC, a redução do “consumo de luxo” pelas plantas, a redução da adsorção de fósforo devido a riqueza em silicatos, o efeito residual prolongado e a minimização de perdas por lixiviação (HARLEY & GILKES, 2000; LEONARDOS et al., 2000; HINSINGER et al., 2001).

Por outro lado, dentre suas mais sérias restrições está a lenta solubilização dos minerais presentes nas rochas (HARLEY & GILKES, 2000) e, portanto, lenta liberação dos nutrientes às plantas, havendo necessidade do uso de doses relativamente elevadas e de materiais com granulometria bastante fina, o que pode encarecer sua exploração em larga escala (BOLLAND & BAKER, 2000). Embora estas rochas contenham a maioria dos nutrientes necessários ao crescimento vegetal, existem resultados conflitantes na literatura quanto a sua eficiência em suprir nutrientes e promover o crescimento de plantas (HARLEY & GILKES, 2000). Utilizando rochas graníticas (CORONEOS et al., 1996; HINSINGER et al., 1996) ou rochas basálticas (LEONARDOS et al., 1987; LEONARDOS et al., 2000) obteve-se respostas positivas com a aplicação do pó destas rochas no crescimento vegetal. Em outros estudos, no entanto, nenhum ou reduzido efeito no crescimento de plantas foram observados (BOLLAND & BAKER, 2000; WEERASURIYA et al., 1993), sendo necessário, muitas vezes, doses de pó de rocha extremamente elevadas ou economicamente inviáveis (BOLLAND & BAKER, 2000). No entanto, os resultados negativos estão comumente associados a experimentos de curta duração, solos/substratos estéreis ou com baixa atividade microbiana, clima temperado ou muito frio, quantidade muito pequena de material ou com granulometria muito grosseira (HINSINGER et al., 2001).

## 2. Objetivos

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de uso de pó de rocha basáltica e gnáissica de granulometria fina em um agroecossistema com alta atividade biológica, sobre a produção de matéria seca, o teor e o acúmulo de nutrientes, silício e metais pesados em plantas de soja.

## 3. Metodologia

### 2.1. Localização e condução do experimento

O experimento foi conduzido em campo em um Latossolo Bruno (EMBRAPA, 2006) sob manejo agroecológico no município de União da Vitória – PR, cujas características estão apresentadas na Tabela 1. O pó das rochas foi obtido de resíduos de pedreiras, sendo seco e peneirado. Foi utilizado apenas o material passado pela peneira 0,212 mm e retido na de 0,106 mm de abertura. O pó de basalto é proveniente do município de União da Vitória - PR, e o de Gnaisse do município de Ervália - MG. Os tratamentos constituíram-se da aplicação, em área total, de pó de basalto (5 t ha<sup>-1</sup>), pó de gnaisse (5 t ha<sup>-1</sup>), calcário (4 t ha<sup>-1</sup>) + fertilizante NPK 5-15-20 (200 kg ha<sup>-1</sup>) (controle positivo) e um tratamento controle negativo (sem adubação). O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 4 repetições, sendo destinada uma área de 8,8 m<sup>2</sup> para cada unidade experimental. Foram retiradas, como amostras, as partes aéreas de seis plantas (soja) alguns dias antes do florescimento, aos 88 dias após a semeadura. Os materiais foram secos em estufa à temperatura de 70 °C, pesados e moídos para análise química. O experimento será conduzido com outras culturas até os 30 meses após a aplicação dos tratamentos.

## 2.2. Análises químicas

Os teores de matéria orgânica (M.O.) e carbono da biomassa microbiana no solo foram determinados segundo Mendonça & Matos (2005), enquanto os teores de nutrientes no solo foram determinados segundo Embrapa (1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização física, química e biológica do solo da área experimental.

Areia grossa (%)	6,0	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,6	m (%)	0,0
Areia fina (%)	33,5	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,9	P-rem (mg L <sup>-1</sup> )	29,5
Silte (%)	23,5	Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	Ni (mg dm <sup>-3</sup> )	0,0
Argila (%)	37,0	H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,2	Cd (mg dm <sup>-3</sup> )	0,0
Classe Textural	Franco-Argilosa	SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12,5	Cr (mg dm <sup>-3</sup> )	0,0
pH (H <sub>2</sub> O)	5,5	t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12,5	Pb (mg dm <sup>-3</sup> )	0,6
P (mg dm <sup>-3</sup> )	84,9	T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	18,7	M.O. (dag kg <sup>-1</sup> )	7,3
K (mg dm <sup>-3</sup> )	383,0	V (%)	66,8	C da Biomassa Microbiana (µg g <sup>-1</sup> )	254,5

No material vegetal, para a determinação do teor de N, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e o N quantificado pelo método de Kjeldahl (EMBRAPA, 1999). Para a determinação dos teores de Si, as amostras foram submetidas à digestão com peróxido de hidrogênio e o Si determinado colorimetricamente (KORNDÖRFER et al., 2004). Para a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe, Cu, Cr, Cd, Pb, Ni e As, as amostras foram submetidas à digestão nitroperclórica (EMBRAPA, 1999). Os teores de P foram determinados colorimetricamente pelo método da vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974), os de K foram determinados por fotometria de emissão de chama e os demais foram determinados por espectrofotometria de emissão de plasma (EMBRAPA, 1999).

## 2.3. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias seguidas do teste de Tukey quando necessário. Previamente, utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade dos dados e o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade de variâncias. Os teores e valores acumulados de Cr nas plantas foram transformados (transformação de Box-Cox) para corrigir a não-normalidade encontrada (BOX & COX, 1964).

## 4. Resultados e Reflexão

O teor (Tabela 2) e o acúmulo (Tabela 3) de nutrientes e metais pesados na matéria seca da parte aérea das plantas não diferiram entre os tratamentos, exceto para o teor de P (Fig. 1), que foi menor no tratamento controle negativo, intermediário nos tratamentos com adição de pó de rocha e superior no tratamento com adubação NPK.

Tabela 2. Teores de nutrientes e metais pesados na parte aérea das plantas de soja submetidas à aplicação de pó de basalto, pó de gnaïsse e fertilizante NPK+calcário, aos 88 dias após o plantio. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

	BasaltoControle		Gnaïsse		NPK		
N (dag kg <sup>-1</sup> )	a 3,57	3,55	a	3,52	a	3,61	a
K (dag kg <sup>-1</sup> )	a 3,93	3,96	a	3,95	a	3,68	a
Ca (dag kg <sup>-1</sup> )	a 0,00	0,00	a	0,00	a	0,00	a
Mg (dag kg <sup>-1</sup> )	a 0,00	0,00	a	0,00	a	0,00	a
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	a 39,062	41,060	a	45,249	a	44,623	a
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	a 7,862	9,479	a	8,282	a	8,285	a
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	a 200,047	157,325	a	166,238	a	183,034	a
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	a 22,856	25,369	a	27,196	a	28,231	a
Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	a 0,030	0,004	a	0,018	a	0,003	a
Pb (mg kg <sup>-1</sup> )	a 0,000	0,000	a	0,000	a	0,000	a
Ni (mg kg <sup>-1</sup> )	a 0,000	0,000	a	0,000	a	0,000	a
Cr (mg kg <sup>-1</sup> )	a 1,361	5,183	a	1,627	a	0,830	a
As (mg kg <sup>-1</sup> )	a 0,000	0,000	a	0,000	a	0,000	a

Tabela 3. Massa seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de soja submetidas à aplicação de pó de basalto, pó de gnaïsse e fertilizante NPK+calcário, aos 88 dias após o plantio. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

	BasaltoControle		Gnaïsse		NPK		
Massa seca (kg ha <sup>-1</sup> )	a 6935	6845	a	6080	a	7062	a
N (kg ha <sup>-1</sup> )	a 247,69	241,89	a	214,25	a	255,98	a
K (kg ha <sup>-1</sup> )	a 272,96	271,32	a	239,74	a	259,49	a
Ca (kg ha <sup>-1</sup> )	a 69,93	68,89	a	63,09	a	78,51	a
Mg (kg ha <sup>-1</sup> )	a 28,11	27,66	a	24,79	a	30,16	a
Zn (kg ha <sup>-1</sup> )	a 0,271	0,282	a	0,274	a	0,323	a
Cu (kg ha <sup>-1</sup> )	a 0,054	0,057	a	0,050	a	0,059	a
Fe (kg ha <sup>-1</sup> )	a 1,095	1,086	a	1,016	a	1,329	a
Mn (kg ha <sup>-1</sup> )	a 0,159	0,176	a	0,166	a	0,203	a
Cd (kg ha <sup>-1</sup> )	a 0,000	0,000	a	0,000	a	0,000	a
Pb (kg ha <sup>-1</sup> )	a 0,014	0,269	a	0,000	a	0,000	a
Ni (kg ha <sup>-1</sup> )	a 0,000	0,000	a	0,000	a	0,000	a
Cr (kg ha <sup>-1</sup> )	a 0,009	0,034	a	0,015	a	0,006	a
As (kg ha <sup>-1</sup> )	a 0,000	0,000	a	0,000	a	0,000	a

O maior teor de P nas plantas dos solos adubados com pó de basalto em relação às plantas-controle pode estar ligado à disponibilização de Si por estes materiais. O Si pode ter aumentado a desorção de P ou reduzido a adsorção de fosfatos recém mineralizados de frações orgânicas, visto que esta é uma das principais fontes de P para as plantas (CARVALHO et al., 2001; OWINO-GERROH et al., 2005). As plantas de soja, no entanto, não refletiram esta possível maior disponibilidade de Si no solo em função da aplicação das rochas silicatadas, uma vez que as leguminosas,

comumente, não são acumuladoras de Si (MARSCHNER, 1995), de modo que não houve diferença no teor e acúmulo de Si na parte aérea das mesmas entre os diferentes tratamentos (Fig. 1).

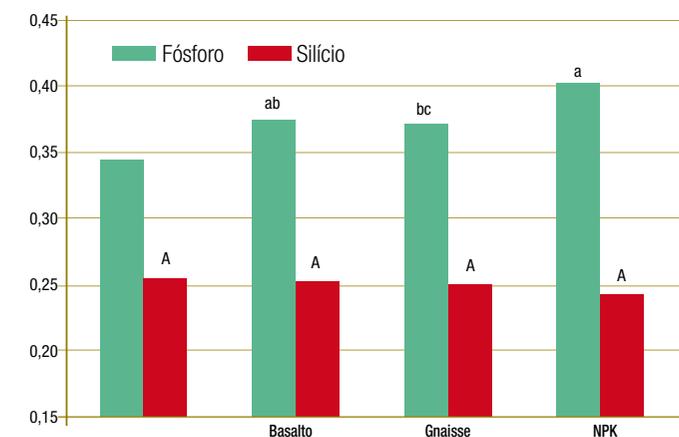


Fig. 1. Teores de fósforo e silício na parte aérea das plantas de soja submetidas à aplicação de pó de basalto, pó de gnaïsse e fertilizante NPK+calcário, aos 88 dias após o plantio. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula (P) ou maiúscula (Si) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Segundo Carvalho et al., (2001), em estudo com mudas de *Eucalyptus grandis*, o conteúdo de fósforo na matéria seca pode ser considerado como um parâmetro eficiente de avaliação indireta da desorção de P por Si. Além disso, estes autores observaram também que a ação do silício na desorção de P foi mais evidente no solo menos intemperizado avaliado, com maior teor de caulinita, como o do presente trabalho, do que no solo mais intemperizado, com maior teor de gibbsita. A produção média de matéria seca da parte aérea das plantas de soja foi de 6730 kg ha<sup>-1</sup>, e também não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 3). Este fato pode ser explicado pela boa fertilidade natural do solo neste primeiro cultivo em que foi conduzido o experimento, pela lenta dissolução dos minerais presentes nas rochas (HARLEY & GILKES, 2000) e pelo curto período compreendido entre a sua aplicação no solo e a colheita das partes aéreas das plantas (HINSINGER et al., 2001). O experimento, no entanto, segue sendo conduzido com culturas sucessivas sem nenhum tipo de adubação. A avaliação futura de características químicas do solo, como pH, P remanescente, matéria orgânica e nutrientes poderá gerar informações sobre o potencial destes materiais na manutenção da fertilidade do solo em médio e longo prazo.

## 5. Conclusões

Dada a lenta solubilização dos nutrientes presentes nas rochas e o curto período decorrido desde a implantação do experimento, espera-se que nas culturas subsequentes o potencial de uso destes materiais na agricultura possa ser mais bem avaliado.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq – Brasil. Agradecemos ao Extensionista da EMATER-PR José Xavier de Carvalho e ao professor Bernardo Knapik (FAFI-PR) pelas contribuições e fornecimento do pó de basalto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E.; SILVA, F.J.P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. *Agriculturas*, v.4, p.7-10, 2007.
- 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.
- BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* v.26, p.211–252, 1964.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, v.21, p.73-85, 1974.
- CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; SANTOS, C.D.; FERNANDES, L.A.; CURI, N.; RODRIGUES, D.C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.557-565, 2001.
- CORONEOS, C.; HINSINGER, E.; GILKES, R.J. Granite powder as a source of potassium for plants: a glasshouse bioassay comparing two pasture species. *Fertilizer Research*, v.45, p.143-152, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de métodos de análise do solo*. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 1ed. Rio de Janeiro, 1999. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/ EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- 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*, v.39, p.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*, v.56, p.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*, v.65, p.137–152, 2001.
- 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 glasshouse experiment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.45, p.69-79, 1996.
- KNAPIK, J.G. Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de *Mimosa scabrella* Benth e *Prunus sellowii* Koehne. 2005. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) UFPR, Curitiba. 2005.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. *Análise de silício no solo, planta e fertilizante*. Boletim Técnico 02, Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU. 50p. 2004.
- 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.
- LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.56, p.3–9, 2000.
- MARSCHNER, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. *Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises*. Viçosa: UFV. 81p. 2005.
- OWINO-GERROH, C.; GASCHO, G.J.; PHATAK, S.C. Pigeonpea Response to Silicon, Phosphorus, and *Rhizobium* Inoculation in an Acid Coastal Plain Soil. *Journal of Plant Nutrition*, v.28, p.797–804, 2005.
- 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.
- van STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.78, p.731-747, 2006.
- WEERASURIYA, T.J.; PUSHPAKUMARA, S.; COORAY, P.I. Acidulated pegmatitic mica: a promising new multi-nutrient mineral fertilizer. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.34, p.67–77, 1993.

## POTENCIAL DE USO DE ZEOLITAS NA AGROPECUÁRIA

Alberto Bernardi<sup>1</sup>; Marisa Monte<sup>2</sup>; Jose Carlos Polidoro<sup>3</sup>; Fernando de Souza-Barros<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Empresa Brasileira de Agropecuária – Sudeste alberto@cnpse.embrapa.br;

<sup>2</sup> Centro de Tecnologia Mineral mmonte@cetem.gov.br

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Agropecuária – Solos polidorojc@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro fbarros@if.ufrj.br

### 1. Introdução

As zeolitas são aluminosilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em rede cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de  $\text{AlO}_4$  e  $\text{SiO}_4$ , de constituição  $\text{TO}_4$  ( $\text{T}=\text{Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co, etc.}$ ), ligados entre si por meio de átomos de oxigênio (Luna e Schuchardt, 2001). Nas zeolitas mais comuns, T na fórmula  $\text{TO}_4$ , representa Si ou o Al. A fórmula química por célula unitária é:  $\text{M}_{x/n} [(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot m \text{H}_2\text{O}$ , em que M é o cátion de valência  $n$ ,  $m$  é o número de moléculas de água e  $x$  e  $y$  são o número de tetraedros da célula unitária. Em consequência especialmente da carga trivalente do alumínio, os tetraedros formados por  $\text{AlO}_4$  induzem cargas negativas na estrutura das zeolitas. Os anéis de  $\text{AlO}_4$  e  $\text{SiO}_4$ , ao se unirem, compõem um sistema de canais, de cavidades e de poros. Esses minerais caracterizam-se pela facilidade de reter e de liberar água além de trocar cátions sem modificar sua estrutura (Kithome et al., 1999).

As zeolitas naturais são formadas com base na precipitação de fluídos contidos nos poros, tal como, nas ocorrências hidrotermais ou pela alteração de vidros vulcânicos. A maioria dos depósitos de zeolita pode ser encontrada em solos alcalinos, diagenéticos, hidrotermais e sedimentos marinhos. No Brasil, os basaltos e os diabásios da Bacia do Paraná são muitas vezes portadores de vários tipos de zeolita (analcima, clinoptilolita, escolecita, mesolita, laumontita, estilbita). As primeiras ocorrências de zeolita no Nordeste foram noticiadas por Bhaskara Rao e Silva (1963), que identificaram chabazita, estilbita e mordenita nas drusas e nas cavidades da zona de contato dos tactitos e dos micaxistos em Currais Novos, RN. Em amostras coletadas nas fraturas do diabásio, no município de Campinas, SP, foram ainda identificadas laumontita e lenhordita (Svisero e Anacleto, 1974). Na Bacia do Parnaíba está provavelmente o principal depósito de zeolita natural do Brasil, com potencial para aproveitamento econômico (Rezende e Angélica, 1991) e a forma predominante é a estilbita.

## 2. Eficiência no uso de nutrientes

Os resultados obtidos em experimentos realizados no Brasil, com concentrado zeolítico (CZ), são um indicativo positivo para combinação do uso de zeolitas e uréia. Bernardi et al., (2007) avaliaram o efeito da mistura de CZ, contendo 55 % de estilbita à uréia na adubação, em cobertura de milho para silagem sobre a produção de matéria seca. Os melhores resultados (14,6 e 16,5 t.ha<sup>-1</sup>) foram obtidos com as doses de 164 e 200 kg.ha<sup>-1</sup> de N em mistura com 25 % (m/m) de arenito natural e CZ, respectivamente (Fig. 1). Esses valores foram 12 e 27 % maiores do que a melhor produção obtida com a testemunha (13 t.ha<sup>-1</sup>), sem adição de CZ.

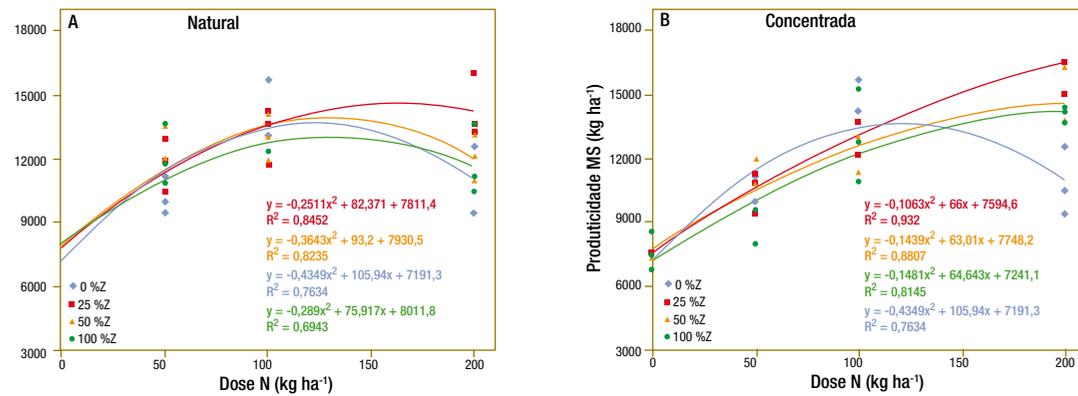


Fig. 1. Produção de matéria seca (MS) de milho colhido para silagem em função de doses de nitrogênio, na forma de uréia, e de proporções de arenito zeolítico: (A) (470 g.kg<sup>-1</sup> de zeolita) e concentrado; (B) (650 g.kg<sup>-1</sup>) (Bernardi et al., 2007).

### 2.1. Arenito zeolítico em misturas com fertilizantes

Werneck et al., (2008) mostraram o aumento da eficiência agrônômica da mistura do arenito com uréia em área de produção comercial de flores de corte em Nova Friburgo, RJ. A mistura (arenito natural+uréia) proporcionou maiores quantidades de hastes de rosas e de N no sistema solo planta, liberando o nutriente lentamente para a solução do solo, em sincronia com as demandas nutricionais da planta. Houve efeito desta composição zeolítica sobre a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização (PNV) totais acumuladas em Colheita 1 e Colheita 2, C1 e C2, respectivamente, independente da dose de N aplicada. Em C1, a menor dose de N proporcionou perdas de 1,46 e 0,81 g.N.m<sup>-2</sup> pela uréia e composição zeolítica (24,3 % e 13,5 % do N aplicado ao solo), respectivamente, observando-se redução de aproximadamente 45 % nas perdas provenientes da mistura zeolítica (Fig. 2a). O efeito da mistura zeolítica ocorreu somente na aplicação da maior dose de N em C2 (Fig. 2b). Quando fornecida a menor dose de N, as PNV totais acumuladas pela uréia e composição zeolítica foram equivalentes e representaram aproximadamente 20 % do N aplicado.

### 2.2. Substratos de CZ enriquecidos

Bernardi et al., (2004a) avaliaram o efeito de substratos enriquecidos com N, P e K sobre a produção e extração de nutrientes pelas culturas de alface, de tomate, de arroz, e de uma

ferrageira \_ capim andropogon\_ (Andropogon gayanus). O tratamento foi realizado para cinco tipos diferentes de substratos enriquecidos: concentrado zeolítico (CZ); CZ + KNO<sub>3</sub>; CZ+KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; CZ+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+ concentrado apatítico e CZ+ KNO<sub>3</sub> + KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> além de um tratamento sem adição de substrato zeolítico, porém, cultivado com solução nutritiva. Os efeitos do tratamento sobre a produção de matéria seca total pelos quatro cultivos sucessivos foram os seguintes: CZ+KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> > CZ+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+ concentrado apatítico> ZC> CZ + KNO<sub>3</sub>> CZ+ KNO<sub>3</sub> + KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (Fig. 3).

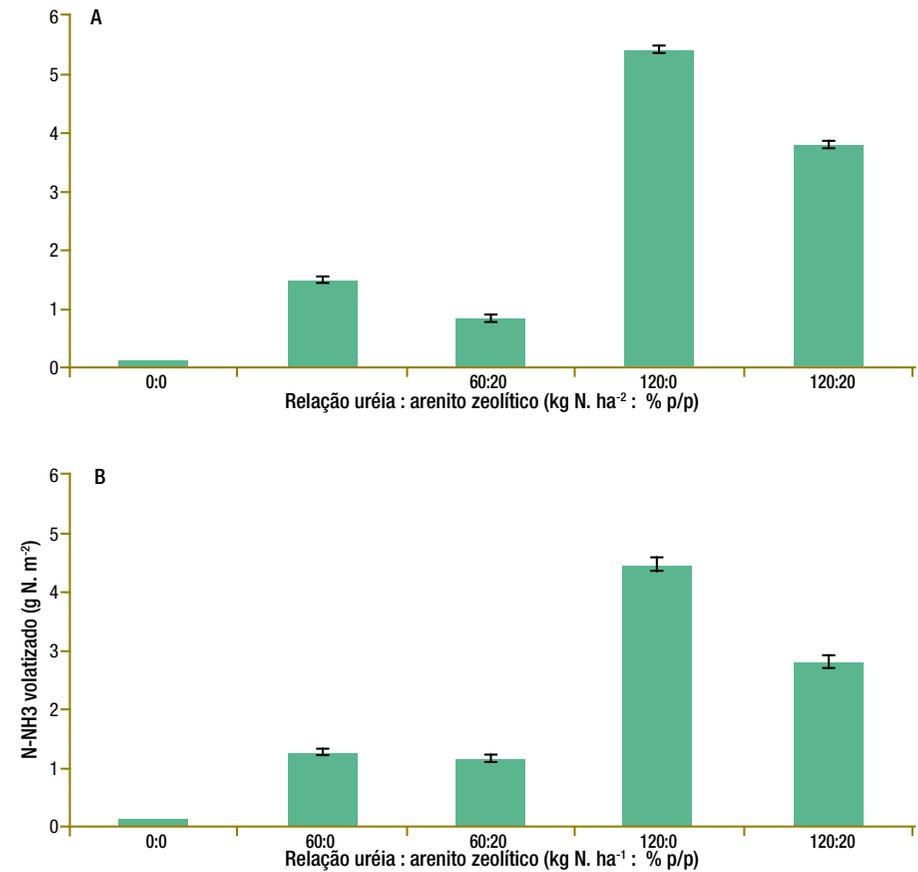


Fig. 2. Total N-NH<sub>3</sub> volatilizado em oito dias consecutivos em função da adubação nitrogenada de cobertura com uréia (60 e 120 kg N. ha<sup>-1</sup>) adicionada ou não de arenito zeolítico (20 % p/p), realizada na cultura da roseira (*Rosa* spp.) em abril/2007 – C1 (A) e junho/2007 – C2 (B) (Werneck et al., 2008).

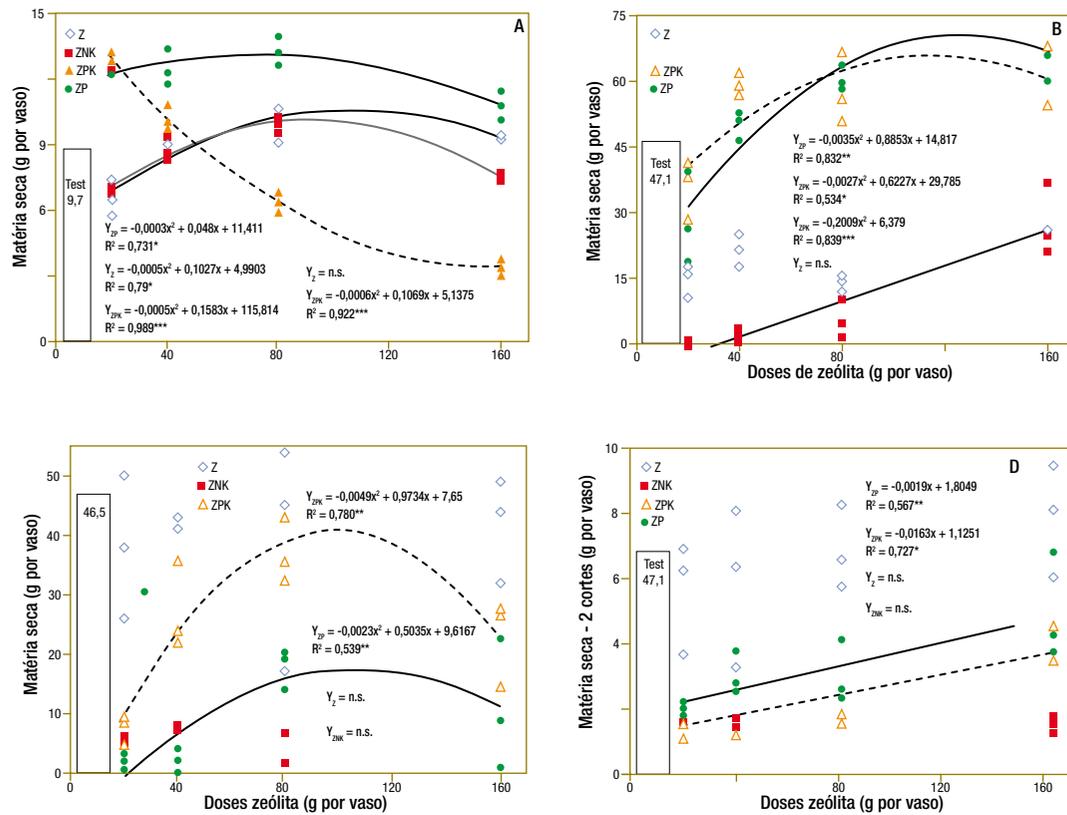


Fig. 3. Produção de matéria seca de alface (A), de tomate (B), de arroz (C) e de capim andropogon (D) cultivados em substrato enriquecidos. A barra indica o valor médio da testemunha Z= concentrado zeolítico (CZ); ZP= CZ+H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>+ concentrado apatítico; ZNK= CZ+ KNO<sub>3</sub> + KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. (adaptado Bernardi et al., 2004a).

O sistema de produção de mudas de citros em ambiente protegido com utilização de CZ enriquecido foi ainda avaliada visando promover crescimento mais intenso e padronizar o processo de formação dos porta-enxertos e das mudas. A adição do CZ enriquecido funciona como um sistema de liberação lenta, controlada e renovável de nutrientes para as plantas. Os resultados indicaram (Fig. 4) que a adição de 6,2g de substrato enriquecido com N, P e K aumentou significativamente as produções de matéria de folhas, de caule e de raízes e de matéria seca total, bem como a altura e o diâmetro do caule.

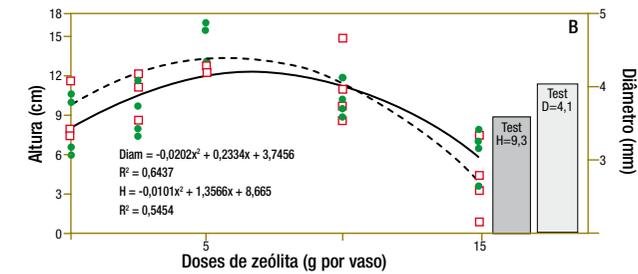


Fig. 4. Produção de matéria seca pela parte aérea, matéria seca total e razão entre parte aérea e raízes (A) e altura diâmetro e caule (B), do porta-enxerto de limão-cravo aos 93 dias de cultivo, em função de doses de concentrado zeolítico enriquecido com N, P e K. As barras indicam os valores médios da testemunha (Bernardi et al., 2008).

### 2.3. CZ como condicionador de solos

A zeolita pode atuar na melhoria da eficiência do uso da água por meio do aumento da capacidade de retenção de água do solo e também do aumento da disponibilidade da água às espécies vegetais. Bernardi et al., (2004b) avaliaram o efeito de doses do concentrado zeolítico sobre a capacidade de retenção de água de um Neossolo Quartzarênico. Os resultados (Fig. 5) indicaram que com o uso do CZ foi possível aumentar a retenção de água do solo em estudo e que essa água estava retida com baixa tensão.

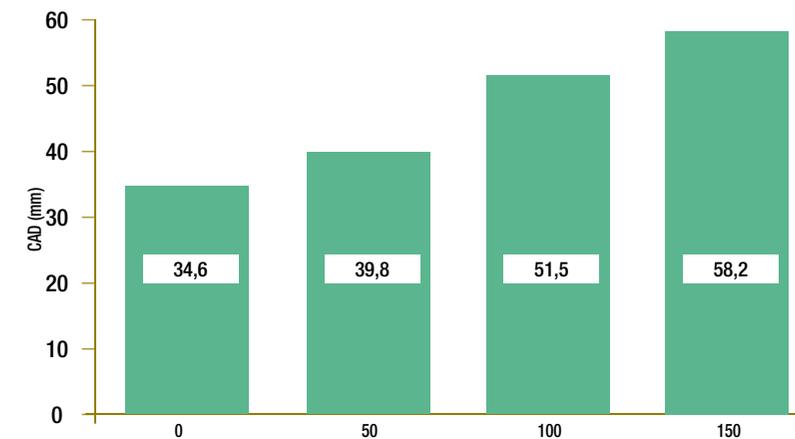


Fig. 5. Capacidade de água disponível (CAD) de um Neossolo Quartzarênico com adição de CZ, calculada para a profundidade de 20 cm, com base nas equações das curvas de retenção de água (Bernardi et al., 2004b).

### 3. Considerações Finais

O tema do desenvolvimento de bases tecnológicas em produção de novos insumos para a agropecuária, seja para condicionamento, correção e adubação de solos, seja para nutrição animal, é estratégico para o agronegócio do País, pois o cenário mundial atual é de aumento do preço de fertilizantes e da forte dependência brasileira da importação desse insumo, o que acarreta aumento de custo de produção das culturas (Daher, 2008). A reunião de resultados tecnicamente vantajosos, como foi feita neste documento, ainda fornece indicativo dos impactos econômicos, sociais e ambientais positivos do uso dessa tecnologia.

Dessa forma, os impactos econômicos poderão ser observados no aumento das possibilidades de negócio pela indústria de fertilizantes e de outros insumos por meio de lançamento de novos produtos. Outro aspecto a ser observado seria a maior eficiência agrônômica dos fertilizantes e dos outros insumos minerais a serem produzidos que poderá levar à diminuição da dependência externa de matérias-primas básicas e intermediárias, e assim, proporcionar aumentos da renda líquida na produção de alimentos, de fibras e de energia, e ainda favorecer a economia de divisas e melhorar a competitividade do agronegócio nacional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; AMORIM, H.S. de; SOUZA-BARROS, F. de; PAIVA, R.P.P.; MONTE, M.B.M. Avaliação agrônômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004a. 25p. (Embrapa Solos. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 57). Disponível em [HTTP://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html](http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html).

BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; MONTE, M.B.M. Disponibilidade de água e produção de arroz em função das doses de concentrado zeolítico. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004b. 4p. (Embrapa Solos. *Circular Técnica*, 24) Disponível em [HTTP://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html](http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html).

BERNARDI, A.C.C.; PAIVA, P.R.P., MONTE, M.B.M. Produção de matéria seca e teores de nitrogênio em milho para silagem adubado com uréia misturada a zeólita. São Carlos : Embrapa Pecuária Sudeste, 2007a. 6p. *Comunicado Técnico* 77.

BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; PAIVA, P.R.P.; MONTE, M.B.M. Crescimento e nutrição mineral do porta-enxerto limoeiro 'cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.30, n.3, p.794-800, 2008.

BHASKARA RAO, A.; SILVA, J.C. Mineralogia de alguns zeolitos do Nordeste. *Arquivos de Geologia*, Recife, n.4, p.33-47, 1963.

DAHER, E. Uma crise de demanda. *DBO Agrotecnologia*, abril/maio, p.27, 2008.

KITHOME, M.; PAUL, J.W.; LAVKULICH, L.M.; BOMKE, A.A. Effect of pH on ammonium adsorption by natural zeolite clinoptilolite. *Communications on Soil Science and Plant Analysis*, v.30, n.9-10, p.1417-1430, 1999.

LUNA, F.J.; SCHUCHARDT, U. Modificação de zeolitas para uso em catálise. *Química Nova*, São Paulo, v.24, n.6, p.885-892, 2001.

REZENDE, N. G. A. M.; ANGÉLICA, R. S. Sedimentary zeolites in Brazil. *Miner Petrog Acta*, 42: 71-82. 1991.

SVISERO, D.P.; ANACLETO, R. Zeólitas e minerais associados da pedreira Brasil. Município de Campinas. *Gemologia*, São Paulo, v.20, n.40, p.13-14, 1974.

## USO AGRÍCOLA DE RESÍDUOS MINERAIS DA SIDERURGIA PARA PRODUÇÃO DE AGROENERGIA: RESULTADOS DA UNESP COM CANA-DE-AÇÚCAR

<sup>1</sup>Renato De Mello Prado & <sup>2</sup>Ivana Machado Fonseca  
Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp  
<sup>1</sup>rmprado@fcav.unesp.br, <sup>2</sup>ivanamfonseca@gmail.com

### 1. Introdução

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo de acidez do solo é o calcário. Todavia, a utilização de resíduos siderúrgicos com a mesma finalidade tem mostrado ser uma alternativa viável, destacando-se a escória de siderurgia, que apresenta como componentes neutralizantes os silicatos de cálcio e de magnésio. Tendo em vista o volume de resíduos produzidos pelas indústrias siderúrgicas, a agricultura poderá ser destino viável, pois é conhecido que os solos tropicais apresentam reação ácida e baixa fertilidade. O uso da escória de siderurgia pode ser interessante para a cana-de-açúcar, por se tratar de uma cultura importante na região Sudeste do Brasil, onde concentra grande parte das indústrias siderúrgicas, com reflexos nos custos de transporte destes resíduos para as áreas agrícolas.

A agroindústria sucroalcooleira constitui um dos setores do agronegócio mais importantes para a economia brasileira. O setor movimenta anualmente cerca de 12 bilhões de reais. Considerando somente o Estado de São Paulo, a cadeia de produção (açúcar e álcool) responde por 40 % do emprego rural e 35 % da renda agrícola (CARVALHO, 1999). A área cultivada com a cultura é de 5,8 milhões de hectares, tendo produção estimada de 427 milhões de toneladas de cana para safra 2006/07, gerando cerca de 30 milhões de toneladas de açúcar e 18 bilhões de litros de álcool. O Centro Sul é responsável por 86 % desta produção (AGRIANUAL, 2007).

A literatura internacional tem indicado efeitos positivos da escória de siderurgia na produção e na longevidade do canavial (ANDERSON, 1991; Anderson et al., 1991). No Brasil, foram poucos os trabalhos que avaliaram os efeitos da escória de siderurgia na cultura da cana-de-açúcar (PRADO et al., 2001), sendo alguns resultados obtidos em casa de vegetação (PRADO e FERNANDES, 2000) e outros em campo na fase inicial de crescimento (PRADO e FERNANDES, 2001) e nas primeiras soqueiras (PRADO et al., 2003).

O efeito residual do material corretivo aplicado na instalação do canavial tem sido pouco estudado, mesmo com calcário. As principais razões são a necessidade de experimentação de longa duração, gastos com mão de obra e condução dos ensaios. Esses são alguns aspectos que justificam a quase ausência de experimentação dessa natureza. Além disso, o uso constante de fertilizantes acidificantes, especialmente os nitrogenados, agrava o problema, lembrando que em soqueiras com alta produção as doses de adubos nitrogenados são normalmente elevadas.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a resposta da cultura da cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção em função da aplicação da escória de siderurgia como material corretivo da acidez do solo.

## 2. Material e Métodos

O experimento foi realizado na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, município de Ituverava (SP), em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Análises químicas do solo na camada de 0-20 cm (RAIJ et al., 2001), realizadas antes da instalação do experimento, revelaram os seguintes resultados: matéria orgânica = 24 g d; pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> (1:2,5) = 4,6; P-resina = 5 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,4; Ca = 8,0; Mg = 5,0; H + Al = 38,0 todos trocáveis em mmolc dm<sup>-3</sup> e saturação por bases (V) = 26 %.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4 com quatro repetições. Foram empregadas duas fontes de corretivos da acidez: a escória silicatada de siderurgia e calcário calcítico, e quatro doses equivalentes em  $\text{CaCO}_3$ : 0 – sem correção; 1,23 t ha<sup>-1</sup> de  $\text{CaCO}_3$  (correção para V = 50 %), 2,52 t ha<sup>-1</sup> (correção para V = 75 %) e 3,80 t ha<sup>-1</sup> (correção para V = 100 %). Utilizou-se calcário calcítico (CaO = 372 g kg<sup>-1</sup>, MgO = 27 g kg<sup>-1</sup>, PN = 73,3 %; RE = 87,8 % e PRNT = 64 %) e escória de siderurgia de aciaria, (CaO = 252 g kg<sup>-1</sup>; MgO = 25 g kg<sup>-1</sup>, PN = 51,4 %, RE = 79,4 %, PRNT = 41 %). Nos tratamentos com calcário foi feita a aplicação de micronutrientes (Zn, B e Cu) com o objetivo de equilibrar o teor destes comparado aos da escória de siderurgia. A área experimental era utilizada com pastagem de *Brachiaria decumbens*, na qual realizou-se o preparo do solo. Durante o preparo do solo, realizou-se a aplicação manual da escória de siderurgia e do calcário (em outubro/1997), obedecendo a seguinte sequência: metade da dose foi aplicada a lanço em área total antes da aração e a outra metade foi aplicada a lanço em área total, depois da aração e antes da gradagem pesada, objetivando incorporação na profundidade de 0-20 cm. No dia 2 de janeiro de 1998 realizou-se a adubação básica no sulco de plantio, aplicando-se 1300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 04-14-08 e 196 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de magnésio. No dia

3 de janeiro foi realizada a distribuição das mudas utilizando-se a variedade SP 80-1842, deixando 15 gemas por metro de sulco e a cobertura dos toletes com 8 a 10 cm de terra.

Cada parcela foi constituída por seis linhas espaçadas de 1,30 m com 7,5 m de comprimento, totalizando 58,5 m<sup>2</sup> de área total. A bordadura entre parcelas foi de 2,0 m. A área útil da parcela foi constituída pelas quatro linhas centrais de 7,5 m de comprimento, perfazendo uma área de 39,0 m<sup>2</sup>. A adubação de cobertura da cana-planta e das soqueiras seguiu as indicações de Recomendação para o Estado de São Paulo (SPIRONELLO et al., 1997). A colheita dos colmos da cana-de-açúcar foi realizada na parcela útil, anualmente (mês de janeiro), nos anos de 1998/99, 1999/00, 2000/01, 2001/02 e 2002/03, pelo método de colheita da cana crua. Após a colheita, foram realizadas as amostragens de solo, coletando-se 15 subamostras por parcela, nas entrelinhas da cultura, na camada de 0-20 cm de profundidade nos anos de 1999, 2000, 2001 e 2002. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al., (2001). A resposta da cana-de-açúcar, referente aos atributos químicos do solo e de crescimento da planta de acordo com a calagem foi avaliada por Prado et al., (2001, 2003). De acordo com metodologia de Pimentel-Gomes (1985), foram realizadas as análises de variância individual e conjunta. Para realização da análise de variância conjunta, foram selecionadas as características cujos quadrados médios residuais não diferiram em mais de sete vezes. Os dados foram submetidos também à análise de regressão (P<0,05).

## 3. Resultados e discussão

O calcário e a escória promoveram efeitos semelhantes na saturação por bases do solo (Tabela 1). Para as doses dos corretivos, houve efeito significativo em todas as amostragens estudadas. Houve efeito quadrático das doses dos materiais corretivos na elevação da saturação por bases na camada de 0-20 cm, em todos os ciclos de cultivo da cana-de-açúcar (Fig. 1). Observou-se que a amplitude da reação dos materiais corretivos variou em função das doses.

Notou-se que, mesmo após o quarto ciclo da cana-de-açúcar, apenas a dose de corretivo equivalente a 1,3 t ha<sup>-1</sup> de  $\text{CaCO}_3$ , necessária para elevar saturação por bases a 50, atingiu valor próximo (V=48 %) do objetivo desejado. Assim, verificou-se que as doses utilizadas foram ineficientes, não atingindo o valor de saturação por bases desejada. Apesar de o método da necessidade de calagem, baseado na elevação da saturação por bases do solo, apresentar fundamento científico adequado, têm sido frequentemente relatados na literatura resultados em que os valores de saturação por bases, determinados após a calagem, foram inferiores aos estimados pelo método (OLIVEIRA et al., 1997). Este fato é devido a diversos fatores ligados ao solo, manejo e material corretivo. Um dos aspectos que poderia estar influenciando na velocidade de reação do calcário seriam os índices de reatividade adotados atualmente para o cálculo da mesma, que se apresentam superestimados dentro do prazo estipulado pela legislação brasileira, que é 30 até 90 dias. Natale & Coutinho (1994) observaram que as reatividades das frações granulométricas atribuídas ao calcário pela legislação só foram obtidas cerca de 18 meses após sua aplicação ao solo. Este fato

aplica-se também à escória, pois as taxas de reatividade da escória e calcário foram consideradas semelhantes (Prado et al., 2004).

Tabela 1. Saturação por bases (V %) do solo e valor F em função dos tratamentos ao longo dos cinco ciclos de cultivo da cana-de-açúcar.

