

# **AGROMINERAIS PARA O BRASIL**

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL  
RIO DE JANEIRO, 2010

# AGROMINERAIS PARA O BRASIL

## EDITORES

---

Francisco Rego Chaves Fernandes  
Adão Benvindo da Luz  
Zuleica Carmen Castilhos

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade  
exclusiva do(s) autor(es)

**VERA LÚCIA DO ESPÍRITO SANTO SOUZA**  
Projeto Gráfico/Editoração Eletrônica

**GISELE ROSE DA SILVA**  
Assistente de Pesquisa

Foto Agrominerais: Verdete, Silanito, Fonolito, Amazonita, Verdete britado  
(da esquerda para a direita) – Sílvia Cristina Alves França e Gisele Rose da Silva.  
Agrícolas: milho, soja, feijão, arroz e cana-de-açúcar.

Centro de Tecnologia Mineral

Agrominerais para o Brasil/Eds. Francisco R. C. Fernandes, Adão B. da Luz,  
Zuleica C. Castilhos. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

380 p.: il.

1. Fertilizantes. 2. Agrominerais. 3. Agroindústria. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Fernandes, Francisco R.C. (Ed.). III. Luz, Adão B. (Ed.). III. Castilhos, Zuleica C. (Ed.).

ISBN 978-85-61121-61-7

CDD 668.62

# APRESENTAÇÃO

Com a edição deste livro conclui-se o Projeto AGROMINERAIS, coordenado pelo CETEM com financiamentos do CT-Mineral e FINEP.

No decorrer dos últimos 18 meses foi realizada intensa atividade de interação entre pesquisadores e professores das mais importantes instituições brasileiras. Foram realizadas Oficinas Temáticas muito concorridas, envolvendo a comunidade acadêmica, tecnológica, empresarial e organizações sociais. Ainda foram produzidos estudos prospectivos por especialistas renomados, nacionais e também internacionais das diferentes áreas do conhecimento envolvidas no tema. Destes últimos, foram elaborados quinze distintos capítulos para o atual livro sobre Agrominerais.

Acreditamos que com a edição deste livro e a sua divulgação simultânea na internet e no site do CETEM, estamos dando uma positiva contribuição à importante questão dos Agrominerais no Brasil.

Rio de Janeiro, Julho de 2010.

José Farias de Oliveira  
Diretor do CETEM



# SUMÁRIO

PREFÁCIO	<i>Francisco Rego Chaves Fernandes, Adão Benvindo da Luz e Zuleica Carmen Castilhos</i>	
CAPÍTULO 1	PANORAMA DOS AGROMINERAIS NO BRASIL: ATUALIDADE E PERSPECTIVAS <i>Yara Kulaif e Francisco Rego Chaves Fernandes</i>	01
CAPÍTULO 2	AGROMINERAIS: RECURSOS E RESERVAS <i>Antonio Fernando da Silva Rodrigues, David Siqueira Fonseca, Mathias Hider Ricardo Eudes Parahyba e Vanessa M. M. Cavalcante</i>	23
CAPÍTULO 3	ROTAS TECNOLÓGICAS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVAS PARA A OBTENÇÃO DE FERTILIZANTES <i>Arthur Pinto Chaves</i>	45
CAPÍTULO 4	ROCHAS, MINERAIS E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ALTERNATIVOS <i>Adão Benvindo da Luz, Francisco E. Lapido-Loureiro, João Alves Sampaio, Zuleica Carmen Castilhos e Marcelo Soares Bezerra</i>	61
CAPÍTULO 5	MATERIAIS SILICÁTICOS COMO FONTES REGIONAIS DE NUTRIENTES E CONDICIONADORES DE SOLOS <i>Éder de Souza Martins, Álvaro Vilela de Resende, Claudinei Gouveia de Oliveira e Antonio Eduardo Furtini Neto</i>	89
CAPÍTULO 6	O MEIO AMBIENTE NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO BRASIL <i>Elvira Gabriela Dias e Roberto D. Lajolo</i>	105
CAPÍTULO 7	FOSFOGESSO: GERAÇÃO, DESTINO E DESAFIOS <i>Roberto Mattioli Silva e Marco Giuliatti</i>	125
CAPÍTULO 8	A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE FERTILIZANTES (CADEIA NPK, ENXOFRE, ROCHA FOSFÁTICA E POTÁSSIO) - PROJEÇÕES DE 2010 A 2030 <i>Eduardo Soares Ogasawara, Yara Kulaif e Francisco Rego Chaves Fernandes</i>	145
CAPÍTULO 9	UM ESTUDO DAS PRINCIPAIS LAVOURAS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS <i>Maria Helena M. Rocha Lima e Nilo da Silva Teixeira</i>	169
CAPÍTULO 10	O USO DA BIOMASSA COMO NOVA FONTE ENERGÉTICA MUNDIAL <i>Ângelo Bressan Filho</i>	189
CAPÍTULO 11	POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS PARA OS BIOCOMBUSTÍVEIS <i>Ricardo Borges Gomide</i>	203