Tratamentos	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo
Escória	67	64	59	50
Calcário	69	66	58	49
----- Teste F -----				
Fonte (F)	1,20 <sup>NS</sup>	0,80 <sup>NS</sup>	0,90 <sup>NS</sup>	0,96 <sup>NS</sup>
Dose (D)	73,20**	68,9**	163,64**	165,58**
F x D	1,2 <sup>NS</sup>	1,29 <sup>NS</sup>	0,38 <sup>NS</sup>	0,32 <sup>NS</sup>
CV (%)	6,2	6,3	5,0	5,1

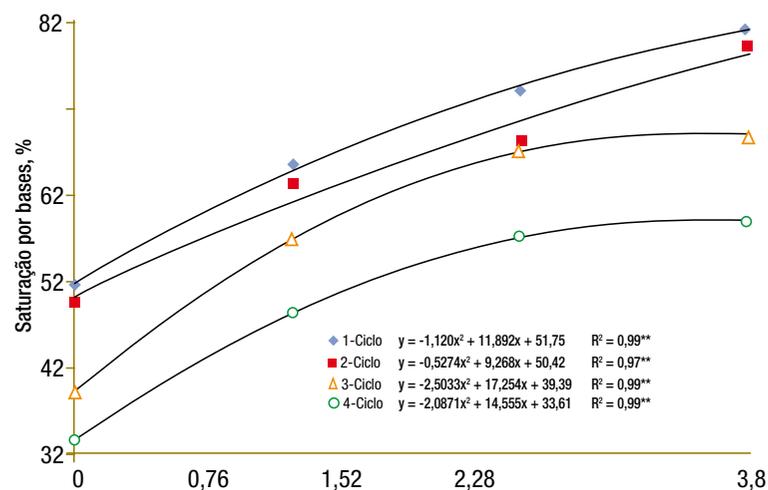


Fig. 1. Efeito da aplicação de materiais corretivos (média do calcário e da escória), na saturação por bases do solo em amostras das entrelinhas da camada de 0-20 cm de profundidade. \*\*:  $P < 0,01$ .

Pela análise conjunta dose x tempo, não houve efeito da interação. A ausência deste efeito sugere que as variações nas propriedades químicas do solo, em função das doses de corretivo utilizado, foram proporcionalmente semelhantes nas diferentes épocas de amostragem. Dessa forma, avaliando os efeitos da aplicação dos materiais corretivos no decorrer do tempo (1999 a 2003), constatou-se maior valor da saturação por bases do solo aos 12 meses após a incorporação dos corretivos; a partir daí, teve início o decréscimo do efeito residual dos corretivos calcário, independentemente da fonte empregada (Fig. 2). Trabalhos de Oliveira et al., (1997), em condições de campo, indicaram que a reação máxima do calcário no solo ocorreu entre 18 e 33 meses após a aplicação. Estas diferenças no tempo de reação do calcário devem-se a diversos fatores, dentre os quais o poder tampão do solo e o grau de homogeneização na incorporação do corretivo.

É pertinente salientar que, no presente experimento, houve diminuição anual de 6 % da saturação por bases na camada superficial do solo, com o tempo de cultivo, nas entrelinhas da cultura da cana-de-açúcar (Fig. 2). Em experimento de campo, Prado et al., (2007) observaram diminuição anual de 5-6 % da saturação por bases na camada superficial do solo ao longo de 40 meses após a aplicação e incorporação do calcário. Este fato deve-se a perdas de bases do solo ao longo do tempo.

A produção de colmos foi afetada significativamente pelas doses dos corretivos em todos os ciclos de cultivo (Tabela 2). Para as fontes e interação fontes x doses, houve efeito significativo apenas para os três últimos ciclos de produção. Para os dois primeiros ciclos da cultura da cana-de-açúcar, a ausência da interação indica que o efeito das doses foi semelhante na produção, independentemente do material corretivo utilizado. Assim, considerando-se as médias dos dois materiais corretivos, as doses promoveram incremento quadrático na produção da cana-de-açúcar, tanto no primeiro ciclo ( $y = -1,8794x^2 + 9,9256x + 89,44$ ,  $R^2 = 0,97$ ,  $P < 0,01$ ), como no segundo ciclo ( $y = -3,3295x^2 + 14,156x + 59,16$ ,  $R^2 = 0,79$ ,  $P < 0,01$ ). Rosseto et al., (2004) avaliaram a resposta da cana-de-açúcar em seis experimentos no Estado de São Paulo e verificaram que houve resposta da calagem na produtividade da cana-de-açúcar apenas em duas situações, quando os solos apresentavam baixa fertilidade e acidez elevada.

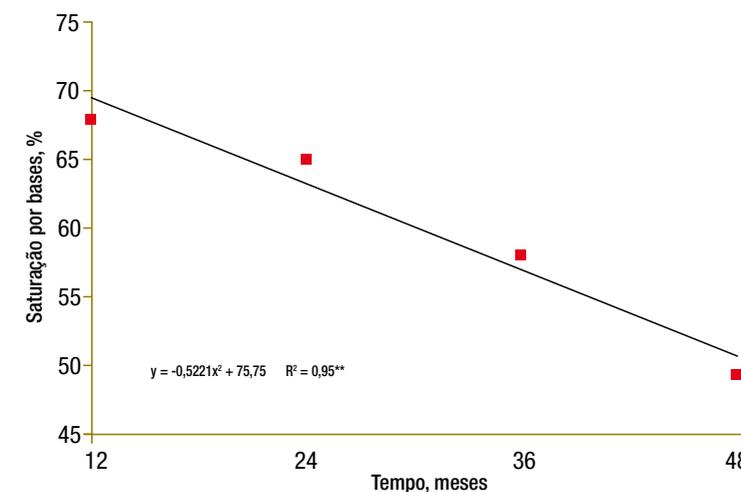


Fig. 2. Efeito do tempo de aplicação dos materiais corretivos na saturação por bases do solo cultivado com cana-de-açúcar, em amostras das entrelinhas da camada de 0-20 cm de profundidade. Os pontos são médias das quatro doses de materiais corretivos e quatro repetições. \*\*: Significativo  $P < 0,01$ .

A escória de siderurgia foi superior ao calcário, quanto à produção de colmos do terceiro até quinto ciclo de produção (Tabela 2). O aumento na produção de colmos foi linear para a escória e quadrática quando se utilizou o calcário calcítico do terceiro ao quinto ciclo de produção (Fig. 3). A maior produção de colmos, em função da aplicação da escória de siderurgia, pode ter recebido contribuição do silício, embora não tenha feito a análise química desse elemento no solo. Entretanto, esta hipótese é reforçada pelo fato de os dois materiais corretivos terem agido de forma semelhante na elevação da saturação por bases (Tabela 1).

Tabela 2. Produção de colmos e valor F em função dos tratamentos ao longo dos cinco ciclos de cultivo da cana-de-açúcar. \*\*: \*; NS: significativo ( $P < 0,01$ ); ( $P < 0,05$ ) e não-significativo ( $P > 0,05$ ), respectivamente.

Tratamentos	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo	4º ciclo	5º ciclo
----- % -----					
Escória	98,03	64,81	63,50	55,88	45,71
Calcário	97,51	68,98	59,75	52,58	43,02
----- Teste F -----					
Fonte (F)	0,05 <sup>NS</sup>	1,48 <sup>NS</sup>	24,61 <sup>**</sup>	24,84 <sup>**</sup>	26,29 <sup>**</sup>
Dose (D)	6,49 <sup>*</sup>	5,21 <sup>*</sup>	209,23 <sup>**</sup>	210,46 <sup>**</sup>	233,95 <sup>**</sup>
F x D	0,54 <sup>NS</sup>	0,31 <sup>NS</sup>	17,03 <sup>**</sup>	17,05 <sup>**</sup>	18,37 <sup>**</sup>
CV (%)	6,6	14	3,5	3,5	3,4

Anderson (1991) observou que os efeitos positivos da escória na produção da cana-de-açúcar foram em parte atribuídos aos silicatos pelo fornecimento do silício contido na escória. Efeito favorável da aplicação do calcário na produção de colmos de cana-de-açúcar, até a dose de 2,52 t CaCO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>, foi também obtido nas pesquisas realizadas por Martins (2000). Entretanto, observou-se efeito depressivo da utilização do calcário na maior dose de corretivo utilizada (equivalente a 3,8 t CaCO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>).

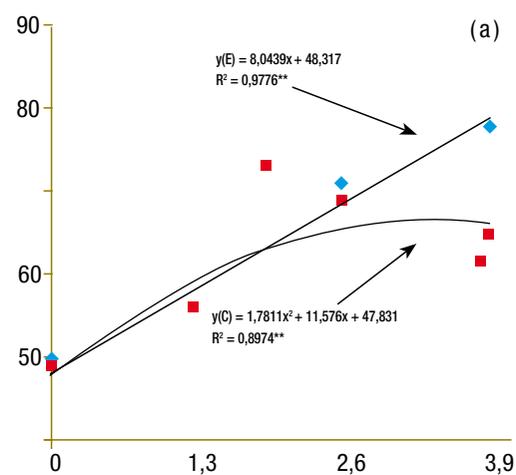


Fig. 3. Efeito das doses de calcário (C) e de escória de siderurgia (E), na produção de colmos da cultura da cana, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar. \*\* Significativo  $P < 0,01$ .

O efeito residual da escória de siderurgia no aumento da produção da cana-de-açúcar foi mais importante nas soqueiras, quando comparada com a cana-planta, tendo em vista que não houve diferença entre os dois materiais na cana-planta e na primeira soqueira. Este fato poderá beneficiar as soqueiras, diminuindo a intensidade da queda de produção ao longo dos cortes do ciclo da cultura. Anderson et al., (1991) observaram, para média dos primeiros três ciclos, reduções de 45 % e 28 % na produção de colmos da soqueira nas parcelas sem e com a aplicação da escória de siderurgia, respectivamente.

Houve incremento, com ajuste linear, na produção acumulada de colmos da cana-de-açúcar (safras 1998-2003), em função da saturação por bases na camada superficial do solo, na entrelinha da cultura, destacando-se a saturação por bases próximo de 60 e 70 % com emprego do calcário e da escória de siderurgia, respectivamente (Fig. 4). Estes resultados estão próximo do indicado por Spironello et al., (1997) que recomendam para a cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo V % igual a 60.

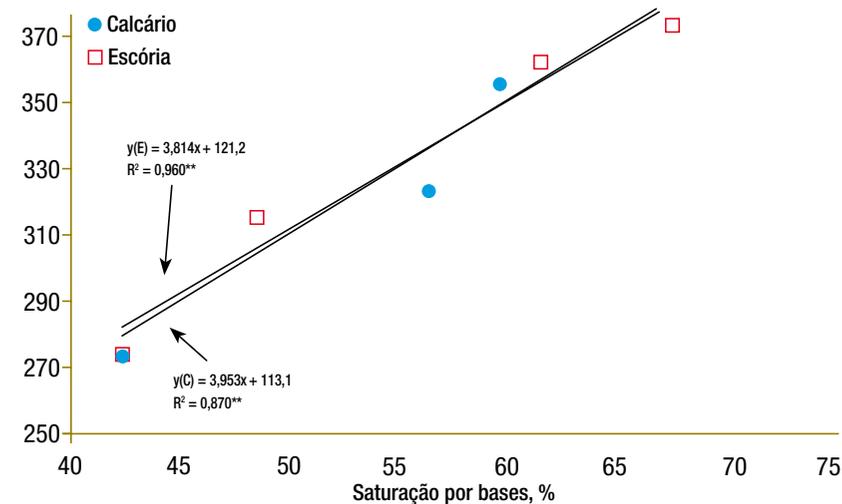


Fig. 4. Relação entre a saturação por bases do solo na camada de 0-20 cm coletado na entrelinha da cana-de-açúcar, em função da aplicação do calcário (C) e da escória de siderurgia (E) (média de todas as amostragens de solo) e a produção acumulada de colmos nos anos agrícolas 1998 a 2003.

#### 4. Conclusões

1. A escória de siderurgia e o calcário calcítico são semelhantes na correção da acidez do solo, ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar;

2. A maior produção acumulada de colmos está associada à saturação por bases no solo próxima a 60 e 70 % para uso do calcário e da escória de siderurgia, respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL: *Anuário estatístico da agricultura brasileira*. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2007.
- ANDERSON, D. L. Soil and leaf nutrient interactions following application of calcium silicate slag to sugarcane. *Fertilizer Research*, v.30, n.1, p.9-18, 1991.
- ANDERSON, D. L.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on everglades histosols. *Agronomy Journal*, v.83, p.870-874, 1991.
- CARVALHO, L.C.C. *Cenário sucroalcooleiro*. STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.17, p.12-13, 1999.
- MARTINS, M. *Efeito do calcário e do gesso, em algumas características químicas do solo (Lea, Álico) e na cultura da cana-de-açúcar, em região de cerrado*. Jaboticabal, 2000. 117f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- NATALE, W.; COUTINHO, E.L.M. Avaliação da eficiência agrônômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.55-62, 1994.
- OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho álico, à calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.65-70, 1997.
- PIMENTAL-GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*. 11.ed.São Paulo, Nobel,466p.1985.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.287-296, 2003.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v. 25, p.199-207, 2001.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. *Scientia Agricola*, v.57,n.4,p.739-744, 2000a.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. *Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: FUNEP/Unesp, 2001, v.1.p.67.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W.; CORRÊA, M.C.M. Reatividade de uma escória de siderurgia em Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 1, p. 197-205, 2004

PRADO, R.M.; NATALE, W.; ROZANE, D.E. Soil liming effects on the development and the nutritional status of the carambola tree and its fruit yielding capacity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.38,n.3-4, p. 493-511, 2007.

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade do solo*. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. 285p.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van.; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.M.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2ª ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.237-239. (*Boletim técnico*, 100).

## AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UM RESÍDUO DE MINERAÇÃO NA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO E OUTROS NUTRIENTES EM DOIS SOLOS DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

Davi José Silva<sup>1</sup>, Alessandra Monteiro Salviano Mendes<sup>1</sup>,

Danillo Olegário Matos da Silva<sup>2</sup>, Marlon Alves Lins<sup>2</sup> e Elder Rodrigues Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador; <sup>2</sup>Bolsista ITI/CNPq; <sup>3</sup>Estagiário. Embrapa Semi-Árido. BR 428, km 152, Caixa Postal 23, Petrolina, PE, CEP 56302-970. davi@cpatsa.embrapa.br

### 1. Introdução

O potássio (K) é um dos nutrientes requeridos em maiores quantidades pelas culturas. O Brasil tem importado a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura (Lopes, 2005), sendo o cloreto de potássio (KCl) a principal fonte disponível no mercado nacional. No ano de 2004, cerca de 91 % do K consumido na agricultura brasileira foi importado, na forma de KCl, evidenciando a grande dependência de fontes externas para a adubação potássica. Essa dependência externa implica em considerável valor das importações brasileiras (Lopes, 2005), desfavorecendo a balança comercial e reduzindo a competitividade dos produtos agrícolas no mercado internacional, o que exige uma ação coordenada no sentido de buscar fontes alternativas de K para atender a demanda.

Existem rochas silicáticas ricas em flogopita ou biotita, abundantes no Brasil e com possibilidade de uso como fonte de nutrientes, principalmente K, em sua forma moída. Os feldspatos alcalinos e os feldspatóides (silicatos anidros, similares aos feldspatos, porém com menor quantidade de silicato) são considerados fontes potenciais desse nutriente para a fabricação de fertilizantes, tanto na forma de sais, como na forma de termofosfatos ou para aplicação direta ao solo. Vários estudos foram desenvolvidos no Brasil visando avaliar rochas para o fornecimento de K às plantas ou como rotas alternativas a produção de fertilizantes potássicos. Recentemente, por meio de uma parceria entre Embrapa Cerrados e Universidade de Brasília, foram estudadas e identificadas algumas rochas para utilização “in natura”, como fontes de K e outros nutrientes

para uso agrícola. Das rochas preliminarmente estudadas, cinco apresentaram maior potencial: biotita xisto, brecha alcalina, carbonatito, flogopitito e ultramáfica alcalina (Resende et al., 2006a). Algumas rochas mostraram significativa liberação de K em testes de laboratório, solos incubados e em cultivos controlados (casa de vegetação), apresentando potencial promissor para uso como fontes de K quando moídas e utilizadas de maneira análoga ao calcário (Resende et al., 2005). Em alguns casos, além do potássio, as rochas podem fornecer outros nutrientes e apresentam efeito alcalinizante, atuando como condicionadores de solo (Resende et al., 2005). Contudo, a aplicação de altas quantidades pode provocar um desequilíbrio nutricional, com acúmulo de grandes quantidades de metais pesados (Amaral Sobrinho, 1992) e de outros elementos.

Além das rochas “in natura”, resíduos do processamento de rochas com fins de extração de algum princípio mineral podem constituir importantes fontes de nutrientes e sua utilização pode ser interessante tanto econômica quanto ambientalmente, uma vez que estes rejeitos, normalmente, constituem passivos ambientais. No Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido - Embrapa Semiárido, estão sendo conduzidos ensaios em casa de vegetação e a campo, avaliando um resíduo de mineração, procedente de Pindobaçu, na região de Campo Formoso (BA).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial de um resíduo de mineração em liberar potássio e outros nutrientes para o solo em sistema de cultivos sucessivos.

## 2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado utilizando-se dois solos do Submédio São Francisco, sendo um Argissolo Acinzentado, de textura arenosa (60 g kg<sup>-1</sup> de argila e 920 g kg<sup>-1</sup> de areia) e um Vertissolo, de textura argilosa (410 g kg<sup>-1</sup> de argila e 360 g kg<sup>-1</sup> de areia). O Argissolo apresenta as seguintes características químicas: M.O. = 4,24 g kg<sup>-1</sup>, pH = 5,7, P = 2 mg dm<sup>-3</sup>, K = 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca = 1,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg = 0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Al = 0,05 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CTC = 2,93 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, V = 55 %; e o Vertissolo apresenta: M.O. = 35,69 g kg<sup>-1</sup>, pH = 7,5, P = 4 mg dm<sup>-3</sup>, K = 0,64 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca = 26,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Mg = 3,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Al = 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, CTC = 29,97 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, V = 100 %. Utilizou-se amostra de solo coletada na camada de 0-20 cm e cada solo constituiu um ensaio.

O material avaliado foi proveniente de um flogopitito, encontrado em rejeitos de mineração de esmeralda, em Pindobaçu, região de Campo Formoso (BA). Este rejeito foi submetido a flotação para extração de minério de molibdênio (Mo), gerando um resíduo secundário. Este resíduo, utilizado nos experimentos, apresenta 4,9 % de K<sub>2</sub>O total (Tabela 1) e granulometria fina, com 3,1 % das partículas do tamanho de 2,00 a 0,84 mm, 21,45 % de 0,84 a 0,297 mm e 74,97 % menor que 0,297 mm. O KCl p.a. foi utilizado como tratamento de referência. Estas fontes foram combinadas com três doses de K<sub>2</sub>O (60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup>), calagem e outros nutrientes, mais dois tratamentos adicionais (testemunha absoluta, testemunha mais outros nutrientes), totalizando 11 tratamentos (Tabela 2), que foram dispostos no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso de plástico com 3,2 dm<sup>3</sup> de solo.

Tabela 1. Caracterização química do resíduo de mineração

Elemento	Concentração ppm	Elemento	Concentração ppm	Elemento	Concentração %
B	559700	Zn	295	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,1
Ba	221	Al	85370	CaO	3,1
Cd	51	Ca	22365	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,7
Cr	899	Fe	32940	K <sub>2</sub> O	4,9
Cu	-	K	40870	MgO	9
Mo	1093	Mg	54460	MnO	0,1
Ni	369	Mn	979	Na <sub>2</sub> O	11,3
Pb	-	Na	83770	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,9
S	16665	P	3737	SiO <sub>2</sub>	47,7
Sr	242	Si	222750	TiO <sub>2</sub>	0,1
V	419	Ti	898		

Foram aplicadas e incorporadas ao solo de cada vaso, o resíduo de mineração de flogopitito, objeto do estudo, o KCl, o fósforo (P) (200 mg dm<sup>-3</sup> no Argissolo e 300 mg dm<sup>-3</sup> no Vertissolo, na forma de Ca(HPO<sub>4</sub>)), assim como o corretivo de acidez (CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub> p.a., na relação Ca:Mg de 3:1, para V=70 %), aplicado apenas no Argissolo, deixando-os em incubação por um período de 30 dias, com a umidade em torno de 80 % da capacidade de campo. Depois da incubação, todas as unidades experimentais, com exceção dos tratamentos testemunha absoluta e tratamentos com resíduo de mineração menos demais nutrientes, receberam uma adubação básica e uniforme com enxofre (S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo), fornecidos, respectivamente, nas dosagens de 30,0; 0,81; 1,39; 1,55; 3,66; 4,0 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup>. Estas doses foram parceladas em três aplicações durante o primeiro cultivo, na forma de solução nutritiva.

Tabela 2. Quantidades de resíduo de mineração (RM) e cloreto de potássio (KCl) aplicadas com calcário e outros nutrientes que constituíram os tratamentos

Tratamento	Dose de K		Calagem <sup>2</sup>	Outros nutrientes
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
Testemunha <sup>1</sup>	0	0	-	-
Testemunha	0	0	+	+
60 RM <sup>1</sup>	50	60	-	-
120 RM <sup>1</sup>	100	120	-	-
240 RM <sup>1</sup>	200	240	-	-
60 RM	50	60	+	+
120 RM	100	120	+	+
240 RM	200	240	+	+
60 KCl	50	60	+	+
120 KCl	100	120	+	+
240 KCl	200	240	+	+

<sup>1</sup> Estes tratamentos não receberam calagem nem adubação de nivelamento.

<sup>2</sup> A calagem foi realizada apenas no Argissolo Acinzentado.

A avaliação da eficiência dos tratamentos na disponibilização de K e outros nutrientes foi realizada por meio de cultivos sequenciais. Foram cultivadas, por períodos médios de 30 dias, plantas de soja (*Glycine max*), variedade Sambaíba, milho (*Pennisetum glaucum*), cultivar IPA BULK 1, e melão (*Cucumis melo*), variedade Tropical. Antes e depois de cada cultivo o solo de cada vaso foi peneirado, submetido a secagem e amostragem para realização das análises químicas. A fim de avaliar o efeito residual das rochas silicáticas utilizadas no primeiro cultivo, foi realizada apenas adubação nitrogenada com 200 e 120 mg dm<sup>-3</sup> de N, respectivamente, nos cultivos de milho e melão, aplicados na forma de nitrato de amônio. A soja, não recebeu adubação nitrogenada porque foram utilizadas sementes inoculadas com rizóbio.

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância e comparação de médias pelo teste Tukey.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Ensaio em Argissolo Acinzentado

Após a incubação, os valores de pH aumentaram, assim como os teores de Ca e Mg, a CTC e a saturação por bases (V), nos tratamentos que receberam calagem (Tabela 3). A aplicação de P também promoveu aumentos nos teores de P disponível no solo. Os teores de K não foram alterados pelos tratamentos com o resíduo de mineração, tanto na presença quanto na ausência de calagem e demais nutrientes, mas aumentaram com as doses crescentes de KCl aplicadas.

Após o terceiro cultivo os valores de pH foram menores que aqueles encontrados após a incubação (antes da fase com plantas), sem uma relação direta com as diferentes doses do resíduo ou do KCl. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza Filho et al., (2006) no cultivo do mamoeiro. Os teores de Ca e Mg e a CTC aumentaram devido a adubação complementar, mas o valor V diminuiu, em consequência de maior acidez potencial (dados não apresentados). Souza Filho et al., (2006) observaram que nas doses maiores do KCl houve deslocamento de H+Al para a solução do solo, com redução nos valores de V.

As concentrações de P obtidas após o terceiro cultivo foram inferiores àquelas obtidas após a incubação, devido a extração deste nutriente pelos cultivos. No entanto, nos tratamentos em que foi aplicado exclusivamente o resíduo (RM -todos) e praticamente não houve crescimento de plantas (dados não apresentados), estes teores apresentaram tendência de aumento, que foi significativo para a maior dose aplicada (240 mg dm<sup>-3</sup>).

Estas alterações podem estar relacionadas tanto com a liberação dos nutrientes pelo resíduo em condições de acidez, quanto pela mineralização da matéria orgânica, aumentando os teores desses nutrientes.

Tabela 3. Valores de pH, concentrações de fósforo (P), concentrações de potássio (K) obtidas pelos extratores Mehlich-1 e Acetato de Amônio, concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), valores de CTC e saturação por bases (V) obtidas em amostras de um Argissolo Acinzentado coletadas após um período de 30 dias de incubação e após cultivos sucessivos de soja, milho e melão em função de doses do resíduo de mineração (RM) e cloreto de potássio (KCl).

Tratamento <sup>1</sup> mg dm <sup>-3</sup> de K <sub>2</sub> O	P		K-Mehlich	K-Acetato de Amônio	Ca	Mg	CTC	V
	pH	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
<b>Após Incubação</b>								
Testemunha	5,70 d	2,75 b	0,09 d	0,08 e	0,95 b	0,55 c	2,92 cd	54,95 c
-K +todos	6,40 a	147,50 a	0,10 d	0,08 e	1,53 a	0,98 a	3,55 ab	73,36 ab
RM (60) -todos	5,73 d	5,50 b	0,10 d	0,09 de	0,98 b	0,65 bc	2,97 cd	58,46 c
RM (120) -todos	5,63 d	7,50 b	0,10 d	0,08 de	0,90 b	0,50 c	2,74 d	55,02 c
RM (240) -todos	5,63 d	12,25 b	0,11 d	0,09 d	0,90 b	0,55 c	2,77 d	56,89 c
RM (60) +todos	6,40 a	131,00 a	0,09 d	0,07 e	1,50 a	0,75 ac	3,26 bd	72,35 b
RM (120) +todos	6,43 a	120,00 a	0,09 d	0,07 e	1,60 a	0,63 bc	3,31 bc	70,25 b
RM (240) +todos	6,38 a	144,75 a	0,10 d	0,08 e	1,53 a	0,75 ac	3,37 ac	70,73 b
KCl (60) +todos	6,38 ab	138,75 a	0,21 c	0,17 c	1,63 a	0,88 ab	3,75 ab	72,67 b
KCl (120) +todos	6,25 c	124,50 a	0,32 b	0,25 b	1,53 a	0,85 ab	3,77 ab	71,64 b
KCl (240) +todos	6,28 bc	144,75 a	0,50 a	0,39 a	1,55 a	0,98 a	3,87 a	78,78 a
<b>Após Cultivos Sucessivos</b>								
Testemunha	4,73 d	3,00 d	0,07 bc	0,07 b	1,25 b	0,80 ab	3,97 bc	54,32 c
-K +todos	5,25 ab	94,00 a	0,07 bc	0,04 d	1,88 a	0,73 ab	4,43 ac	60,93 a
RM (60) -todos	4,93 bd	6,00 cd	0,07 bc	0,06 bc	1,33 b	0,88 ab	4,20 ac	54,74 bc
RM (120) -todos	4,93 bd	7,50 cd	0,08 b	0,07 b	1,33 b	0,75 ab	4,05 ac	54,21 c
RM (240) -todos	4,88 cd	13,50 c	0,08 b	0,07 b	1,28 b	0,73 ab	3,92 c	53,84 c
RM (60) +todos	5,30 a	84,00 b	0,03 f	0,05 cd	1,85 a	0,83 ab	4,43 ac	61,86 a
RM (120) +todos	5,28 a	91,25 ab	0,04 ef	0,05 cd	1,80 a	0,70 b	4,26 ac	60,12 ab
RM (240) +todos	5,08 ac	95,25 a	0,04 ef	0,04 d	1,90 a	0,75 ab	4,50 ab	60,62 a
KCl (60) +todos	5,20 ac	90,00 ab	0,05 de	0,05 cd	1,78 a	0,93 a	4,52 a	61,77 a
KCl (120) +todos	5,25 ab	88,00 ab	0,06 cd	0,06 bc	1,80 a	0,90 ab	4,45 ac	63,14 a
KCl (240) +todos	5,35 d	94,50 a	0,11 a	0,11 a	1,78 a	0,83 ab	4,47 ab	61,42 a

<sup>1</sup> Testemunha=solo natural; -K=sem fornecimento de K; +todos=fornecimento dos demais nutrientes além do K (200,0; 30,0; 0,81; 1,39; 1,55; 3,66; 4,0 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup> de P, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo respectivamente) e correção da acidez (mistura de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>, p.a. para V=70 %); -todos=sem fornecimento dos demais nutrientes; KCl (60), (120) e (240)=cloreto de potássio nas dosagens equivalentes a 60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente; RM (60), (120) e (240)=resíduo de mineração nas dosagens equivalentes a 60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Os teores de K, obtidos por ambos os extratores, mantiveram-se baixos após os três cultivos sucessivos, em todos os tratamentos que não receberam os demais nutrientes. Contudo, estes valores foram ainda mais baixos, menores que os da testemunha absoluta, nos tratamentos que receberam os demais nutrientes, tanto com resíduo mineral quanto com KCl, com exceção do tratamento com a maior dose de KCl (240 mg dm<sup>-3</sup>), que apresentou os maiores teores de K. Isto demonstra que, além do K liberado pelas fontes externas, houve extração do K disponível do solo para satisfazer a demanda de produção dos cultivos sucessivos (dados não apresentados). No caso do KCl, a maior dose (240 mg dm<sup>-3</sup>) foi a única capaz de manter um teor de K<sub>2</sub>O acima do teor natural após três cultivos neste solo. Quanto ao resíduo mineral do flogopitito, não houve liberação de K para repor o nutriente absorvido pelas plantas cultivadas. Resultados semelhantes foram obtidos na aplicação de um flogopitito no cultivo do mamoeiro (Souza Filho et al., 2006). Por outro lado, Sobral et al., (2006) obtiveram liberação de K das rochas brecha alcalina, biotita xisto e ultramáfica alcalina, de forma a atender a demanda de dois cultivos sucessivos.

### 3.2. Ensaio em Vertissolo

Como não foi realizada calagem neste solo, os valores de pH praticamente não sofreram alterações, assim como os teores de Ca, Mg e a CTC. Ao contrário do que aconteceu no Argissolo, após a incubação houve uma tendência de redução destes valores, contudo sem qualquer relação com as doses de resíduo ou de KCl. A incubação foi realizada apenas com fosfato de cálcio, que promoveu aumentos nos teores de P naqueles tratamentos que receberam o fosfato (Tabela 4). Os teores de K não foram alterados pelos tratamentos com o resíduo de mineração, mas aumentaram com as doses crescentes de KCl aplicadas. Bolland & Baker (2000) também avaliaram a eficiência de um pó de granito como fonte de potássio, evidenciando que o mesmo não apresentou nenhum efeito na produção de grãos em ensaios de campo e casa de vegetação.

Tabela 4. Valores de pH, concentrações de fósforo (P), concentrações de potássio (K) obtidas pelos extratores Mehlich-1 e Acetato de Amônio, concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e valores de CTC obtidos em amostras de um Vertissolo coletadas após um período de 30 dias de incubação e após cultivos sucessivos de soja, milho e melão em função de doses do resíduo de mineração (RM) e cloreto de potássio (KCl).

Tratamento <sup>1</sup>	P	K-Mehlich	K-Acetato de Amônio	Ca	Mg	CTC	
mg dm <sup>-3</sup> de K <sub>2</sub> O	pH	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
<b>Após Incubação</b>							
Testemunha	7,90 a	11,00 e	0,49 de	0,60 c	24,48 ab	2,85 a	27,92 a
#NAME?	7,90 a	103,65 cd	0,46 e	0,64 c	24,90 ab	3,25 a	28,71 ab
RM (60) -todos	7,90 a	5,00 e	0,57 bd	0,64 c	24,60 ab	2,82 a	28,12 ab
RM (120) -todos	7,90 a	5,50 e	0,54 ce	0,64 c	24,30 ab	3,05 a	28,00 ab
RM (240) -todos	7,90 a	6,50 e	0,56 be	0,68 c	24,80 ab	3,12 a	28,60 ab
RM (60) +todos	7,73 cd	120,25 bd	0,53 ce	0,64 c	24,20 ab	2,85 a	27,69 b
RM (120) +todos	7,83 ac	143,00 ac	0,52 ce	0,64 c	23,90 b	2,88 a	27,41 b
RM (240) +todos	7,88 ab		0,53 ce	0,64 c	25,00 ab	2,90 a	28,54 ab
KCl (60) +todos	7,80 ac	154,65 ab	0,62 bc	0,84 b	25,72 ab	3,02 a	29,48 ab
KCl (120) +todos	7,78 bd	94,50 d	0,65 b	0,87 b	25,25 ab	3,02 a	29,03 ab
KCl (240) +todos	7,68 d	151,00 ab	0,80 a	1,17 a	26,00 a	3,15 a	30,06 a
<b>Após Cultivos Sucessivos</b>							
Testemunha	7,38 ad	4,75 d	0,50 a	0,59 a	26,23 a	2,83 ab	30,66 ac
#NAME?	7,40 ac	64,00 a	0,29 e	0,38 ce	26,33 a	2,78 ab	30,80 ab
RM (60) -todos	7,53 a	5,50 d	0,48 ab	0,60 a	25,88 a	2,80 ab	29,74 bc
RM (120) -todos	7,45 ab	5,25 d	0,47 ab	0,60 a	25,88 a	2,65 b	29,97 ac
RM (240) -todos	7,53 a	6,00 d	0,46 b	0,60 a	25,58 a	2,78 ab	29,59 c
RM (60) +todos	7,15 cd	45,00 c	0,35 d	0,40 c	25,43 a	2,63 b	30,37 ac
RM (120) +todos	7,23 bd	57,75 ab	0,30 e	0,36 df	26,28 a	2,90 ab	30,92 a
RM (240) +todos	7,23 bd	45,00 c	0,29 e	0,35 ef	26,05 a	2,93 ab	30,79 ab
KCl (60) +todos	7,13 d	51,00 bc	0,28 e	0,34 f	25,85 a	3,10 a	30,79 ab
KCl (120) +todos	7,48 ab	47,25 bc	0,30 e	0,39 cd	26,20 a	2,90 ab	30,31 ac
KCl (240) +todos	7,38 ad	48,50 bc	0,38 c	0,46 b	26,25 a	2,95 ab	30,82 ab

<sup>1</sup> Testemunha=solo natural; -K=sem fornecimento de K; +todos=fornecimento dos demais nutrientes além do K (300,0; 30,0; 0,81; 1,39; 1,55; 3,66; 4,0 e 0,25 mg dm<sup>-3</sup> de P, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo respectivamente); -todos=sem fornecimento dos demais nutrientes; KCl (60), (120) e (240)=cloreto de potássio nas dosagens equivalentes a 60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente; RM (60), (120) e (240)=resíduo de mineração nas dosagens equivalentes a 60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Os valores de pH obtidos após os três cultivos sucessivos apresentam-se relativamente menores que aqueles do solo natural, embora sem qualquer relação com as doses de resíduo ou de KCl aplicadas. Estas alterações são confirmadas pelo aumento das concentrações de H+Al (dados não apresentados), sendo ainda refletidas no aumento da CTC, contudo sem uma relação direta com os diferentes tratamentos.

A mineralização da matéria orgânica que ocorreu durante os processos de preparo do solo para os cultivos sucessivos também influenciou nas alterações químicas do solo. Contudo, devido ao alto grau de tamponamento deste solo, estas mudanças são muito pequenas. Neste solo, deveriam ser realizados mais de três cultivos para que as alterações se tornassem evidentes.

Os maiores teores de potássio obtidos pelos dois extratores foram encontrados nos tratamentos testemunha e resíduo mineral sem adição de outros nutrientes (RM -todos), nos quais houve menor produção de matéria seca (dados não apresentados). Nos demais tratamentos, as baixas concentrações de K no solo corresponderam a maiores produções de matéria seca, devido a uma maior extração desse nutriente pelos cultivos. Resende et al., (2005) observaram que nos tratamentos em que as rochas brecha alcalina, ultramáfica alcalina e biotita xisto foram aplicadas sem a correção da acidez do solo e adição de outros nutrientes, o crescimento das culturas foi tão limitado quanto no tratamento testemunha.

### 4. Conclusões

O resíduo de mineração mostrou baixa eficiência na liberação de potássio;

Os teores de fósforo aumentaram no Argissolo Acinzentado nos tratamentos que receberam exclusivamente o resíduo de mineração; e

A acidez do solo aumentou após os cultivos sucessivos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao pesquisador Carlos Alberto Tuão Gava pelo planejamento e realização das análises estatísticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p. 271-276. 1992.

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.

LOPES, A.S.. Reservas de minerais de potássio e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, p.21-32, 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: I. Respostas da soja e do milho. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, 2005. Anais... Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (CD-rom).

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, 2006a.

SOBRAL, L.F.; FONTES JUNIOR, R.C.; VIANA, R.D. & MARTINS, E.S. Liberação de K pelo flogopitito, ultramáfica e brecha em um Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros *Espaço & Geografia*, 9:117-133, 2006.

SOUZA FILHO, L.F.S.; CRUZ, J.L.; SOUZA, L.F.S.; CALDAS, R.C.; MAGALHÃES, A.F.J.; CONCEIÇÃO, H. & SOUSA, J.S. Eficiência de um flogopitito como fonte de potássio para o desenvolvimento inicial do mamoeiro. *Espaço & Geografia*, 9:215-229, 2006.

## EFEITO DA COMBINAÇÃO DE CALCÁRIO DE XISTO E CALCÁRIO DOLOMÍTICO SOBRE A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE DOIS SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS

Carlos Augusto Posser Silveira<sup>1</sup>, Luis Henrique Gularte Ferreira<sup>2</sup>,

Clenio Nailto Pillon<sup>1</sup>, Sandro José Giacomini<sup>3</sup>, Leandro Carlos dos Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dr., Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. guto@cpact.embrapa.br

<sup>2</sup>Doutorando Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo- UFPel, Pesquisador Convidado da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. bage@cpact.embrapa.br

<sup>3</sup>Dr., Professor de Microbiologia e Bioquímica do Solo, Centro de Ciências Rurais, Depart. de Solo, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. sjgiacomini@smail.ufsm.br

<sup>4</sup>Engenheiro de Minas, Petróleo Brasileiro S.A., Petrobras - Unidade de Negócio da Industrialização do Xisto (SIX), Gerência de Mineração. leandrosantos@petrobras.com.br

### 1. Introdução

De maneira geral os solos brasileiros apresentam elevada acidez decorrente da ação de fatores relacionados aos processos de formação do solo e exportação de cátions pelas culturas. No caso específico dos Argissolos, as principais limitações das características químicas são a baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio (Strek et. al, 2008). Nessas condições se faz necessário a neutralização dos efeitos deletérios da acidez do solo na zona de exploração das raízes para todo o ciclo da rotação. Portanto, quando da implantação de sistemas de rotação de culturas, o manejo da acidez do solo tem de considerar alguns fatores, principalmente as diferenças fisiológicas das espécies envolvidas (Kaminski, 1989), influenciando direta e distintamente a resposta à calagem. Nesse contexto, as respostas de leguminosas como o feijão e a soja diferem daquelas de gramíneas como o milho. Por outro lado, a calagem excessiva pode levar a deficiência de micronutrientes como o zinco. Nesse sentido, a escolha dos corretivos da acidez deve considerar além dos indicadores técnicos do corretivo (PRNT e PN) a possibilidade de combinar fontes calcárias de forma a atender as exigências do sistema de culturas, principalmente a relação Ca/Mg no solo e na planta, bem como fornecer micronutrientes em níveis equilibrados ao sistema de culturas.

O calcário de xisto (MBR13) é constituído de lentes de rocha calcária que se situam, segundo a coluna estratigráfica da Formação Irati – Membro Assistência, imediatamente abaixo da 1ª camada de xisto (folhelho pirobetuminoso) e são originadas de material precipitado por

agentes químicos. O Membro Assistência se caracteriza pela presença de folhelhos cinza-escuros nos quais se intercalam folhelhos pretos pirobetuminosos associados a lentes de calcários creme e cinza-escuros, dolomíticos. Estas lentes, na cadeia produtiva são consideradas como material estéril, pois não apresentam teor de óleo adequado ao processamento. Assim, a MBR13, além de corrigir a acidez do solo, constitui-se em importante fonte de macronutrientes secundários (Ca, Mg e S), de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) e de nutrientes benéficos (Si e Se), além de carbono orgânico constituindo-se em uma matriz fertilizantes valorizada por sua complexidade elementar. Nesse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da MBR13 na produtividade de grãos de dois sistemas de culturas: *Sistema 1*: soja-milho-feijão e *Sistema 2*: milho-feijão-soja, em São Mateus do Sul-PR.

## 2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido em condições de campo em São Mateus do Sul-PR, em área experimental da parceria Embrapa Clima Temperado/Petrobras-SIX e solo classificado como Argissolo vermelho distrófico. Os tratamentos foram os seguintes: T1 - 10 t ha<sup>-1</sup> da MBR13; T2 - 6,8 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (CD, necessidade de calcário para elevar a saturação por bases a 60 %); T3 - 6,8 t ha<sup>-1</sup> da MBR13; T4 - 3,4 t ha<sup>-1</sup> da MBR13 + 3,4 t ha<sup>-1</sup> de CD e T5 - Sem aplicação de corretivo. Com exceção do T4, todos os demais tratamentos foram incorporados na profundidade de 20 cm por ocasião da implantação do experimento, em julho de 2005 (safra 05/05). No caso do T4 a primeira aplicação ocorreu na implantação, utilizando CD na dose de 3,4 t ha<sup>-1</sup>, tendo sido complementado com a MBR13, na mesma dose, em superfície, antes da semeadura do milho, em outubro do mesmo ano (safra 05/06). O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com 3 repetições e 5 tratamentos. As doses de 10 t ha<sup>-1</sup> da MBR13 e 6,8 t ha<sup>-1</sup> de CD foram utilizadas como forma de elevar a saturação por bases para 60 %. A comparação de médias, para a variável produtividade de grãos foi através do teste de Tukey a 5 %, para cada seqüência de cultivo testada.

## 3. Resultados e Discussão

### Sistema 1

Os resultados demonstraram produtividades similares da cultura da soja (safra 05/06) quando do uso da MBR13 na calagem, independentemente da estratégia adotada (efeito imediato da calagem ou residual nos cultivos seguintes) (Tabela 1). O milho, avaliado no segundo cultivo de verão (safra 06/07), também foi beneficiado pela calagem, principalmente com a dose de 6,8 t ha<sup>-1</sup> da MBR13. Já a cultura do feijão não respondeu aos tratamentos de calagem após dois anos da aplicação dos tratamentos (safra 07/08) (Tabela 1). Em relação aos incrementos na produtividade em decorrência da calagem, estes corresponderam a 17 e 22 sacos de soja e de milho, respectivamente, justificando a prática deste tipo de rochagem. Os tratamentos com MBR13 (T1, T3 e T4) proporcionaram produtividade de grãos estatisticamente iguais ao tratamento padrão,

T2, constituído unicamente de CD de efeito rápido. Os resultados indicaram que a MBR13 é uma alternativa viável para a correção da acidez do solo e para o fornecimento de micronutrientes em sistemas de rotação de culturas.