CAPÍTULO 12	INVENTÁRIO E CARTOGRAFIA DE RECURSOS AGROMINERAIS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVOS DO TERRITÓRIO BRASILEIRO	
	<i>Gerson Manoel Muniz de Matos e Ivan Sérgio de Cavalcante Mello</i>	227
CAPÍTULO 13	ROCHAS E MINERAIS COMO FERTILIZANTES ALTERNATIVOS NA AGRICULTURA: UMA EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL	
	<i>Peter Van Straaten</i>	235
CAPÍTULO 14	BIOCOMBUSTÍVEIS NOS ESTADOS UNIDOS EM CONTEXTO DE MUDANÇA	
	<i>Joaquim Ramos Silva</i>	265
CAPÍTULO 15	A SITUAÇÃO ENERGÉTICA DA UNIÃO EUROPEIA E O CASO PARTICULAR DOS BIOCOMBUSTÍVEIS: DIAGNÓSTICO ACTUAL E PERSPECTIVAS	
	<i>Carla Guapo Costa</i>	277

# PREFÁCIO

Francisco Rego Chaves Fernandes  
Adão Benvindo da Luz  
Zuleica Carmen Castilhos

Este livro "Agrominerais para o Brasil" é um livro editado pelo Projeto Agrominerais coordenado pelo CETEM - Centro de Tecnologia Mineral do MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, para atender a dois objetivos principais:

- abordar aprofundadamente o vasto conjunto de temas pertinentes aos Agrominerais com um enfoque centrado no Brasil;
- apresentar sugestões de linhas de ação, uma Agenda de Prioridades, para o desenvolvimento científico-tecnológico brasileiro sustentável.

Apresenta os principais resultados do Projeto "Estudo Prospectivo Relativo aos Agrominerais e Seus Usos na Produção de Biocombustíveis Líquidos com Visão de Longo Prazo (2035)", resultante de Oficinas temáticas que foram realizadas envolvendo algumas centenas de participantes. O projeto foi apoiado pelo CT-Mineral/Fundo Setorial Mineral e pela FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, tem como coordenador o CETEM e como instituições co-executoras, a UFSCar/Rede Inter-universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), a Embrapa Cerrados/Rede de Pesquisa de Rochas Silicatadas de Fonte de Potássio, a CPRM-Serviço Geológico do Brasil (SGB) e o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM/MME).

Agrominerais (tais como enxofre, minerais de potássio, rocha fosfática, calcário e turfa) é matéria-prima de origem mineral sendo insumo absolutamente indispensável para viabilizar a agricultura e a pecuária brasileiras, ou seja, é parte integrante da alimentação dos cidadãos brasileiros, da viabilização do agronegócio externo, e ainda, alavancando o nascente e pujante setor dos biocombustíveis.