### Sistema 2

A cultura do milho (safra 05/06) não foi afetada pela calagem (Tabela 1). Tais resultados devem ser visto com cautela dado os níveis médios de produtividade alcançados (5.981 kg ha<sup>-1</sup>). Já a cultura do feijão (safra 06/07) respondeu positivamente a calagem, exceto na dose de 6,8 t ha<sup>-1</sup> da MBR13. Para as demais estratégias os resultados foram similares e expressivos em relação a correção da acidez (em torno de 3,0 t ha<sup>-1</sup> de grãos contra 1,8 t ha<sup>-1</sup> sem corretivo). A soja (safra 07/08) também respondeu positivamente a calagem, após dois anos da aplicação dos tratamentos (Tabela 1). Do ponto de vista da eficiência agrônômica verifica-se semelhanças entre as produtividades de soja obtida com a dose recomendada de CD (T2) e metade desta dose aplicada na implantação (3,4 t ha de CD) complementada com MBR13 na mesma dose, porém aplicada antes da semeadura do milho (T4).

Pelos resultados alcançados, a estratégia preconizada para o tratamento 4 pode ser de fundamental importância para as regiões próximas ao município de São Mateus do Sul-PR, devido aos menores custos de transporte (menor distância em relação ao local de origem da MBR13). Os resultados obtidos confirmam o potencial corretivo da acidez do solo pela MBR13, sendo que tais resultados então diretamente relacionados com os sistemas de culturas adotados. Por outro lado, o processo de correção da acidez por si só pode ocasionar desequilíbrios irreparáveis no sistema solo-planta. Como conseqüências serão necessárias maiores doses de fertilizantes para “reequilibrar o sistema”, aumentando a dependência de insumos, principalmente micronutrientes. Desse modo, os resultados agrônômicos positivos encontrados com a aplicação isolada e/ou combinada da MBR13 com CD, podem ser explicados não somente pela constituição química elementar daquela matriz (Ca, Mg, S, Si e outros micronutrientes), mas também pela sua composição orgânica e mineralógica. A calagem como uma das formas mais comuns de rochagem pode interferir drasticamente nas interações entre elementos como, por exemplo o Mg, que atua na absorção do fósforo (Malavolta et AL, 1997) ou ainda o papel do silício na dessorção do fósforo e a oxidação do S atuando na solubilização de fosfatos naturais (Moreira & Siqueira, 2006).

Tabela 1. Produtividade de grãos das culturas do Sistema 1 (soja-milho-feijão) e do Sistema 2 (milho-feijão-soja), em função da correção da acidez com CD e/ou MBR13, em um Argissolo vermelho distrófico, em São Mateus do Sul-PR.

Cultura	Safr	Doses do corretivo (t ha <sup>-1</sup> )					Parâmetros estatísticos <sup>(2)</sup>		
		10,0 MBR 13	6,8 CD	6,8 MBR 13	3,4 CD + 3,4 MBR13	Sem calagem	C <sub>v</sub>	F <sub>Trat</sub>	Média
<b>Sistema 1</b>									
Milho	2005-2006	2.811 A <sup>(1)</sup>	3.083 A	2.992 A	2.943 A	1.890 A	11,7	6,86**	2.744
Feijão	2006-2007	10.487 A	10.251 A	8.602 A	10.853 A	9.272 A	16,0	1,04 <sup>NS</sup>	9.893
Soja	2007-2008	3.413 A	3.614 A	3.321 A	3.389 A	3.130 A	6,1	1,85 <sup>NS</sup>	3.373
<b>Sistema 2</b>									
Milho	2005-2006	5716 A	5.779 A	6.414 A	5.954 A	6.044 A	12,6	0,40 <sup>NS</sup>	5.981
Feijão	2006-2007	2.990 A	3.063 A	1.933 A	3.222 A	1.824 B	13,5	10,9**	2.606
Soja	2007-2008	2.373 ABC	2.686 A	1.923 BC	2.633 AB	1.795 C	11,6	7.13**	2.283

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si (Tukey 5 %). <sup>(2)</sup> CV = coeficiente de variação experimental; F<sub>trat</sub> = Estatística F para tratamentos- ns: não significativo, \*\* significativo a 1 %.

#### 4. Conclusões

Os resultados foram influenciados pelos sistemas de culturas adotados. A MBR13 apresentou potencial de correção da acidez do solo e proporcionou produtividade de grãos dos sistemas de culturas semelhantes aos de fontes tradicionais de corretivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. *Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 3 ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul, 1995, 224p.

KAMINSKI, J., Coord. *Uso de Corretivos da Acidez do Solo no Plantio Direto*. Pelotas: SBCS-Núcleo Regional sul, 2000. 123p. (SBCS-Núcleo Regional Sul. Boletim Técnico, 4).

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASON, E.; PINTO, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed.- Porto Alegre EMATER/RS-ASCAR, 222p. 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. Editora Potafos, 2ª edição, 319p. 1997.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. Editora UFLA, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2ª edição. 729p. 2006.

## EFEITO DA COMBINAÇÃO DE CALCÁRIO DE XISTO E CALCÁRIO DOLOMÍTICO COM DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO SOBRE A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA

Luis Henrique Gularte Ferreira<sup>1</sup>, Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>,

Clenio Naitto Pillon<sup>2</sup>, Leandro Carlos dos Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutorando Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo - UFPel, Pesquisador Convidado da Embrapa Clima Temperado, BR 392, Km 78, Caixa Postal 403, 96001-970, Pelotas, RS. Email: bage@cpact.embrapa.br

<sup>2</sup> Dr., Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, BR 392, Km 78, Caixa Postal 403, 96001-970, Pelotas, RS. E-mail: guto@cpact.embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheiro de Minas, Petróleo Brasileiro S.A., Petrobras - Unidade de Negócio da Industrialização do Xisto (SIX), Gerência de Mineração. BR 476, km 143, Caixa Postal 28, 83900-000. São Mateus do Sul-PR. E-mail: leandrosantos@petrobras.com.br

### 1. Introdução

Calagem é uma prática que constitui-se em uma forma de rochagem que tem por objetivos principais neutralizar o alumínio tóxico às plantas e elevar o pH em níveis adequados ao desenvolvimento das culturas e organismos do solo. Dependendo da disponibilidade de fósforo no solo por ocasião da calagem, em muitas situações, é realizada conjuntamente a fosfatagem, a qual pode ser baseada em pelo menos duas estratégias: a) aplicação de fosfato solúvel sintetizado a partir de rochas fosfáticas e b) aplicação de fosfato in natura no solo, sendo esta última também considerada uma das mais antigas formas de rochagem. Como na maioria das situações é utilizado o fosfato solúvel que tende a acidificar o solo em torno da região de dissociação, a calagem poderia favorecer o aproveitamento do fósforo proveniente desta fonte. Por outro lado, o fosfato natural apatítico tende a elevar o pH em torno da região de dissociação, portanto, necessita de redução no pH para aumentar a liberação do fósforo para a planta.

Solos de várzea são solos formados em condições variadas de deficiência de drenagem (hidromorfismo) e que no Rio Grande do Sul são geralmente encontrados em baixas altitudes (0 a 200 m) (Pinto et al., 1999), sendo também denominados “solos de Terras Baixas”.

Quase que a totalidade dos solos de várzea do Rio Grande do Sul estão localizadas na região plana do estado denominada *metade sul*, pertencente ao Bioma Pampa.

Esta região abrange 54 % do território do estado e é caracterizada pela pecuária extensiva e produção de arroz em larga escala (De Mori et al, 2006). Por outro lado, a partir do ano 2000, observou-se expansão da área de semeadura de soja nesta região (De Mori et. al. 2006).

Dentre os solos de várzea do Rio Grande do Sul, predominam os planossolos com 56 % de área (Pinto et. al, 2004). Estes solos são originados de sedimentos aluviais e de granito e apresentam baixa fertilidade natural (Streck et. al, 2008). Estas características implicam em um manejo racional de corretivos da acidez e fertilizantes com vistas ao estabelecimento de programas de adubação da cultura e do sistema produtivo.

Dentre as etapas do manejo racional de corretivos e fertilizantes destaca-se a necessidade de conhecimento das características do complexo sortivo do solo que em última análise será responsável pelo suprimento de cátions básicos ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^{+1}$ ) e cátions ácidos ( $\text{Al}^{+3}$ ). A neutralização do Al e o suprimento dos cátions básicos  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  constituem um dos principais objetivos da calagem. Atenção especial deve ser dada quando a cultura pretendida é a soja. Isso por que a cultura apresenta alta demanda por cálcio, além do que o processo de fixação de nitrogênio no solo é limitado em condições de acidez e deficiência de cálcio (Peres et. al. 1992).

Neste cenário o cultivo da soja nestas áreas requer estratégias de manejo dos corretivos e fertilizantes adotadas de forma a otimizar o sistema de produção. Desse modo a elevação do pH em níveis necessários ao desenvolvimento da cultura e microorganismos associados, bem como o concomitante fornecimento de cálcio e fósforo à cultura e/ou estratégias de manejo que visem oportunizar o aproveitamento destes nutrientes já presentes no solo, contribuem para a minimização da dependência externa de fertilizantes. Dentre os corretivos de acidez do solo, o calcário de xisto (MBR13) é obtido a partir da mineração do xisto, pela Petrobras-SIX, localizada em São Mateus do Sul-PR.

A MBR13 é constituída de lentes de rocha calcária que se situa, segundo a coluna estratigráfica da Formação Irati – Membro Assistência, imediatamente abaixo da 1ª camada de xisto (folhelho pirobetuminoso) e são originadas de material precipitado por agentes químicos. O Membro Assistência se caracteriza pela presença de folhelhos cinza-escuros nos quais se intercalam folhelhos pretos pirobetuminosos associados a lentes de calcários creme e cinza-escuros, dolomíticos. Estas lentes, na cadeia produtiva são consideradas como material estéril, pois não apresentam teor de óleo adequado ao processamento.

Assim, a MBR13, além de corrigir a acidez do solo, constitui-se em importante fonte de macronutrientes secundários (Ca, Mg e S), de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) e de nutrientes benéficos (Si e Se), além de carbono orgânico constituindo-se em uma matriz fertilizantes valorizada por sua complexidade. Desse modo pode promover um melhor aproveitamento do fósforo dos fertilizantes fosfatados aplicados ao solo e fornecimento de micronutriente.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da associação da MBR13, calcário dolomítico e diferentes fontes de fósforo sobre a produtividade da cultura da soja.

## 2. Material e métodos

O experimento foi conduzido em condições de campo na Estação Experimental Terras Baixas – Embrapa Clima Temperado, em Pelotas-RS, com início em outubro de 2006.

Os resultados da análise básica de solo revelaram valor de pH em água interpretado como baixo, teores de P e K baixos, matéria orgânica inferior a 2,5 % e teor de argila inferior a 20 % (Classe 4). Os teores de P e K foram recomendados com base nos critérios preconizados pela (CQFS, 2004). A recomendação de fósforo potássio correspondeu a 140 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A dose do corretivo da acidez teve como base o pH referência, segundo a CQFS (2004). O valor de pH em SMP de 5,8 e pH em água desejado correspondente a 5,5 indicaram necessidade de calcário de 2,3 t ha<sup>-1</sup> (PRNT 100 %). foram definidos os valores de fósforo, potássio e corretivo da acidez.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com 3 repetições, sendo a unidade experimental uma parcela de 25 m<sup>2</sup> (5 x 5 m). O delineamento de tratamento foi um fatorial 2<sup>3</sup>, conforme proposto por Zimmermann (2004).

Os fatores de tratamento foram: a) **Fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**, com dois níveis: Fosfato natural de Arad (FNA) e Superfosfato triplo (SFT); b) **Correção da acidez do solo**, com dois níveis: Sem correção da acidez ou aplicação de dose recomendada via calcário dolomítico (CD) [PRNT=89 % e CaO (28 %) + MgO (16 %)], e c) **Adição de calcário de xisto (MBR13)**, com dois níveis: sem MBR13 e com 1.000 kg ha<sup>-1</sup> da MBR13.

Em relação ao fator *Adição da MBR13*, a dose de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> foi definida em função de trabalhos preliminares em condições controladas, onde houve aumento de pH e da soma de Ca+Mg trocáveis em função da adição da MBR13. Por outro lado, os teores totais de enxofre (S) e silício (Si) presentes na matriz (em torno de 3,0 % para o S e 15 % para o Si), poderia fornecer ao sistema de culturas de 20 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de S e 150 kg ha<sup>-1</sup> de Si.

A comparação de médias, para a variável produtividade de grãos de milho, foi realizada através do teste de Tukey (desconsiderando a estrutura dos tratamentos) e também análise de agrupamento fatorial (considerando a estrutura dos tratamentos).

## 3. Resultados e discussão

A decomposição da variação entre tratamentos indicou efeito significativo da interação tripla entre os fatores estudados ( $p > 0,02$ ). Os dados discutidos são apresentados na Tabela 2. As letras indicam os grupos formados pela comparação de médias pelo teste de Tukey a 5 %, independentemente da estrutura fatorial. A aplicação do SFT juntamente com CD proporcionou produtividade de grãos de soja equivalente a 3.074 kg ha<sup>-1</sup>. Por outro lado a associação da MBR13 e CD, ao FNA, proporcionou produtividade de grãos similares à obtida com o SFT + CD.

Na análise da interação MBR13 vs CD, para cada fonte de fósforo, algumas considerações devem ser feitas. As diferenças apresentadas refletem o efeito da interação da rochagem a base da MBR13 e calagem sobre a produtividade de grãos de soja, para cada fonte de fósforo testada.

Para o SFT a aplicação conjunta da MBR13 e do CD não levaram a maiores produtividades de grãos em relação aplicação isolada das rochas. Este fato revela uma ação antagonista da MBR13 sobre os efeitos do calcário aplicado, nas doses aplicadas. Por outro lado, para a mesma fonte de fósforo, a aplicação isolada da MBR13 promoveu um incremento na produtividade de grãos de soja na ordem de 831 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 71 % do incremento obtido com o CD. Em ensaio conduzido em condições controladas a MBR13, na mesma dose e solo do presente estudo, elevou o pH e os teores de Ca e Mg, 60 dias da sua aplicação (dados não publicados), o que poderia explicar em parte os resultados observados. Provavelmente, um pequeno aumento na dose aplicada da MBR13 proporcionaria resultados equivalentes a aplicação do CD isolado.

Quando a fonte testada foi o FNA houve um sinergismo entre a MBR13 e o CD aplicado. Nesse caso o efeito somado destas fontes de forma isolada correspondeu a 644 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja (574 + 70 kg ha<sup>-1</sup>) contra 937 kg ha<sup>-1</sup> obtidos com a aplicação combinada destas fontes (diferença entre (FNA+CD+MBR13) – (FNA)).

Observa-se ainda que enquanto para a fonte solúvel, na ausência da calagem, houve incremento na produtividade de grãos de soja com a adição da MBR13, para o fosfato natural, na ausência da calagem, praticamente não houve efeito da MBR13 sobre a produtividade de grão. Isto confirma que a presença do calcário foi fundamental para a ação da MBR13 quando a fonte foi o FNA.

As fontes de fósforo diferem, entre outros fatores, quanto às condições de acidez necessária para sua solubilização e a acidez gerada no processo de liberação do fósforo-fertilizante. O pH baixo favorece a solubilização dos fosfatos naturais apatíticos (Moreira & Siqueira, 2006; Hohowitz & Meurer, 2004; Novais & Smith, 1999). Já os fosfatos sintetizados de reação ácida (Superfosfatos simples e SFT) tendem a acidificar a região em torno do grânulo (Sousa & Volkweis, 1987).

A dissolução dos fosfatos naturais seria favorecida pela acidez em torno da partícula e os fosfatos solúveis de reação ácida seriam favorecidos pela elevação do pH no solo. Entretanto, os níveis ótimos de acidez para a dissolução da fonte de fósforo, pode ocasionar no solo condições adversas para a disponibilização de outros nutrientes, afetando a atividade microbiana, com implicações diretas sobre o crescimento das plantas, principalmente em solos com baixa CTC efetiva como os referidos planossolos. Isto pode explicar o fato de tanto o fosfato solúvel quanto o fosfato natural testado, ter respondido a calagem.

No caso da MBR13 resultados de laboratório revelaram baixo PRNT, portanto, do ponto de vista tradicional não seria esperado poder de neutralização da acidez similar aos calcários tradicionais. Entretanto, esta matriz possui em sua composição natural, quantidades quase equi-

valentes de lentes calcárias sedimentares e de lentes de xisto bruto, entremeadas. Desse modo, o baixo PRNT verificado poderia ser em função da “contaminação” do calcário pelo xisto bruto.

Por outro lado, trabalhando com o calcário da mesma área de mineração, Assmann (1999) constatou aumento nos valores de pH similares aos verificados para o calcário comercial. Assim, os benefícios da MBR13 estão intimamente relacionados com seus componentes inorgânicos (Ca, Mg, S, Si e outros micronutrientes) bem como pelos seus componentes orgânicos, conferindo-lhe um equilíbrio adequado com vistas ao seu aproveitamento para aplicação na agricultura.

Tabela 1 Produtividade de grãos de soja (safra 2006/2007), em função da aplicação combinada da MBR13 e calcário dolomítico, para distintas fontes de fósforo, em um planossolo Háplico do Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS.

MBR 13 (kg ha <sup>-1</sup> )	Calcário dolomítico (kg ha <sup>-1</sup> )		Diferença <sup>(2)</sup>
	0	2.860	
<b>Fosfato solúvel (SFT)</b>			
0	1.911 c <sup>(1)</sup>	3.024 a	1.163**
1.000	2.742 abc	2.850 ab	108 <sup>ns</sup>
Diferença	831 **	-224 <sup>ns</sup>	...
<b>Fosfato natural (FNA)</b>			
0	2.160 bc	2.734 abc	574 *
1.000	2.230 abc	3.097 a	867 **
Diferença	70 <sup>ns</sup>	363 <sup>ns</sup>	...

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, independentemente da fonte de fósforo testadas, não diferem entre si (Tukey, 5 %). <sup>(2)</sup> Diferenças estabelecidas em função do teste F da análise fatorial: ns – não significativo; \* significativo a 5 %; \*\* significativo a 1 %.

#### 4. Conclusões

Nas condições de condução do trabalho, conclui-se que a soja respondeu a combinação entre calagem e fontes natural e solúvel de fósforo e também respondeu a inclusão da MBR13 no programa de adubação preconizado.

Os resultados obtidos confirmam a necessidade de considerar as relações entre fontes de fósforo e corretivos de acidez do solo em programas de adubação em sistema de culturas.

Em relação a MBR13, os resultados confirmam o potencial agrônomo desta fonte de nutriente como componente de programas de adubação, com efeitos diretos e indiretos no desenvolvimento das plantas. No entanto, destaca-se que por tratar-se de uma matriz complexa e ainda pouco conhecida, seja em aplicações isoladas ou em combinação com outras fontes de nutrientes, a confirmação e validade do seu potencial agrícola para diferentes culturas e solos ainda necessita de estudos de longa duração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMANN, T. S.; PREVEDELLO, B. M. S.; REISSMANN, C. B.; RIBEIRO Jr, P. J. *Potencial de Suprimento de Micronutrientes de Oriundo da mineração de Folhelho Pirobetuminoso da formação Irati-Pr. R. Bras. de Ci Solo*, 23: 963-969, 1999.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. *Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 3 ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul, 224p. 1995.
- DE MORI, C.; BERTAGNOLL, P.F; MORAES, R.M.A, DE; COSTAMILAN, L.M; IGNACZAK, J.C; ROESSING, A.C; LANGE, C.; MENEZES, V.G.; FISCHER, M.M. Levantamento de uso tecnologias em lavouras de soja na Metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. *In Soja-Resultados de Pesquisa*, 2005/2006. 1ª Ed. Passo Fundo-RS: EMBRAPA 2006, (EMBRAPA TRIGO. DOCUMENTO 68). P222 a 270.
- KAMINSKI, J., Coord. *Uso de Corretivos da Acidez do Solo no Plantio Direto*. Pelotas: SBCS-Núcleo Regional sul, 2000. 123p. (SBCS-Núcleo Regional Sul. Boletim Técnico, 4).
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fontes minerais de fósforo. In: NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. (Ed.). *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: UFV-DPS, 123-164 p. 1999.
- PINTO, L.F.S.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. da S.; SOUSA, R.O. de. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E.A. (Ed.). *Manejo do solo e da água em áreas de várzea*, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999, p. 11-36.
- SOUSA, D. M. G. & VOLKWEIS, S. J. Reações do Superfosfato Triplo em Grânulos com Solos. *R. Bras. de Ci Solo*, 11: 133-140, 1987.
- STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2.ed.- Porto Alegre EMATER/RS-ASCAR, 222p. 2008.
- HOROWITZ, N. & MEURER, E.J. Eficiência de fosfatos naturais. In: *Fósforo na Agricultura Brasileira*. Eds.: YAMADA, T. & ABDALLA, S.R.S, Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato – POTAFOS, Piracicaba. 726p. 2004.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações*. Editora Potafos, 2ª edição, 319p. 1997.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. Editora UFLA, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2ª edição. 729p. 2006.
- ZIMMERMANN, F.J.P. *Estatística aplicada à pesquisa agrícola*. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás. 1ª edição. 402p. 2004.

## AVALIAÇÃO DO EFEITO DE FERTILIZANTES FOLIARES A BASE DE ÁGUA DE XISTO NA PRODUTIVIDADE E NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA NA CULTURA DO MILHO

João Peterson Pereira Gardin<sup>1</sup>, Marta Eliane Doumer<sup>2</sup>, Rafael da Silva Messias<sup>3</sup>,

Luis Henrique Gularte Ferreira<sup>3</sup>, Carlos Augusto Posser Silveira<sup>4</sup>, Clenio Nailto Pillon<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dr. Fisiologia Vegetal, Pesquisador Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. joagardin@epagri.sc.gov.br

<sup>2</sup> Bacharel em Química Ambiental - UCPel, bolsista Embrapa Clima Temperado

<sup>3</sup> Pesquisador Convidado da Embrapa Clima Temperado

<sup>4</sup> Dr., Pesquisador da Embrapa Clima Temperado guto@cpact.embrapa.br

### 1. Introdução

Uma das formas de suprir a demanda das culturas por micronutrientes, principalmente nas condições de agricultura intensiva baseada unicamente na aplicação de macronutrientes, é através da fertilização foliar preventiva e/ou corretiva.

A água de xisto (AX) constitui-se um dos subprodutos do processamento industrial do xisto. Diariamente, são produzidos cerca de 300 m<sup>3</sup>, os quais permanecem em sistema fechado na Unidade de Retortagem do Processo Petrosix®, desenvolvido pela Petrobras-SIX, São Mateus do Sul-PR. A diversidade e concentração de compostos orgânicos e inorgânicos em sua matriz, oriundos da vaporização de compostos orgânicos e da água estrutural presentes no folhelho pirobetuminoso, pressupõem um potencial uso deste subproduto líquido como matéria-prima para a produção de fertilizantes foliares.

Adicionalmente, estudos realizados pela Embrapa Clima Temperado (Pelotas-RS) têm indicado potencial para indução de resistência a doenças, através da ativação de grupos específicos de enzimas responsáveis pela produção de lignina e fitoalexinas.

Em um estudo objetivando avaliar o efeito de doses de AX isolada e combinada com enxofre sobre o rendimento de grãos de soja cultivado sobre um Argissolo Vermelho da região de São Mateus do Sul-PR, na safra agrícola 2005/2006, observou-se incremento de produtividade até a dose de 6,0 L ha<sup>-1</sup>. Tal efeito foi potencializado pela interação com a presença de enxofre elementar.

A resposta das culturas à aplicação de nutrientes via foliar depende da disponibilidade de nutrientes no solo, regulada pelo tipo e quantidade de fertilizantes aplicados e pelas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, as quais influem sobre os processos de transporte e absorção de nutrientes e pelas taxas de requerimento de nutrientes pelas plantas. Assim, solos de baixa fertilidade natural e/ou degradados pelo manejo e culturas de elevada demanda de nutrientes em determinadas fases de seu ciclo, especialmente na fase reprodutiva e alta expectativa de rendimento, constituem-se condições básicas para a obtenção de resposta a fertilização foliar.

Aumentar a produtividade nem sempre é possível, porém pode ocorrer o aumento das proteínas presentes nos grãos assim como de outros nutrientes benéficos a saúde, tornando-se um importante resultado para a melhoria da alimentação, uma vez que os cereais são grandes fontes protéicas e a melhor forma para se obter estes aumentos é o fornecimento de adubação em época adequada.

No processo de partição de carbono em plantas, o descarregamento do floema e a hidrólise de sacarose são considerados fatores limitantes para o acúmulo de fotoassimilados nos tecidos drenos, o que confere às enzimas envolvidas no metabolismo de clivagem da sacarose um papel decisivo na compreensão dos mecanismos de sua regulação (Sonnewald & Frommer, 1995). As enzimas invertases (invertase neutra do citosol – INC, invertase ácida do vacúolo – IAV, invertase ácida da parede celular IAP) e sacarose sintase (SuSy) são citadas, por vários autores, como responsáveis pelo controle de fluxo e hidrólise de sacarose em tecidos-drenos (Etxeberria & Gonzalez, 2003).

Um dos objetivos primordiais da fisiologia da produção e do melhoramento genético é, naturalmente, maximizar o rendimento dos drenos. Aumentos nos rendimentos das culturas advêm principalmente de mudanças na partição de assimilados, a partir da redução do crescimento de órgãos não explorados na colheita, em relação a drenos de interesse econômico e as enzimas que degradam sacarose têm contribuição neste processo.

Tendo em vista a necessidade de se desenvolver fertilizantes foliares mais eficientes torna-se importante a compreensão dos mecanismos que proporcionam maiores produtividades com a aplicação destes. É possível que as enzimas envolvidas na atividade sacarolítica apresentem atividades diferenciadas durante a formação dos grãos e que sofram influência dos fertilizantes aplicados, assim como os materiais de reserva, tais como amido, proteínas e lipídios.

Diante deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo relacionar a eficiência agrônoma de formulações contendo água de xisto com algumas variáveis fisiológicas envolvidas com a produtividade das culturas, como subsídio a compreensão dos mecanismos que proporcionam aumentos de rendimento e qualidade dos produtos agrícolas produzidos.

## 2. Material e métodos

O ensaio foi realizado durante os meses de novembro de 2007 a março de 2008 no município de Pelotas-RS, sendo composto por sete tratamentos com delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo com as seguintes características: pH 5,1; pH SMP 5,8, matéria orgânica 2,4 g Kg<sup>-1</sup>; Argila 190 g Kg<sup>-1</sup>; Al 2,5 cmol dm<sup>-3</sup>; Ca 3,1 cmol dm<sup>-3</sup>; Mg 1,3 cmol dm<sup>-3</sup>; P 5,3 mg dm<sup>-3</sup>; K 52,0 mg dm<sup>-3</sup>; S 10,8 mg dm<sup>-3</sup>; Zn 9,0 mg dm<sup>-3</sup>; Cu 1,8 mg dm<sup>-3</sup>; B 0,3 mg dm<sup>-3</sup>; saturação de bases 45 %, saturação em alumínio 8 %, CTC efetiva 4,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e CTC em pH 7,0 10,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

A cultivar de milho híbrido Pionner 30F35 foi semeada em parcelas de 4 linhas com 7,0m de comprimento espaçadas de 0,80m. A adubação de base correspondeu a aplicação equivalente de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 10-20-20, por ocasião da semeadura. Quarenta dias após a emergência, efetuou-se a aplicação de nitrogênio em cobertura na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia. As aplicações de AX foram realizadas com a utilização de pulverizador de pressão constante (CO<sub>2</sub>), regulado para vazão de 100 L ha<sup>-1</sup>. As duas primeiras aplicações ocorreram durante período de crescimento vegetativo, sendo a terceira pulverização realizada na fase reprodutiva de floração/enchimento dos grãos.

Para relacionar algumas variáveis fisiológicas e a produtividade da cultura do milho pulverizada com água de xisto (AX) como fertilizante foliar em combinação com nutrientes, foram avaliados os seguintes tratamentos do experimento citado acima: 1) Testemunha absoluta (TEST); 2) Água de xisto+micronutrientes (MAX, composta de Zn 8 %; Cu 1,5 %; Mn 1,5 %; Mo 0,5 %; B 0,5 %; S 6 %); 3) Fertilizante foliar comercial (FFC, composto de Zn 2 %; Cu 0,3 %; Mn 1 %; Mo 0,05 %; B 0,2 %; Mg 1 %; N 3 %; P 15 %; K 8 %) e 4) AX pura, na dose de 7,5 L ha<sup>-1</sup>.

A extração e incubação das invertases solúveis (INC = invertase neutra do citosol, IAV = invertase ácida do vacúolo) foram realizadas conforme descrito por Zeng et al., (1999) e da invertase insolúvel (IAP = invertase ácida da parede celular) segundo Cazetta et al., (1999), com algumas modificações. A quantificação da atividade das enzimas foi realizada pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959).

A sintase da sacarose (SUSY) foi avaliada no sentido da degradação da sacarose, considerando que a enzima exerce também a síntese. A extração foi realizada com meio extrator constituído de HEPES 50mM pH 7,0, MgCl<sub>2</sub> 5mM, DTT (ditiotreitól) 2mM, EDTA dissódico 1mM, Ácido ascórbico 100 mM e PVPP 10 % p/v. O meio de incubação foi constituído de tampão MES 100mM pH 6,0, UDP 5mM e Sacarose 300mM. A incubação foi realizada por 40 minutos a uma temperatura de 37°C. A atividade da SUSY foi quantificada pelo método do ácido dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959).

Os AST foram coloridos com antrona e os açúcares redutores (AR) foram coloridos com DNS e as leituras realizadas em espectrofotômetro. Para extração do amido, o pellet foi ressus-

pendido com 6mL do tampão acetato de potássio 200 mM, pH 5,5 e colocado em banho-maria (100 °C) por 5 minutos. Em seguida foram adicionados 2 mL do preparado da enzima amiloglucosidase, contendo 12,6 unidades, incubando em banho-maria a 40 °C por 2 horas. Posteriormente, o material foi centrifugado a 20.000 g por 20 minutos, o sobrenadante foi coletado e o volume completado para 10 mL ou volume maior, caso estivesse muito concentrado (grãos) e quantificado pelo método da antrona (DICHE, 1962). Os aminoácidos livres foram quantificados pelo método de Moore e Stein (1948).

### 3. Resultados e discussão

Os rendimentos de grãos dos tratamentos que tiveram as características fisiológicas avaliadas estão apresentados na Fig. 1. As barras representam o erro padrão da média (desvio padrão da média/raiz(n)). Foi realizada análise da variação e teste de Duncan para comparar as médias dos tratamentos. Observa-se que o rendimento de grãos do tratamento FFC (produto comercial) diferiu da testemunha (TEST), mas não diferiu dos outros dois. Os demais tratamentos (TEST, MAX e AX), não diferiram entre si.

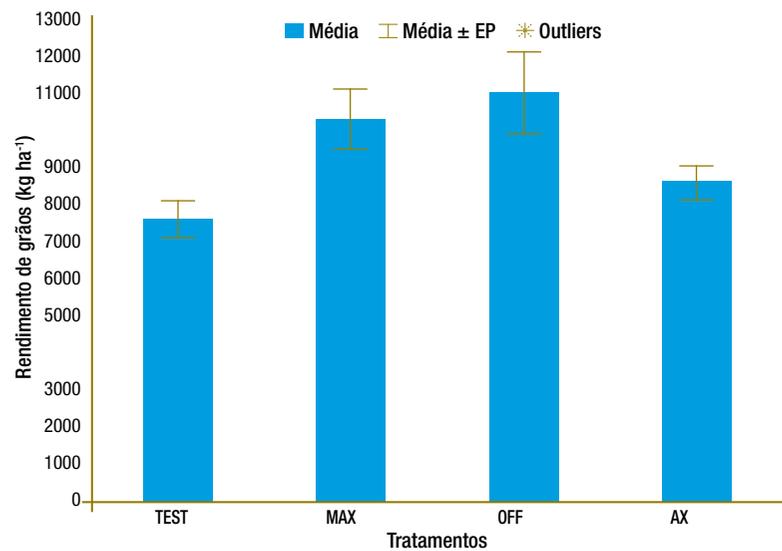


Fig. 1. Rendimento de grãos de milho dos quatro tratamentos que tiveram as características fisiológicas avaliadas.

Na Fig. 2, pode-se observar que os tratamentos MAX e FFC apresentaram tendência de acumular mais amido nos grãos, indicando estágio de maturação mais avançado. Um maior conteúdo de amido nos grãos é importante, pois este polímero constitui a principal reserva da semente e também é fonte de energia indispensável à alimentação animal ou humana. Observa-se que houve a mesma tendência para a variável rendimento de grãos.

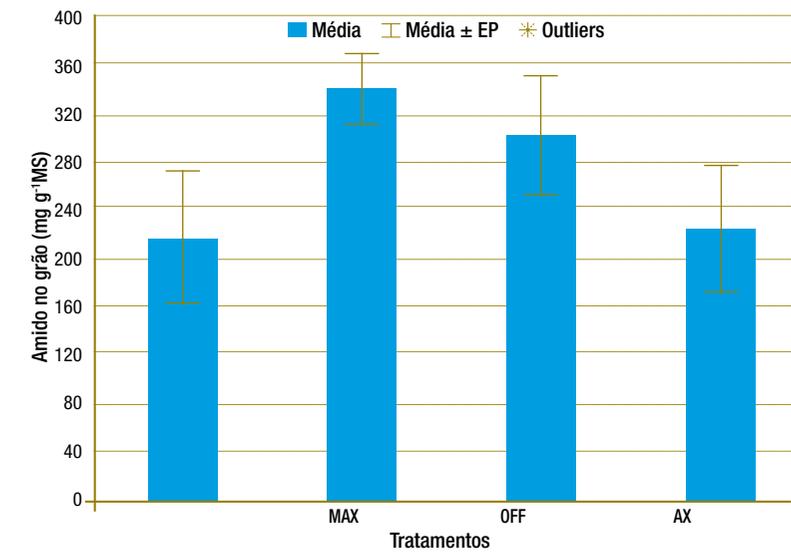


Fig. 2. Conteúdo de amido nos grãos de milho coletados na fase do enchimento de grãos.

A atividade da Susy, apresentada na Fig. 3, mostra a mesma tendência do rendimento de grãos, embora a diferença entre os tratamentos não tenha sido significativa.

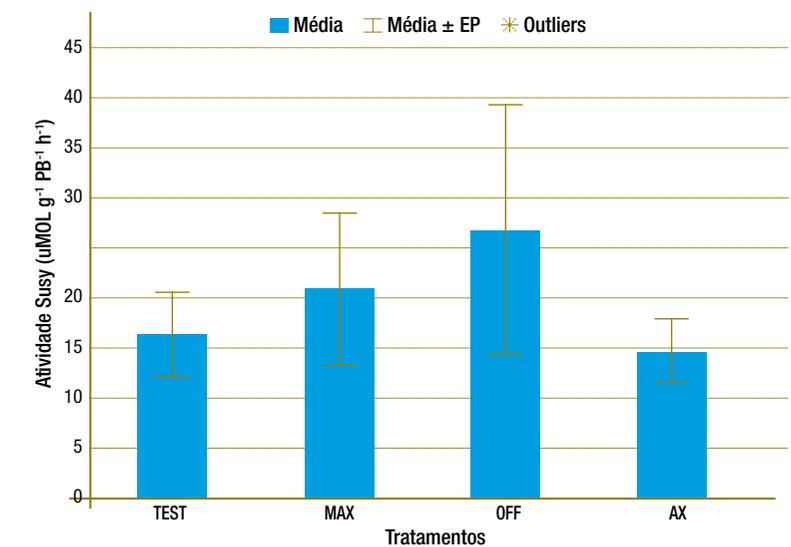


Fig. 3. Atividade da susy no grão de milho coletado na fase do enchimento de grãos.

Quantitativamente, o crescimento dos grãos pode ser avaliado em termos de capacidade da planta em suprir substrato para o crescimento (fonte) e do potencial dos grãos (dreno) em acumular substrato disponível. São identificadas duas fontes principais de substrato para o crescimento dos grãos: uma originada a partir da produção fotossintética após a antese e outra relacionada com a remobilização do material assimilado antes da antese e temporariamente arma-

zenado, principalmente nos colmos. O maior acúmulo de açúcares nos grãos afeta diretamente a biossíntese de amido, reduzindo drasticamente sua concentração e ao mesmo tempo a síntese de amido sugere estar relacionada com o maior acúmulo de matéria fresca e conseqüentemente com a produção (OLIVEIRA JÚNIOR, et al., 2007).

Um maior conteúdo de açúcares redutores (AR) em grãos pode ter interpretações diferenciadas entre pesquisadores, no entanto, é de consenso que os açúcares redutores (glicose e frutose) são utilizados para sintetizar amido e para manter o fluxo de energia na célula. Um alto conteúdo de AR no grão pode ser interpretado como alta atividade metabólica e refletirá em maior acúmulo de reservas, por um lado, enquanto que, por outro, pode ser interpretado como uma baixa capacidade das células em sintetizar amido a partir destes açúcares, fazendo com que os mesmos se acumulem nos grãos.

Em geral, admite-se que a atividade da SuSy é relacionada predominantemente com a síntese de parede celular e de amido (Winter & Huber, 2000), mas também pode estar associada com a síntese de sacarose. Apesar de a reação catalisada pela SuSy ser reversível, existem evidências de que a ação predominante desta enzima é no sentido da clivagem da sacarose, produzindo UDP-glicose e frutose. De acordo com Kruger (1993), pelo menos três argumentos sustentam essas evidências. O primeiro argumento tem relação com a distribuição da SuSy em diferentes tecidos. A atividade da SuSy é geralmente baixa em células fotossintéticas e gliconeogênicas, e é muitas vezes alta em tecidos com intensa atividade de crescimento, os quais dependem da sacarose como o seu substrato respiratório. Em segundo lugar, em alguns tecidos, a atividade das invertases é muito menor que a da SuSy, mostrando-se insuficiente para catalisar o metabolismo da sacarose. Um bom exemplo disso é o tubérculo da batata, no qual as invertases ácida e alcalina têm atividades tão baixas que a SuSy parece assumir quase integralmente a clivagem da sacarose. Por fim, estudos realizados com mutantes de milho revelam que uma redução dos níveis de SuSy em endosperma em desenvolvimento restringe a capacidade desse tecido de metabolizar sacarose (Boyer, 1985).

Na Fig. 4, observa-se a tendência de diminuição dos aminoácidos livres nos tratamentos MAX e FFC, os quais apresentaram maiores rendimentos de grãos, indicando um maior equilíbrio nutricional nestes tratamentos.

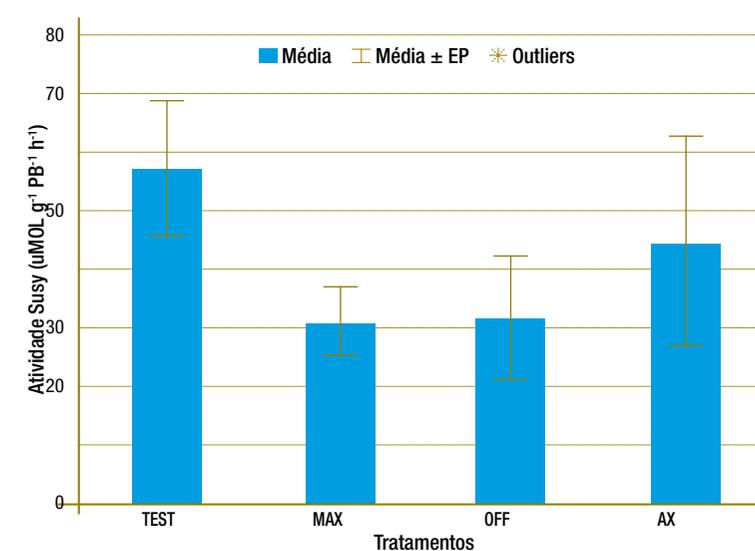


Fig. 4. Conteúdo de aminoácidos livres no grão de milho coletado na fase do enchimento de grãos.

Plantas bem nutridas ou equilibradas nutricionalmente são menos propensas ao ataque por insetos e doenças, basicamente devido a menor disponibilidade de substâncias que lhes servem de alimento, que são os aminoácidos livres. Numa planta equilibrada, os aminoácidos localizam-se nas estruturas protéicas, as quais são grandes demais para serem absorvidas no intestino dos insetos, que não possuem enzimas capazes de decompô-las. Quando, por algum motivo, na seiva da planta se acumulam aminoácidos livres, insetos e microorganismos, causadores de doenças, são atraídos, podendo transformar-se em problema sério. Além disso, plantas que apresentam desequilíbrio nutricional não se desenvolvem adequadamente, tendo assim dificuldades para formar proteínas, ficando sujeitas aos ataques dos parasitas.

#### 4. Conclusões

A água de xisto combinada com nutrientes inorgânicos em formulações de fertilizantes foliares promoveu aumento no rendimento de grãos de milho.

O maior rendimento de grãos parece estar mais associado à síntese e acúmulo de amido e a atividade da sacarose sintase (SuSy) e menor quantidade de aminoácidos livres.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOYER, C. D. Synthesis and breakdown of starch. In: NEYRA, C. A. *Biochemical basis of plant breeding*. v. 1. Boca Raton, CRC Press, 1985 p. 133-153.

CAZETTA, J. O.; SEEBAUER, J. R.; BELOW, F. E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels. *Annals of Botany*, London, v. 84, n. 6, p. 747-754, Dec. 1999.

DICHE, Z. Genera color reactions. In: WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. *Carbohydrate chemistry*. New York: Academic Press, p. 477-520, 1962.

ETXEBERRIA, E.; GONZALEZ, P. Evidence for a tonoplast-associated form of sucrose synthase and its potential involvement in sucrose mobilization from the vacuole. *Journal of Experimental Botany*, v. 54, n. 386, p. 1407-1414, 2003.

KRUGER, N. J. Carbohydrate synthesis and degradation. In: DENNIS, D. T.; TURPIN, D. H. *Plant physiology, biochemistry and molecular biology*. 2 ed. London, Longman Scientific & Technological, p. 59-76, 1993.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Biochemistry*, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MOORE, S. & STEIN, N.N. Photometric method of use in the chromatography of amino acids. *Journal of Biological Chemistry*, 176:367-388, 1948.

OLIVEIRA JUNIOR et al., Diferenças fisiológicas entre genótipos de milho doce (su-1) e milho comum durante o desenvolvimento, *Scientia Agraria*, Curitiba, v.8, n.4, p.351-356, 2007.

WINTER, H.; HUBER, S. C. Regulation of sucrose metabolism in higher plants: localization and regulation of activity of key enzymes. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, v. 35, n. 4, p. 253-289, 2000.

ZENG, Y.; WU, Y.; AVIGNE, W.T.; KOCH, K.E. Rapid repression of maize invertases by low oxygen. Invertase/sucrose synthase balance, sugar signaling potential, and seedling survival. *Plant Physiology*, Rockville, v.121, n.2, p.599-608, Oct. 1999.

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE XISTO VISANDO SEU USO COMO INSUMO PARA A AGRICULTURA

Rafael Messias<sup>1</sup>, Luís Henrique Gulate Ferreira<sup>2</sup>, Betânia Fraga Pereira<sup>3</sup>,

Carlos Augusto Posser Silveira<sup>4</sup>, Clelio Nailto Pillon<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Doutorando DCTA/FAEM/UFPEL, Pesquisador Convidado Embrapa Clima Temperado, rafaelm@cpact.embrapa.br

<sup>2</sup> Doutorando PPGA/FAEM/UFPEL, Pesquisador Convidado Embrapa Clima Temperado

<sup>3</sup> Dra, Pesquisadora Convidada Embrapa Clima Temperado – Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná

<sup>4</sup> Dr., Pesquisador Embrapa Clima Temperado guto@cpact.embrapa.br

### 1. introdução

O Brasil detém a segunda maior reserva mundial de xisto ou folhelho pirobotuminoso, sendo a água de xisto (AX) um dos subprodutos da industrialização desta rocha, obtido pelo processo Petrosix®, desenvolvido pela Petrobras-SIX, São Mateus do Sul-PR. Diariamente são produzidos cerca de 300 m<sup>3</sup> de AX, a qual é formada pela água de resfriamento do processo térmico de extração do óleo e gás e da água estrutural presente na rocha de xisto.

A diversidade da matriz da AX contendo considerável gama de macro e microconstituintes provenientes de plantas fossilizadas e substâncias orgânicas solubilizadas a qual tornam a AX uma potencial fonte de nutrientes para uso na formulação de fertilizantes líquidos com foco em aplicações foliares e soluções nutritivas na agricultura. Além destes, consideráveis quantidades de amônia e gás sulfídrico são absorvidos durante o processo, e por serem gerados em ambiente redutor, apresentam grande susceptibilidade à oxidação emanando vapores mercaptídicos, sulfídricos e amoniacais, dentre outros em menores concentrações (PETROBRAS/SIX, 2005).

A produção agrícola tem sido focada no uso de insumos visando, principalmente, características de produtividade. Tendo-se para isso feito uso de formulações de adubos baseados principalmente em macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), os quais, devido ao incremento nos seus processos de produção têm-se tornado cada vez mais isentos de micronutrientes, limitando a demanda de diferentes culturas por uma gama maior destes compostos. A demanda por

produtos para adubação complementar eficientes e com melhor equilíbrio sobre os diferentes agroecossistemas tem sido objeto de estudo em muitos trabalhos relacionados a diversos sistemas de produção agrícola (Coelho et al., 2009). A adubação foliar é considerada uma das formas mais adequadas de adubação complementar, tendo sido intensificada sua prática nos últimos anos, devido, entre outros fatores, a constatação da baixa mobilidade de alguns nutrientes e problemas nas características físicas, químicas ou biológicas do solo as quais podem indisponibilizar muitos nutrientes (Brakemeier, 1999).

Neste trabalho objetivou-se caracterizar físico-quimicamente a AX por meio da sistematização de dados obtidos em diferentes períodos de amostragens.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Material

A água de xisto foi amostrada na Unidade Industrial da Petrobras-SIX, localizada no município de São Mateus do Sul (PR). Considerando-se possíveis variações na composição da rocha de xisto e no próprio processo Petrosix®, os quais poderiam influenciar a composição físico-química da AX, optou-se por uma estratégia de amostragem temporal, durante cinco meses. Para tanto, obteve-se uma amostra composta a partir de quatro coletas diárias de 50 L, nos horários das 8:00, 13:00, 18:00 e 23:00 horas, totalizando 200 L. Este procedimento foi realizado ao longo de quatro da semana. De cada amostra diária de 200 L (acondicionados em bombona plástica), foram retirados, após homogeneização, alíquotas de 3 L as quais foram armazenadas sob refrigeração de  $\pm 5$  °C e ao abrigo da luz até a realização das análises.

### 2.2. Métodos analíticos

Os compostos inorgânicos totais foram determinados por ICP-OES (espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente) e por ICP-MS (espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente). A determinação do mercúrio foi efetuada por espectrometria de absorção atômica com geração de vapor a frio (CV-AAS). A quantificação de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis foram determinados por cromatografia gasosa com espectro de massa acoplado. A determinação de cianeto total foi efetuada por destilação com o uso de eletrodo seletivo.

## 3. Resultados e discussão

Dentre os elementos nutrientes encontrados em maior concentração na AX temos o enxofre, com cerca de 250 mg L<sup>-1</sup>. Geralmente, as necessidades de enxofre para a maioria das culturas é suprida pela matéria orgânica do solo, pelo ar ou via fertilizantes a base de enxofre, como por exemplo, o sulfato de amônio (24 % de enxofre), o superfosfato simples (12 % de enxofre) e

o gesso agrícola (15 a 18 % de enxofre), os quais são as fontes mais comuns desse nutriente. Atualmente, porém, com o uso mais intensivo dos solos e de fórmulas de adubos concentrados e mais puros, sem enxofre, as respostas a esse elemento tendem a aumentar (Coelho et al., 2009).

A Tabela 1 mostra os valores médios de concentrações totais de compostos inorgânicos e orgânicos na AX, em quatro dias de amostragem no período de uma semana.

Os demais elementos minerais constituintes da AX encontram-se em concentrações consideravelmente baixas, porém em número bastante elevado. O que poderia explicar seu efeito sobre a nutrição e produtividade de algumas culturas, como constatado por Pereira e Mello (2002) com a utilização fertilização foliar com AX acrescida de Ca e B, entre outros, na cultura do pimentão e do tomate.

Os elementos traço na nutrição humana, considerados pela Comunidade Européia, em relatório encomendado pela organização mundial da saúde (OMS) em 1988, juntamente com a FAO (Organização de Alimentos e Agricultura das Nações Unidas), foram divididos em três grupos em função de sua importância nutricional em humanos: a) elementos essenciais (iodo, zinco, selênio, cobre, molibdênio e cromo); b) elementos provavelmente essenciais (manganês, silício, níquel, boro e vanádio); e c) elementos potencialmente tóxicos, embora alguns destes possam exercer funções essenciais quando em baixos níveis (flúor, chumbo, cádmio, mercúrio, arsênio, alumínio, lítio e estanho) (OMS, 1988).

No caso do selênio, desde que a enzima glutatona peroxidase foi considerada uma estrutura que desempenha uma função vital, seu constituinte, o selênio, também foi considerado como essencial (OMS, 1998). Além disso, diversos estudos acabaram mostrando sua importância em diversas funções biológicas, como no funcionamento da glândula tireóide, na sua possível conexão com as melhoras das condições cardiovasculares, na prevenção da formação de radicais livres e na melhora da resposta à infecções do sistema imunológico (Navarro-Alarcon e Cabrera-Vique, 2008).

Tabela 1. Valores de concentrações de elementos minerais e compostos orgânicos na AX.

Parâmetro	Média ± D.P.	Compostos	Média
pH	10,44 ± 0,19		
	µg L <sup>-1</sup>		mg L <sup>-1</sup>
Prata (Ag)	n.d. <sup>1</sup>	Estireno	0,028
Alumínio (Al)	23,1 ± 3,1	Cresóis totais	132,62
Arsênio (As)	1.588,9 ± 110,9	Cianeto	0,35
Boro (B)	275,1 ± 6,0	BTEX	
Bário (Ba)	22,0 ± 7,0	Benzeno	n.d.
Cálcio (Ca)	48,3 ± 7,7	Tolueno	0,32
Cádmio (Cd)	n.d.	Etilbenzeno	0,019
Cloro (Cl)	1.138,2 ± 126,9	o-Xileno	0,089
Cobalto (Co)	0,2 ± 0,1	m,p-Xileno	0,021

Cromo (Cr)	1,9 ± 1,0	Fenóis	
Cobre (Cu)	28,05 ± 0,1	Pentaclorofenol	n.d.
Ferro (Fe)	75,5 ± 9,6	2-Metil-4,6 dinitrofenol	n.d.
Mercúrio (Hg)	4,5 ± 0,9	2-Clorofenol	n.d.
Potássio (K)	184,3 ± 25,2	2,4-Dimetilfenol	23,60
Lítio (Li)	0,7 ± 0,5	Fenol	59,63
Magnésio (Mg)	190,2 ± 15,0	2,4-Diclorofenol	n.d.
Manganês (Mn)	4,1 ± 1,9	2,6-Diclorofenol	n.d.
Molibdênio (Mo)	n.d.	4-Cloro-3-Metilfenol	n.d.
Sódio (Na)	8.075,7 ± 5.836,6	2,4,6-Triclorofenol	n.d.
Níquel (Ni)	1,47 ± 0,3	2,4,5-Triclorofenol	n.d.
Fósforo (P)	113,4 ± 31,5	2,3,4,6-Tetraclorofenol	n.d.
Chumbo (Pb)	1,2 ± 0,2	2-Metilfenol	45,00
Enxofre (S)	251.610, 2 ± 277.749,9	4-Metilfenol	87,54
Selênio (Se)	1.593,7 ± 93,2	2-Nitrofenol	n.d.
Estanho (Sn)	n.d.	4-Nitrofenol	n.d.
Telúrio (Te)	2,5 ± 0,7		
Titânio (Ti)	52,5 ± 38,3		
Vanádio (V)	0,4 ± 0,2		
Zinco (Zn)	17,9 ± 5,5		

n.d. – não detectado

Em plantas estudos sugerem que o Se tem propriedades antioxidantes ativando mecanismos protetores que podem aliviar o estresse oxidativo nos cloroplastos (Sepänen et al., 2003), havendo evidências que quantidades traço de Se podem aumentar o crescimento de algumas espécie de plantas (Hartikainen et al., 2000). Segundo Ohlendorf et al., (1986) solos com presença de xistos e seus derivados contêm tipicamente concentrações elevadas de Se, sendo a AX uma potencial fornecedora deste elemento.

De forma similar, novos estudos continuam ampliando o conhecimento em relação aos elementos traço na dieta, como por exemplo, a confirmação do papel importante do arsênio (usado amplamente na química agrícola em formulações de pesticidas, herbicidas, dessecantes, e em produtos farmacêuticos) como aditivo de rações para aves e suínos, promovendo o aumento do ganho de peso e protegendo contra doenças entéricas, bem como sua ação fisiológica na formação de vários metabólitos da metionina, incluindo a taurina e as poliaminas, além de atuar como cofator na síntese de espermidina e espermina (Uthus, 1992). Cabendo salientar que, no caso da AX, os teores de As encontrados não ocasionaram níveis acima dos estipulados pela legislação nas culturas tratadas com fertilização foliar nas dosagens recomendadas (dados ainda não publicados).

Em relação aos compostos orgânicos, a análise dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno, Acenaftileno, Fluoreno, Antraceno, Benzo(g,h,i)perileno, Fenantreno, Dibenzo(a,h)antraceno, Indeno(1,2,3,cd)pireno,

Pireno, Antraceno, Fluoranteno, Naftaleno e Benzo(a)antraceno) realizada nas amostras de AX coletadas em dezembro de 2005 e janeiro, março e abril de 2006, não detectou a presença, dentro do limite de detecção de 0,005 mg L<sup>-1</sup>, para nenhum dos compostos analisados.

Os compostos fenólicos detectados na AX são formados basicamente por cresóis, compostos fenólicos metilados que ocorrem naturalmente no meio ambiente, sendo encontrados em muitos alimentos, e ainda produzidos por microrganismos no solo e na água ao degradar matéria orgânica. Estes cresóis podem existir em três formas de estruturas químicas muito semelhantes entre si: o-cresol (2-metilfenol), m-cresol (3-metilfenol) e o p-cresol (4-metilfenol), sendo que estas formas podem ser encontradas separadas ou misturadas. Não foram encontradas as formas mais tóxicas, como é o caso dos compostos fenólicos clorados e nitrogenados.

A toxicidade do cianeto deve-se a sua capacidade de inibição do metabolismo e como asfixiante químico, impedindo que os tecidos realizem a troca de O<sub>2</sub>. Grande parte dos alimentos, em particular os de origem vegetal, contem traços de CN<sup>-</sup>, que é parcialmente eliminado no cozimento (Ortega Flores, 1991), sendo a ingestão diária aceitável para o homem de até 0,5 mg kg<sup>-1</sup> de massa corporal (Hellawell, 1986; Straub, 1989; Moore, 1990).

As amostras de água de xisto analisadas apresentaram um teor médio de 0,35 mg L<sup>-1</sup> de cianeto (CN<sup>-</sup>). Devido a falta de legislação específica para fertilizantes líquidos em relação a este composto, observa-se que o ministério da saúde, através da sua Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004, estabelece o limite de 0,07 mg L<sup>-1</sup> CN<sup>-</sup> ou VMP (Valor Máximo Permitido), porém, referente a qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Devendo-se ainda destacar que esses teores serão diluídos para sua aplicação como fertilizante foliar na ordem de 1:100 até 1:400 vezes, segundo manejos normalmente utilizados em agricultura considerando aspectos técnicos e econômicos, além da porcentagem do produto não absorvido após aplicação. Ficando esses teores reduzidos a valores bem abaixo do máximo recomendado para águas classe 1 (CONAMA, 2005).

#### 4. Conclusões

Levando-se em conta a concentração de elementos traço e a diversidade de elementos nutrientes observada na água de xisto, bem como componentes com potencial indutor de processos metabólicos de interesse, e dentro da dose usual de máxima eficiência técnica de até 6,0 L ha<sup>-1</sup>, conforme resultados obtidos em vários estudos realizados pela Embrapa Clima Temperado, a água de xisto apresenta potencial principalmente como matéria-prima para a formulação de fertilizantes foliares, sendo segura do ponto de vista ambiental e na produção de alimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAKEMEIER, C. Adubação foliar: a complementação nutricional da macieira. *Jornal da Fruta, Lajes*, p.7, 1999. COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES V. M. C.; HERNANI L. C. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção. Disponível online em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivadoMilho/feraduba.htm>
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Nro. 357 (17 de Março de 2005), 23p, 2005.
- HARTIKAINEN, H.; XUE, T.L.; PIIRONEN, V. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant Soil*, vol.225, p.193–200, 2000.
- HELLAWELL, J. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Londo: Elsevier, 546p, 1986.
- MOORE, J. Inorganic contaminants in surface waters. New York: Springer-Verlag, 1990, 334p.
- NAVARRO-ALARCON, M. e CABRERA-VIQUE, C.. Selenium in food and the human body: A review. *Science of the total environment*. v. 400, p. 115 – 141, 2008.
- OHLENDORF, H.M.; HOFFMAN, D.J.; SLAKI, M.J.; ALDRICH, T.W. Embryonic mortality and abnormalities of aquatic birds: apparent impacts of selenium from irrigation drain water. *Sci Total Environ*, vol. 52, p.49–63, 1986.
- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Elementos traço na nutrição e saúde humanas. Editora Roca, 1ª edição. 297p, 1998.
- ORTEGA-FLORES, C.I. Carotenóides com atividade pró-vitamina A e teores de cianeto em diferentes cultivadores de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do Estado de São Paulo. 1991. Dissertação– Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- PEREIRA, S. H. E MELLO, C. S. Aplicações de fertilizantes foliares na nutrição e na produção do pimentão e do tomateiro. *Hortic. Bras.* v.20 n.4, 2002.
- PETROBRAS/SIX; Caracterização da água proveniente do processo de pirólise do xisto. Relatório Técnico. Unidade de Negócio da Industrialização do Xisto, São Mateus do Sul/PR, 2005.
- SEPPÄNEN, M.; TURAKAINEN, M.; HARTIKAINEN, H. Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, vol.165, p.311-/319, 2003.
- STRAUB, C. Ed. Practical handbook of environmental control. Boca Raton: CRC, 537p. 1989.
- UTHUS, E.O.Evidence for arsenic essentiality. *Environmental Geochemistry and Health*. V. 14, p. 55-58, 1992.

## ESTUDO DE SORÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DE FENOL E O-CRESOL COM ARGISSOLO VERMELHO DISTRÓFICO PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA AMBIENTAL A PARTIR DO USO DE ÁGUA DE XISTO

Rafael Garrett Dolatto<sup>1</sup>, Talita de Oliveira<sup>1</sup>, Gilberto Abate<sup>1</sup>,  
Lara Messerschmidt<sup>1</sup>, Betânia Fraga Pereira<sup>2</sup>, Clenio Nailto Pillon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Depto. de Química, Universidade Federal do Paraná [rgdolatto@gmail.com](mailto:rgdolatto@gmail.com)

<sup>2</sup> Pesquisadora Convidada da Embrapa Clima Temperado, Depto. de Química, Universidade Federal do Paraná [betaniapereira@yahoo.com.br](mailto:betaniapereira@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa Clima Temperado. [pillon@cpact.embrapa.br](mailto:pillon@cpact.embrapa.br)

### 1. Introdução

Compostos fenólicos surgem naturalmente no ambiente decorrente da degradação de matéria orgânica ou degradação de lignina presente na madeira. No entanto, a atividade antropogênica é responsável pela maioria dos descartes de fenóis no meio ambiente (ALEMZADEH, 2002). Neste contexto, deve-se salientar que a contaminação de solos e águas superficiais e subterrâneas por atividades industriais tem tornado as áreas urbanizadas cenários de alto risco ambiental (MIDUGNO et al., 2007).

A disponibilidade de compostos fenólicos para plantas, animais ou microrganismos no solo é determinada, principalmente, pela extensão da sorção e taxa de desorção das partículas sólidas do solo. Essas propriedades são dadas pela estrutura molecular do composto, sua concentração no solo, além da temperatura, umidade e características físico-químicas do solo. A habilidade do solo de interagir com esses produtos, ou retardar o movimento dos mesmos, ajuda a reduzir a contaminação do ambiente. A degradação desses compostos pelos microrganismos do solo é considerada o fator principal que determina a sua persistência e o destino no solo (MELO E AZEVEDO, 1997).

Vários estudos descrevem a biodegradação de compostos aromáticos, dentre eles os fenóis e os cresóis (CLAUBEN e SCHMIDT, 1998), por uma ampla variedade de microrganismos, tais como algas, bactérias e fungos. Esses microrganismos têm sido utilizados em processos de biorremediação e na despoluição de solo e sedimentos contaminados por compostos fenólicos clorados e de alta massa molecular (DURAN, 2000). Buscou-se neste trabalho estudar o tipo de interação que compostos fenólicos vêm a ter com uma dada amostra de solo, com características físico-químicas previamente determinadas. Foram utilizados ensaios em batelada, nos quais foi investigada a capacidade do solo em sorver os fenóis, o tempo de residência no solo de cada espécie estudada e possíveis processos de biodegradação.

A Superintendência da Industrialização do Xisto, Petrobras-SIX, está localizada em São Mateus do Sul-PR e utiliza o xisto para produção de óleo e gás, através do processo Petrosix® (Petrobras-SIX, 2008). Dentre os subprodutos gerados na industrialização do xisto, o subproduto líquido apresenta uma série de nutrientes, compostos inorgânicos e orgânicos. Todavia, esse subproduto líquido possui considerável quantidade de espécies fenólicas. Visando verificar a possibilidade de aproveitamento de tais nutrientes na agricultura, foi proposto no presente estudo examinar a capacidade do solo em sorver ou degradar fenóis. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo geral, estudar o comportamento de compostos fenólicos como fenol e o-cresol frente a uma amostra de solo, previamente caracterizada, originária de São Mateus do Sul – PR.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Quantificação das espécies fenólicas

Para quantificar as espécies fenólicas utilizou-se dois métodos empregando espectrofotometria na região do UV-vis. O primeiro adaptado do método espectrofotométrico direcionado para análises de fenóis pelo método da 4-aminoantipirina (4-AA) na região do visível (510 nm), baseado no procedimento descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters* (APHA, 1995). Em meio de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, foram obtidas curvas analíticas separadamente e em triplicata para cada composto fenólico estudado, na faixa de 0,50 a 8,00 mg L<sup>-1</sup> de solução de fenol e o-cresol.

O segundo método utilizado na quantificação das espécies emprega espectrofotometria na região UV em 270 nm. Neste comprimento de onda (270 nm) foram preparadas curvas analíticas em triplicata e em meio de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> para fenol e o-cresol na faixa de 5,00 a 80,00 mg L<sup>-1</sup>.

### 2.2. Ensaios em Batelada

Para realizar os ensaios em batelada a massa de solo foi estimada de acordo com a norma OECD (OECD 106, 2000). Foi pesada uma massa de 1,0000 g ( $\pm$  0,0001 g) de solo que foi transferida para dez frascos âmbar com capacidade de 60 mL. A um dos frascos foi adicionado, com o auxílio de bureta, o volume de 30,00 mL de solução  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> para servir como prova

em branco. Nos demais frascos, volumes crescentes de solução estoque de fenol foram diluídos em solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, obtendo-se as 10 pontos em concentrações de fenol variando de 0,00 a 970,0 mg L<sup>-1</sup>.

Os frascos foram acondicionados em caixa de isopor e adaptados a um agitador orbital de bancada, operando a 170 oscilações min<sup>-1</sup> durante 48 horas. Após esse período as amostras foram centrifugadas a 3500 rpm e as concentrações remanescentes nas fases sobrenadantes, foram determinadas pelo método da 4-AAP em comprimento de onda de 510 nm, utilizando-se alíquotas compatíveis com a curva analítica previamente estabelecida de acordo com o subitem 3.1.

O tempo de equilíbrio aparente entre os fenóis e a amostra de solo foi estudado a partir de massas de 5,0000 g  $\pm$  0,0001 g de solo que foram colocadas em 4 frascos de 200 mL com 150,0 mL de solução de fenol a 50,00 mg L<sup>-1</sup> em meio de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>. Os frascos foram fechados com batoque plástico, colocados em uma caixa de isopor e mantidos sob agitação de 170 ciclos min<sup>-1</sup> por 72 horas. Durante esse período de tempo, retirava-se alíquota de 5,00 mL de cada frasco, as quais eram centrifugadas a 3500 rpm. Analogamente, era preparada prova em branco na ausência de fenol. Alíquotas convenientes (4,00 mL) eram retiradas e analisadas pelo método da 4-AAP.

### 2.3. Inibição Microbiana com Cloreto de Mercúrio (II)

Para este ensaio utilizou-se seis frascos âmbar de 200 mL, conforme segue:

2 frascos que serviram como controle, nos quais não foi adicionado solo, ambos com 150,0 mL de solução de fenol em concentração de 50,0 mg L<sup>-1</sup> em meio  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, porém um deles com a presença de solução de  $\text{HgCl}_2$  a 100 mg L<sup>-1</sup>. Estes serviram para avaliar o efeito de volatilização ou degradação química das espécies fenólicas;

2 frascos utilizados como prova em branco contendo, em um deles, uma massa de 5,0000  $\pm$  0,0001 g de solo e 150,0 mL de solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> e no outro frasco, a mesma massa de solo e 150,0 mL de solução  $\text{HgCl}_2$  a 100 mg L<sup>-1</sup> em meio de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>;

2 frascos contendo uma massa de 5,0000  $\pm$  0,0001 g de solo, 150,0 mL de solução de fenol a 50,0 mg L<sup>-1</sup> em meio de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>, sendo que em um deles foi adicionado solução de  $\text{HgCl}_2$  proporcionando concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>.

Os frascos contendo as suspensões foram fechados com batoque plástico, colocados em caixa de isopor e mantidos sob agitação de 170 ciclos min<sup>-1</sup> por 10 dias. Durante esse período alíquotas de 4,00 mL das suspensões eram retiradas, centrifugadas a 2000 rpm por 5 minutos e tinham a concentração de fenol determinada por meio de espectrofotometria de absorção na região do UV em  $\lambda$  fixo de 270 nm. Quando o fenol não era detectado nos sobrenadantes a solução mãe era fortificada com uma nova injeção de solução de fenol, proporcionando concentração próxima a 50,0 mg L<sup>-1</sup>. Experimentos análogos foram realizados para o-cresol.

## 2.4. Inibição Microbiana com Azida Sódica

Nos ensaios com solução de  $\text{NaN}_3$  foram empregados também seis frascos âmbar de 200 mL valendo-se das mesmas condições do item 3.3., no entanto, foi utilizada solução de  $\text{NaN}_3$  com concentração de 1 % (m/v) em meio de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  como agente inibidor da atividade microbiana.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Ensaios em Batelada

Nos ensaios em batelada foi estudada inicialmente a capacidade do solo em sorver o fenol. Para isso, uma relação de solo e volume de solução foi mantida dentro de padrões estabelecidos (OECD, 2000) visando o melhor aproveitamento da quantidade de amostra de solo, ou seja, a relação utilizada foi  $1,0000 \pm 0,0001 \text{ g}$  em  $30,00 \text{ mL}$  de solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , sendo essa solução também recomendada na norma para testes em batelada preparados na presença de solo. Uma vez definida a proporção solo/solução adotou-se preliminarmente um período de 24 h de tempo de contato para agitação, concentrações conforme subitem 3.1., obtendo-se perfil conforme mostra a Fig. 1.

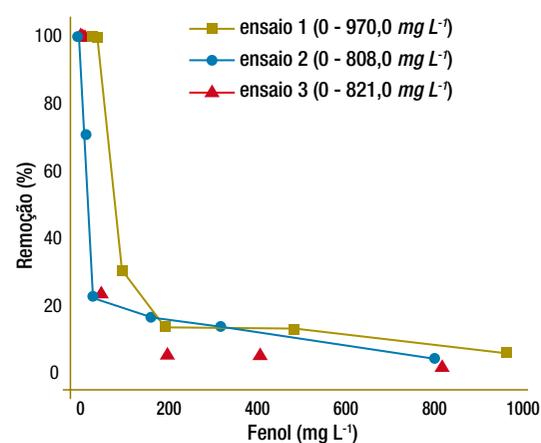


Fig. 1. Percentual de remoção de fenol em função das concentrações iniciais de fenol ( $\text{mg L}^{-1}$ ). Condições: massa de solo de  $1,0000 \text{ g}$  em  $30,00 \text{ mL}$  de solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e concentrações iniciais de fenol de acordo com a Tabela 4. Tempo de contato de 24 h em temperatura de  $25 \pm 3^\circ\text{C}$  com agitação constante de  $170 \text{ oscilações min}^{-1}$ .

A Fig. 1 mostra que o percentual de fenol removido tende a ser total nas concentrações iniciais dos primeiros pontos dos três ensaios realizados que vão até em torno de  $50,0 \text{ mg L}^{-1}$ . Os pontos iniciais de cada curva proporcionaram valores de absorbância inferiores ao sinal do menor ponto da curva analítica, portanto foram estimados. Nos demais pontos a % de remoção tende a diminuir com o aumento da concentração de fenol. De modo geral, as três faixas estudadas mostraram comportamento semelhante, porém com discrepâncias nas determinações dos pontos

com concentrações mais elevadas sugerindo, possivelmente que outros processos poderiam estar atuando em paralelo. Dentre esses, pode-se citar: *i*) tempo insuficiente para ocorrer o equilíbrio aparente entre o adsorbato e adsorvente; *ii*) o método empregado na determinação das concentrações não estava adequado ao tipo de matriz (extrato de solo); *iii*) ocorrência de degradação química ou biológica do fenol ao longo do experimento. Partiu-se então para checar se a recuperação do método analítico estava sendo adequada, empregando o procedimento da 4-AAP.

### 3.2. Tempo de Equilíbrio

Após 48 horas de tempo de contato, não foi mais possível detectar fenol, o que foi constatado para os demais compostos que mostraram comportamento semelhante, por outro lado, apresentaram maiores tempos de contato até não serem mais detectados. Isso também pode ser verificado para o-cresol sendo o tempo aproximado de 72 h. Nos dois casos poderia se concluir que a sorção estava sendo completa, em torno de 100 % de remoção. Entretanto, deve-se salientar que os valores de constantes de partição octanol-água ( $\log K_{ow}$ ) para fenol e o-cresol são, respectivamente, 1,5; 2,0, enquanto as solubilidades ( $\text{g L}^{-1}$ ) em água estão por volta de 67 e 26, para a mesma ordem dos compostos anteriormente mencionada (IPCS, 1996), o que sugere que poderia haver uma maior tendência dos compostos permanecerem na fase aquosa. Portanto, não seriam sorvidos, em especial pela matéria orgânica do solo, o que gerou o levantamento de uma segunda hipótese. Poderia estar ocorrendo um processo paralelo frente à sorção, ou seja, degradação química ou biológica, embora a amostra de solo tivesse sido seca e mantida em dessecador. Para avaliar essas possibilidades foram utilizados dois ensaios para verificar a possível biodegradação dos compostos e um terceiro ensaio para investigar se ocorre dessorção dos compostos que supostamente teriam sido recém incorporados à amostra de solo.

### 3.3. Ensaio de biodegradação

Foram realizados esses experimentos com o objetivo de avaliar se os compostos fenólicos em contato com o solo, por um período de tempo semelhante aos que haviam sido estudados anteriormente, sofriam algum processo de biodegradação ou volatilização. Nesta etapa foram escolhidos dois métodos, por via química com o uso de agentes inibidores (TREVORS, 1996) como o  $\text{HgCl}_2$  e  $\text{NaN}_3$ . Os resultados obtidos para o composto fenol a partir de ensaios em triplicata com concentração  $50,0 \text{ mg L}^{-1}$  em contato com solo por durante 10 dias frente à outra amostra nas mesmas condições, porém na presença de  $\text{HgCl}_2$  e  $\text{NaN}_3$  são mostrados na Fig. 2.

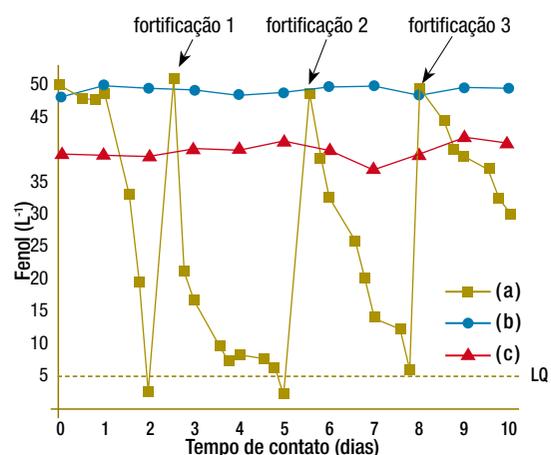


Fig. 2. Ensaio de inibição da biodegradação de fenol. (a) fenol e solo; (b) fenol, solo e solução de  $\text{HgCl}_2$  100,0  $\text{mg L}^{-1}$ ; (c) fenol, solo e solução de  $\text{NaN}_3$  1 % (m/v). Condições: Concentração de fenol inicial = 50,0  $\text{mg L}^{-1}$ , bem como as três fortificações efetuadas; meio iônico de  $\text{CaCl}_2$  em concentração 0,01  $\text{mol L}^{-1}$ ; massa de solo = 5,0000 g; volume final = 150,0 mL; agitação constante de 170 oscilações  $\text{min}^{-1}$ ,  $T = 24 \pm 3^\circ\text{C}$ . Cada ponto representado no gráfico corresponde a média de três experimentos.

É possível notar que inicialmente a suspensão contendo  $\text{HgCl}_2$ , ao longo de 10 dias de monitoramento, não mostrou redução na concentração de partida de fenol mostrando que os efeitos de sorção e volatilização são pouco pronunciados nestas amostras. Concomitantemente, as suspensões contendo fenol em  $\text{NaN}_3$  mostraram perfil semelhante ao  $\text{HgCl}_2$ , no entanto observou-se queda na concentração de fenol em relação ao adicionado inicialmente. Isto sugere a possibilidade de adsorção de fenol pelo solo em torno de 20 %, quando utilizada azida sódica como agente inibidor. Poderia estar havendo uma influência da azida no sentido de facilitar um processo de adsorção de fenol no solo. Infere-se também que este efeito de sorção não é significativo na presença de  $\text{HgCl}_2$ , que poderia de alguma maneira bloquear os sítios de adsorção do solo impedindo o fenol de interagir.

Por outro lado, na suspensão na qual não foi adicionado inibidor, observa-se que o fenol não é mais detectado em solução após 48 horas de contato nas condições experimentais estudadas. Ainda foi testada a capacidade do solo em degradar uma nova quantidade de fenol na solução (fortificação 1). Novamente, notou-se que o composto não foi detectado na suspensão após 72 horas. Uma segunda fortificação de fenol foi efetuada (fortificação 2) sendo observado mesmo tempo para ocorrer a degradação e na última injeção (fortificação 3) em 48 horas tinha-se praticamente 50 % de degradação constatada. A degradação do fenol após as novas injeções foi considerada um forte indicativo da ocorrência de degradação do composto frente ao processo de adsorção. O ensaio realizado para o composto o-cresol em condições semelhantes é mostrado na Fig. 3.

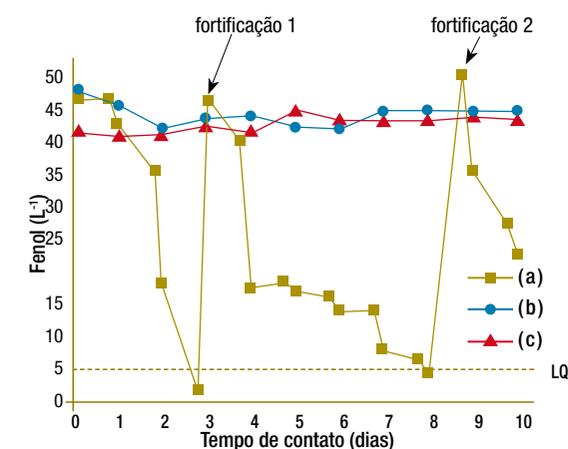


Fig. 3. Ensaio de inibição da biodegradação de o-cresol. (a) o-cresol e solo; (b) o-cresol, solo e solução de  $\text{HgCl}_2$  100,0  $\text{mg L}^{-1}$ ; (c) o-cresol, solo e solução de  $\text{NaN}_3$  1 % (m/v). Condições: Concentração de o-cresol inicial = 50,0  $\text{mg L}^{-1}$ , bem como as três fortificações efetuadas; meio iônico de  $\text{CaCl}_2$  em concentração 0,01  $\text{mol L}^{-1}$ ; massa de solo = 5,0000 g; volume final = 150,0 mL; agitação constante de 170 oscilações  $\text{min}^{-1}$ ,  $T = 24 \pm 3^\circ\text{C}$ . Cada ponto representado no gráfico corresponde a média de três experimentos.

Conforme Fig. 3, a suspensão contendo inibidor  $\text{HgCl}_2$  também não apresentou variação significativa na concentração inicial, no entanto foi observada diferença em relação ao fenol, sendo que houve ligeira diminuição de concentração do o-cresol estabilizando em torno de 43,0  $\text{mg L}^{-1}$ . Em relação ao ensaio com  $\text{NaN}_3$  percebe-se que a adsorção ocorre de maneira rápida e tende estabilizar em média de 42,0  $\text{mg L}^{-1}$  que se aproxima do valor da concentração medida nas suspensões contendo mercúrio. Já para as condições avaliadas a suspensão sem inibidor e com o-cresol a partir de três dias mostra uma possível degradação do mesmo. Quando feita uma nova injeção (fortificação 1) em concentração próxima a inicial observa-se degradação ou que o composto não é mais detectado em 5 dias. A partir da segunda fortificação (fortificação 2) os resultados indicaram degradação de 50 % da quantidade inicial adicionada. Diferentemente do ensaio anterior com fenol, o o-cresol parece interagir mais fracamente com o solo isso favorece um tempo de residência no solo menor e conseqüentemente há menor disponibilidade para ocorrer degradação tornado-a mais lenta, o que é evidenciado pelo maior tempo de degradação observado.

Compostos como hidroquinona, catecol, p-benzoquinona, o-benzoquinona, ácido maleico e ácido fórmico podem ser formados durante o processo de oxidação de compostos fenólicos (ANDRADE et al., 2006; BRITO e RANGEL, 2008). É importante salientar, que embora não mostrados, os espectros obtidos na região do ultravioleta não apresentaram sinais de absorção, o que sugere não haver a presença de compostos intermediários com características de absorção nessa região. Seria adequada a utilização de uma técnica de separação, com valores de LQ compatíveis visando uma investigação mais minuciosa das espécies citadas.

#### 4. Conclusões

Os compostos fenólicos estudados exibiram uma interação pouco pronunciada pela amostra de solo estudada.

Para as duas espécies fenólicas estudadas observou-se degradação abaixo do limite de detecção após 3 dias das fortificações, para o fenol e de no máximo 5 dias para o o-cresol.

Deve-se salientar que as conclusões obtidas no presente experimento são válidas apenas para os compostos fenólicos estudados, bem como para a amostra de solo com as características aqui relatadas, não devendo tais resultados serem extrapolados para qualquer amostra de solo, bem como para outros compostos fenólicos.

#### Agradecimentos

UFPR, Termo de Cooperação Tecnológica Petrobras-SIX/Embrapa Clima Temperado, FAPEG e LAMIR/UFPR.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMZADEH, I.; VOSSOUGH, F.; HOUSHMANDI, M. Phenol biodegradation by rotating biological contactor. *Biochemical Engineering Journal*. 11, 19-23, 2002.

ANDRADE, L.S.; LAURINDO, E.A.; de OLIVEIRA, R.V.ROCHA-FILHO, R.C.; CASS, Q.B. Development of a HPLC Method to Follow the Degradation of Phenol by Electrochemical or Photoelectrochemical Treatment. *J. Braz. Chem. Soc.* 17, 369-373, 2006.

APHA - American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th Edition. Water Environment Federation, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, DC, USA, 1995.

BRITTO, J.M.; RANGEL, M. do C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. *Quím. Nova*. 31, 114-122, 2008.

CRESPIN, A., M.; GALLEGU, M.; VALCAREL, M. A semiautomatic Module for the Direct Leaching and Determination of Sixteen Phenols in Agricultural Soils. *Analytical Chemistry*. 71, 14, 1999.

DURAN, N.; ESPOSITO, E. Potencial applications of oxidative enzymes and phenoloxidase-like compounds in wastewater and soil treatment: a review. *Applied Catalyses B: environmental*. 714, 1-17, 2000.

IPCS INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY *CRESOLS - HEALTH AND SAFETY GUIDE*. Health and Safety Guide. 100, 1996.

MELO, I. S. de.; AZEVEDO, J. L. de. *Microbiologia Ambiental*. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997.

MIDUGNO, R.; ROISENBERG, A.; VIERO, A. P.; SANBERG, E.; MIRLEAN, N. Utilização de solos locais para tratamento de efluentes do refino de petróleo contendo metais. *Quím. Nova*. 30, 2007.

*OECD GUIDELINE FOR THE TESTING OF CHEMICALS*. Adsorption - Desorption Using a Batch Equilibrium Method. OECD/OCDE 106 Adopted: 21<sup>st</sup> January 2000.

SIX - Superintendência de Industrialização do Xisto <http://www2.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/six/conheca/conheca.html> Acessada em 28 de abril de 2008.

TREVORS, J. T. Sterilization and inhibition of microbial activity in soil. *Journal of Microbiological Methods*. 26, 53-59, 1996.

## USO DA ÁGUA DE XISTO COMO MATÉRIA-PRIMA DE FERTILIZANTES FOLIARES PARA A CULTURA DA ALFACE

Rafael Messias<sup>1</sup>; Isadora Adamoli Pagel<sup>2</sup>; Carlos Augusto Posser Silveira<sup>3</sup>; Clenio Nailto Pillon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Doutorando DCTA/FAEM/UFPEL, pesquisador convidado Embrapa Clima Temperado rafaelm@cpact.embrapa.br

<sup>2</sup>Graduanda Ciências Biológicas/UFPEL, bolsista Embrapa Clima Temperado

<sup>3</sup>Dr., pesquisador Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS guto@cpact.embrapa.br

### 1. Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa de maior valor comercial cultivada no Brasil, possuindo propriedades tranquilizantes e um alto conteúdo de vitaminas A, B e C, além de cálcio, fósforo, potássio e outros minerais. É consumida, com maior frequência, em saladas cruas e sanduíches (Lopes et al., 2005). Representa um excelente bioindicador de qualidade alimentar e ambiental, devido a sua maior susceptibilidade a agentes contaminantes. Por ser uma cultura de ciclo curto, solos de baixa capacidade de suprimento de nutrientes podem não atender as demandas nutricionais da cultura. Neste caso, aplicações foliares podem constituir-se uma forma complementar de adubação.

A água de xisto (AX) constitui-se um dos subprodutos do processamento industrial do xisto. Diariamente, são produzidos cerca de 300 m<sup>3</sup>, os quais permanecem em sistema fechado na Unidade de Retortagem do Processo Petrosix®, desenvolvido pela Petrobras-SIX, São Mateus do Sul-PR. A diversidade e concentração de compostos orgânicos e inorgânicos em sua matriz, oriundos da vaporização de compostos orgânicos e da água estrutural presentes no folhelho pirobotuminoso pressupõem um potencial uso deste subproduto líquido como matéria-prima para a produção de fertilizantes foliares.

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial da água de xisto (AX) isolada ou em combinação com nutrientes como fertilizante foliar na cultura da alface.

## 2. Material e Métodos

O experimento foi realizado na sede da Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS, em estufa plástica sendo utilizada a cultivar de alface lisa Regina 579. As mudas foram transplantadas após 23 dias para sacos plásticos de 1,5 litros de volume, sendo utilizado como substrato uma mistura de solo e vermiculita (25 %) corrigido através de adubação de base com N, P e K.

A irrigação foi efetuada por capilaridade, mantendo-se uma lâmina de aproximadamente 0,05 m de água (sistema 'floating'). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com três repetições. Os tratamentos testados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos para avaliação da eficiência agrônômica da água de xisto na cultura da alface.

Tratamentos	Descrição	Nutrientes	Dose total aplicada <sup>1</sup>
T1	Água destilada (AD)	'in natura'	4,5 L ha <sup>-1</sup>
T2	Água de xisto (AX)	'in natura'	4,5 L ha <sup>-1</sup>
T3	AX	'in natura'	9,0 L ha <sup>-1</sup>
T4	Padrão comercial de comparação	N; P; K; Mg; S; Zn; Cu; Mn; Mo; B	0,9 L ha <sup>-1</sup>
T5	AX + nutrientes <sup>2</sup>	N; P; K; Mg; S; Zn; Cu; Mn; Mo; B	0,9 L ha <sup>-1</sup>
T6	AX + micronutrientes	Zn; Cu; Mn; Mo; Co; S	0,6 L ha <sup>-1</sup>
T7	AX + micronutrientes	Zn; Cu; Mn; Mo; Co; S	1,2 L ha <sup>-1</sup>
T8	AX + micronutrientes	Zn; Cu; Mn; Mo; Co; S	2,4 L ha <sup>-1</sup>
T9	AX + micronutrientes	Zn; Cu; Mn; Mo; Co; S	4,5 L ha <sup>-1</sup>
T10	AD + micronutrientes	Zn; Cu; Mn; Mo; Co; S	1,2 L ha <sup>-1</sup>

<sup>1</sup> Volume total aplicado após três pulverizações; <sup>2</sup> Foram utilizadas as mesmas concentrações de sais (macro e micronutrientes) do produto comercial completo.

As aplicações de AX foram realizadas semanalmente com a utilização de pulverizador manual, iniciando-se duas semanas após o transplante e finalizando-se uma semana antes da colheita, totalizando três aplicações para cada tratamento.