O tema do livro foi desdobrado pelos editores, em quinze capítulos, cada um deles a cargo de um especialista de renomado conhecimento.

Inicia-se o livro "Agrominerais para o Brasil" com dois capítulos dedicados às Fontes Convencionais de Nutrientes (FCN). O primeiro, "*Panorama dos agrominerais no Brasil: atualidade e perspectivas*" traça um atualizado perfil dos fertilizantes convencionais (NPK): - uma complexa cadeia de múltiplos produtos e mercados; - uma caracterização geral desta indústria no Brasil e no mundo e um histórico deste setor industrial no Brasil, desde a sua fundação, destacando-se as consequências da sua privatização há dez anos. Finalmente, a atualidade, a qual apresenta grandes desafios, em que a oferta tem elevadíssima dependência das importações, atinge cerca de 80% do total dos nutrientes consumidos pelo Brasil e a especulação financeira se faz fortemente presente.

Logo em seguida: "*Agrominerais: recursos e reservas*" aprofunda o tema dos Agrominerais (minerais de potássio, fosfato, enxofre e calcário) no Brasil no segmento da pesquisa e lavra de recursos minerais, incluindo uma minuciosa apresentação da disponibilidade primária (ocorrências e jazidas minerais) em todo o território nacional. É também analisado para cada um dos recursos agrominerais, os aspectos de mercado e as relações de dependência e sustentabilidade entre o agronegócio e o mineralnegócio.

Um capítulo crítico: "*Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes*", apresenta os diferentes produtos oferecidos no mercado brasileiro, tanto oriundos das Fontes Convencionais de Nutrientes (FCN) - os de alta solubilidade e concentração - como das Fontes Alternativas de Nutrientes (FAN) - rocha, termofosfatos e outros -, questionando-se aprofundadamente as vantagens e desvantagens de sua utilização no clima e solos tropicais brasileiros. Em conclusão, defende o autor, ser

altamente desejável o fortalecimento da pesquisa e desenvolvimento tecnológico das diferentes fontes alternativas de fertilizantes fosfatados, para atender às demandas crescentes, com o aproveitamento de quantidades enormes de minérios marginais inacessíveis pela tecnologia atual, mas que são: de interesse industrial, de conservação de recursos minerais e de minimização do impacto ambiental.

Dois capítulos são dedicados às Fontes Alternativas de Nutrientes (FAN). O primeiro "*Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos*" aprofunda a rochagem, ou seja, as técnicas de aplicação direta na agricultura de rochas moídas ou contendo finos naturais, como material fertilizante. Os autores realizaram uma detalhada busca, em todo o extenso território brasileiro, identificando e localizando as rochas e materiais fertilizantes alternativos, nos colocando ainda a par do estado da arte dos estudos tecnológicos visando o seu aproveitamento. No final sugerem uma agenda de prioridades para futuras pesquisas de desenvolvimento científico e tecnológico. Na continuação do tema, um novo capítulo, "*Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos*", destacando um novo paradigma, com a mudança de uso de matérias primas convencionais globalizadas para matérias primas alternativas regionais. Localiza também estes materiais (primários e secundários) abundantes no Brasil, justapõe as suas ocorrências com a localização das produções de cana-de-açúcar e soja, que são as duas principais fontes dos biocombustíveis, mostrando a ampla viabilidade do seu aproveitamento regional e finaliza elencando ainda um conjunto de vantagens decorrentes da sua utilização.

Dois capítulos são totalmente dedicados ao meio ambiente, que apresentam, no seu final, um elenco de sugestões, uma agenda de prioridades para implementação. O primeiro "*O meio ambiente na produção de fertilizantes fosfatados no Brasil*" dá-nos uma aprofundada e ilustrativa panorâmica dos diferentes e múltiplos impactos negativos no meio ambiente associados à cadeia produtiva dos fertilizantes fosfatados, que obrigatoriamente devem ser levados em consideração, no planejamento da ampliação da produção de agrominerais. A esperada ocorrência de tais impactos nos futuros empreendimentos torna necessário identificar as ações e medidas que, se implementadas, poderão atenuar este efeito, seja na lavra ou no beneficiamento dos minerais fosfáticos. Estes processos produtivos encontram-se todos no campo dos conflitos, seja pelo uso da terra ou da água e integrados no desenvolvimento sustentável no binômio: conservação e desenvolvimento econômico. Já na etapa de industrialização, o fosfogesso destaca-se como um importante problema, pois: "*constitui significativo passivo ambiental que, mantidas as atuais circunstâncias, deve continuar a crescer na razão direta da expansão da produção, em virtude da rota tecnológica adotada*". Os autores concluem que: "*o papel do desenvolvimento científico e tecnológico pode ser muito mais decisivo na solução dos problemas (...) deve ser tratado de modo amplo e transparente, envolvendo todos os atores interessados – empresas, instituições de ciência e tecnologia, organismos de governo, entidades não governamentais, sociedade civil – e incorporar como pressupostos os princípios de prevenção e precaução*".

O segundo capítulo: "*Fosfogesso: geração, destino, desafios*", centra e desenvolve o tema do rejeito complexo gerado na produção de ácido fosfórico, produto essencial na cadeia NPK dos fertilizantes, mas contendo, entre outros, metais pesados e minerais radiativos. A sua produção no Brasil iniciou-se em 1950 e para cada tonelada de ácido fosfórico geram-se seis toneladas de rejeito, o fosfogesso, gerando atualmente uma produção anual de 5 milhões de toneladas a sua produção anual. Os autores mostram que já atinge 50% a parcela do fosfogesso gerado no Brasil que é descartada no ambiente empurrado pelas empresas produtoras de ácido fosfórico, utilizado principalmente com finalidade agrícola. Neste particular, sem que haja uma avaliação do potencial impacto radiológico na população consumidora dos produtos agrícolas e sem provas da sua eficácia como fertilizante. Mostram ainda que existem pressões redobradas para a ampliação do seu descarte, como material de construção (por exemplo, para a população de baixa renda, ao abrigo do PAC do governo federal), sem que se aplique, nem o princípio da precaução, com seu consequente banimento, nem a proposição, pelos órgãos brasileiros competentes, de padrões e limites quantitativos das mensurações de risco principalmente quanto às emissões radiativas. Em contraste, no resto do mundo desenvolvido, nos Estados Unidos, União Europeia e Japão, os autores referem-se à rejeição deste material, para estradas junto de centros urbanos e habitados devido ao teor de radionuclídeos. Destaca-se nos EUA o banimento do uso do fosfogesso, feito pela *United States Environmental Protection*



Agency (USEPA) em 1992 citando a demolição de conjuntos habitacionais na Flórida, construídos nos anos 60.

Em "A indústria brasileira de fertilizantes (cadeia NPK, enxofre, rocha fosfática e potássio) - projeções de 2010 a 2030" é feito um exercício econométrico - rigoroso, através de sofisticada e adequada metodologia - onde são apresentados resultados de um exercício de projeção de longo prazo, das principais variáveis do mercado de fertilizantes minerais NPK do Brasil. Mostra a necessidade até 2030 de ampla ampliação da capacidade produtiva nacional da indústria do NPK, em todos os seus segmentos produtivos, para atender a um forte crescimento esperado do PIB brasileiro. Há uma expectativa de crescimento pujante do *agrobusiness*, o que significa a necessidade de novos empreendimentos agrominerais em grandes proporções, significando também vultosos investimentos, que até ao presente momento, a iniciativa privada ou estatal está longe de viabilizar. Comparados estes resultados com os obtidos num estudo da ANDA realizado em 2009, verifica-se que são muito semelhantes, apontando as necessidades adicionais em mais 50% da capacidade produtiva atual brasileira.