A colheita da alface foi realizada 35 dias após o transplante, cortando-se dez plantas por repetição rente ao solo. Avaliou-se a matéria fresca e seca da parte aérea, após secagem em estufa com circulação de ar a 60°C. Os elementos nutrientes foram determinados por ICP-OES. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de regressão a um nível de confiança de 5 % utilizando o programa estatístico SAS (2000).

## 3. Resultados E Discussão

As Fig. 1a e 1b apresentam a análise de regressão quadrática de matéria fresca e seca da alface nos tratamentos T1, T6, T7, T8 e T9, correspondentes às doses de 0, 0,6, 1,2, 2,4 e 4,5 L ha<sup>-1</sup> da formulação com AX acrescida de micronutrientes. Nestas mesmas Fig., são apresentados, para fins de referência em relação aos valores de dosagem obtidos na curva de regressão, o posicionamento das médias encontradas para a matéria fresca e seca da alface nos demais tratamentos avaliados (T2, T4, T5 e T10).

Observou-se uma tendência de aumento da matéria fresca e seca de alface nos tratamentos com utilização de AX (T6 a T9), até a dose total aplicada de 2,4 L ha<sup>-1</sup> (T8), havendo uma tendência de redução de matéria fresca e seca de alface com aplicação de doses superiores, porém não constatou-se diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F realizado ( $p < 0,05$ ).

O contraste entre o T7 e T10 indica uma tendência de aumento da matéria fresca e seca de alface quando da utilização de AX ( $p = 0,06$ ). Da mesma forma, a comparação dos tratamentos T4 e T5, com a mesma formulação sendo o primeiro com um produto comercial e o outro com AX, mostra uma tendência de aumento na produtividade de alface no tratamento com AX tanto para a quantidade de matéria fresca quanto para a matéria seca. As aplicações feitas com AX isolada (T2 e T3) nas doses de 6,0 L ha<sup>-1</sup> e 12,0 L ha<sup>-1</sup> respectivamente, possibilitaram um rendimento de matéria fresca e seca de alface semelhante.

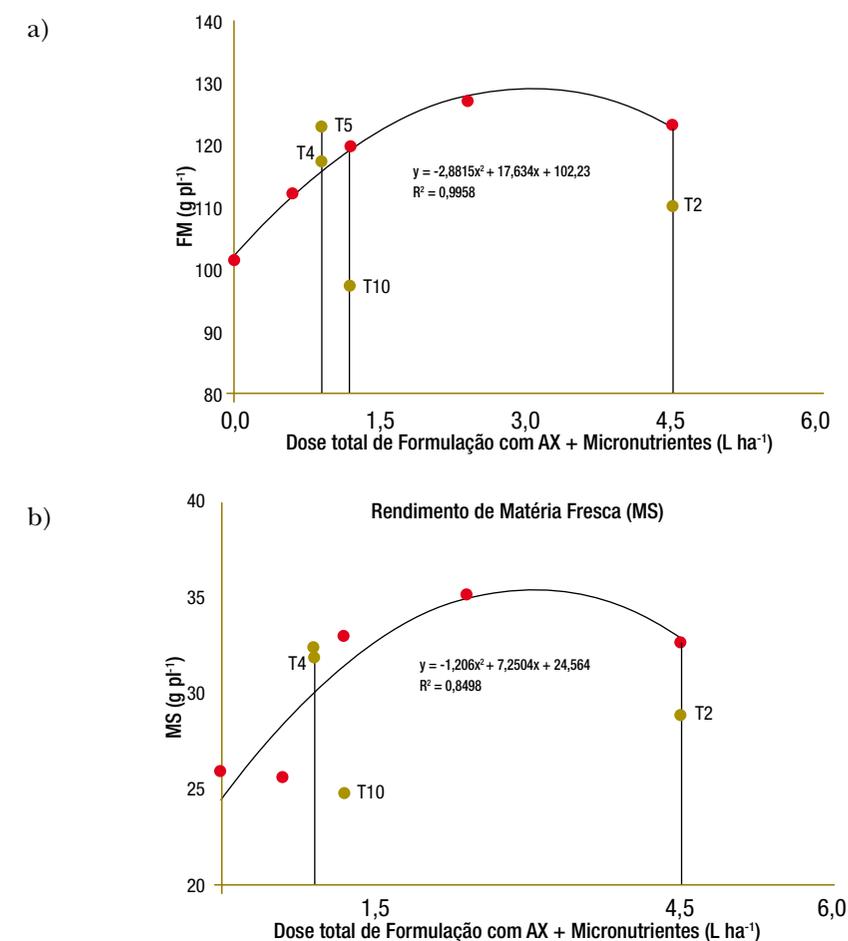


Fig. 1. Regressão obtida entre as doses testadas de AX e a produção de matéria fresca (MF) (a) e seca (MS) (b) de alface. Para descrição dos tratamentos, vide Tabela 1.

Foram observadas diferenças na absorção de elementos nutrientes pela cultura da alface (Tabela 2). O enxofre apresentou maior absorção nos tratamentos T5 e T8, os quais foram significativamente superiores que aquela observada nos tratamentos T1, T2, T3 e T10. Com relação aos micronutrientes, observou-se diferença significativa de absorção de zinco e manganês, a maior absorção foi obtida nos formulados correspondentes aos T8 e T9 (Tabela 2).

Avaliando a influência das doses de zinco, aplicadas em 3 diferentes épocas via foliar, sobre a produção de alface tipo americana, Resende et al., (2005) constatou que a aplicação aos 14 dias após o transplante destacou-se sobre a produção de matéria fresca total na dose de 0,36 kg ha<sup>-1</sup> de zinco.

Tabela 2. Valores médios de absorção de elementos nutrientes nas plantas de alface.

Tratamentos	S	Zn mg planta <sup>-1</sup>	Mn
T1	41,85 b <sup>1</sup>	0,67 c	5,56 bc
T2	40,97 b	0,85 c	5,84 bc
T3	43,53 b	0,77 c	3,85 c
T4	48,37 ab	1,13 c	4,20 bc
T5	66,61 a	1,07 c	5,96 bc
T6	53,59 ab	1,84 bc	6,64 bc
T7	61,45 ab	2,97 b	8,39 ab
T8	66,84 a	4,35 a	11,52 a
T9	56,52 ab	4,79 a	10,99 a
T10	40,68 b	2,11 bc	6,02 bc
CV ( %)	21,77	37,67	32,93

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade.

Já na produção de pimentão, Pereira e Mello (2002) observaram que os fertilizantes foliares com AX acrescida de macro e micronutrientes influenciaram significativamente na produção, constatando que a aplicação da AX a 0,5 % via foliar aumentou em 27,4 % a produção de frutos de pimentão, incrementando os teores foliares de Mg e S em relação a aplicação desse fertilizante a 0,1 %.

#### 4. Conclusão

O uso de água de xisto como matéria-prima na elaboração de fertilizantes foliares promoveu ganho relativo de 36 % de matéria seca de plantas de alface cv. Regina 579 e promoveu o aumento na absorção dos nutrientes Mn, S e Zn.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, J. G. Resposta da alface tipo americana e épocas de aplicação foliar de zinco. *CAATINGA*, Mossoró-RN, v.18, p. 66-72, 2005a. LOPES, J.C.; RIBEIRA, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.1-11, Jan-Mar 2005.

PEREIRA, H.S.; MELLO, S.C. Aplicações de fertilizantes foliares na nutrição e na produção do pimentão e do tomateiro. *Horticultura Brasileira*, v.20, n.4, p.597-600, 2002.

RESENDE, G.M.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; SOUZA, R. J.;

## INFLUÊNCIA DE FORMULAÇÕES FOLIARES A BASE DE ÁGUA DE XISTO (AX) NO TEOR DE ÓLEO EM DUAS CULTIVARES DE GIRASSOL (*HELIANTHUS ANNUUS* L.)

Rafael Messias<sup>1</sup>, Sérgio Delmar dos Anjos e Silva<sup>2</sup>, Isadora Pagel<sup>3</sup>,  
Vanessa Fernandes Araújo<sup>4</sup>, Carlos Augusto Posser Silveira<sup>2</sup>, Clenio Nailto Pillon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador Convidado da Embrapa Clima Temperado rafaelm@cpact.embrapa.br

<sup>2</sup>Pesquisador da Embrapa Clima Temperado guto@cpact.embrapa.br

<sup>3</sup>UFPel, bolsista Embrapa Clima Temperado

<sup>4</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Fruticultura de Clima Temperado - FAEM-UFPel

### 1. Introdução

**A**tualmente, o girassol (*Helianthus annuus* L.) é cultivado em todos os continentes, em área que atinge aproximadamente 18 milhões de hectares. Destaca-se por estar entre as cinco maiores culturas oleaginosas produtoras de óleo vegetal comestível do mundo (7,88 % da produção mundial de oleaginosas na safra 2003/04), sendo extraídos cerca de 400 kg de óleo para cada tonelada de grãos produzidos (OLIVEIRA et al., 2004).

Mais de 90 % da produção mundial de girassol destina-se a elaboração de óleo comestível, que possui alta relação de ácidos graxos polinsaturados/saturados (65,3 %/11,6 %, em média), sendo que o teor de polinsaturados é constituído, em sua quase totalidade, pelo ácido linoléico (65 %, em média). Este é essencial ao desempenho das funções fisiológicas do organismo humano e deve ser ingerido através dos alimentos, pois não é sintetizado pelo organismo. Por apresentar essas características, é um dos óleos vegetais de melhor qualidade nutricional e organoléptica do mundo (Embrapa Soja, 2007).

A fertilização foliar vem sendo cada vez mais empregada na produção do girassol, principalmente como fonte de micronutrientes, sendo este particularmente sensível a deficiência de Boro. Essa deficiência interfere no metabolismo da planta, prejudicando o tamanho dos capítulos, rendimento e teor de óleo dos grãos (COMERCIAL STOLLER, 2007). Nesse senti-

do, o presente trabalho teve como objetivo verificar o efeito de diferentes fertilizantes foliares empregados para produção de girassol das cultivares Agrobelt 960 e Embrapa 122 sobre o teor de óleo encontrado nos grãos.

## 2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na Embrapa Clima Temperado, localizada no município de Pelotas-RS, durante o mês de março de 2007. Foram utilizadas as cultivares Agrobelt 960 e EMBRAPA 122, semeadas em parcelas de 4 linhas com 60m de comprimento espaçadas de 0,80m, em janeiro de 2007. As aplicações dos fertilizantes foliares foram realizadas com a utilização de pulverizador de pressão constante (CO<sub>2</sub>), regulado para vazão de 100 L ha<sup>-1</sup>. Os períodos de aplicação foram no início do florescimento (3,0 L ha<sup>-1</sup>) e durante a fase de polinização/enchimento dos grãos (3,0 L ha<sup>-1</sup>), totalizando uma dose de 6,0 L ha<sup>-1</sup> aplicados por tratamento.

O experimento foi realizado com delineamento em blocos totalmente casualizados, constando de quatro tratamentos e quatro repetições (Tabela 1). Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância a um nível de confiança de 5 %.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos e doses de fertilizantes foliares aplicados ao girassol.

Codificação	Tratamentos	Descrição dos tratamentos <sup>1</sup>
T1	Testemunha absoluta	Sem aplicação de fertilizante
T2	Fertilizante Foliar	Boro, cálcio e nitrogênio
T3	Fertilizante Foliar	Boro, cálcio, nitrogênio + Água de xisto
T4	Fertilizante Foliar	Água de xisto

1- As concentrações dos sais inorgânicos utilizados não variou em relação a composição das formulações dos diferentes tratamentos

Os grãos colhidos foram secos a 13 % de umidade e feita uma amostragem composta de cada tratamento para as duas cultivares. As amostras foram moídas com casca e submetidas a análise de teor de lipídios pelo método de BLIGH-DYER (BLIGH, E. G.; DYER, W.J., 1959) no laboratório de Tecnologia de Alimentos da Embrapa Clima Temperado.

## 3. Resultados e Discussão

A Fig. 1 apresenta os resultados obtidos para o teor de óleo nas amostras de girassol analisadas, bem como a análise de variância realizada.

De acordo com os resultados apresentados na Fig. 1, pode-se constatar que para a cultivar Agrobelt 960 não houve diferença significativa entre os tratamentos. Para a cultivar Embrapa 122 constatou-se diferença significativa entre os tratamentos T3 e T4 em relação aos tratamentos T1

e T2, os quais igualmente diferiram entre si, apresentando ambos teores de óleo menores que os demais tratamentos.

Os resultados observados para os tratamentos com maior teor de lipídios (T3 e T4) indicam que a presença de compostos orgânicos fenólicos presentes na água de xisto possivelmente promovem alterações ao nível de metabolismo secundário, influenciando em processos fisiológicos determinantes para melhoria no desenvolvimento e na proteção da cultura, através da atuação, por exemplo, na rota do ácido chiquímico (SALISBURY e ROSS, 1992).

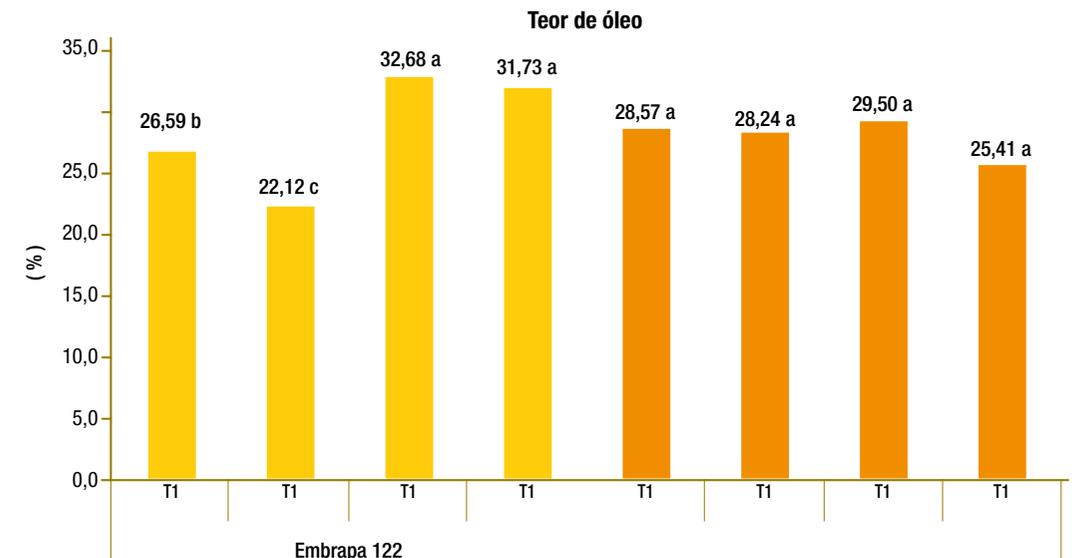


Fig. 1. Teor de óleo dos grãos de girassol analisados.

## 4. Conclusões

Houve maior concentração lipídica nos grãos de girassol cultivar Embrapa 122 tratados com pulverizações foliares de boro, cálcio, nitrogênio e água de xisto e nos grãos tratados apenas com água de xisto. Não se observou respostas para a cv. Agrobelt 960.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

COMERCIAL STOLLER ARGENTINA S.A ARGENTINA. Importancia del Boro en el Cultivo del Girasol. Acessado em 15 out. 2007. Disponível on-line em: [http://www.elsitioagricola.com/articulos/stoller/Importancia %20Boro %20en %20Girasol.asp](http://www.elsitioagricola.com/articulos/stoller/Importancia%20Boro%20en%20Girasol.asp)

EMBRAPA SOJA. Sistema de Produção. No 1. Acessado em 15 out. 2007. Disponível on-line em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaogirassol/index.htm>.

OLIVEIRA, M.F; VIEIRA, O.V. Extração de Óleo de Girassol Utilizando Miniprensa. Documentos 237, Embrapa Soja. Londrina, PR, 2004.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. Fisiología vegetal. 4.ed, Editor Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. Nebrasca, México. 759p., 1992.

## CONTROLE DE *SITOPHILUS ORYZAE* (L.) EM ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE CENTEIO COM SUBPRODUTOS DO PROCESSAMENTO DO XISTO, NO PARANÁ, BRASIL

Magda Fernanda Paixão<sup>1</sup>, D.C. Ahrens<sup>2</sup>, R. Bianco<sup>3</sup>, O.C. Ohlson<sup>4</sup>,

F. Skora Neto<sup>5</sup>, F.A. Silva<sup>6</sup>, J.T. Caieiro<sup>7</sup>, & N.R.X. Nazareno<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Instituto Agronômico do Paraná/IAPAR dahrens@iapar.br;

<sup>2</sup>Instituto Agronômico do Paraná/IAPAR mferpaixao@hotmail.com

<sup>3</sup>Instituto Agronômico do Paraná /IAPAR rbianco@iapar.br

<sup>4</sup> Empresa Paranaense de Classificação de Produtos/CLASPAR osvaldodecastro@claspar.pr.gov.br

<sup>5</sup>Instituto Agronômico do Paraná /IAPAR, skora@iapar.br

<sup>7</sup> Empresa Paranaense de Classificação de Produtos/CLASPAR jucaieiro@yahoo.com.br

<sup>8</sup>Instituto Agronômico do Paraná/IAPAR nilceu@iapar.br

### 1. Introdução

O centeio (*Secale cereale* L.) é uma opção de cultivo de inverno no Brasil: Podendo ser usado tanto para alimentação humana quanto animal (grãos). No entanto pode sofrer perdas qualitativas e quantitativas durante o período de armazenamento pela ação de pragas, entre as quais se destaca: o gorgulho-dos-cereais *Sitophilus oryzae* L. No Brasil, segundo Lorini (1993), estima-se que as perdas quantitativas anuais causadas por pragas durante o período de armazenamento de grãos são da ordem de 10 % da produção total.

Controles químicos para tratamentos de sementes e grãos armazenados, para o controle de pragas vêm sendo utilizados com sucesso. No entanto, métodos alternativos de controle estão sendo enfatizados, a fim de reduzir o uso de produtos químicos, diminuir o potencial de exposição humana e reduzir a velocidade e o desenvolvimento de resistência de pragas a inseticidas. Pós-inertes a base de terra diatomácea são comercializados para uso no controle de algumas pragas de grãos armazenados. Estes possuem ação inseticida altamente eficiente não comprometendo o controle dos insetos ao longo do tempo. É um produto de fácil manuseio, que não necessita de equipamento específico, quando aplicado em pequena escala, (Lorini et al., 2001).

Também os subprodutos do xisto vêm sendo observados com grande interesse para o uso na agricultura de base ecológica no controle de doenças e pragas de sementes. Porém, poucas informações são encontradas na literatura. Os principais subprodutos sólidos do processamento do xisto na Usina da Petrobrás em São Mateus do Sul, PR, que oferecem algum potencial para controle de pragas de armazenamento são o xisto retornado, finos de xisto, cinzas de xisto e calxisto. Para Korunic (1998 *apud* ATUI et al, 2003), as partículas de terra diatomácea e de outros pós-inertes causam danos à cutícula dos insetos através da adsorção pela cera da epicutícula e abrasão da cutícula pelos cristais de sílica, tornando-a permeável à água e promovendo a morte por dessecação.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial dos subprodutos do xisto para uso no controle do gorgulho *S. oryzae*, possibilitando ao produtor de base ecológica um controle que apresente menor risco de contaminação ambiental e maior segurança para a sua saúde.

## 2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos nos laboratórios de Fitopatologia e Entomologia do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, em Curitiba e Londrina - PR, respectivamente, durante os meses de fevereiro a agosto de 2007. A cultivar de centeio empregada nos ensaios foi IPR 089 e o inseto-praga estudado foi à espécie *S. oryzae*.

Os tratamentos consistiram das farinhas de rochas de xisto retornado, finos de xisto, calxisto, cinza de xisto, terra diatomácea como tratamento padrão e a testemunha, representada por sementes não tratadas, nas dosagens de 2 e 5 kg de cada pó para 1.000 kg de sementes. Após o preparo das sementes, foram transferidos 200 g destas para vidros com capacidade de 500 mL, de modo que cada um deles consistiu a parcela experimental, sendo liberados 20 insetos adultos de mesma idade em cada vidro. A mortalidade foi verificada bimestralmente durante 180 dias. Após cada época de avaliação as sementes eram enviadas ao Laboratório de Análise de Sementes da Claspar, em Curitiba, para avaliação da porcentagem de germinação e vigor das sementes, realizados de acordo com as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 1992).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, e consistiu de três repetições por tratamento, para cada local e época de avaliação. Para verificação do efeito de tratamentos e de eventuais interações entre tratamentos, épocas e doses, foi empregada a Análise da Variância utilizando-se o programa Minitab versão 7.2 e as diferenciações de médias foram realizadas pelo teste LSD (Fisher modificado) (STEEL e TORRIE, 1980) quando ocorreram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ).

## 3. Resultados e Discussão

A essência do controle de insetos, no presente trabalho, está no teor de sílica do produto, como é o caso da terra diatomácea com alto teor de silício, e dos derivados de xisto. Os dados apresentados na Fig. 1 referem-se à avaliação do tempo zero, aos 10 dias após a infestação, onde se observa que houve uma diferença significativa entre doses. De um modo geral, a dose de 0,5 % foi melhor para todos os tratamentos. Cabe ressaltar que a cinza de xisto, na dose mais alta teve o melhor resultado em relação aos demais derivados de xisto, chegando a igualar com o tratamento padrão, a terra diatomácea.

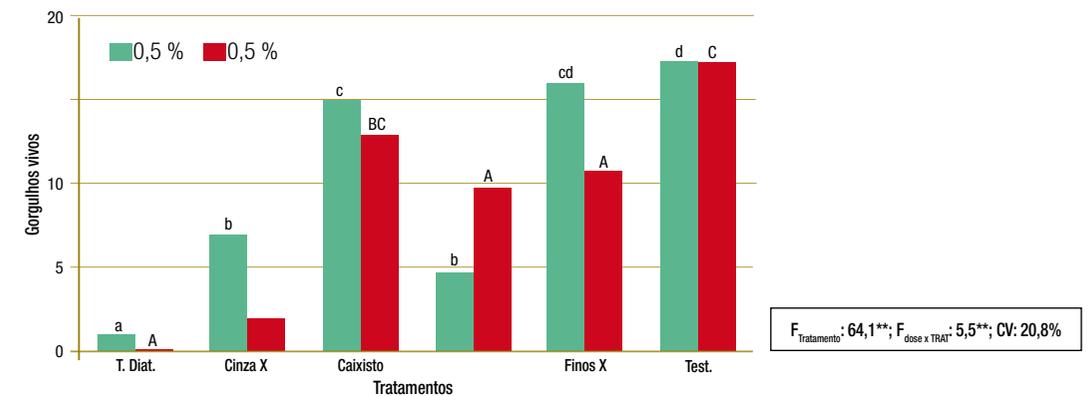


Fig. 1. Influência do tratamento de sementes de centeio com pós de rocha na sobrevivência de gorgulho 10 dias após infestação. LONDRINA/IAPAR/CLASPAR – 2007.

A Fig. 2 contempla o número de gorgulhos vivos após 60 dias de armazenamento. Os dados foram aglutinados, pois não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre doses. A população de gorgulhos vivos atingiu níveis próximos de 700 nas testemunhas, enquanto que nas sementes tratadas com cinza de xisto e terra diatomácea o número de insetos foi inferior a 10. Xisto retornado mostrou-se eficiente aos 60 dias, mas ainda assim, inferior a cinza de xisto.

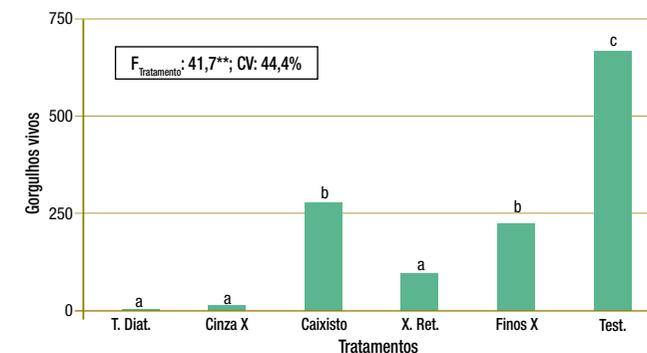


Fig. 2. Influência do tratamento de sementes de centeio com pós de rocha na sobrevivência de gorgulho 60 dias após infestação. LONDRINA/IAPAR/CLASPAR – 2007.

Os dados apresentados na Fig. 3 referem-se à avaliação aos 120 dias após a infestação, onde se observa que houve uma diferença significativa entre doses ( $P \leq 0,05$ ). De um modo geral, a dose de 0,5 % foi melhor para todos os tratamentos. Novamente a cinza de xisto, na dose mais alta teve o melhor resultado em relação aos demais derivados de xisto. Calxisto na dose de 0,5 % também apresentou algum controle, porém, inferior a cinza de xisto.

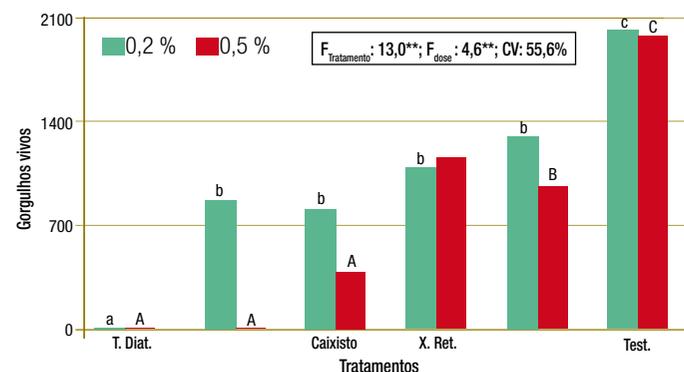


Fig. 3. Influência do tratamento de sementes de centeio com pós de rocha na sobrevivência de gorgulho 120 dias após infestação – CURITIBA/IAPAR/CLASPAR – 2007.

Aos 180 dias de armazenamento (Fig. 4.) só foram possíveis as coletas dos dados nos tratamentos com cinza de xisto e terra diatomácea, pois o aumento excessivo da população de *S. oryzae* L. nos demais tratamentos, inclusive na testemunha, provocou excessivo incremento na umidade na massa de grãos e favoreceu o crescimento de fungos deteriorando todo o conteúdo armazenado. Nessas condições, cinza de xisto a 0,5 % foi equivalente à terra diatomácea.



FONTE: O autor.

Fig. 4. Resultado do armazenamento de centeio por 180 dias, com tratamento de pós de rocha, em Curitiba, e o estado de conservação devido ao ataque de gorgulhos e fungos apodrecedores. Vidros da esquerda para direita: cinza de xisto (0,5 %), testemunha (grãos apodrecidos) e terra diatomácea (0,5 %), IAPAR, 2007.

Os dados referentes aos testes de germinação estão apresentados na Fig. 5, onde observa-se que aos 10 dias de armazenamento, destacaram-se a cinza de xisto e terra diatomácea com germinação superior a 80 % e o calxisto com 75 %. Aos 60 dias de armazenamento os tratamentos com xisto retornado, fino de xisto e testemunha apresentaram germinação inferior a 20 %, calxisto 50 % e destacando-se cinza de xisto e terra de diatomácea com porcentagem de germinação de 80 %.

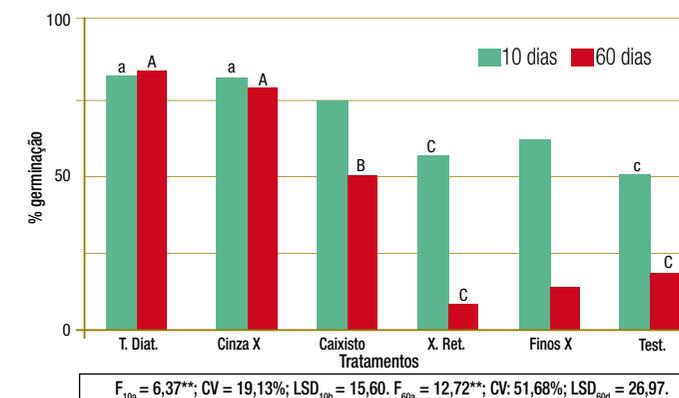


Fig. 5. Influência do tratamento de sementes de centeio armazenado, com pós de rocha, na germinação - CURITIBA/IAPAR/CLASPAR – 2007.

Na Fig. 6 observa-se os dados do teste de vigor (%) aos 10 e 60 dias de armazenamento, onde os tratamentos com cinza de xisto e terra diatomácea mantiveram o vigor ao longo dos 60 dias de armazenamento comparativamente com a testemunha.

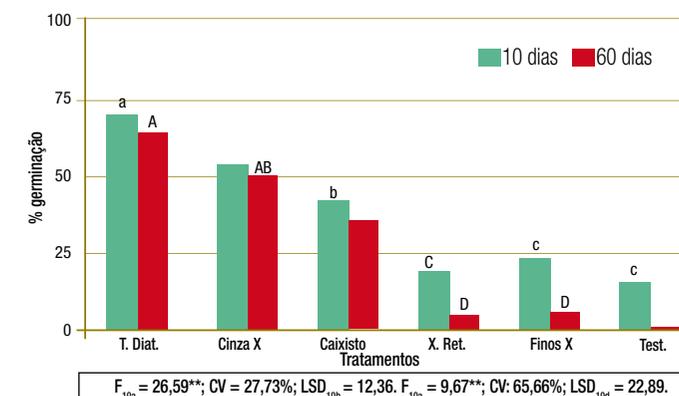


Fig. 6. Influência do tratamento de sementes de centeio armazenado, com pós de rocha, no vigor - CURITIBA/IAPAR/CLASPAR – 2007.

Nota-se também, (Fig. 6.) que a testemunha, as sementes tratadas com xisto retornado, finos de xisto e calxisto apresentaram uma porcentagem de vigor inferior a 30 %. Isto se deve ao elevado grau de infestação destes tratamentos, prejudicando consideravelmente o vigor dessas sementes. Smiderle et al., (1997) verificaram redução de vigor de sementes durante o armazenamento provocado pela alta taxa de infestação de insetos em sementes de arroz.

#### 4. Considerações Finais

Com base nos dados obtidos observou-se que dos subprodutos do xisto, a cinza de xisto apresenta grande potencial como alternativa de controle para *S. oryzae*, para os produtores de base ecológica na região centro-sul do Paraná. Uma vez que este produto poderá apresentar um baixo custo, por já fazer parte do processo de extração do xisto da Petrobrás, no município de São Mateus do Sul, no Paraná, região caracterizada pelo predomínio de produtores familiares, por não causar danos ao meio ambiente e nem à saúde do produtor durante o manuseio deste produto.

#### Agradecimentos

Agradecemos a PetroSix – Projeto Xisto Agrícola, ao CNPq pela concessão da bolsa de I.C. da autora, ao Técnico do laboratório de Entomologia Hugo Y. Muramoto do Instituto Agronômico do Paraná, as equipes do Laboratório de Análises de Sementes da Claspar e do Laboratório de Nutrição Animal, do Instituto Agronômico do Paraná.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATUI, M. B.; LAZZARI, F.A.; LAZZARI, S.M.N. Avaliação de metodologia para a detecção de resíduos de terra diatomácea em grãos de trigo e farinha. Revista Instituto Adolfo Lutz, v. 62, n.1, p. 11-16, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para Análise de Sementes. Brasília: SNAD/DNDV/CLAV, 1992. 365 p.

LORINI, I. Aplicação do manejo de integrado de pragas em grãos armazenados. In: Simpósio Proteção de Grãos Armazenados, 1., Passo Fundo, 1993. Anais... Passo Fundo: Embrapa – CNPT, 1993. p. 117 – 126.

\_\_\_\_\_; FERREIRA, A. F.; BARBIERI, I.; DEMAMAN, N. A.; MARTINS, R. R. D.; OSVALDIR. Terra de diatomáceas como alternativa no controle de pragas de milho armazenado em propriedade familiar. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, v.2, n.4, p. 32- 36, Porto Alegre, 2001.

SMIDERLE, O.J.; SANTOS FILHO, B.G.; SANTOS, D.S.B. Qualidade física e fisiológica de sementes de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.), submetidas ao ataque de *Rhizopertha dominica* e *Sitophilus* sp durante o armazenamento. Revista Brasileira de Sementes, Pelotas, v.19, n.1, p. 1-8, 1997.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2.ed. New York : McGraw-Hill, 1980. 631p.

## ROCHAS SILICÁTICAS E A PRODUTIVIDADE DE SORGO NA ENTRESSAFRA EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

C.E. Martins<sup>1</sup>, W.S.D. Rocha<sup>1</sup>, F. Souza Sobrinho<sup>1</sup>, A.M. Brighenti<sup>1</sup>, P.S.B. Miguel<sup>2,1</sup>,

J.P.M. Araújo<sup>2,1</sup>, A.V. De Oliveira<sup>2,1</sup>, F.A.M. De Souza<sup>2,1</sup>, R.A. Borges<sup>2,2</sup> & R.C.V. Souza<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pesquisadores da Embrapa Gado de Leite. caeuma@cnppl.embrapa.br, wadson@cnppl.embrapa.br, fausto@cnppl.embrapa.br, brighenti@cnppl.embrapa.br

<sup>2</sup> Estagiários da Embrapa Gado de Leite. Acadêmicos de Ciências Biológicas/ Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES-JF). <sup>3</sup> Bolsista CNPq. <sup>2</sup> Bolsista Fapemig.

<sup>3</sup> Assistente A da Embrapa Gado de Leite. Raymundo@cnppl.embrapa.br  
Apoio financeiro: Finep, MCT e CNPq.

### 1. Introdução

Na maioria das regiões brasileiras, o intemperismo proporcionou a formação de solos mais profundos, mas com baixa disponibilidade de cátions trocáveis, dentre eles o potássio, para o desenvolvimento das plantas. Portanto, o uso do cloreto de potássio está diretamente relacionado com o aumento da produção agropecuária no país, assim, o estudo de fontes alternativas de potássio é importante para reduzir a dependência deste insumo (KCl), que é importado em grande quantidade. No Brasil, cerca de 80 a 90 % do K consumido é adquirido na forma de KCl, principalmente do Canadá (26 %) e da Rússia (20 %) (Oliveira, 2008).

Existem várias rochas silicáticas ricas em flogopita ou biotita (minerais que contém K), abundantes no Brasil e com possibilidade de uso como fonte de potássio em sua forma moída. Estudos iniciados pela Embrapa Cerrados e Universidade de Brasília evidenciaram o potencial de utilização dessas rochas como fontes alternativas do nutriente às culturas (Nascimento e Loureiro, 2004). O mais importante é a disponibilidade do nutriente para a cultura, que deve ser fornecido na quantidade necessária para a planta cultivada atingir a produtividade esperada ou estimada. A quantidade disponível pode variar de acordo com o sistema de cultivo utilizado, se puro ou consorciado.

Nos diferentes sistemas de cultivo, a competição por nutrientes é influenciada pelo tipo e pela disponibilidade do nutriente, pelo índice de precipitação pluviométrica e pelo uso eficiente dos nutrien-

tes pelas plantas. Deste modo, o cultivo consorciado pode interferir na disponibilidade de nutriente. Porém, Jakelaitis et al., (2005) não verificaram efeito significativo do consórcio com *Brachiaria brizantha* na quantidade de P, K, Ca e Mg nos tecidos foliares de uma gramínea, o milho. Rocha et al., (2007), avaliando a resposta do consórcio milho *Brachiaria decumbens*, cv. Basilisk, sob diferentes fontes alternativas de adubação potássica (Biotita Xisto, Brecha Piroclástica e Flogopita da Bahia) e doses de potássio (0, 100, 200 e 400 kg/ha de  $K_2O$ ), observaram que tanto a fonte quanto a dose de potássio não influenciaram na densidade de plantas, na altura e na produtividade de milho. A cultura não respondeu à variação na dose de potássio. Isto é justificado pela quantidade de potássio disponível no solo, considerando, também, que estes resultados foram obtidos no primeiro ano de cultivo. Porém, no segundo ano de cultivo Rocha et al., (2008) verificaram que a produtividade de matéria seca de milho foi maior quando foram utilizadas as fontes KCl e Biotita. Os autores verificaram, também, que na dose 0 ocorreu a menor produtividade de matéria seca e peso de espiga.

## 2. Objetivos

- Avaliar o efeito residual de fontes de potássio no desenvolvimento de plantas de sorgo cultivadas em um sistema de integração lavoura-pecuária.
- Avaliar o efeito das fontes e das doses de potássio no número de plantas de sorgo por hectare (estande) em consórcio com *Brachiaria decumbens*.
- Determinar a influencia das fontes e das doses de potássio na produtividade de matéria seca das plantas de sorgo cultivadas em um sistema de integração com a *B. decumbens*.
- Verificar o efeito das fontes e doses de potássio na produtividade de matéria seca de panículas de sorgo.

## 3. Metodologia

O experimento foi conduzido na entressafra de 2008, no Campo Experimental de Coronel Pacheco pertencente à Embrapa Gado de Leite (CECP-EGL) localizado no município de Coronel Pacheco/MG. Foi utilizado um sistema de integração lavoura-pecuária com sorgo e *Brachiaria decumbens*.

Em outubro de 2006, o solo da área foi preparado com o uso de arado e grade, sendo incorporado o calcário dolomítico na dose de 1.800 kg/ha, corrigido o seu PRNT para 100 %, baseado nos resultados de análise do solo, aplicado no primeiro ciclo de cultivo (2006/2007). Neste ciclo de cultivo (2008/2008), o plantio do sorgo foi realizado após o pastejo da área por vacas secas, seguida de dessecação. Simulou-se o sistema de plantio direto, com os sulcos para plantio de sorgo sendo abertos com enxada, no espaçamento de 1 m com uma população de sorgo (BRS 610) regulada para 120.000 plantas/ha. No mesmo dia (28/Março/2008), a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk foi semeada a lanço, na quantidade de 45 kg/ha de sementes com valor cultural de 70 %. Esta quantidade foi utilizada para garantir um bom estabelecimento da braquiária consorciada.

No experimento foram avaliados a influencia da fonte e da dose de potássio no estande, na produtividade de matéria seca de plantas de sorgo e de suas panículas. Para isto, foi realizada a aplicação direta de rochas silicáticas como fontes de potássio, no primeiro ano de consórcio entre milho e *B. decumbens* (2006/2007), em granulometria inferior a 2 mm, tal como se procede no uso agrícola do calcário. Foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso em um esquema fatorial 3x4 mais um controle, com 4 repetições. Os tratamentos constaram da combinação entre os fatores: fontes (Biotita Xisto, Brecha Piroclástica e Flogopita da Bahia) e doses de potássio (0, 100, 200 e 400 kg/ha de  $K_2O$ ), além do tratamento controle, onde se utilizou o cloreto de potássio na dose de 200 kg/ha de  $K_2O$ . O cálculo da quantidade aplicada foi baseado no potássio solúvel presente na fonte, sendo de 7,93 % de  $K_2O$  na Flogopita, 3,26 % de  $K_2O$  na Biotita, 1,90 % de  $K_2O$  na Brecha e 60 % de  $K_2O$  no KCl. A área total de cada parcela foi de 40 m<sup>2</sup> e a área útil utilizada para avaliação foi de 24 m<sup>2</sup>. Na entressafra de 2008, não se aplicou nenhuma fonte de potássio, sendo aplicado no plantio, o fósforo e em cobertura o nitrogênio, que foi realizada uma única vez devido a não ter ocorrido condições climáticas para a segunda cobertura. Por ocasião do plantio utilizou-se apenas a adubação fosfatada (superfosfato simples). O adubo fosfatado foi adicionado de duas formas, uma no sulco de semeadura (100 kg/ha de  $P_2O_5$ ) para atender a demanda da cultura do sorgo e outra a lanço (50 kg/ha de  $P_2O_5$ ) para atender à cultura da *B. decumbens*. A adubação de cobertura foi feita com sulfato de amônio, na base de 60 kg/ha de N dividido em duas aplicações iguais, aos 20 e 35 dias após a semeadura do sorgo, conforme informado esta não foi realizada devido a falta de chuvas.

As avaliações no sorgo foram realizadas quando este se apresentava no ponto ideal para a ensilagem. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias, quando necessário, foram submetidas ao teste de Skott-Knott (1974).

## 4. Resultados e reflexão

A avaliação da cultura do sorgo foi realizada no ponto de ensilagem, neste momento a matéria seca estava com 32 %. No caso das panículas, o teor de matéria seca estava em torno de 66 %.

O número de plantas de sorgo por hectare não foram influenciadas nem pela fonte de potássio e nem pela dose de potássio utilizada (Tabela 1). Desta forma, a variação verificada pode não influenciar no desenvolvimento da cultura. Porém, para realizar a avaliação dos tratamentos na produtividade de matéria seca da planta de sorgo e nas panículas, os valores foram corrigidos para um estande de 100.000 plantas por hectare (Tabelas 2 e 3).

Tabela 1. Densidade de plantas de sorgo (número de plantas/ha) de acordo com a fonte e a dose de potássio utilizada.

Dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Fonte de K			
	Biotita	Brecha	Flogopita	KCl
0	95.833 <sup>Aa</sup>	96.771 <sup>Aa</sup>	100.000 <sup>Aa</sup>	
100	96.771 <sup>Aa</sup>	93.854 <sup>Aa</sup>	96.042 <sup>Aa</sup>	
200	92.813 <sup>Aa</sup>	101.354 <sup>Aa</sup>	105.521 <sup>Aa</sup>	106.597 <sup>A</sup>
400	93.542 <sup>Aa</sup>	106.146 <sup>Aa</sup>	101.042 <sup>Aa</sup>	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam as fontes de potássio) e minúsculas (comparam entre as doses de potássio), iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

A fonte de potássio ocasionou diferença na produtividade do sorgo (Tabela 2). Porém, esta diferença somente ocorreu quando foi utilizada a maior dose (400 kg/ha de K<sub>2</sub>O). Neste caso, a maior produtividade foi verificada quando foram utilizadas as fontes Biotita e Flogopita, então, a menor produtividade ocorreu quando a Brecha foi a fornecedora de potássio (Tabela 2). Porém, ao verificar que não ocorreu diferença entre as doses, no momento, não seria recomendada a melhor fonte a ser utilizada.

Tabela 2. Produtividade de matéria seca de sorgo (kg/ha) de acordo com a fonte e a dose de potássio utilizada.

Dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Fonte de K			
	Biotita	Brecha	Flogopita	KCl
0	1.829 <sup>Aa</sup>	2.023 <sup>Aa</sup>	2.225 <sup>Aa</sup>	
100	2.756 <sup>Aa</sup>	2.149 <sup>Aa</sup>	2.192 <sup>Aa</sup>	
200	2.366 <sup>Aa</sup>	2.037 <sup>Aa</sup>	2.309 <sup>Aa</sup>	2.247 <sup>A</sup>
400	2.853 <sup>Aa</sup>	1.783 <sup>Ba</sup>	2.996 <sup>Aa</sup>	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam as fontes de potássio) e minúsculas (comparam entre as doses de potássio), iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

Os tratamentos não influenciaram na produtividade de matéria seca das panículas de sorgo (Tabela 3). De modo geral, a produtividade da cultura de sorgo foi baixa, o que é justificado pelo cultivo na época seca. Além, da menor disponibilidade de água, a temperatura e o número de horas de luz/dia foi menor (inverno) e havia menor disponibilidade de nutriente. Não foi realizada a segunda cobertura com nitrogênio, pois não choveu na época que seria realizada a adubação.