O tema de agrocombustíveis vem logo em seguida, desenvolvido em três capítulos concatenados: o primeiro trata da agricultura brasileira no que se refere às duas maiores produções direcionadas para biocombustíveis, a cana-de-açúcar e a soja; o segundo, sobre as políticas governamentais brasileiras para os biocombustíveis e, finalmente, o terceiro versa sobre o uso da biomassa como nova fonte energética mundial.

O capítulo "*Um estudo das principais lavouras para a produção de biocombustíveis*", é um texto positivo e afirmativo:

- o Brasil poderá expandir suas plantações tanto para a indústria de alimentos quanto de biocombustíveis (...) confirmando em 2030 um futuro promissor para os agentes envolvidos tanto com a cadeia produtiva do etanol
- o atual sucesso do carro *flex* é fruto dessa experiência adquirida desde a década de 70, com o lançamento do PROÁLCOOL, que incentivou o uso do álcool anidro misturado à gasolina até surgimento dos veículos *flex* em 2003.
- o grande desafio do Brasil é consolidar a liderança na utilização da bioenergia como combustível automotivo.

No decorrer deste capítulo é-nos dado conhecer, tanto para a cana-de-açúcar como para a soja, estatísticas atualizadas e detalhadas sobre a área plantada - nacional e regional - , a estrutura industrial, as esperadas expansões da produção projetadas principalmente para os biocombustíveis, com a incorporação de novas áreas e ainda, os mercados para estes produtos.

O conhecimento referente às "*Políticas governamentais para biocombustíveis*" é de grande interesse e, neste capítulo, nos é dado conhecer as medidas governamentais, baseadas na plena convicção que existem externalidades positivas dos biocombustíveis em relação aos outros combustíveis fósseis, para consolidar a sua produção e uso no Brasil, baseada em suporte à agricultura e à instalação de unidades industriais de produção, à estruturação da cadeia logística e de abastecimento, à definição de normas e padrões de comercialização, ao consumo e à fabricação de veículos. Os diferentes instrumentos de política são também explanados, tal como a definição de mandatos para uso compulsório, políticas fiscais, creditícias e tributárias. Em seguida, listam-se as principais instituições do governo federal relativas aos biocombustíveis. Finalmente, em sua conclusão, o autor afirma que: "*É nítida a relevância da cana-de-açúcar como bem energético e estratégico para o país. Essa posição, conquistada ao longo de anos, serve como modelo para a consolidação do biodiesel no mercado brasileiro, assim como para o desenvolvimento de futuros biocombustíveis, a exemplo do bioquerosene e do biogás, ou mesmos de novas gerações tecnológicas*".

"O uso da biomassa como nova fonte energética mundial" trata intensivamente do uso de biomassa, dissecando o etanol como um novo produto para o mundo, a natureza do funcionamento da cadeia de produção sucroalcooleira no Brasil e a competição entre a produção de matérias-primas agrícolas e energéticas. Em relação a este último item, observa o autor que a utilização de matérias-primas agrícolas,

convencionais ou não, para a produção de combustível em grandes volumes traz, para os países que iniciam este tipo de programa, algumas consequências que não podem ser ignoradas. Observa ainda que: o atendimento deste novo tipo de demanda tende a provocar fortes desequilíbrios, que podem ser globais ou domésticos, nas relações econômicas, ambientais e sociais, que não podem ser desconsideradas pelas autoridades responsáveis pela gestão do novo programa. O autor apresenta uma visão otimista mas contendo algumas advertências em sua análise como mostra o subtítulo final do capítulo: O uso da biomassa como fonte energética é um movimento irreversível e de consequências imprevisíveis!