Tabela 3. Produtividade de matéria seca de panículas de sorgo (kg/ha) de acordo com a fonte e a dose de potássio utilizada.

Dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Fonte de K			
	Biotita	Brecha	Flogopita	KCl
0	1.709 <sup>Aa</sup>	1.522 <sup>Aa</sup>	1.736 <sup>Aa</sup>	
100	2.022 <sup>Aa</sup>	1.445 <sup>Aa</sup>	1.668 <sup>Aa</sup>	
200	1.562 <sup>Aa</sup>	1.840 <sup>Aa</sup>	1.598 <sup>Aa</sup>	1.754 <sup>A</sup>
400	2.107 <sup>Aa</sup>	1.719 <sup>Aa</sup>	2.224 <sup>Aa</sup>	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam as fontes de potássio) e minúsculas (comparam entre as doses de potássio), iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

## 5. Conclusões

A densidade de plantas de sorgo e a produtividade de panícula não foram influenciadas nem pela fonte e nem pela dose de potássio.

A produtividade de matéria seca de sorgo foi maior quando a Biotita e a Flogopita foi utilizada na dose de 400 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. da; FERREIRA, L.R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27: 39-46. 2005.

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

LIVEIRA, L.A.M. [Online]. Potássio. In: *Sumário Mineral*. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Homepage: [http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2007/potassio\\_SM2007.doc](http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2007/potassio_SM2007.doc). Pesquisado em 18/6/2008.

SCOTT, A. J. & KNOTT, M. A. A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30: 507-512. 1974.

ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; OLIVEIRA, J. S.; SOUZA SOBRINHO, F.; ALMEIDA, M.; ALVES, D. B.; MIGUEL, P. S. B.; ARAÚJO, J. P. M.; CUNHA, R. A.; LANES, É. C. M.; SOUZA, R. C. V. Rochas silicáticas com fonte de potássio e a produtividade de milho em um sistema de integração agricultura-pecuária. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO*. n. 31. 2007, Anais. Gramado/RS. Serrano Centro de Convenções, 2007. 4p. 1CD.

ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; SOUZA SOBRINHO, F.; SANTOS, A. M. B.; MIGUEL, P. S. B.; ARAÚJO, J. P. M.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V.; DERESZ, F.; SOUZA, R. C. V. Rochas silicáticas como fonte de potássio e a produtividade de milho em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO*. N. 27. 2008, Anais. Londrina/PR. ABMS, 2008. 4p. 1 CD.

## INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NO FORNECIMENTO DE NUTRIENTES PROVENIENTES DE ROCHA PARA FEIJÃO VAGEM ALESSA

Silver Rodrigues Zandoná<sup>1</sup>, Carlos Antonio Barreto dos Santos<sup>2</sup>,  
José Antonio Azevedo Espindola<sup>3</sup>, José Guilherme Marinho Guerra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bolsista de ITI – Embrapa Agrobiologia. srzandona@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRJ carlos-ufrrj@bol.com.br

<sup>3</sup>Pesquisador da Embrapa Agrobiologia jose@cnpab.embrapa.br gmgueira@cnpab.embrapa.br

### 1. Introdução

O potássio é um nutriente de extrema importância para as plantas, sendo, depois do nitrogênio, aquele que é mais exigido pelas culturas de interesse agrícola (Faquin, 1997). Apesar de o Brasil possuir jazidas de fertilizantes potássicos, o país ainda depende da importação para suprir suas demandas, sendo o cloreto de potássio responsável por considerável valor das importações brasileiras (Oliveira & Souza, 2001). Neste contexto, uma alternativa consiste no uso de rochas como fonte de potássio e de outros nutrientes. No entanto, algumas práticas agrícolas podem ser usadas no sentido de aumentar a eficiência do uso de rochas nos agroecossistemas; dentre elas, a adubação verde com leguminosas merece destaque (Espindola et al., 2005). Segundo Abboud (1986), as leguminosas são capazes de aumentar o aproveitamento de nutrientes fornecidos por rochas através de mecanismos como a acidificação do solo promovida por suas raízes. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de rocha carbonatita em função da adubação verde com a leguminosa *Mucuna pruriens*, sobre o rendimento agrônomico de feijão vagem cv. Alessa.

### 2. Metodologia

Um experimento foi montado no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, localizado no município de Seropédica, RJ. A área do experimento apresentou, de acordo com Embrapa (1997), os seguintes resultados para a análise química do solo coletado na profundidade de 0 - 0,20 m: pH em água = 4,4; Al = 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup>

= 69 mg dm<sup>-3</sup>; P = 42,8 mg dm<sup>-3</sup>. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, sendo os tratamentos dispostos em arranjo fatorial com tratamento adicional 4 X 2 + 2, com 4 repetições. No primeiro fator, foram avaliadas quatro doses de rocha carbonatito moída (0, 3, 6 e 9 Mg ha<sup>-1</sup>), cuja caracterização química apresentou os seguintes valores percentuais: SiO<sub>2</sub> = 11,6; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 12,6; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,1; CaO = 30,0; MgO = 13,4; PF = 22,6; K<sub>2</sub>O = 1,5; TiO<sub>2</sub> = 2,1; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 4,9; Na<sub>2</sub>O = 0,2 %, enquanto no segundo fator avaliou-se a presença e ausência da leguminosa mucuna cinza (*Mucuna pruriens*). Como tratamento adicional, foi incluído o tratamento cloreto de potássio na dose equivalente a 60 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, como uma referência de fonte de alta solubilidade, também na presença ou ausência de mucuna cinza. Inicialmente, o terreno foi arado e gradeado na profundidade de 0 - 0,20 m para o plantio da mucuna cinza. Após o preparo do solo, realizou-se a aplicação a lanço da rocha carbonatito e do cloreto de potássio nas parcelas. As sementes de mucuna cinza foram inoculadas com o rizóbio BR 2811 e, em seguida, foram distribuídas com densidade de 5 sementes por metro linear nos sulcos de plantio distanciados 0,5 m entre linhas. O corte das plantas de mucuna cinza foi realizado aos 160 dias, quando as mesmas atingiram o pleno florescimento. Após a incorporação da biomassa da mucuna no solo, o feijão vagem (*Phaseolus vulgaris* cv. Alessa) foi semeado em sulcos espaçados de 0,5 m entre linhas, a uma profundidade de 0,05 m e com uma densidade de 10 sementes por metro linear. Nesta ocasião, as sementes foram inoculadas com os rizóbios BR 322 e BR 520. Aos 50 dias após semeadura, iniciou-se a colheita das vagens que se estendeu até 65 dias após a semeadura, sendo feitas as mesmas em intervalos regulares de 5 dias em uma área útil parcela equivalente a 3,0 m<sup>2</sup> em cada parcela.

Os dados gerados tanto em relação à mucuna cinza quanto a cultura de feijão-vagem, foram analisados por meio de procedimentos estatísticos que consistiram na análise de variância pelo teste F. Nas fontes de variação leguminosas e testemunha em que houve diferença significativa no nível de 5 % de probabilidade, foram aplicados testes de Scott-Knot para comparação de médias e na fonte de variação doses de rocha carbonatito moída realizou-se análise de regressão. Para tanto, foi utilizado o software Sisvar desenvolvido pela UFLA (Universidade Federal de Lavras).

### 3. Resultados e discussão

Em relação à produtividade de massa fresca da parte aérea da mucuna cinza, ao comparar a média dos tratamentos com cloreto de potássio com a média referente à massa fresca obtida nas diferentes doses de rocha carbonatito, observou-se superioridade significativa da média das doses de carbonatito (2,36 kg m<sup>-2</sup>) através do teste F. Para os tratamentos referentes ao uso de KCl, na presença e ausência da leguminosa, a menor produtividade de massa fresca foi observada nas parcelas sem a leguminosa (0,82 kg m<sup>-2</sup>), onde desenvolveu-se a vegetação espontânea. Com relação à análise de regressão aplicada às diferentes doses de carbonatito, nenhum modelo foi ajustado para produtividade de massa fresca de mucuna cinza, sendo a produtividade constante para todas as doses de carbonatito. O mesmo comportamento foi observado para a produtividade de massa seca. Nas parcelas onde aplicou-se o cloreto de potássio, a produtividade de biomassa seca de mucuna cinza foi equivalente a 0,45 kg m<sup>-2</sup>.

No que se refere a produtividade e número vagens verdes de feijão Alessa, realizou-se uma comparação entre as médias das testemunhas e a média do fatorial (doses de carbonatito na presença e ausência de mucuna cinza), onde, verificou-se superioridade da média dos tratamentos envolvidos no fatorial em relação às médias das testemunhas pelo teste Scott Knott (p<0,05). Para análise de regressão realizada para as doses de carbonatito aplicadas, o modelo linear (Fig. 1), foi o mais adequado para explicar a produtividade de vagens, independente da presença ou ausência da mucuna cinza. Dessa forma a maior dose da rocha carbonatito aplicada não foi suficiente para atingir as máximas produtividades.

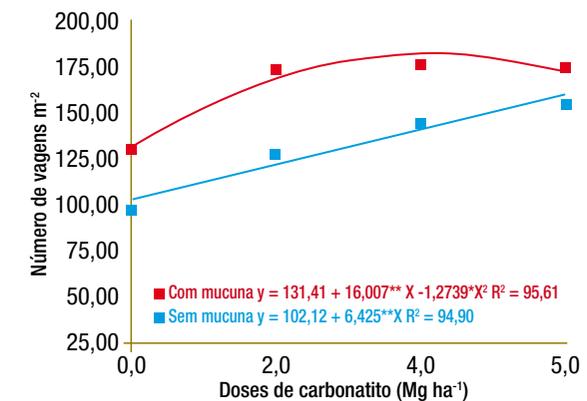


Fig. 1. Produtividade de vagens verdes cv. Alessa, em função de doses de pó de rocha carbonatito moída na presença e ausência de mucuna cinza.

Para o número de vagens na presença de mucuna, ajustou-se um modelo quadrático, no qual a dose que proporcionou o maior número de vagens m<sup>2</sup> foi equivalente a 6,28 Mg ha<sup>-1</sup> de carbonatito, obtendo-se para esta dose uma produtividade de 181 vagens m<sup>2</sup>. O mesmo não ocorreu para o efeito de doses na ausência da leguminosa, sendo verificado para este mesmo parâmetro o ajuste do modelo linear (Fig. 2).

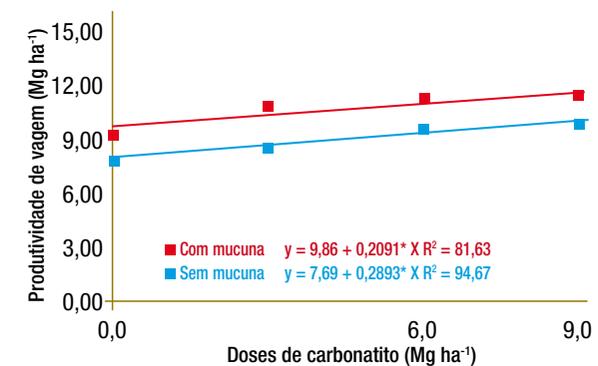


Fig. 2. Número de vagem cv. Alessa, em função de doses de pó de rocha carbonatito moída na presença e ausência de mucuna cinza.

No caso da produtividade de grãos secos de feijão vagem cv. Alessa, a comparação realizada entre as médias das testemunhas e as médias do fatorial (doses de carbonatito na presença e ausência de mucuna cinza), evidenciou superioridade da média do fatorial em relação às médias das testemunhas pelo teste F. Deste modo, a menor produtividade de grãos foi obtida no tratamento em que se aplicou 60 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$  na ausência de mucuna cinza ( $0,79$   $Mg$   $ha^{-1}$ ), sendo estatisticamente inferior aos demais. A produtividade de grãos secos no tratamento referente a aplicação de 60 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$  na presença da leguminosa foi equivalente a  $1,11$   $Mg$   $ha^{-1}$ .

A produtividade de grãos secos de feijão vagem cv. Alessa foi maior quando cultivada em sucessão ao pré-cultivo de mucuna cinza. A análise de regressão realizada para as doses crescentes de carbonatito, na presença da leguminosa mucuna cinza, indicou que o modelo mais adequado foi o quadrático (Fig. 3), em que a dose que proporcionou a maior produtividade de grãos secos foi equivalente a  $7,93$   $Mg$   $ha^{-1}$  de carbonatito, obtendo-se para esta dose uma produtividade  $1,54$   $Mg$   $ha^{-1}$  de grãos secos. Com relação às doses de carbonatito aplicado na ausência da leguminosa mucuna cinza, o modelo linear (Fig. 3), foi o mais adequado para explicar a produtividade de grãos secos. Dessa forma, a maior dose da rocha carbonatito aplicada não foi suficiente para atingir as máximas produtividades.

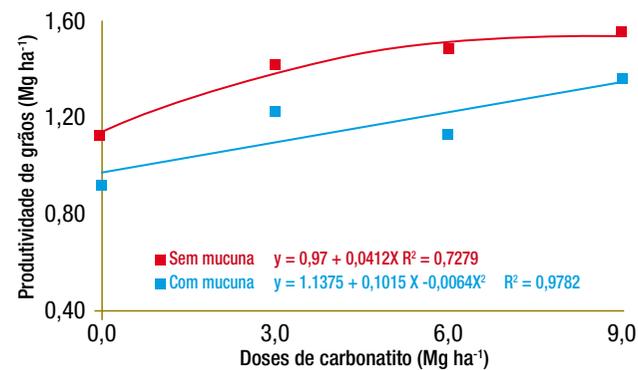


Fig. 3. Produtividade de grãos secos de feijão vagem cv. Alessa, em função de doses de pó de rocha carbonatito moída na presença e ausência de mucuna cinza.

No caso do peso de 100 grãos secos de vagem Alessa (Fig. 4), a comparação realizada entre as médias das testemunhas e as médias do fatorial (doses de carbonatito na presença e ausência de mucuna cinza), evidenciou superioridade da média do fatorial em relação à média das testemunhas pelo teste F. Novamente destacou-se os tratamentos do fatorial, o qual foi estatisticamente superior às médias de peso de 100 grãos obtidas nos tratamentos em que aplicou-se 60 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$ , tanto na presença quanto na ausência de mucuna cinza. Com relação aos tratamentos envolvidos no fatorial, não houve efeitos de interação para os fatores estudados, havendo apenas efeito das doses, independente do cultivo ou não da leguminosa mucuna cinza. Neste caso a análise de regressão realizada para doses de carbonatito aplicado, o modelo linear (Fig. 4), foi o mais adequado para explicar o peso de cem grãos, independente da presença ou ausência da leguminosa mucuna cinza. Dessa forma a maior dose da rocha carbonatito aplicada não foi suficiente para

atingir o maior peso de cem grãos. Os tratamentos representados pelas duas testemunhas, em que aplicou uma fonte solúvel ( $60$  kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$ ) na presença e na ausência de leguminosa, o peso de cem sementes foi equivalente a  $30,10$  e  $29,98$  g, respectivamente, sendo estatisticamente iguais.

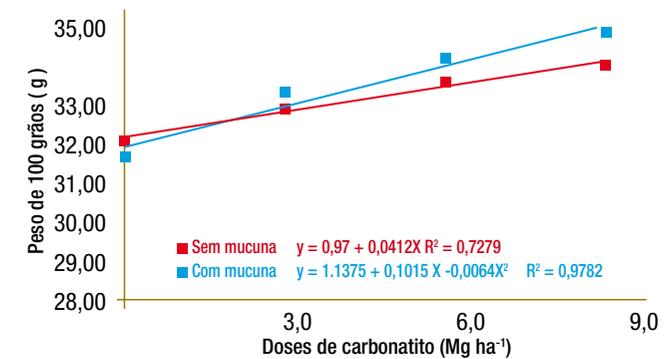


Fig. 4. Peso de 100 grãos secos de vagem cv. Alessa em função de doses de pó de rocha carbonatito moída na presença e ausência de mucuna cinza.

#### 4. Conclusões

O uso da leguminosa mucuna cinza utilizada como adubo verde proporcionou aumentos no rendimento da cultura de feijão vagem cultivada em sucessão a esta leguminosa para as diferentes doses de rocha carbonatito.

O feijão vagem apresentou resposta linear a aplicação de doses crescentes de rocha carbonatito, com exceção apenas para o número de vagens e a produtividade de grãos secos na presença da leguminosa. Dessa forma, para estes últimos o modelo mais adequado foi o quadrático, os quais atingiram as máximas produtividades em doses equivalentes, respectivamente,  $6,28$  e  $7,93$   $Mg$   $ha^{-1}$ .

**Agradecimentos**

Ao CNPq pelo apoio financeiro, à Embrapa Agrobiologia e Embrapa Cerrados pela infra-estrutura fornecida.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABBOUD, A. C. S. *Eficiência da adubação verde associada a fosfato natural de Patos de Minas*. 1986. 320 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: FAEPE, 1997. 227 p.

EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; ABBUD, A.C. S. *Adubação verde com leguminosas*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 49 p.

OLIVEIRA, L. A. M. de; SOUZA, A. E. de. *Balanço Mineral Brasileiro 2001: potássio*. DNPM/SE, Brasília, v. 21. p. 95-96, 2001.

SILVA, F. C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

## PRODUTIVIDADE DE BRACHIARIA DECUMBENS, NA ENTRESSAFRA, EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA COM DIFERENTES ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTE DE POTÁSSIO

W.S.D. Rocha<sup>1</sup>, C.E. Martins<sup>1</sup>, F. Souza Sobrinho<sup>1</sup>, A.M. Brighenti<sup>1</sup>, P.S.B. Miguel<sup>2,1</sup>  
J.P.M. Araújo<sup>2,1</sup>, A.V. de Oliveira<sup>2,1</sup>, F.A.M. de Souza<sup>2,1</sup>, R.A. Borges<sup>2,2</sup> & R.C.V. Souza<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pesquisadores da Embrapa Gado de Leite. wadson@cnpqgl.embrapa.br, caeuma@cnpqgl.embrapa.br, fausto@cnpqgl.embrapa.br, brighent@cnpqgl.embrapa.br

<sup>2</sup> Estagiários da Embrapa Gado de Leite. Acadêmicos de Ciências Biológicas/Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora (CES-JF). <sup>3</sup> Bolsista CNPq. <sup>4</sup> Bolsista Fapemig.

<sup>3</sup> Assistente A da Embrapa Gado de Leite. Raymundo@cnpqgl.embrapa.br  
Apoio financeiro: Finep, MCT e CNPq.

**1. Introdução**

A disponibilidade de nutrientes é fator primordial para o desenvolvimento de uma cultura. Na maioria dos solos brasileiros, a disponibilidade é baixa, ao contrário de países localizados em região de clima temperado, nos quais os solos apresentam maior “fertilidade natural”. Esta baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente de potássio está relacionada com a alta intensidade com as quais os agentes intempéricos atuaram durante a formação dos solos tropicais. Deste modo, a adição em grande quantidade deste elemento é necessária para a maioria das culturas. O problema está relacionado com a sustentabilidade do sistema, pois, no Brasil, cerca de 80 a 90 % do K consumido é importado, na forma de cloreto de potássio (KCl), principalmente do Canadá (26 %) e da Rússia (20 %) (Oliveira, 2006). Devido a necessidade constante do aumento da produtividade das culturas no país, principalmente nas regiões com solos de baixa “fertilidade natural”, o uso de KCl apresenta tendência de crescimento. No Brasil, a importação de adubos potássicos atingiu, no ano de 1988, o valor de 1,3 milhão de toneladas de K<sub>2</sub>O. Com o passar dos anos a importação aumentou, chegando em 2003 a 3,1 milhões de toneladas e em 2004 a 4,1 milhões de toneladas. A produção nacional também aumentou, mas ficou sempre aquém do consumo interno. Em 2003, a produção nacional foi de 415,5 mil toneladas de K<sub>2</sub>O, o que correspondeu a apenas 12 % da demanda (Oliveira, 2006). A grande diferença entre o consumo e a produção interna dificulta a sustentabilidade financeira do setor agrope-

cuário. Assim, a busca de eficiência de uso deste elemento é fundamental, portanto, outras fontes de potássio existentes no país pode ser uma das soluções, principalmente em sistemas de integração lavoura-pecuária. No país há uma tendência de investir neste modelo com o objetivo de aumentar a produção de grãos e forrageiras, recuperar a pastagem de áreas degradadas, ou reduzir a degradação de áreas cultivadas. Existem várias rochas silicáticas ricas em flogopita ou biotita (minerais que contêm K), abundantes no Brasil e com possibilidade de uso como fonte de potássio em sua forma moída. Estudos iniciados pela Embrapa Cerrados e Universidade de Brasília evidenciaram o potencial de utilização dessas rochas como fontes alternativas do nutriente às culturas (Nascimento & Loureiro, 2004). A busca de fontes alternativas está na disponibilização de potássio da rocha finamente moída para ser absorvido pela planta na quantidade necessária para atingir a produtividade esperada. O sistema de cultivo tem grande influencia na quantidade de nutriente liberado para a solução do solo. Este pode ser puro ou consorciado.

O cultivo de forrageiras com grãos pode interferir na produtividade das culturas, porém, ainda é questionada a intensidade com que cada cultura interfere no crescimento da forrageira (Portes et al., 2000). Jakelaitis et al., (2005) não verificaram efeito significativo do consórcio com *Brachiaria brizantha* na quantidade de P, K, Ca e Mg nos tecidos foliares do milho. Porém, Portes et al., (2000) verificaram que o cultivo consorciado com cereais afetou de forma negativa o crescimento de *B. brizantha*.

## 2. Objetivos

- Avaliar o efeito residual de fontes de potássio no desenvolvimento de plantas de *Brachiaria decumbens* cv. Basilinsk cultivadas em um sistema de integração lavoura-pecuária.
- Avaliar o efeito das fontes e das doses de potássio no crescimento das plantas de braquiária em consórcio com o sorgo.
- Determinar a influencia das fontes e das doses de potássio na cobertura do solo pela braquiária cultivada em um sistema de integração com o sorgo.
- Verificar o efeito das fontes e doses de potássio na produtividade de matéria seca da braquiária consorciada com a cultura do sorgo.

## 3. Metodologia

O experimento foi realizado na entressafra de 2008, no Campo Experimental de Coronel Pacheco da Embrapa Gado de Leite (CECP-EGL), localizado no município de Coronel Pacheco-MG. Foi utilizado um sistema de integração lavoura-pecuária com sorgo e *Brachiaria decumbens*.

O solo da área foi preparado (em outubro de 2006) com o uso de arado e grade, sendo incorporado calcário dolomítico na dose de 1.800 kg/ha, corrigido o seu PRNT para 100 %. A quantidade adicionada foi definida com base no resultado da análise da amostra de solo. Em 28 de março de 2008, a *Brachiaria decumbens* cv. Basilinsk e o sorgo (BRS 610) foram semeados no mesmo dia. A braquiária foi semeada a lanço, na quantidade de 45 kg/ha de sementes com valor cultural de 70 %. Esta quantidade foi utilizada para garantir um bom estabelecimento da braquiária consorciada. O sorgo foi semeado em linha com espaçamento de 1 m para obter de 50.000 a 65.000 plantas por hectare. Por ocasião do plantio utilizou-se apenas a adubação fosfatada (superfosfato simples). O adubo fosfatado foi adicionado de duas formas, uma no sulco de semeadura (100 kg/ha de  $P_2O_5$ ) para atender a demanda da cultura do sorgo e outra a lanço (50 kg/ha de  $P_2O_5$ ) para atender à cultura da *B. decumbens*. A adubação de cobertura foi realizada com sulfato de amônio, porém, só foi realizada uma etapa da adubação de cobertura 20 dias após a semeadura do sorgo, pois não ocorreu chuva para que fosse feita a segunda adubação de cobertura. No experimento foram avaliados a influencia da fonte e da dose de potássio na cobertura do solo, no crescimento e na produtividade de massa seca da planta de *B. decumbens*, cultivado em consórcio com o sorgo. Para isto, foi realizada a aplicação direta de rochas silicáticas como fontes de potássio, em granulometria inferior a 2,0 mm, tal como se procede no uso agrícola de calcários.

Foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso em um sistema fatorial 3x4 mais um controle, com 4 repetições. Os tratamentos constaram da combinação entre os fatores fontes (Biotita Xisto, Brecha Piroclástica e Flogopita da Bahia) e doses de potássio (0, 100, 200 e 400 kg/ha de  $K_2O$ ), além do tratamento controle, que foi utilizado o cloreto de potássio na dose de 200 kg/ha de  $K_2O$  (Tabela 2). O cálculo da quantidade aplicada foi baseado na quantidade de potássio solúvel presente na fonte, sendo de 7,93 % de  $K_2O$  na Flogopita, 3,26 % de  $K_2O$  na Biotita, 1,90 % de  $K_2O$  na Brecha e 60 % de  $K_2O$  no KCl. A área total de cada parcela foi de 40 m<sup>2</sup> e a área útil utilizada para avaliação foi de 0,5 m<sup>2</sup> (um quadro de 0,5 x 1,0 m). As avaliações das plantas de *B. decumbens* foram realizadas por ocasião da colheita do sorgo, sendo avaliadas a cobertura do solo, a altura das plantas e a quantidade de massa seca produzida por hectare. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias, quando necessário, foram submetidas ao teste de Skott-Knott (1974).

## 4. Resultados e reflexão

No momento da colheita da braquiária, o teor de matéria seca média da cultura era de 32 %. Quando foi utilizada a dose de 100 kg/ha de  $K_2O$  para avaliar o desenvolvimento da cultura, o crescimento de braquiária foi maior quando a fonte foi a Biotita Xisto (Tabela 1). Nas demais doses, não ocorreu diferença no crescimento das plantas de braquiária quando foi alterada a fonte fornecedora de potássio. A dose de 100 kg/ha de  $K_2O$  é recomendada em algumas regiões para o cultivo de plantas forrageiras (a análise do solo deve ser considerada), portanto nesta condição a Biotita poderia ser uma rocha utilizada para fornecer potássio para a cultura.

Tabela 1. Altura (cm) de plantas de braquiária de acordo com a fonte e a dose de potássio utilizada.

Dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Fonte de K			
	Biotita	Brecha	Flogopita	KCl
0	65 <sup>A,a</sup>	71 <sup>A,a</sup>	61 <sup>A,b</sup>	
100	85 <sup>A,a</sup>	70 <sup>B,a</sup>	61 <sup>B,b</sup>	
200	66 <sup>A,a</sup>	75 <sup>A,a</sup>	74 <sup>A,a</sup>	77 <sup>A</sup>
400	78 <sup>A,a</sup>	66 <sup>A,a</sup>	83 <sup>A,a</sup>	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam as fontes de potássio) e minúsculas (comparam entre as doses de potássio), iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

A cobertura que a braquiária proporciona à superfície do solo favorece a redução da perda de solo por erosão, tanto pela redução da velocidade da água sobre superfície do solo quanto pelo aumento na velocidade de infiltração básica. No caso do experimento, os tratamentos não influenciaram na cobertura do solo pela cultura (Tabela 2).

Tabela 2. Cobertura do solo (%) realizada pelas plantas de braquiária de acordo com a fonte e a dose de potássio utilizada.

Dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Fonte de K			
	Biotita	Brecha	Flogopita	KCl
0	31 <sup>A,a</sup>	28 <sup>A,a</sup>	24 <sup>A,a</sup>	
100	26 <sup>A,a</sup>	24 <sup>A,a</sup>	33 <sup>A,a</sup>	
200	33 <sup>A,a</sup>	31 <sup>A,a</sup>	28 <sup>A,a</sup>	25 <sup>A</sup>
400	27 <sup>A,a</sup>	30 <sup>A,a</sup>	27 <sup>A,a</sup>	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam as fontes de potássio) e minúsculas (comparam entre as doses de potássio), iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

A rocha silicática respondeu de forma diferente para a disponibilidade de potássio, quando foi avaliado o desenvolvimento da planta. No caso da Flogopita, o crescimento (Tabela 1) e a produtividade de matéria verde (Tabela 3) da gramínea foram maiores nas doses de 200 e 400 kg/ha de K<sub>2</sub>O.

Tabela 3. Produtividade de matéria verde (kg/ha) de plantas de braquiária de acordo com a fonte e a dose de potássio utilizada.

Dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Fonte de K			
	Biotita	Brecha	Flogopita	KCl
0	9.531 <sup>A,a</sup>	12.476 <sup>A,a</sup>	8.479 <sup>A,b</sup>	
100	12.281 <sup>A,a</sup>	9.474 <sup>A,a</sup>	9.087 <sup>A,b</sup>	
200	10.239 <sup>A,a</sup>	11.630 <sup>A,a</sup>	13.764 <sup>A,a</sup>	11.291 <sup>A</sup>
400	10.951 <sup>A,a</sup>	10.131 <sup>A,a</sup>	12.623 <sup>A,a</sup>	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam as fontes de potássio) e minúsculas (comparam entre as doses de potássio), iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

Quando os resultados de matéria verde foram corrigidos para matéria seca, a produtividade não foi influenciada pelas diferentes fontes e doses de potássio (Tabela 4). A produtividade da cultura da braquiária foi influenciada pela época seca e pela competição com as plantas de sorgo, ou seja, a produtividade foi baixa neste sistema e época com baixo índice pluviométrico. Portes et al., (2000) também verificaram baixo desempenho de uma braquiária (a *B. brizantha*) em cultivo consorciado com cereais.

Tabela 4. Produtividade de matéria seca (kg/ha) de plantas de braquiária de acordo com a fonte e a dose de potássio utilizada.

Dose de K <sub>2</sub> O (kg/ha)	Fonte de K			
	Biotita	Brecha	Flogopita	KCl
0	2.861 <sup>A,a</sup>	3.728 <sup>A,a</sup>	2.722 <sup>A,a</sup>	
100	3.659 <sup>A,a</sup>	2.887 <sup>A,a</sup>	2.774 <sup>A,a</sup>	
200	3.129 <sup>A,a</sup>	3.622 <sup>A,a</sup>	4.294 <sup>A,a</sup>	3.384 <sup>A</sup>
400	3.267 <sup>A,a</sup>	3.162 <sup>A,a</sup>	3.555 <sup>A,a</sup>	

Valores médios, seguidos por letras maiúsculas (comparam as fontes de potássio) e minúsculas (comparam entre as doses de potássio), iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

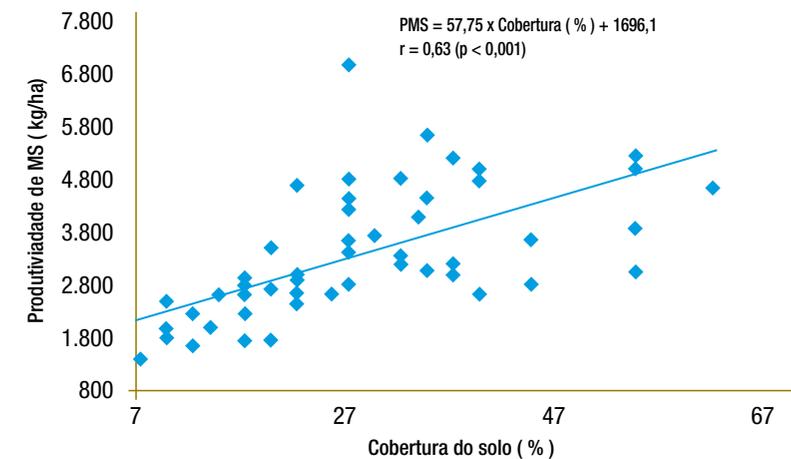


Fig. 1. Correlação entre a cobertura do solo (%) pela Brachiaria decumbens e a produtividade de matéria seca (PMS, kg/ha).

As medições de altura, de cobertura do solo e massa da forrageira são avaliações que demandam tempo, mas são de grande valia para definirmos se a pastagem responde ao manejo utilizado pelo técnico e produtor. Se considerarmos tempo de execução a altura e a cobertura são avaliações mais rápidas do que a determinação da produtividade feita de forma direta (colheita). Portanto, o experimento são sempre correlacionados os atributos altura e cobertura do solo com a produtividade, para determinar um modelo que possamos utilizar para facilitar a avaliação no campo. A produtividade de matéria seca teve relação direta com a cobertura do solo ( $r = 0,63^{***}$ , Fig. 1) e com a altura da planta ( $r = 0,76^{***}$ , Fig. 2).

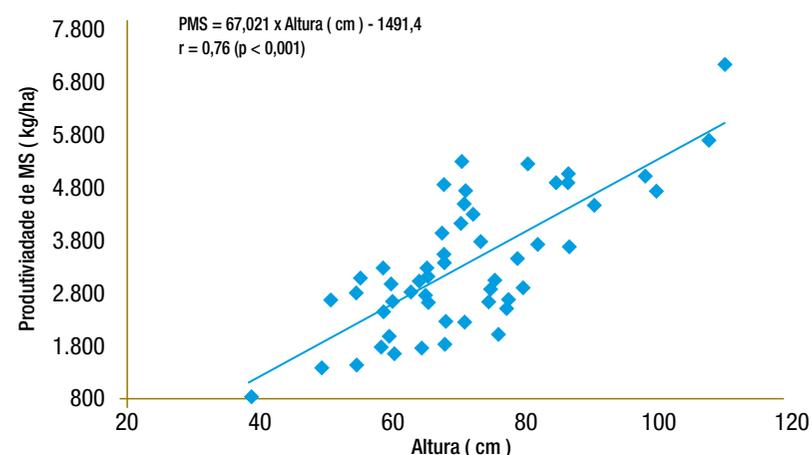


Fig. 2. Correlação entre a altura (cm) das plantas de *Brachiaria decumbens* e a produtividade de matéria seca (PMS, kg/ha).

## 5. Conclusões

Na dose de 100 kg/ha de  $K_2O$ , o crescimento de braquiária foi maior quando a fonte foi a Biotita Xisto.

Quando a flogopita foi utilizada, o crescimento e a produtividade de matéria verde da gramínea foram maiores nas doses de 200 e 400 kg/ha de  $K_2O$ .

A produtividade de matéria seca teve relação direta com a cobertura do solo ( $r=0,63$ ,  $P < 0,001$ ) e com a altura da planta ( $r=0,76$ ,  $P < 0,001$ ).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. da & FERREIRA, L.R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27: 39-46, 2005.
- NASCIMENTO, M. & LOUREIRO, F.E.L. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CET EM/MCT, 2004. 66p. (*Série Estudos e Documentos*, 61).
- OLIVEIRA, L.A.M. [Online]. Potássio. In: *Sumário Mineral*. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Homepage: [http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1006](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1006) 2006
- PORTES, T.A.; CARVALHO, S.I.C.; OLIVEIRA, I.P. & KLUTHCOWSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35: 1349-1358, 2000.
- SCOTT, A. J. & KNOTT, M. A. A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30: 507-512, 1974.

## RELATIVE EFFICIENCY OF SOURCES OF POTASSIUM IN THE FERTILIZATION OF CROP SYSTEM PEAR MILLET AND SOYBEAN

A. M. Coelho<sup>1</sup>, I. E. Marriel<sup>1</sup>, D. M. Rocha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Maize and Sorghum Research Institute amcoelho@cnpms.embrapa.br

<sup>2</sup>Eng. Agr. Embrapa Maize and Sorghum trainee, Belo Horizonte-MG.

### 1. Introduction

Crop potassium (K) requirement is greater than requirements for all nutrients except nitrogen (N). Whereas biological N fixation provides significant N inputs to terrestrial ecosystems, there are no renewable sources of K in the biogeo-chemical cycle. Crop K uptake is therefore solely derived from existing soil reserves, recycled K in crop residues, and applied K fertilizer (Cassman, 1996). Because the native soil K supply is a fixed quantity, increase food production will require a large proportional increase in K fertilizer user. Applications rates to soil already deficient must increase in proportion to higher yield levels, and, in addition, K application will be required in many areas where soils do not presently require K inputs to achieve current yield levels.

The high K demand by crops contrast with the concentrations, in general insufficient, that occur in Brazilian soils (Coelho, 2005). This fact, associated the astounding growth of the Brazilian agricultural production in the past few years, has been leading to a great increase in K fertilizers consumption (Nachtigall and Rajj, 2005). In 2008, the consumption of potassium fertilizer in the Brazilian agriculture was seven million tons, of which 92 % was imported, representing a cost of US\$ 5 billion.

These data justify the implementation of governmental policies aiming to explore the canallite ore reserves in Sergipe state as well as the sylvinites deposits in the Amazon state (Lopes, 2005). In addition to that, they must stimulate research concerning the economical feasibility of potassium silicates and mineral byproduct, which are abundant all over Brazil, as source of K fertilizer. The objective of this study was to evaluate the efficiency of alternative sources of potassium in the fertilization of pearl millet (as cover crop) and soybean.

## 2. Material and Methods

Field experiments were conducted at the Embrapa Maize and Sorghum, Sete Lagoas, Minas Gerais state, during the 2006-2007 and 2007-2008 growing seasons, on a Dystroferric Red Latosol (clay Oxisol), cultivated with pasture of brachiaria. Soil test indicated a pH 5.8, organic matter content of  $34.5 \text{ g dm}^{-3}$ , P-Mehlich1 level at  $7.3 \text{ mg dm}^{-3}$  and K level at  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  in the top 20 cm. The treatments consisted of three sources of potassium (Potassium Chloride-KCl, rock biotite schist, and Byproduct-RMS) and four rates (0, 75, 150 and  $300 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ), applied in the first year, broadcast on the soil surface and incorporated into the soil at 10 cm depth. The experiment was in random blocks, using a split plot design with three replications. The main plots were sources of K and the split-plot factor consisted of the rates.

The rock biotite schist occurs naturally in Minas Gerais State. Sample of this rock was ground to pass a 2-mm screen and chemically characterized. It presents gray color, content 5.0 % of total K insoluble in water. The RMS is a byproduct of the manganese extraction industry, presenting brown color, with a degree of fineness less than 2 mm (10 mesh) and a content of 10.0 % of total K soluble in water. Chemical analysis of both materials indicated that they presenting low concentrations of CaO and MgO, with low effective calcium carbonate (ECC) rating (Biotite schist: 3.20 % and RMS: 29.33 %). The equivalent rates applied to supply the levels of 75, 150 and  $300 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$  were: Biotite schist 1.5, 3.0, and  $6.0 \text{ t ha}^{-1}$ ; RMS 0.75, 1.5 and  $3.0 \text{ t ha}^{-1}$  and; KCl (60 %  $\text{K}_2\text{O}$ ) 125, 250 and  $500 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Pearl millet (*Pennisetum glaucum*), cultivar 'ADR 300', was sown in 3.5- by 6-m plots in 0.35-m rows at a rate of  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  in September, and fertilized with  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  plus  $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ . In both years, biomass of pearl millet was determined at bloom stage (50 days after sowing). Before harvest, pearl millet was desiccated with glyphosate at rate of  $1.0 \text{ l ha}^{-1}$ . The harvested biomass was weighed in the field and sampled for dry matter determinations. The sample was subsequently dried at  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  in a forced draft oven, ground, and then analyzed for total N, P and K. Fifteen days after pearl millet had been desiccated, soybean (*Glycine max*), cultivar 'Valiosa<sup>RR</sup>', was sown in the first week of December at 0,35 m row spacing (250 thousand plants per hectare). In the first growing season (2006/07) soybean was not fertilized and the seeds were not inoculated with bacteria for  $\text{N}_2$  fixation. In the second growing season (2007/08), soybean was fertilized with  $30 \text{ kg N ha}^{-1}$  plus  $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  and, before planting, the seeds were inoculated with commercial powdered peat based granular *Brady Rhizobium*. Soybean grain yields were determined by hand harvesting six adjacent 5-m long rows (appropriately bordered) and reported based on a moisture content of  $130 \text{ g kg}^{-1}$ . After each harvest, plant and grain samples were collected and analyzed for total N, P and K. Data were analyzed by conventional analysis of variance procedures for split-plot design, using the PROC GLM of SAS (SAS Inst., 2001). Treatment means were compared by least significant difference ( $P \leq 0.05$ ).



Fig 1. General aspects showing the Biotite schist applied on the soil surface (left) and pearl millet and soybean growing in the field (right).

## 3. Results and Discussion

Pearl millet production in Brazil has recently been used as a soil improvement, cover crop for on two million ha of no-till production of soybeans (Bonamigo, 1999). In this system, where the pear millet biomass is not removed from the field, and if the soil fertility status is classified as optimum or higher, the application of fertilizers is not recommended (Pereira Filho et al., 2005).

Pear millet dry matter yields responses to alternatives sources (Biotite schist and RMS) and rates of K, compared to KCl, are show in Fig 1. Pear millet dry matter yields, range from  $2.0$  to  $5.0 \text{ t ha}^{-1}$ , with average of  $3.48 \text{ t ha}^{-1}$ , and large responses to applied K were observed (Fig 2). In the first growing season (2006) the dry matter yield responses showed significant differences ( $P \leq 0,05$ ) for sources and rates of K application, but the interaction (K sources x rates) was not significant.

The maximum dry matter yield was achieved with  $75 \text{ kg-K}_2\text{O ha}^{-1}$  supplied as RMS and KCl sources, which the dry matter production were statically similar,  $4.00$  and  $3.60 \text{ t ha}^{-1}$ , respectively.

For the Biotite schist a linear response, until  $300 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ , was observed (Fig 2a). These results agree with the content and solubility of the K previously determined in the sources. For the second year (2007), similar results were observed (Fig 2b). However, for all sources, the maximum dry matter yield was obtained with application of  $150 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$  (Fig 1b) and the production obtained with KCl ( $5.19 \text{ t ha}^{-1}$ ) was higher than RMS ( $3.70 \text{ t ha}^{-1}$ ) and Biotite schist ( $3.05 \text{ t ha}^{-1}$ ).

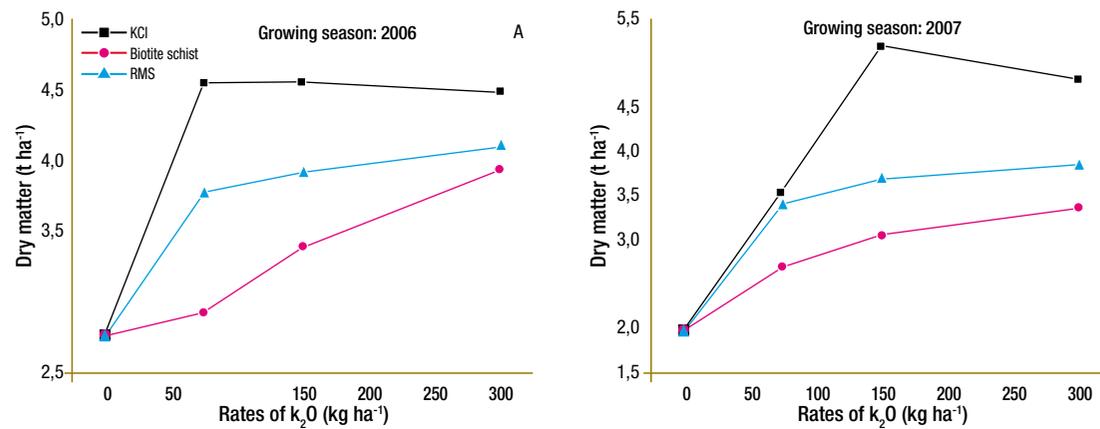


Fig 2. Pearl millet dry matter yields responses to sources and rates of K applications in 2006 and 2007 growing seasons.

The data of total K accumulation in dry matter of pearl millet are showing in the Table 1. The trends in K uptake in 2006 were similar to those in 2007. Although the sources were applied at equivalent rates, significant ( $P \leq 0.05$ ) differences among rates and sources were observed in the K uptake by pearl millet and they were all greater than the control (Table 1).

The K uptake for the Biotite schist treatment was significant less than other sources treatments, which are consistent with the degree of solubility of the K in the sources (Table 1). When a more soluble source (KCl) was applied, a large quantity of K was uptake, which is consistent with luxury uptake of K. Since that pearl millet was used as cover crop, a large amount of K (40 - 190 kg ha<sup>-1</sup>) were cycled from the plant back into the soil (Table 1).

Table 1. Total potassium accumulation in dry matter of pearl millet during the growing seasons.

Source	Rate K <sub>2</sub> O – kg ha <sup>-1</sup>	K-uptake – 2006		K-uptake – 2007	
		g kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
KCl	75	20.4	92.74	19.8	70.60
KCl	150	38.2	174.50	21.3	109.71
KCl	300	42.7	189.91	22.6	109.32
Biotite schist	75	14.6	41.33	9.6	25.83
Biotite schist	150	16.4	55.93	9.6	29.23
Biotite schist	300	19.2	73.37	15.7	54.10
RMS	75	24.7	91.30	18.6	61.73
RMS	150	30.6	116.12	22.7	87.42
RMS	300	34.9	148.68	24.7	98.73
Control	0	12.0	32.96	12.3	25.68
Mean		23.1	90.23	16.8	60.31
CV, %		21.0	29.4	38.3	48.7

Soybean grain yields as affected by sources and rates of K application are showing in the Fig 3. Grain yields range from 824 to 2.400 kg ha<sup>-1</sup> in 2006-07 and from 2.300 to 4.000 kg ha<sup>-1</sup> in

2007-08 as K was increased from 0 to 300 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (Fig 3). The relative low yields obtained in 2006-07 (Fig 3a) were caused by the fact that area never had been cultivated with soybean and the seeds were not inoculated with bacteria for N<sub>2</sub> fixation.

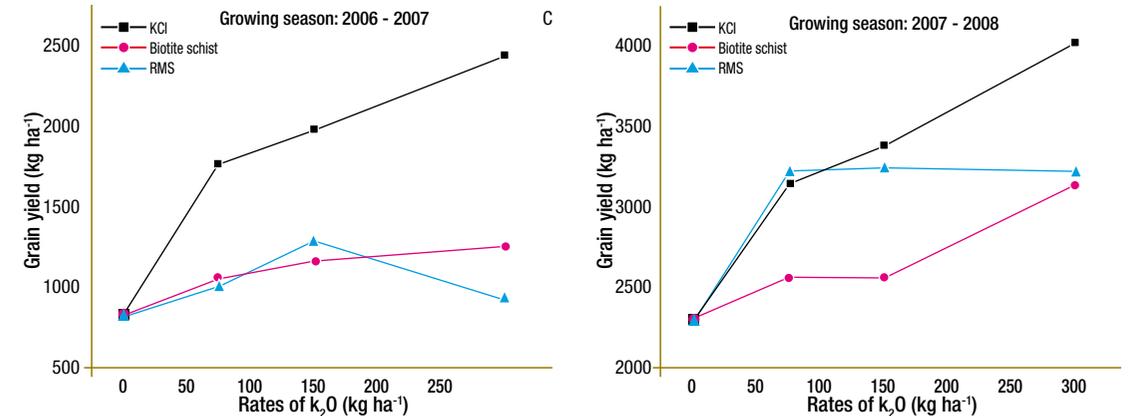


Fig 3. Soybean grain yields responses to sources and rates of K application in 2006-07 and 2007-08 growing seasons.

In the first growing season (2006-07), sources, rates and interactions treatments all had a significant effect ( $P \leq 0.05$ ) on soybean grain yield. The treatments with the soluble source (KCl) yielded significantly more than the sources Biotite schist and RMS, with a linear response until the rate the 300-kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (Fig 3a). However, in the second growing season (2007-08), while a linear response was obtained to rates applied of the KCl and Biotite schist, a linear-plateau response was verified to the RMS with the maximum grain yield (3.200 kg ha<sup>-1</sup>) obtained with application of 75 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (Fig 3b). These results indicated that the source RMS presented some detrimental effect, limiting soybean grain yield. On the other hand, our hypothesis that the crop sequence pearl millet/cover crop-soybean could improve the efficiency of the less soluble source of K was not confirmed in this research.

#### 4. Conclusions

The results of this study show that pearl millet dry matter yield and soybean grain yield were significantly affected by sources and rates of K. Pearl millet and soybean presented greatest response to K fertilization rates of 150 and 300 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, respectively. This research also shown that byproduct-RMS, when applied at equivalent rates, is almost as effective as KCl and both were superior to Biotite schist for pear millet and soybean production. Our hypothesis that the crop sequence pearl millet/cover crop-soybean could improve the efficiency of the less soluble source of K was not confirmed in this research.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONAMIGO, L. A. A cultura do milheto no Brasil, implantação e desenvolvimento no cerrado. In: *Workshop Internacional de Milheto*. Planaltina: Embrapa-CPAC. p. 31-65, 1999.

CASSMAN, K. G. Agronomic management of potassium in the 21<sup>st</sup> century: Can plant physiology help?. In: *Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effect of potassium on crop plant physiology*. (eds D. M. OOSTERHUIS and G. A. BERTKOWITZ). Bern: Potash & Phosphate Institute. p. 165-174, 1996.

COELHO, A. M. O potássio na cultura do milho. In: *Potássio na agricultura brasileira* (eds T. YAMADA e T. L. ROBERTS). Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p.613-658, 2005.

NACHTIGALL, G. R. e RAIJ, B. van. Análise e interpretação do potássio no solo. In: *Potássio na agricultura brasileira* (eds T. YAMADA e T. L. ROBERTS). Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p.92-118, 2005.

LOPES, A. S. Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: *Potássio na agricultura brasileira* (eds T. YAMADA e T. L. ROBERTS). Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p.21-32, 2005.

PEREIRA FILHO, I. A., RODRIGUES, J. A. dos S., KARAM, D., COELHO, A. M., ALVARENGA, R. C., CRUZ, J. C. e CABEZAS, W. L. Manejo da cultura do milheto. In: *Milheto: tecnologias de produção e agronegócio*. (eds D. A. M. NETTO e F. O. M. DURAES). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. p. 59-92, 2005.

SAS INSTITUTE. *SAS User's Guide: Statistics*. 8<sup>th</sup> ed. SAS Inst., Cary, NC, USA, 2001.

## ROCHAS SILICÁTICAS NA CORREÇÃO E ADUBAÇÃO DE SOLOS

Fred Newton da Silva Souza<sup>1</sup>, Juliana Mariano Alves<sup>1</sup>, Luiz Renato D'Agostini<sup>2</sup>, Otton Nunes Pinheiro<sup>1</sup>,

Vanderson Rodrigues de Almeida<sup>3</sup>, Gustavo Azevedo Campos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Professor(a)/Pesquisador(a), Núcleo de Desenvolvimento e Avaliação do Desempenho Ambiental NUDAM, Fundação Universidade do Tocantins – UNITINS, fred.ns@unitins.br;

<sup>2</sup>Professor Associado II, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC;

<sup>3</sup>Estudante de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins – UFT;

<sup>4</sup>Pesquisador, Embrapa Cerrados-UEP/Tocantins.

### 1. Introdução

Desde há muito rochas moídas são utilizadas como corretivos e fertilizantes de solo agrícola. Emprestada dos termos agrônômicos fosfatagem e calagem, *rochagem* é a correção do solo com rochas silicatadas moídas, também denominada de “remineeralização” (Campe et al., 1996).

No Brasil algumas rochas apresentam quantidades consideráveis de potássio, o que representa uma alternativa ao fato de não ocorrerem reservas minerais deste nutriente no país

A forma mais comum de fertilizante potássico usado na agricultura são os sais de potássio, e cerca de 90 % do potássio utilizado como fertilizante no Brasil é importado. Conforme descrito em Vilela et al., (2002) e Curi et al., (2005), para as condições da agricultura brasileira o problema agrava-se pelo fato de os solos serem pobres em minerais contendo K e apresentarem baixa capacidade de retenção de cátions, favorecendo perdas por lixiviação do K oriundo dos fertilizantes.

Nesse contexto o uso de rochas silicáticas ocorrentes no país adquire grande potencial, e evidencia a necessidade de se buscar novas fontes de matérias-primas ou mesmo de novos produtos que possam tanto suprir a demanda mais urgente do setor agrícola por fertilizantes potássicos, quanto ampliar a competitividade da agricultura.

Estudos comprovaram a presença de reservas de minerais primários com teores relativamente altos de K em quase todas as regiões do país (Távora, 1982; Nascimento & Loureiro, 2004). Os resultados desses estudos, que também levaram em conta a eficiência agrônômica das rochas, indicaram que essa eficiência depende da sua origem e composição da rocha, de fatores de solo, do tempo de incubação, da granulometria do solo, do tratamento químico ou térmico aplicado e das culturas utilizadas.

Além das vantagens anunciadas sobre a utilização do pó de rocha - baixo risco de lixiviação, reduzido custo operacional, matéria-prima fácil de ser explorada e abundante em todo país – de acordo com alguns autores (Resende et al., 2002, e Machado et al., 2005) a liberação de K contido em rochas pode atender a demanda das culturas, permanecendo ainda considerável efeito residual do nutriente para cultivos subseqüentes. Por isso os autores sugerem que tais rochas podem ser empregadas como fontes de liberação gradual de nutrientes, característica desejável quando se considera o efeito fertilizante mais duradouro e o menor risco de perdas, comparativamente aos adubos de alta solubilidade.

Com base nessas premissas e na ocorrência de rochas silicáticas (biotita-xisto) na região central do Tocantins, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação dessa rocha em comparação com aquele do calcário sobre a fertilidade do solo.

## 2. Metodologia

Os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação no Complexo de Ciências Agrárias-CCA, da Fundação Universidade do Tocantins-UNITINS, em Palmas-TO.

A rocha avaliada é rejeito do processo de mineração, o qual apresenta em sua composição, 2,7 % de potássio, 9,3 % de cálcio, 13,2 % de magnésio, expressos em respectivos óxidos, além de vários outros elementos nutrientes em concentrações menores. (Anexo 1).

A primeira etapa do experimento foi a moagem da rocha, realizada com o apoio da Mineradora Ouro Verde, Rio da Conceição – TO. Depois foi escolhido o solo em função da sua predominância em termos de representatividade dos solos da região, e baixo teor de potássio disponível. Na Tabela 1 são apresentados os dados que caracterizam o solo utilizado nos experimentos.

Tabela 1. Laudo analítico da composição química do solo.

pH	P	K	Al	Ca+MG	Ca <sup>++</sup>	H+Al	MO
Água	..... mg/dm <sup>3</sup>	.....	.....	..... m.e./100cc	.....	.....	%
5,75	2,44	14,78	0,08	2,66	1,54	2,58	0,98

O solo coletado foi caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA). Após analisado o solo foi acondicionado em vasos (4 dm<sup>3</sup>) no interior de casa de vegetação. Para garantir a expressão de alterações decorrentes de relações solo-planta, foi semeada *crotalaria spectabilis* no solo contido nos vasos. Conforme descrito na Tabela 2, o experimento é composto de 6 tratamentos com 4 repetições, sendo cada repetição composta de 6 vasos. Os tratamentos foram os seguintes:

Testemunha; Calcário-CAL (1,7 Mg.ha<sup>-1</sup>); Pó de Rocha-PR (1,7 Mg.ha<sup>-1</sup>); Cal+PRI (1,7 Mg.ha<sup>-1</sup> + 1,7 Mg.ha<sup>-1</sup>); Cal+PRII (1,7 Mg.ha<sup>-1</sup> + 2,3 Mg.ha<sup>-1</sup>); Cal+PRIII (1,7 Mg.ha<sup>-1</sup> + 6,3 Mg.ha<sup>-1</sup>).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos

Tratamento	Fonte	Dose (g/vaso)
Testemunha	-----	0
T1	Calcário	5,25
T2	PR	5,25
T31	Calcário + PR I	9
T41	Calcário + PR II	18
T51	Calcário + PR III	36

<sup>1</sup>Tratamentos compostos de calcário (5,25g/vaso) e diferentes doses de pó de rocha (PR): T3 (+3,75 g/vaso); T4 (+12,75 g/vaso); e T5 (+30,75 g/vaso).

Antes da semeadura transcorreu um período de incubação de 30 dias. Após a incubação dos tratamentos ao solo, a massa do solo de cada vaso foi homogeneizada para dar início à fase com o cultivo das plantas.

As análises e avaliações envolveram dados de produção de concentração de nutrientes na parte aérea das plantas, e também das alterações na composição química do solo.

Para obtenção dos dados relativos à concentração de nutrientes na parte aérea das plantas, o material foi coletado no início da fase reprodutiva (início da floração), quando segundo Franco & Souto (1984) as plantas apresentam maior produção de fitomassa e concentração de nutrientes. A partir do corte de todas as plantas de cada repetição de cada tratamento foi determinado o peso verde, e desse material tirou-se amostras as quais foram submetidas à estufa de circulação forçada, a 72 °C por 72 horas para determinação do peso seco. Depois de determinado o peso seco as amostras foram encaminhadas para a Embrapa Cerrados, onde foram determinados os teores de macro e micronutrientes por digestão, seguida de colorimetria e espectrofotometria. O corte das plantas e coleta do material para determinação da matéria seca e quantificação dos teores de nutrientes foi realizado aos 90 dias do plantio.

Os dados relativos à composição química do solo foram obtidos a partir de amostras coletadas imediatamente antes do preparo dos tratamentos, aos 30 dias de incubação, e aos 30 e 90 dias após a semeadura da crotalaria.

## 3. Resultados e Discussão

No Anexo 2 são apresentados os teores médios de macro e micronutrientes acumulado na parte aérea das plantas. Os resultados obtidos sugerem que não houve diferenças significativas (Teste de Média - Scott Knott 5 %) entre os tratamentos e para os diversos elementos-nutrientes considerados.

Essa primeira observação remete a uma importante característica do pó de rocha avaliado: considerável eficiência na correção do pH do solo. Pelo menos em relação à nutrição das plantas, pode-se afirmar que a rocha silicática (rochagem) apresenta resultados bastante semelhantes àqueles obtidos com a aplicação de calcário (calagem), tanto de forma individual quanto associada.

Em relação ao poder de correção da acidez, o pH do solo evoluiu de 5,7 para 6,4 e 6,2 nos tratamentos CAL e PR, respectivamente. Parte desta redução na acidez do solo pode ser atribuída ao efeito corretivo do pó de rocha, uma vez que o mesmo apresenta consideráveis concentrações de carbonato de cálcio e de magnésio (respectivamente 9,3 % e 13,2 %, expressas em óxidos). Conforme os dados apresentados na Tabela 3, o teor de K, que na testemunha era de 14,7 mg/l, aos 30 dias da incubação do pó de rocha ao solo alcançou, para os tratamentos CAL e PR, respectivamente 50,7 e 39,7 mg/l. Quando avaliados os efeitos dos tratamentos que envolvem a aplicação de pó de rocha em adição ao calcário, os resultados tornam-se ainda mais expressivos. No tratamento CAL+PRIII o teor de K alcançou níveis acima dos 180 mg/dm<sup>3</sup>.

Tabela 3. Efeitos dos tratamentos sobre o pH e teores de nutrientes no solo.

	Trat	pH	Al	Ca+Mg	P	K	CA++	H+Al	MO								
		H <sub>2</sub> O	me/100cc	me/100cc	mg/l	me/100cc	me/100cc	%									
30 Dias	T	5,75	0,08	2,66	2,44	14,78	1,54	2,58	0,98								
	CAL	6,39	0,00	3,23	2,46	50,73	1,98	1,16	0,95								
	PR	6,15	0,00	2,45	2,32	39,74	1,60	1,96	1,07								
	CAL+PR I	6,62	0,00	3,60	2,66	68,70	2,29	1,26	1,00								
	CAL+PR II	6,78	0,00	3,74	2,83	66,70	2,36	1,18	1,10								
	CAL+PR III	6,92	0,00	4,26	3,77	187,73	3,03	0,74	1,01								
60 Dias	T	5,75	0,03	3,91	4,42	31,75	2,19	2,84	1,50								
	CAL	6,44 0,00 3,50 3,89 33,75 2,12 1,18 0,93	0,03	3,50	3,89	33,75	2,12	1,18	0,93								
	PR	6,36	0,04	2,66	3,45	34,75	1,63	2,06	1,00								
	CAL+PR I	6,32	0,03	3,24	3,61	42,74	1,84	1,30	0,78								
	CAL+PR II	6,87	0,02	3,35	3,89	48,73	1,98	1,16	0,91								
	CAL+PR III	6,92	0,03	3,86	6,46	197,71	2,67	0,54	1,06								
120 Dias	T	5,75	b	0,03	a	2,31	b	2,31	b	9,50	c	1,29	b	2,62	a	1,02	a
	CAL	6,68	a	0,03	a	3,48	a	2,29	b	16,25	c	2,09	a	1,90	b	0,95	a
	PR	6,21	b	0,04	a	2,58	b	2,58	b	13,75	c	1,59	b	2,60	a	0,99	a
	CAL+PR I	6,87	a	0,03	a	3,81	a	2,67	b	20,00	c	2,23	a	1,61	b	1,05	a
	CAL+PR II	6,78	a	0,02	a	4,11	a	3,13	a	35,00	b	2,49	a	1,62	b	0,99	a
	CAL+PR III	6,93	a	0,03	a	3,97	a	3,71	a	59,00	a	2,52	a	1,39	b	0,98	a

Dos resultados obtidos e apresentados na Tabela 3, é importante destacar que todos os tratamentos contribuíram positivamente para o aumento do teor de K no solo. O tratamento CAL+PRIII, que representa a aplicação de 1,7 Mg.ha<sup>-1</sup> de calcário mais 6,3 Mg. ha<sup>-1</sup> de pó de rocha, proporcionou um incremento de aproximadamente 4 vezes no teor de K no solo. Esses mesmos dados (Tabela 3), em especial aqueles referentes ao período de 120 dias após a semeadura, quando analisados estatisticamente apresentam diferenças

significativas entre os tratamentos e parâmetros avaliados. Observa-se que o pó de rocha aplicado em associação com o calcário proporcionou os melhores resultados referentes ao incremento de potássio K ao solo. Em relação ao pH do solo nota-se que a aplicação do pó de rocha em associação com o calcário também apresentou os melhores resultados (Fig. 1).

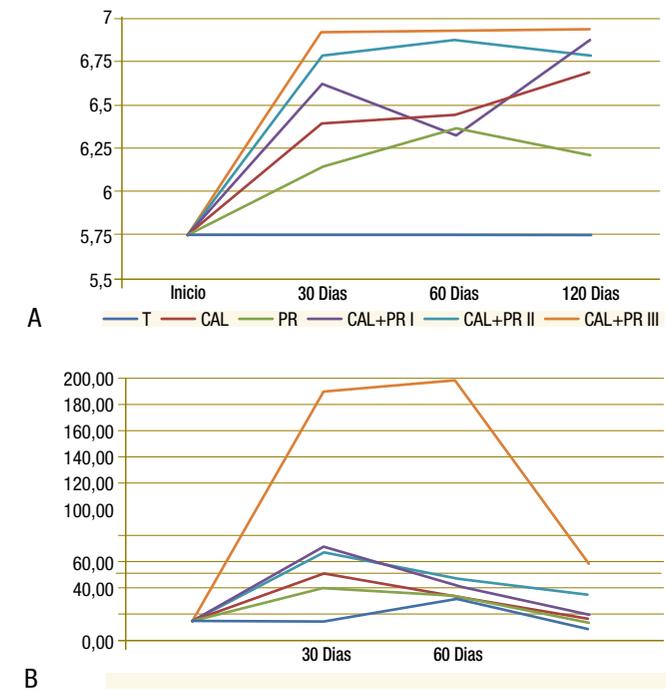


Fig. 1. Evolução dos níveis do pH e de K no solo, em função dos diferentes tratamentos.

#### 4. Conclusões

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que o pó de rocha mostra-se muito promissor, seja como fonte de fertilizante potássico, ou em substituição/complementação ao calcário na correção da acidez do solo.

Somada a esses aspectos, a liberação gradual dos nutrientes do pó de rocha, sobretudo do potássio, torna-se de todo desejável, pois além de efeitos mais duradouros, incorre em menores perdas quando comparados aos fertilizantes de alta solubilidade.

A continuidade das pesquisas possibilitará a mensuração dos efeitos residuais do uso de pó de rocha na nutrição das plantas e na produtividade das culturas agrícolas. Ciente dessa necessidade a equipe do projeto iniciou novos estudos paralelos às pesquisas aqui descritas, os quais objetivam tratar da questão dos efeitos residuais da sua aplicação sobre a produção de sucessivos cultivos, além de questões relacionadas aos custos de exploração e comercialização do pó de rocha como fertilizante agrícola alternativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPE, J. O'BRIEN, T.A. BARKER, A.V. Soil remineralization for sustainable agriculture. *Remineralise the Earth*, Spring, p. 141-164.1996.

CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e Formas de Potássio em Solos Brasileiros. IN: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. (ED.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 91-122.

MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S; SOBRINHI, D.A.S; NASCIMENTO, M.T; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.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, 2005. Anais... Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (CD-rom).

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).

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: i. respostas da soja e do milho. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 30. Recife, 2005. Anais... Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (CD-rom).

VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; SILVA, J.E. Adubação potássica. In: Sousa, D.M.G.; Lobato, E. (Eds.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002, p.169-183.

TÁVORA, J.E.M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira*: Anais... Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.37-50.

FRANCO, A.A. e SOUTO, S.M. Contribuição da fixação biológica de N<sub>2</sub> na adubação verde. In: *Adubação Verde no Brasil*- FUNDAÇÃO CARGIL (org.). Campinas-SP, 1984. p. 199-215.

## ANEXO 1

Teor de macro e micronutrientes contido no pó de rocha.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Sum	Ni	Sc	Ba	Be	Co	Cs
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	48.27	9.20	9.58	15.27	8.23	1.81	2.72	0.44	0.10	0.17	0.185	3.7	99.67	259	36	245	11	60.9	4.0
	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
Pó de Rocha	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	2.0	10.7	174.2	4	97.9	0.4	4.7	0.5	161	1.0	76.1	16.9	60.1	99.1	9.82	35.0	4.89	1.03	4.41
	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Ti
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	3.01	0.56	1.60	0.25	1.54	0.22	3.8	23.3	2.1	52	167.1	0.7	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.5	< 0.01	0.5

## ANEXO 2

Teor de macro e micronutrientes contido no tecido vegetal da parte aérea de plantas de crotalaria para os diferentes tratamentos.

TRAT	Macronutrientes (g/kg)							Macronutrientes (mg/kg)					
	N	Ca	K	P	Mg	S	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
T	10,77 a	21,62 a	9,66 a	1,61 a	2,89 a	1,08 a	96,82 a	17,12 a	8,27 a	110,69 a	29,50 a	26,00 a	
CAL	10,09 a	19,74 a	12,77 a	2,22 a	2,82 a	0,83 b	94,60 a	17,35 a	8,82 a	93,08 a	23,13 a	30,90 a	
PR	11,56 a	21,74 a	8,11 a	1,04 a	3,32 a	0,57 b	100,78 a	15,08 a	6,44 a	186,15 a	31,80 a	37,24 a	
CAL+ PR I	12,71 a	24,25 a	8,27 a	1,48 a	3,55 a	0,98 a	101,72 a	17,75 a	8,28 a	103,45 a	30,98 a	29,58 a	
CAL+ PR II	13,42 a	22,77 a	8,54 a	1,27 a	3,32 a	0,81 b	132,93 a	14,78 a	7,79 a	100,35 a	27,26 a	26,33 a	
CAL+ PR III	11,60 a	23,64 a	10,96 a	1,68 a	3,62 a	1,10 a	124,49 a	17,72 a	8,04 a	119,03 a	29,12 a	29,46 a	

## POTENCIAL DE REJEITO MINERAL NA PRODUÇÃO DE GRÃOS

Fred Newton da Silva Souza<sup>1</sup>, Juliana Mariano Alves<sup>1</sup>, Luiz Renato D'Agostini<sup>2</sup>,  
Otton Nunes Pinheiro<sup>1</sup>, Lucas Koshy Naoe<sup>3</sup>, Vanderson Rodrigues de Almeida<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Professor(a)/Pesquisador(a), Núcleo de Desenvolvimento e Avaliação do Desempenho Ambiental – NUDAM,  
Fundação Universidade do Tocantins – UNITINS, fred.ns@unitins.br;

<sup>2</sup>Professor Associado II, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC;

<sup>3</sup>Professor/Pesquisador, Fundação Universidade do Tocantins – UNITINS.

<sup>4</sup>Estudante de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins - UFT.

### 1. Introdução

O potássio é essencial para a produção vegetal. Além de requerido em quantidades significativas pelas plantas cultivadas, e diferentemente do nitrogênio que pode ser obtido por fixação biológica, não existem fontes renováveis de potássio (K), de modo que sua disponibilidade às plantas depende essencialmente das reservas do solo e da aplicação de fertilizantes.

Como o território brasileiro é constituído, na sua maior parte, por solos ácidos e pobres em nutrientes, para torná-los produtivos são utilizadas quantidades elevadas de fertilizantes, implicando cerca de 40 % dos custos variáveis de produção. Além disso, e como apontam Vilela et al., (2002) e Curi et al., (2005), soma-se o fato de os solos brasileiros serem pobres em minerais contendo K e apresentarem baixa capacidade de retenção de cátions, favorecendo perdas por lixiviação do K oriundo de fertilizantes.

Em quantidade, o potássio (K) é o segundo elemento fertilizante mais utilizado no Brasil, correspondendo a cerca de 30 % do mercado de adubos, sendo que a forma cloreto de potássio

(KCl) responde por mais de 95 % do consumo de fertilizantes potássicos. Cerca de 90 % do potássio utilizado como fertilizante no Brasil é importado, implicando elevados custos de produção, além de déficits na balança comercial. Em 2007 foram produzidas 471 mil toneladas de  $K_2O$  no Brasil, correspondendo 11 % da demanda nacional, que atingiu 4,7 Mt. A importação para atender o consumo foi de 4,1 Mt, cerca de US\$ 1,5 bilhão (Oliveira, 2008).

Tudo isso torna evidente a necessidade de se buscar novas fontes de matérias-primas ou mesmo de novos produtos que possam tanto suprir a demanda mais urgente do setor agrícola por fertilizantes potássicos, quanto ampliar a competitividade do agronegócio brasileiro. Apesar das reservas brasileiras de KCl serem pequenas, existem várias rochas silicáticas que contêm potássio, ricas em flogopita ou biotita, com potencial de uso como fertilizante quando moídas. Estudos comprovaram a presença de reservas de minerais primários com teores relativamente altos de K em quase todas as regiões do país (Távora, 1982; Nascimento & Loureiro, 2004).

Emprestada dos termos agrônômicos fosfatagem e calagem, *rochagem* é a correção do solo com rochas silicatadas moídas. O uso de rochas moídas como fertilizante agrícola é uma possibilidade considerada de longa data, a qual foi denominada de “remineralização” (Campe, et al., 1996), e atualmente adquire importância crescente na economia brasileira. Dentre as vantagens da utilização do pó de rocha são apontados: lenta liberação de nutrientes; baixo risco de lixiviação; reduzido custo operacional; corrige o pH do solo; excelente fonte de micronutrientes; matéria-prima fácil de ser explorada e abundante em todo país.

De acordo com autores como Resende et al., 2002, e Machado et al., 2005, a liberação de K contido em rochas pode atender a demanda das culturas, permanecendo ainda considerável efeito residual do nutriente para cultivos subsequentes. Com isso os autores sugerem que tais rochas podem ser empregadas como fontes de liberação gradual de nutrientes, característica desejável quando se considera o efeito fertilizante mais duradouro e o menor risco de perdas, comparativamente aos adubos de alta solubilidade.

Além do exposto, e dos aspectos econômicos associados à substituição de fertilizantes solúveis altamente reativos por rochas moídas, somam-se os aspectos positivos decorrentes da redução das implicações ambientais, sobretudo em solos arenosos. Com base nessas premissas o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fertilizante de um rejeito mineral proveniente de rochas silicáticas (biotita-xisto).

## 2. Metodologia

O ensaio contendo três tratamentos, quatro repetições e duas variedades de soja foi conduzido em campo, no Complexo de Ciências Agrárias-CCA, da Fundação Universidade do Tocantins-UNITINS.

A rocha usada no projeto como fonte alternativa de potássio é um rejeito proveniente da exploração mineral, pertence ao grupo de rochas silicáticas e classificada como Biotita Xisto. A rocha moída na fração granulométrica menor que 0,2 mm apresenta em sua composição 2,7 % de potássio expresso em óxido ( $K_2O$ ), além de vários outros elementos nutrientes em concentrações menores.

O solo no qual foi conduzido o ensaio é caracterizado como areno-argiloso (teor de argila < 20 %). A Tabela 1 abaixo apresenta o laudo analítico da composição química do solo, que em síntese mostra tratar-se de um solo relativamente ácido e com baixo teor de potássio (K).

Tabela 1. Laudo analítico da composição química do solo.

pH	P	K	Al	Ca+MG	Ca <sup>++</sup>	H+Al	MO
CaCl <sub>2</sub>	..... mg/dm <sup>3</sup>	.....		..... m.e./100cc	.....		%
4,60	0,30	12,0	0,20	1,80	1,20	2,20	0,90

A Tabela-2 descreve os tratamentos caracterizados por diferentes doses de pó de rocha, as quais são equivalentes a 60, 120 e 240 Kg.ha<sup>-1</sup> de K expresso na forma de  $K_2O$ . A testemunha recebeu adubação com cloreto de potássio comercial (KCl) em dose de 60 Kg.ha<sup>-1</sup> de  $K_2O$ .

Todos os tratamentos receberam adubação de correção com fósforo sob a forma de Superfosfato Simples de acordo com as recomendações técnicas para a cultura da soja (120 Kg.ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ ).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos.

Tratamento	Fonte de K	Dose (kg ha <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O)	Outros nutrientes <sup>1</sup>
Testemunha	KCl	60	+
PR I	Pó de rocha	60	+
PR II	Pó de rocha	120	+
PR III	Pó de rocha	240	+

<sup>1</sup>Adubação de correção com fósforo (P) na forma de Super Fosfato Simples.

Após a aplicação do pó de rocha a área passou por um período de incubação de 30 dias antes da semeadura. Foram utilizadas duas variedades de soja, (1) MSOY-8527-RR e (2) MSOY 9144-RR. A semeadura em blocos casualizados de 4x7m seguiu as recomendações técnicas com espaçamento de 50 cm entre linhas e oito sementes/m linear.

Durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foi realizada uma aplicação de herbicida para supressão da vegetação espontânea, como forma de reproduzir o itinerário técnico adotado pela maioria dos sojicultores tocantinos.

Por fim foi realizada a colheita, e com ela o registro dos dados para análise das interações variedades x tratamentos x parâmetros descritores da cultivar. Da área total dos blocos foram eliminadas duas linhas de cada lateral e também um metro em cada extremidade, o que resultou em uma área útil de 15 m<sup>2</sup>. Os dados referentes aos descritores altura, número de nós e número de vagens foram obtidos a partir de 10 plantas retiradas aleatoriamente dentre todas as demais existentes na área útil de cada bloco, e a partir das quais estimou-se a produção (kg/ha).

### 3. Resultados e Discussão

Os dados coletados foram sistematizados e submetidos à análise estatística – teste de média e análise de variância. Na Tabela 3 são apresentadas as médias de cada aspecto considerado. Observa-se que a variedade (1) não apresentou diferenças significativas para todos os aspectos avaliados, apesar do consistente incremento na produção de grãos à medida em que aumenta-se a quantidade de pó de rocha aplicado.

A variedade (2) se comportou de forma semelhante ao observado para a variedade (1). Costatou-se diferenças significativas para os aspectos produção e altura das plantas da variedade (2), mas apenas no tratamento que recebeu 60 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de pó de rocha (PR-60).

Tabela 3. Resultado da análise estatística dos tratamentos (Tukey 5 %).

Variedades	Tratamentos	Produção (Kg/ha)	Vagens (N°)	Nós (N°)	Altura (cm)
1	Testemunha	536,7 a	42,6 a	11,2 a	27,0 a
	PR – 60	586,7 a	47,4 a	10,6 a	26,4 a
	PR – 120	656,7 a	54,3 a	11,1 a	28,7 a
	PR - 240	913,3 a	49,2 a	11,4 a	28,5 a
2	Testemunha	1056,7 a	43,3 a	12,4 a	36,4 ab
	PR – 60	536,7 b	27,3 a	10,2 b	31,5 b
	PR – 120	1336,7 a	33,3 a	13,3 a	39,4 a
	PR - 240	1383,3 a	42,0 a	12,9 a	40,5 a

Pelos resultados obtidos é fácil observar que o desempenho produtivo da variedade (2) foi significativamente maior que o aquele da variedade (1). Tal comportamento deve estar relacionado ao ciclo produtivo mais tardio da variedade (2), somado também ao aspecto altura das plantas notadamente superior ao observado na variedade (1).

Independente da variedade, os resultados apontam que os tratamentos PR-120 e PR-240 apresentam desempenho muito semelhante, e superior ao apresentado pelo tratamento-testemunha com adubação convencional a base de cloreto de potássio (KCl). Dessa observação pode-se inferir que a quantidade ideal de pó de rocha a ser aplicado, pelo menos em relação a cultura da soja, esteja nessa faixa de aplicação, ou seja, em torno de 4,5 toneladas/ha.

### 4. Conclusões

Dos resultados preliminares obtidos conclui-se que o pó de rocha pode constituir-se em importante fonte alternativa de fertilizante agrícola, sobretudo, para as condições dos solos tropicais.

Essa conclusão fundamenta-se no fato de os resultados de produção e demais aspectos avaliados terem se mostrado muito semelhantes nos diferentes tratamentos e, sobretudo, no fato da produção obtida com pó de rocha ter sido superior ao do cloreto de potássio.

Considerando os efeitos residuais da aplicação do pó de rocha, somado ao fato de que grande parte dos solos tropicais hoje cultivados apresenta teores de argila inferiores a 20 %, a viabilização do uso do pó de rocha como fonte alternativa de fertilizante agrícola torna-se bastante promissora. Nessas condições o pó de rocha promove a liberação gradual de nutrientes, condição de toda desejável devido o efeito mais duradouro e o menor risco de perdas, se comparado a adubos de alta solubilidade.

Nessa safra 2009-2010 será dada continuidade ao experimento a fim de se avançar também na avaliação dos efeitos residuais da aplicação do pó de rocha. Essas avaliações serão complementadas pelos demais estudos já realizados, e também por novos estudos referentes aos custos de exploração e comercialização do pó de rocha como fertilizante agrícola alternativo. Com isso espera-se comprovar que os custos são relativamente baixos, e que o uso do produto pode ser perfeitamente acessível a todos os produtores agrícolas, especialmente ao agricultor familiar.

OLIVEIRA, L.A.M. *Potássio*, Sumário Mineral – DNPM. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br> (acesso em 12 de julho de 2008).

CAMPE, J. O'BRIEN, T.A. BARKER, A.V. Soil remineralization for sustainable agriculture. *Remineralise the Earth*, Spring, p. 141-164.1996.

CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e Formas de Potássio em Solos Brasileiros. IN: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. (ED.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 91-122.

MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S; SOBRINHI, D.A.S; NASCIMENTO, M.T; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.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, 2005. Anais... Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (CD-rom).

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).

RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; NASCIMENTO, M.T.; SOBRINHO, D.A.S; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; SILVA, J.E. Adubação potássica. In: Sousa, D.M.G.; Lobato, E. (Eds.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002, p.169-183.

TÁVORA, J.E.M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira*. Anais... Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.37-50.

## REJEITO MINERAL COMO FONTE DE FERTILIZANTE

Fred Newton da Silva Souza<sup>1</sup>, Juliana Mariano Alves<sup>1</sup>, Luiz Renato D'Agostini<sup>2</sup>,

Otton Nunes Pinheiro<sup>1</sup>, Vanderson Rodrigues de Almeida<sup>3</sup>, Gustavo Azevedo Campos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Professor(a)/Pesquisador(a), Núcleo de Desenvolvimento e Avaliação do Desempenho Ambiental – NUDAM, Fundação Universidade do Tocantins – UNITINS, fred.ns@unitins.br;

<sup>2</sup>Professor Associado II, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC;

<sup>3</sup>Estudante de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins – UFT;

<sup>4</sup>Pesquisador, Embrapa-Cerrados – UEP/Tocantins.

### 1. Introdução

No Brasil existem fontes minerais de potássio, fato que torna a disponibilidade deste nutriente essencialmente dependente das reservas do solo e da aplicação de fertilizantes. O potássio é um dos importantes e mais demandados nutrientes às plantas agrícolas. De outro lado, algumas rochas ocorrentes no Brasil apresentam quantidades consideráveis de potássio.

A forma mais comum de K usado na agricultura são os sais de potássio, cuja ocorrência natural praticamente inexistente no Brasil, que importa cerca de 90 % dos fertilizantes potássicos consumidos na agricultura. Conforme descrito em Vilela et al., (2002) e Curi et al., (2005), nas condições brasileiras o problema agrava-se pelo fato de os solos serem pobres em minerais contendo K e apresentarem baixa capacidade de retenção de cátions, favorecendo perdas por lixiviação do K oriundo dos fertilizantes.

Tudo isso fortalece a necessidade de se buscar novas fontes de matérias-primas ou mesmo de novos produtos que possam tanto suprir a demanda mais urgente do setor agrícola por fertilizantes potássicos, quanto ampliar a competitividade do agronegócio brasileiro. Nesse contexto o uso de rochas moídas ou *rochagem* pode apresentar grande potencial. Emprestada dos termos agrônômicos fosfatagem e calagem, rochagem é a correção do solo com rochas silicatadas moídas. O uso de rochas moídas como fertilizante agrícola é uma possibilidade considerada de longa data que foi denominada de “remineralização” (Campe et al., 1996), e atualmente adquire importância crescente com o aumento dos custos de produção.

Estudos comprovaram a presença de reservas de minerais primários com teores relativamente altos de K em quase todas as regiões do país (Távora, 1982; Nascimento & Loureiro, 2004). Os resultados desses estudos, que também levaram em conta a eficiência agrônômica das rochas, indicaram que essa eficiência depende da sua origem e composição, de fatores de solo, do tempo de incubação, da granulometria, do tratamento químico ou térmico aplicado e das culturas utilizadas. Dentre as vantagens da utilização do pó de rocha são apontados: lenta liberação de nutrientes; baixo risco de lixiviação; reduzido custo operacional; corrige o pH do solo; é fonte de micronutrientes; matéria-prima abundante em todo país.

De acordo com alguns autores (Resende et al., 2002, e Machado et al., 2005) a liberação de K contido em rochas pode atender a demanda das culturas, com considerável efeito residual do nutriente para cultivos subsequentes. Ao considerarem os efeitos de curto prazo (um ou dois cultivos em condições de casa-de-vegetação), os autores observaram que as rochas estudadas apresentaram em torno de 50 % de eficiência agrônômica em relação à fonte de K solúvel (KCl). Com isso os autores sugerem que tais rochas podem ser empregadas como fontes de liberação gradual de nutrientes, característica desejável quando se considera o efeito fertilizante mais duradouro e o menor risco de perdas, comparativamente aos adubos de alta solubilidade.

Além do exposto, e dos aspectos econômicos associados à substituição de fertilizantes solúveis altamente reativos por rochas moídas, somam-se os aspectos positivos decorrentes da redução das implicações ambientais, sobretudo em solos arenosos. É com base nessas premissas e na ocorrência de rochas silicáticas (biotita-xisto) na região central do Tocantins, que o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial do pó de rocha no desenvolvimento e produção de biomassa de diferentes culturas.

## 2. Metodologia

Os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação no Complexo de Ciências Agrárias-CCA, da Fundação Universidade do Tocantins-UNITINS, em Palmas-TO.

A rocha utilizada é rejeito do processo de mineração, o qual apresenta em sua composição, 2,7 a 3,0 % de potássio expresso em óxido ( $K_2O$ ), além de vários de outros elementos nutrientes em concentrações menores.

A primeira etapa do ensaio foi a moagem da rocha, realizada com o apoio da Mineradora Ouro Verde, Rio da Conceição – TO. Depois foi escolhido o solo em função da sua predominância em termos de representatividade dos solos da região, e baixo teor de potássio disponível. Na Tabela-1 são apresentados os dados que caracterizam o solo utilizado nos experimentos.

Tabela 1. Laudo analítico da composição química do solo.

pH	P	K	Al	Ca+MG	Ca <sup>++</sup>	H+Al	MO
Água	.. mg/dm <sup>3</sup> ...			..... me/100cc .....			%
5,75	2,44	14,78	0,08	2,66	1,54	2,58	0,98

O solo foi acondicionado em vasos (4dm<sup>3</sup>) no interior de casa de vegetação. Os Experimentos denominados (1) e (2), conforme descrito na Tabela-2 são compostos de sete tratamentos com 4 repetições. Todos os tratamentos exceto a testemunha receberam calcário para correção da acidez do solo (LVA), e adubação conforme recomendações técnicas para as culturas da Soja (1,7 Mg.ha<sup>-1</sup> de C<sub>a</sub>CO<sub>3</sub> e 120 Kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e Milheto (1,2 Mg. ha<sup>-1</sup> de C<sub>a</sub>CO<sub>3</sub>, 50 Kg. ha<sup>-1</sup> de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 80 Kg. ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos.

Tratamento	Fonte de K	Dose (kg ha-1 K2O)	Outros nutrientes <sup>1</sup>
Testemunha	-----	0	-
Q I	KCl	60	+
Q II	KCl	120	+
Q III	KCl	240	+
PR I	Pó de rocha	60	+
PR II	Pó de rocha	120	+
PR III	Pó de rocha	240	+

<sup>1</sup>Soja:+ P (0,9 g/vaso de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); e Calcário (5,2 g/vaso de C<sub>a</sub>CO<sub>3</sub>);

<sup>1</sup>Milheto: + P (0,65 g/vaso de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); N (0,75 g/vaso de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); Calcário (3,2 g/vaso de C<sub>a</sub>CO<sub>3</sub>).

Antes da semeadura ocorreu um período de incubação de 30 dias. Após a incubação dos tratamentos, a massa do solo de cada vaso foi homogeneizada para dar início à fase com o cultivo das plantas.

A coleta de material para avaliação da produção de matéria seca ocorreu no início da fase reprodutiva (início da floração), quando segundo Franco & Souto (1984) as plantas apresentam maior produção de fitomassa e concentração de nutrientes. A partir do corte de todas as plantas de cada repetição de cada tratamento foi determinado o peso verde, e desse material coletou-se amostras, as quais foram submetidas à estufa de circulação forçada, a 72 °C por 72 horas para determinação do peso seco. Depois de determinado o peso seco as amostras foram encaminhadas para a Embrapa Cerrados, onde foi procedida a quantificação dos teores de macro e micronutrientes a partir da análise por digestão, colorimetria e espectrofotometria. Com base nos dados de matéria seca foi também calculada a eficiência agrônômica dos tratamentos com pó de rocha em relação aos tratamentos com cloreto de potássio, ou seja,

$$EA (\%) = 100 \times (MS_{PR} - MS_{Test}) / (MS_{KCl} - MS_{Test})$$

onde:

EA: Índice de Eficiência Agrônômica;

MS<sub>PR</sub>: Matéria Seca dos Tratamentos com Pó de Rocha;

MS<sub>Test</sub>: Matéria Seca do Tratamento-Testemunha;

MS<sub>KCl</sub>: Matéria Seca dos Tratamentos com Cloreto de Potássio.

## 3. Resultados e Discussão

O corte das plantas e a coleta do material para determinação da matéria seca e quantificação dos teores de nutrientes foram realizados aos 54 e aos 74 dias do plantio da soja e do milheto, respectivamente.

Na Tabela 3 é apresentada a síntese dos dados de produção de matéria seca, ou seja, a média dos tratamentos nos dois experimentos. Os resultados para matéria seca (Teste de Média - Scott Knott 5 %) revelaram não haver diferenças significativas entre os tratamentos.

Com base nos mesmos dados de matéria seca constatou-se que o incremento de eficiência agrônômica proporcionado pelo pó de rocha foi pouco expressivo no caso da soja (11 %), enquanto que para o milho o incremento foi de aproximadamente 40 %.

Tabela 3. Produção de matéria seca dos tratamentos/experimentos (1) e (2).

Tratamento	Soja			Milho		
	MS (g/vaso)	*	EA (%)	MS (g/vaso)	*	EA (%)
Testemunha	24,4	b		20,6	b	
Q I	38,9	a		56,8	a	
Q II	36,1	a		57,8	a	
Q III	38,0	a		52,5	a	
PR I	37,1	a	-12,6	63,9	a	19,6
PR II	37,5	a	11,2	54,7	a	-8,5
PR III	38,3	a	2,5	65,1	a	39,6

\* Teste de Média Scott Knott 5 %.

Parte deste incremento de eficiência agrônômica pode ser atribuída ao efeito corretivo na acidez do solo pelo pó de rocha, uma vez que o mesmo apresenta consideráveis concentrações de carbonato de cálcio e de magnésio (respectivamente 9,3 % e 13,2 %, expressas em óxidos).

A partir da análise do tecido vegetal das plantas foram determinados os teores de macro e micronutrientes de cada tratamento (Anexo 2 – Teor de Macro e Micronutrientes do Tecido Foliar). Os resultados sugerem que não houve diferenças significativas (Teste de Média - Scott Knott 5 %) nos teores de macronutrientes entre os diferentes tratamentos e espécies cultivadas.

A única diferença encontrada a 5 % de probabilidade foi nos teores de potássio (K) na cultura da soja, a qual aponta sensível vantagem do cloreto de potássio sobre o pó de rocha. Já em relação aos teores de micronutrientes, as diferenças são mais significativas em ambas as culturas, sobretudo para Boro (B) e Cobre (Cu), e sempre a favor dos tratamentos com pó de rocha. Dentre os micronutrientes, o Zinco (Zn) apresentou um comportamento no mínimo interessante, pois na cultura da soja todos os tratamentos apresentaram desempenho inferior ao da testemunha.

#### 4. Conclusões

Assim como apontaram outros estudos, conclui-se que pelos efeitos de curto prazo a utilização do pó de rocha avaliado apresenta cerca de 40 % de eficiência agrônômica em relação ao cloreto de potássio.

Por revelar-se com efeitos semelhantes àqueles do cloreto de potássio quando consideradas as concentrações de nutrientes na parte aérea das plantas, pode-se afirmar que o pó de rocha se constitui em promissora possibilidade de fonte de corretivo e fertilizante.

Somados a esses aspectos, a liberação gradual dos nutrientes do pó de rocha, sobretudo do potássio, torna-se de todo desejável, pois além de efeitos mais duradouros, incorre em menores perdas quando comparados aos fertilizantes de alta solubilidade.

Como o pó de rocha constitui um passivo ambiental, ou seja, consiste em rejeito de um processo de lavra mineral, viabilizar sua utilização contribui para assegurar destino correto ao 'rejeito' e desocupar áreas de acumulação para outras atividades.

Recentemente um novo estudo vem sendo desenvolvido paralelo às pesquisas aqui descritas, e que se destina a tratar da questão dos custos de exploração e comercialização do pó de rocha como fertilizante agrícola alternativo. Sobre essa questão, estudos realizados em outras regiões do Brasil mostram que os custos são relativamente baixos, tornando-se acessível a todos os produtores agrícolas, especialmente ao agricultor familiar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPE, J. O'BRIEN, T.A. BARKER, A.V. Soil remineralization for sustainable agriculture. *Remineralise the Earth*, Spring, p. 141-164.1996.
- CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J.J. Mineralogia e Formas de Potássio em Solos Brasileiros. IN: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L. (ED.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 91-122.
- MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; SOBRINHI, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.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, 2005. Anais... Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (CD-rom).
- FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L.; CORAZZA, E.J. 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, 30. Recife, 2005. Anais... Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (CD-rom). 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).
- RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; NASCIMENTO, M.T.; SOBRINHO, D.A.S.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; SILVA, J.E. Adubação potássica. In: Sousa, D.M.G.; Lobato, E. (Eds.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002, p.169-183.

TÁVORA, J.E.M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira: Anais...* Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.37-50.

FRANCO, A.A. e SOUTO, S.M. Contribuição da fixação biológica de N<sub>2</sub> na adubação verde. In: *Adubação Verde no Brasil* - FUNDAÇÃO CARGIL (org.). Campinas-SP, 1984. p. 199-215.

### ANEXO 1

Teor de macro e micronutrientes contido no pó de rocha.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	Sum	Ni	Sc	Ba	Be	Co	Cs
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
48.27	9.20	9.58	15.27	8.23	1.81	2.72	0.44	0.10	0.17	0.185	3.7	99.67	259	36	245	11	60.9	4.0
Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2.0	10.7	174.2	4	97.9	0.4	4.7	0.5	161	1.0	76.1	16.9	60.1	99.1	9.82	35.0	4.89	1.03	4.41
Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Ti
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
3.01	0.56	1.60	0.25	1.54	0.22	3.8	23.3	2.1	52	167.1	0.7	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.5	< 0.01	0.5

### ANEXO 2

Teor de macro e micronutrientes contido no tecido vegetal da parte aérea de plantas de soja e milho e para os diferentes tratamentos.

	TRAT	Macronutrientes (g/kg)					
		N	Ca	K	P	Mg	S
Soja	T	12,25 a	11,20 a	12,11 b	2,38 a	7,17 a	1,10 b
	Q I	19,15 a	11,61 a	19,11 a	3,69 a	5,81 a	1,89 a
	Q II	18,23 a	14,77 a	14,59 b	3,48 a	6,95 a	1,88 a
	Q III	17,36 a	16,20 a	17,57 a	3,53 a	6,95 a	2,09 a
	PR I	14,46 a	13,47 a	21,11 a	3,49 a	5,68 a	2,10 a
	PR II	15,82 a	14,32 a	12,86 b	3,27 a	6,93 a	1,94 a
Milho	PR III	21,58 a	15,23 a	16,09 a	3,53 a	6,46 a	2,02 a
	T	9,50 a	9,46 a	14,74 a	1,75 a	5,81 a	0,98 a
	Q I	9,30 a	6,90 a	11,63 a	2,11 a	6,67 a	1,00 a
	Q II	7,65 a	4,77 a	12,31 a	2,34 a	6,21 a	0,94 a
	Q III	8,15 a	4,09 a	11,93 a	2,20 a	5,65 a	1,02 a
	PR I	7,82 a	11,05 a	19,45 a	2,85 a	5,23 a	1,66 a
	PR II	7,89 a	7,22 a	12,63 a	2,52 a	5,77 a	1,52 a
	PR III	7,57 a	7,29 a	15,92 a	2,48 a	4,75 a	1,21 a

## EFEITO RESIDUAL DA ROCHA ULTRAMÁFICA ALCALINA NA PRODUÇÃO FERTILIDADE DO SOLO E ESTADO NUTRICIONAL DO CAPIM MASSAI EM SUCESSÃO COM LEGUMINOSA DE CLIMA TROPICAL E TEMPERADO

Adônis Moreira<sup>1</sup>, Marianna Giroto<sup>2</sup>, Tatiana Salata Lima<sup>2</sup> e Ângela Maria Fala<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, bolsista do CNPq, adonis@cnpq.br

<sup>2</sup>Estudantes de Biologia do Centro Universitário Central Paulista/UNICEP, bolsistas PIBIC/CNPq.

### 1. Introdução

No Brasil, o cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte disponível no mercado, porém, contém alto índice de salinidade e depende de importação. Décadas atrás, foram realizados vários estudos utilizando rochas para o fornecimento de K às plantas, ou que buscavam rotas alternativas para a obtenção de fertilizantes potássicos. Tentou-se desenvolver processos físicos e químicos de tratamento de rochas brasileiras com teores mais elevados de K. Entretanto, a utilização desses produtos se mostrou inviável economicamente, devido à demora na disponibilização do nutriente para as plantas, ao elevado gasto energético no processamento das rochas ou à baixa competitividade em relação ao cloreto de potássio. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito residual da rocha ultramáfica alcalina sobre a produção de matéria seca, estado nutricional, nas relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K e nas saturações por Ca, Mg e K na capacidade de troca de cátions do solo (CTC).

### 2. Material e Métodos

O experimento foi realizado com o capim Massai (*Panicum maximum*) em condições de casa de vegetação, com Argissolo Amarelo distrófico em vasos cultivados anteriormente com alfafa e com centrosema. Na alfafa foi aplicado calcário dolomítico antes do plantio para elevar a saturação por bases a 80 %, enquanto na centrosema foi de 70 %. Nas duas leguminosas foram realizados

cinco cortes com intervalos de 30 dias. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo residual de quatro doses 0, 100, 150 e 300 mg kg<sup>-1</sup> de K, fontes - ultramáfica alcalina (5 % de K<sub>2</sub>O) com duas granulometrias (0,3 e 2,0 mm) e um tratamento adicional com 150 mg kg<sup>-1</sup> de K na forma de KCl. Exceto no N e o K, a adubação com os demais nutrientes nas leguminosas, em mg kg<sup>-1</sup>, foi de: P, 100; S, 50; B, 0,5; Cu, 1,5; Fe, 5,0; Mn, 5,0; e Zn, 5,0. Semelhante ao potássio, os nutrientes não foram repostos. Após a coleta da alfafa e da centrosema, o solo foi novamente peneirado e recolocado nos vasos. Foram estudadas as relações Ca/Mg, Ca/K, e Mg/K e nas saturações por Ca, Mg e K na CTC no solo. Após 60 dias do plantio, o capim foi cortado e seco para obtenção da produção de matéria seca (PMS). Posteriormente, o material foi levado ao laboratório da determinação dos teores de N, P, K, Ca e Mg. Nos dados de PMS foram feitas análises de regressão a 5 % de probabilidade.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados mostraram que o efeito residual nos vasos anteriormente cultivados com centrosema, independentemente da granulometria, proporcionaram maior PMS do capim Massai. A produção no tratamento KCl, mesmo sendo uma fonte solúvel e aplicada somente nas leguminosas, foi superior ao efeito residual da rocha ultramáfica no incremento da produção de matéria seca, com produção de 5,1 g vaso<sup>-1</sup>. No caso dos macronutrientes, houve redução dos teores de P e Mg na matéria seca da parte aérea (MSPA) com aumento das doses, o inverso foi observado com o N e K, com os maiores teores na dose 150 mg kg<sup>-1</sup>. O teor de Ca na MSPA não foi influenciado pelos tratamentos (Tabela 1).

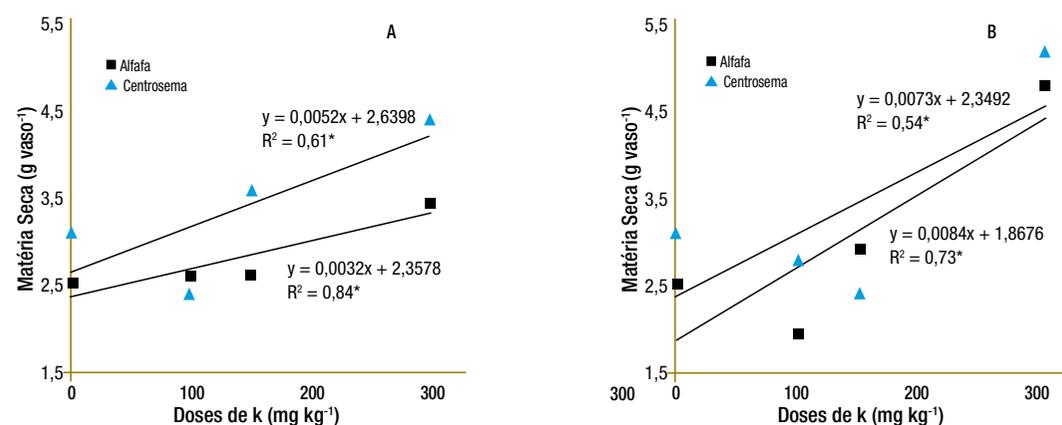


Fig. 1. Efeito residual das duas leguminosas (alfafa e centrosema) com 0,3 mm (A) e 2,0 mm (B) de granulometria sobre a produção de matéria seca (PMS) do capim Massai. Significativo a 5 % pelo teste F.

Tabela 1. Teores de N, P, K, Ca e Mg na matéria seca do capim Massai sucedendo a alfafa e centrosema

Tratamentos mg kg <sup>-1</sup>	N	-----kg <sup>-1</sup> -----			
		Ca	Mg	P	K
Alfafa					
0,3 mm - 0	12.98	6.22	7.49	0.61	3.63
0,3 mm - 100	16.55	5.85	5.42	0.32	13.52
0,3 mm - 150	15.85	6.05	4.86	0.24	13.55
0,3 mm - 300	17.34	6.25	3.63	0.22	6.50
2,0 mm - 0	12.98	6.22	7.49	0.61	3.63
2,0 mm - 100	19.74	5.83	5.78	0.26	9.69
2,0 mm - 150	17.26	5.64	5.42	0.26	9.98
2,0 mm - 300	10.80	5.08	3.48	0.27	7.66
KCl - 150	10.17	5.49	6.72	0.30	3.63
Centrosema					
0,3 mm - 0	8,68	7,09	6,76	0,76	1,12
0,3 mm - 100	15,80	5,80	4,61	0,53	11,88
0,3 mm - 150	14,36	5,59	4,16	0,44	11,89
0,3 mm - 300	10,34	5,48	2,80	0,58	8,95
2,0 mm - 0	8,68	7,09	6,76	0,76	1,12
2,0 mm - 100	16,74	6,57	5,18	0,45	11,19
2,0 mm - 150	19,75	6,38	5,26	0,43	15,34
2,0 mm - 300	9,83	6,05	3,08	0,36	7,49
KCl - 150	7,45	5,28	10,50	0,78	7,70

Verificou-se que na presença da rocha ultramáfica alcalina, a saturação por K, exceto a granulometria 2,0 mm com aplicação de 300 mg kg<sup>-1</sup>, ficou abaixo da faixa de 3 a 5 % considerada adequada, enquanto o Ca e Mg ficaram dentro e acima das faixas de 50 a 70 % e 10 a 15 %, respectivamente, independentemente da leguminosa utilizada no cultivo anterior (Tabela 2). As relações apresentaram grande variação em função dos tratamentos, mostrando não ser adequado nas condições estudadas no estudo do balaço de íons na capacidade de troca de cátions (CTC).

Tabela 2. Efeito residual da alfafa e da centrosema sobre a relação Ca/Mg, Ca/K e Mg/K e das saturações por Ca, Mg e K no solo após o cultivo do capim Massai.

Tratamentos mg kg <sup>-1</sup>	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Sat Ca - %	Sat Mg - %	Sat K - %
Alfafa						
0,3 mm - 0	1,62	30,00	18,57	41,42	25,64	1,38
0,3 mm - 100	1,75	23,33	13,33	48,95	27,97	2,10
0,3 mm - 150	2,33	31,82	13,64	53,76	23,04	1,69
0,3 mm - 300	2,63	22,11	8,42	58,41	22,25	2,64
2,0 mm - 0	1,62	30,00	18,57	41,42	25,64	1,38
2,0 mm - 100	2,09	19,17	9,17	44,06	21,07	2,30
2,0 mm - 150	1,94	20,67	10,67	48,82	25,20	2,36
2,0 mm - 300	2,31	15,42	6,67	54,09	23,39	3,51
KCl - 150	2,00	25,71	12,86	36,22	18,11	1,41
Centrosema						
0,3 mm - 0	2,00	36,00	18,00	37,11	18,56	1,03
0,3 mm - 100	2,25	27,00	12,00	50,00	22,22	1,85
0,3 mm - 150	2,21	22,14	10,00	52,19	23,57	2,36
0,3 mm - 300	3,00	32,31	10,77	61,49	20,50	1,90
2,0 mm - 0	2,00	36,00	18,00	37,11	18,56	1,03
2,0 mm - 100	2,08	25,00	12,00	46,30	22,22	1,85
2,0 mm - 150	2,15	17,50	8,13	49,47	22,97	2,83
2,0 mm - 300	1,67	17,74	10,65	53,35	32,01	3,01
KCl	2,22	25,00	11,25	38,61	17,37	1,54

#### 4. Conclusões

1. Independente da granulometria, a rocha ultramáfica alcalina apresenta menor potencial de produção de matéria seca (PMS) que o fertilizante cloreto de potássio - KCl.

2. As doses da rocha nas duas granulometrias (0,3 e 2,0 mm) causam desbalanço dos íons Ca, Mg e K na CTC do solo.

3. A utilização da ultramáfica alcalina é viável em condições que seja possível agregar valores, como agricultura orgânica, ou nas proximidades da jazida, haja vista, o baixo valor de K<sub>2</sub>O.

## ROTAS TECNOLÓGICAS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVAS PARA A OBTENÇÃO DE FERTILIZANTES

Arthur Pinto Chaves

Escola Politécnica da USP, apchaves@usp.br

### 1. Introdução

Desde tempos imemoriais, esterco, restos de plantas e de animais, tortas de grãos vegetais (resíduo da extração do óleo), farinha de ossos e de conchas, cinzas, entre outros materiais, são fontes importantes de fertilizantes. É importante ressaltar entretanto que a adubação tem duas funções diferentes:

- fornecer ao solo os nutrientes de que ele é deficiente,
- adequar as condições físicas de ventilação, drenagem e proliferação de micro-organismos.

Esterco, tortas e composto orgânico só exercem esta segunda função. Não aportam os elementos químicos necessários. As plantas precisam de diferentes elementos químicos para suas funções vitais. Nitrogênio, fósforo e potássio são essenciais. Cálcio e magnésio são necessários em doses relativamente elevadas. Já o zinco, ferro, manganês, cobre, boro, molibdênio e cloro são necessários em quantidades menores. Todos estes elementos precisam ser adicionados ao solo e isto é feito através dos adubos. As matérias-primas para estes produtos são os fertilizantes e uma das vertentes tecnológicas são os fertilizantes solúveis, que aportam obrigatoriamente N, P e K e frequentemente os demais nutrientes, em receitas preparadas de acordo com as necessidades do solo que irão adubar. As fontes de fósforo mais comuns são os fertilizantes fosfatados, apresentados em níveis de alta e baixa concentração. O potássio é adicionado na forma de cloreto de potássio.

Os fosfatos solúveis de baixa concentração – super simples (SSP), e o fosfato parcialmente acidulado (FPA) - são fabricados fazendo reagir o produto do beneficiamento, concentrado fosfá-

tico com o ácido sulfúrico, em reações de longo tempo de duração (cura de produto). Os fosfatos ditos de alta concentração (mono-amônio fosfato, MAP, triamônio fosfato, TAP, superfosfato triplo, TSP, e triplo simples, TSP) são feitos reagindo o mesmo concentrado fosfático com ácido fosfórico, para a obtenção de produto com alto conteúdo do fósforo. A Fig. 1 (Ibrafos, 1991) esquematiza a cadeia produtiva, as matérias-primas e os produtos a que nos referimos.

## 2. Matérias-primas

O nitrogênio pode ser obtido a partir do ar. O gás natural é a fonte do hidrogênio, que é passado sobre catalisador de níquel para ser retirado. O nitrogênio do ar é injetado num autoclave onde, na presença de outro catalisador é feita a síntese da amônia. O nitrogênio pode ser utilizado na forma de nitrato de amônia, nitrato de sódio, nitrofosfatos, fosfato de amônia e uréia. A síntese da uréia é feita em autoclaves, a alta temperatura e pressão. O nitrato de amônia é obtido pela combustão da amônia, o que produz ácido nítrico, seguida da reação deste ácido com a amônia. O sulfato de amônio é obtido pela reação do ácido sulfúrico com a amônia.

A fluorapatita é o principal mineral de minério das rochas fosfáticas. Sua composição é  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F})$ . O flúor pode ser substituído por hidroxila (hidróxiapatita) ou por cloro (cloroapatita). O Ca pode ser substituído parcialmente por Mg, Na, Mn e outros.

A apatita ocorre em minérios de origem magmática, onde os grãos geralmente estão melhor cristalizados e por isto são mais puros, e em minérios de origem sedimentar, onde os grãos são mistos com calcita, dolomita, limonitas e argilas. Nestes a cristalização é pior e às vezes, criptocristalina, e o minério é chamado de colofanita. Quando cristalizada, a apatita tem baixa solubilidade. Para que o fósforo contido nela possa ser aproveitado pelas plantas, ele precisa ser colocado numa forma solúvel. Isto é feito pirometalurgicamente, isto é, fundindo as apatitas e resfriando-as rapidamente, de modo a impedir a recristalização, ou então, quimicamente, sintetizando um outro fosfato de alta solubilidade. Já a colofanita é mais solúvel e pode ser aplicada diretamente ao solo. A maior diferença parece estar na substituição do ânion  $\text{PO}_4^{3-}$  por  $\text{CO}_3^{2-}$ , que desestabiliza a estrutura cristalina, aumentando a sua solubilidade.

Aqui aparece um detalhe importante: quem na realidade solubiliza o fosfato presente no solo não é a água, mas os ácidos húmicos. Isto é, as raízes lançam no solo ácidos orgânicos capazes de dissolver os elementos químicos dos quais o vegetal se nutre. Por isto existem dois parâmetros de avaliação - a solubilidade em água e a solubilidade em solução de ácido cítrico a 2 %, que representa melhor o comportamento do fertilizante no solo.

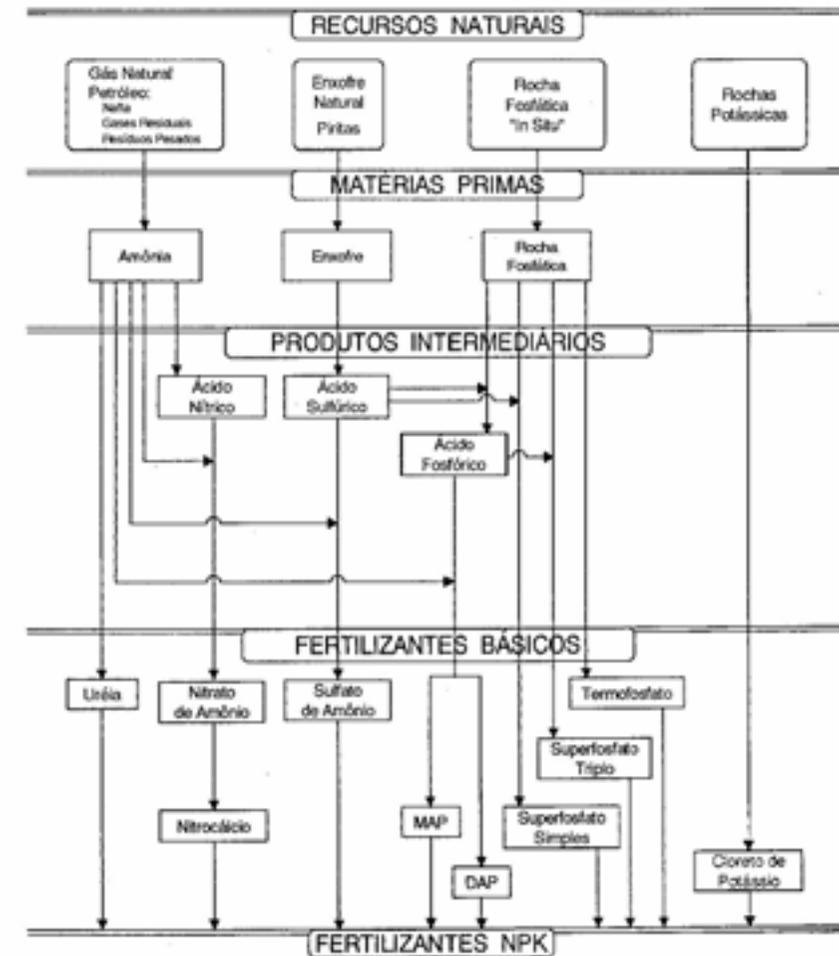


Fig. 1. Rede produtiva de fertilizantes

## 3. Questionamento do modelo de fertilização adotado no Brasil

Olhando-se o mapa da Terra, verifica-se que as terras do hemisfério norte estão muito mais ao norte do que estão ao sul as terras do hemisfério sul. Especialmente, os países desenvolvidos europeus e norte-americanos estão em latitudes mais altas que as brasileiras. Nas latitudes elevadas existem quatro estações bem definidas. No Brasil, situado em sua maior porção entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, existem apenas duas estações - uma quente e seca e outra quente e úmida. As temperaturas médias são muito mais elevadas que nos países desenvolvidos e a precipitação atmosférica, muito mais intensa - na estação úmida, chove muito. Isto é importante porque nas latitudes altas, a precipitação predominante é na forma de neve, que cai, acumula-se sobre o solo ou no alto das montanhas, e derrete-se lentamente, mantendo o solo úmido e o suprimento de água bastante regular durante o ano. Como resultado, nas regiões quentes, como a em que o Brasil está, os minerais dos solos são lixiviados, dissolvidos, remobilizados e alterados com intensidade

muito maior que nas regiões temperadas, onde estão os países desenvolvidos. Em conseqüência, adquirem características bem definidas e bastante diferentes das dos solos temperados. Em princípio, portanto, as práticas agrícolas e de manejo dos solos necessariamente precisam ser diferentes.

A atividade agrícola brasileira é, por isto, totalmente dependente da correção dos solos e da adubação, tanto orgânica como química. A tradição agrônômica brasileira é a de uso de fertilizantes fosfatados de elevada solubilidade em água e rápida liberação de nutrientes. Exceção a este modelo são as colônias japonesas, principalmente no Estado de São Paulo, que dão preferência aos termofosfatos. Lembrando que o Japão é um país de reconhecida tradição agrônômica e que os descendentes de japoneses no Brasil, no imaginário comum, estão íntima e indissolúvelmente associados à atividade agrícola, é de se questionar o porquê desta prática diferenciada.

A primeira idéia que vem à mente de quem se ocupa deste assunto é a de que se “transplantou o modelo das indústrias existentes nos países desenvolvidos, todos eles localizados em regiões temperadas. Este modelo, evidentemente, visa atender às condições de suas matérias-primas, climas e solos, não as nossas. Ou seja, importou-se um modelo estrangeiro sem uma reflexão mais detida sobre a sua aplicabilidade à realidade brasileira !” (Chaves e Oba, 2004).

O saudoso Prof. Valarelli (Valarelli et al., 1999) comentava que a produção de fertilizantes fosfatados no Brasil foi montada nos moldes das indústrias existentes em zonas temperadas, cujos processos e solos são distintos dos que ocorrem em climas tropicais e onde os minérios são diferentes (a origem sedimentar predomina para as mineralizações naturais, enquanto no Brasil a origem ígnea responde por mais de 90 % das reservas e da produção), e aí estaria a origem de muitos dos problemas de perdas de P nas várias etapas da sua utilização, desde a lavra até o beneficiamento e aplicação dos fertilizantes.

Os principais argumentos colocados contra a utilização de fertilizantes de alta solubilidade no Brasil são os seguintes:

- 1 - A fabricação destes fertilizantes exige concentrados fosfáticos de teor elevado de  $P_2O_5$  e de baixos teores de  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$ . Isto marginaliza muitas jazidas e viabiliza apenas algumas, assim mesmo à custa de grandes perdas de fosfato durante sua concentração.
- 2 - A sua fabricação implica na importação de enxofre ou ácido sulfúrico com evidente ônus para a balança comercial. O Brasil importa 90 % do enxofre que usa, sendo 70 % a parcela utilizada na fabricação de ácido sulfúrico para atender às indústrias de fertilizantes (Pini e Chaves, 2001).
- 3 - A fabricação de ácido fosfórico, principal insumo da fabricação de fertilizantes solúveis, tem impacto ambiental devido à geração de 4,5 t de fosfogesso para cada tonelada de ácido fosfórico produzido. Este produto tem utilização apenas parcial, como corretivo de solos, e é acumulado junto às usinas.

- 4 - A elevada solubilidade do fertilizante fosfatado faria com que a maior parte dele fosse solubilizada pela primeira chuva. Apenas pequena parte dele seria aproveitada pelos cultivares, a maior parte sendo arrastada pelas águas de superfície ou de subsolo.
- 5 - Este fosfato dissolvido e arrastado iria poluir os cursos d'água e o lençol freático, facilitada pela compactação dos solos tropicais. “Acredita-se mesmo que a agricultura seja hoje a atividade industrial mais agressiva às águas de superfície e subterrâneas no Brasil” (Sanchez e Uehara, 1980).
- 6 - Nas condições prevalentes nos solos tropicais ocorreria rápida retrogradação dos fosfatos que reagiriam com o ferro e alumínio dos solos, formando fosfatos pouco solúveis, inaproveitáveis pelas plantas, ou retornariam à forma de apatita, também pouco solúvel. Como conseqüência disto tudo, o aproveitamento pelas plantas do fósforo contido nos fertilizantes aplicados seria inferior a 15 %.

Os argumentos a favor consideram a eficiência agrônômica do fertilizante, ou seja, o comportamento dos cultivares no curto prazo, imediatamente após a aplicação, conforme comprovado em experimentos agrônômicos controlados. Verifica-se que os fertilizantes fosfatados com alta solubilidade em água (SSP, STP, MAP e DAP) e os termofosfatos, estes altamente solúveis em ácido cítrico, apresentam alta eficiência agrônômica. Os fosfatos parcialmente acidulados e os fosfatos naturais de origem sedimentar apresentam média eficiência, ao passo que os fosfatos naturais brasileiros, de origem vulcânica, têm baixa eficiência agrônômica (Goedert e Sousa, 1984, citado em Lopes, 2005).

Outro estudo (Goedert et al., 1991, também citado em Lopes, 2005) mostrou que os SSP e SST, de alta solubilidade em água, se comportaram, para a média de quatro anos, num patamar semelhante aos termofosfatos fundido e calcinado.

A fixação do fósforo pelo solo, ademais, não seria um fenômeno totalmente irreversível e grande parte do fósforo “fixado” pode, com o passar dos anos voltar a ser disponível para as plantas. Isto ocorre principalmente quando se adota a rotação de culturas e se escolhem espécies eficientes em extrair fósforo. Num experimento levado a cabo por Sousa et al., 1999, durante 22 anos, com culturas anuais, a recuperação de fósforo foi de 44 % e, quando foram introduzidas pastagens, de 85 % (Lopes, 2005).

A poluição dos cursos d'água pelo escoamento superficial e erosão dos solos adubados decorreria principalmente do fosfato aderido às partículas de solo arrastadas para dentro do curso d'água. Isto seria fruto, basicamente de práticas agrícolas impróprias praticadas no passado. A preservação e manutenção da mata ciliar e de faixas de gramíneas ao longo dos cursos d'água e as boas práticas de conservação do solo seriam suficientes para minimizar este impacto (Lopes, 2005).

## 4. Fabricação de fertilizantes

### 4.1. Ácido fosfórico, via química

O ácido fosfórico é produzido mediante a reação de ácido sulfúrico, nítrico ou clorídrico e rocha fosfática. O mais comum é o uso de ácido sulfúrico a 98 % de concentração.

### 4.2. Ácido fosfórico, via processo metalúrgico

O fósforo elementar pode ser obtido pela redução eletrotérmica em forno elétrico, pela redução da rocha fosfática (concentrado) na presença de um redutor e de escorificantes. O redutor é coque ou antracito, de carbono fixo alto e baixo teor de matérias voláteis. O fósforo elementar volatiliza-se e sai com os outros gases (CO, CO<sub>2</sub> e H) e com a poeira arrastada. Um precipitador eletrostático é necessário para reter as partículas sólidas. Os gases são condensados na ausência de oxigênio e o fósforo elementar é recolhido no estado líquido em tanques de condensação. Se o processo é feito na presença de ar, o fósforo se oxida a pentóxido de fósforo e em seguida é reagido com água para resultar o ácido fosfórico. Os demais metais presentes no banho são também oxidados ou reduzidos, formando uma escória sobrenadante e uma fase de ferro-fósforo fundido.

### 4.3. Fosfatos solúveis

Os fosfatos solúveis de baixa concentração – super simples (SSP), e o fosfato parcialmente acidulado (FPA) – são fabricados fazendo reagir o produto do beneficiamento, concentrado fosfático com o ácido sulfúrico, em reações de longo tempo de duração (cura de produto). Os fosfatos ditos de alta concentração (mono-amônio fosfato, MAP, triamônio fosfato, TAP, superfosfato triplo (TSP) e triplo simples, TSP) são feitos reagindo o mesmo concentrado fosfático com ácido fosfórico, para a obtenção de produto com alto conteúdo do fósforo. Os fertilizantes solúveis ou superfosfatos são o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (TSP) e o fosfato parcialmente acidulado (FPA). O SSP deve ter 18 % mínimo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em solução neutra de citrato de amônio, mínimo de 16 % solúvel em água e conter 18 a 20 % de Ca e 10 a 12 % de S. O superfosfato triplo é obtido pela reação da rocha fosfática com ácido fosfórico. O TSP deve ter 41 % mínimo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em solução neutra de citrato de amônio, mínimo de 37 % solúvel em água e conter 12 a 14 % de Ca. O fosfato parcialmente acidulado segue o mesmo processo de fabricação que o SSP, empregando, porém, metade do ácido sulfúrico consumido no processo do SSP, para a mesma quantidade de rocha. Ele deve ter 20 % mínimo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, com um mínimo de 9 % solúvel em solução de ácido cítrico e conter 25 a 27 % de Ca, 0 a 6 % de S e 0 a 2 % de Mg. Nos nitrofosfatos o ataque da rocha é feito pelo ácido nítrico. O produto deve ter 14 % N mín., 18 % mín. de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em solução neutra de citrato de amônio, mín. de 16 % solúvel em água e conter 8-10 % de Ca.

### 4.4. Fertilizantes alternativos

O fertilizante alternativo mais imediato é a rocha fosfática finamente pulverizada ou, correspondentemente, a adição de ossos moídos, cascas de ovo e outros tais. Os termofosfatos utilizam fornos metalúrgicos para quebrar a estrutura cristalina da apatita e tornar o fosfato nela contido solúvel e acessível à planta, com ou sem adição de outros materiais (Pini e Chaves, 2001). A sua

fabricação não demanda insumos importados como o enxofre. Como, adicionalmente, têm caráter alcalino, auxiliam na correção da acidez do solo. A principal característica destes produtos é que o fosfato está insolúvel em água, embora disponível aos vegetais (solúvel em ácido cítrico). Tratam-se de fertilizantes de liberação lenta e têm caráter alcalino, no máximo neutro, sendo por isto recomendados para solos ácidos (Esteban e Sintoni, 1979). A adição de 1 t de termofosfato implica na economia de 500 kg de calcário dolomítico nesta correção. Cekinski et al., (1986) comentam que estas características podem constituir vantagem para solos ácidos e clima tropical, como é o caso brasileiro. Entretanto, para climas temperados e solos alcalinos - como é a predominância das regiões de primeiro mundo, a resposta é menos satisfatória, o que causou o seu insucesso comercial nessas regiões.

Três são os processos principais de fabricação: termofosfato magnesiano fundido, fosfato Rhenânia e fosfato desfluorizado. Restringir-nos-emos ao termofosfato fundido, que é preparado num forno elétrico de redução, onde gera uma pequena quantidade de ferro-fósforo e a escória metalúrgica, que é o termofosfato. A formulação desejada é obtida a partir do minério fosfático e duma fonte de magnésio além dos escorificantes normais. A estrutura cristalina da apatita é destruída e o silicato de magnésio gerado interfere no processo de recristalização. O vazamento do ferro-fósforo é feito separadamente do termofosfato. Este é lançado em água (“quenching”) para impedir a recristalização da apatita e fraturá-lo. A seguir o termofosfato é desaguado, secado, moído e ensacado. O produto desejado deve ter 17 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mínimo e 14 % solúvel em ácido cítrico, 7 % Mg mínimo e 18 a 20 % Ca. O termofosfato magnesiano fundido é obtido pela fusão de misturas de rochas fosfáticas e silicatos de magnésio (como o talco) a temperaturas da ordem de 1500 °C.

O processo Humifert (Oba et al., 2000, Sternicha, 1988) de produção de fertilizante organo-fosfatado baseia-se no ataque do fosfato fosfatos naturais brutos, minérios marginais ou fosfatos secundários não utilizáveis pela tecnologia do ácido fosfórico pelo ácido nítrico. O reator transforma o nitrogênio do ar em ácido nítrico, em contacto com a umidade da mistura. O ácido nítrico ataca a apatita e também a matéria orgânica, gerando ácidos úmicos, que atuam no sentido de auxiliar a solubilização da apatita, de modo que a quantidade de ácido para dissolver o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> do mineral é inferior à estequiometricamente necessária. Este fertilizante é fixado sobre matérias orgânicas como turfas, bagaços, palhas etc. O produto da reação é um fertilizante fosfatado que aporta também nitratos e matérias orgânicas pré-humificadas. Ensaios agrônômicos em casa verde mostraram uma assimilação maior que aquelas indicadas pelas análises em ácido cítrico a 2 %. Sua importância reside na possibilidade de aproveitamento de materiais fosfáticos marginais e diminuição da produção de rejeitos das minas de fosfatos, além do aproveitamento de rejeitos orgânicos.

## 5. Especificações desejadas para a rocha

Evidentemente, os processos químicos exigem matéria-prima com especificações bem definidas em termos de teor de fosfato e de impurezas prejudiciais a eles. A especificação da rocha para a fabricação de

fósforo elementar ou ácido fosfórico via eletrometalúrgica (e também dos termofosfatos) é muito mais flexível, pois os processos metalúrgicos são muito mais robustos que os químicos em termos de qualidade da matéria-prima. Isto porque, dentro do forno de redução, ocorre a fusão das matérias-primas, a redução dos metais e a escorificação dos óxidos. Desta forma, cálcio e magnésio presentes nos calcários são escorificados mediante a correta dosagem de sílica, a sílica e a alumina são escorificadas mediante a correta dosagem de calcário e os óxidos de ferro são reduzidos a ferro metálico, que se liga a parte do fósforo. Este ferro-liga tem valor comercial e será utilizado na fabricação de aços de usinagem fácil. Finalmente, o processo Humifert é voltado para rejeitos e minérios marginais.

## 6. Conclusão

O modelo de fertilização implantado no Brasil é questionado por muitos do ponto de vista agronômico, função de serem fertilizantes de alta solubilidade que poderiam ser levados pelas águas das chuvas torrenciais em prejuízo da sua assimilação pelas plantas, constituindo-se ademais num foco de poluição dos cursos d'água. Entretanto, existem argumentos de peso contrários a esta afirmação. Do ponto de vista de demanda de matérias-primas minerais, exige concentrados de rocha fosfática de elevado teor de  $P_2O_5$  e sérias limitações quanto às impurezas e contaminantes presentes, o que implica em perdas importantes na lavra e beneficiamento.

A pesquisa e o desenvolvimento de fontes alternativas de fertilizantes fosfatados para atender as demandas crescentes da agricultura brasileira desperta imenso interesse. Isto não só pela possibilidade de fornecer alternativas ao modelo vigente, como também pela possibilidade de aproveitar quantidades enormes de minérios marginais (pobres ou contaminados) e rejeitos de beneficiamento, inacessíveis pela tecnologia atual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEKINSKI, E.; PEREIRA, S.C.C.; GUARDANI, R.; GIULIETTI, M. Aspectos gerais da produção de termofosfatos. *ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA*, III. São Paulo, Ibrafos, 1986.

CHAVES, A.P.; OBA, C.A.I.; *Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade*. Rio de Janeiro, Cetem, Série Estudos e Documentos, no 63, 2004.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. Avaliação agrônômica de fontes de fósforo para a região dos cerrados. In: *Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados*, Planaltina, Embrapa-CPAC, p. 155-89, 1991.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: ESPINOSA, W; OLIVEIRA, A.J. de (Ed.) *Anais do simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira*. Brasília, Embrapa-DEP, p. 68-75, 1984.

ESTEBAN, F.S.; SINTONI, A. Desenvolvimento de tecnologia na concentração de rocha fosfática de baixo teor de  $P_2O_5$ , *Encontro nacional de rocha fosfática*, 1 - Anais. Brasília, Ibrafos, 1979.

IBRAFOS. *A indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil*. São Paulo, Ibrafos, 1991.

LOPES, A.S. *Parecer técnico agrônômico sobre o trabalho: "Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade de autoria de Arthur Pinto Chaves e Carlos Ikeda Oba, Cetem, série Estudos & Documentos, no 63, 25p., 2004"*. Parecer fornecido à ANDA, 2005.

OBA, C.A.I.; LACOUT, J.L.; CHAVES, A.P. Novo fertilizante organo-fosfatado viabiliza materiais fosfatados marginais. *Brasil Mineral*, n. 183 (maio 2000), p. 60-4.

PINI, R.A.; CHAVES, A.P. Fabricação de termofosfato utilizando fosfogesso. São Paulo, *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI,151, 2001.

SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. The role of phosphorus in agriculture. Madison: *American Society of Agronomy*. p. 471-514, 1980.

SOUSA, D.M.G., REIN, T.A., LOBATO, E. & SOARES, W.V. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na região dos cerrados. In: *Congresso Brasileiro de Ciências do Solo*. Embrapa/UnB/SBCS. p.27, 1999.

STERNICHA, F. *Matière organique accroissant la proportion de phosphore assimilable dans les engrais chimiques classiques et dans les phosphates naturels*. Brevet no 13177, 1988.

VALARELLI, J.V., FIGUEIRA, J.L.G., HYPOLITO, R., BAILLIF, P., TOURAY, J.C. & SCHULTZ-GUTTTLER, R.A. Estudo experimental da fixação do fósforo em minerais de solo. *Anais Acad. Bras. de Ciências*, 71(4-1):729-742, 1999.