Um capítulo inteiro fecha o conjunto de capítulos que trata especificamente do Brasil e é dedicado ao "Inventário e cartografia de recursos agrominerais convencionais e alternativos do território brasileiro", com a produção de dois mapas do Brasil que podem ser consultados na internet e/ou em encarte de folha dupla no próprio livro. Os mapas versam sobre: - *Ambientes geológicos favoráveis para agrominerais fontes de P, K, Ca e Mg, direcionado à cartografia das fontes minerais convencionais para produção destes macronutrientes e - Insumos alternativos para a agricultura: rochas, minerais e turfa voltado para a cartografia de fontes alternativas, tais como rochas, minerais e substância húmica (turfa), para aplicação direta na agricultura, com destaque para os insumos utilizados na rochagem.*

Finalmente, três capítulos são inteiramente dedicados a estudos internacionais e foram diretamente encomendados a especialistas estrangeiros O primeiro sobre "*Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional*", onde o autor disserta sobre três fatores básicos que pesam no desempenho dos cultivos, além das características físico-químicas, (o fator rocha), existem as propriedades químicas e físicas dos solos (o fator solo) e finalmente as exigências e necessidades de nutrientes dos plantios (o fator plantio). Atualiza o conhecimento sobre as rochas e os minerais alternativos fertilizantes e relata as aplicações alternativas em um conjunto grande de países do mundo. Os outros dois capítulos são dedicados às questões que se prendem mais com a matriz energética e a produção de biocombustíveis na União Europeia e nos Estados Unidos. No capítulo dedicado à UE: "*A situação energética da União Europeia e o caso particular dos biocombustíveis: diagnóstico actual e perspectivas*", destaca-se que a par das controvérsias quanto à produção de biocombustíveis, no que se refere à segurança alimentar e à questão ambiental, existe uma grande dependência da UE em relação às principais importações das principais fontes de energias não-renováveis e perspectiva do seu agravamento no futuro, o que obrigou a um grande programa de reversão da matriz energética, através do incentivo às energias renováveis, com ênfase nos biocombustíveis, acompanhada de grande esforço de pesquisa e desenvolvimento, existindo aprofundada apresentação de sua meta e resultados parciais. Com "*Biocombustíveis nos Estados Unidos em contexto de mudança*", mostra-se a insustentabilidade do modelo energético dominante desde 1970, apoiado em fontes não-renováveis, como os combustíveis fósseis e o atual dilema dos EUA, o principal produtor e consumidor mundial. Para a transição para um novo modelo, que está em marcha desde o final da primeira década do século XXI, a transição para o uso maior de fontes renováveis como os biocombustíveis, exige-se pesados desafios de natureza tecnológica e de uma contribuição ativa para o combate ao aquecimento global ou a sua atenuação, diminuindo a emissão de gases do efeito estufa. O autor aponta que, no estágio atual da pesquisa tecnológica, a nascente indústria norte-americana de biocombustíveis baseado no milho não é competitiva, só sobrevive por barreiras à concorrência externa e subsídios aos seus produtores. Os biocombustíveis competitivos existem apenas em outros países que não os EUA (predominantemente no Brasil), mas a quebra das barreiras internas e as importações acabariam com o principal pilar da política energética deste país que é a independência energética.

O Brasil requer urgentes e vultosos investimentos industriais em todos os setores da cadeia produtiva dos Agrominerais, de forma que a demanda, incluindo a segurança alimentar brasileira, o programa de exportações do agronegócio e o acelerado desenvolvimento dos biocombustíveis não sejam inviabilizados. Hoje em dia, as decisões empresariais estão nas mãos da Vale e da Petrobrás, que detêm uma participação majoritária na cadeia convencional de NPK, após recentes aquisições das participações dos grupos multinacionais que dominaram a indústria brasileira no último decênio.

Acreditamos que terão uma excelente leitura todos aqueles que tenham acesso a este livro, especialistas do tema, alunos e professores, profissionais e leitores em geral, interessados em aprender ou aprofundar seus conhecimentos sobre os Agrominerais.



# MATERIAIS SILICÁTICOS COMO FONTES REGIONAIS DE NUTRIENTES E CONDICIONADORES DE SOLOS

EDER DE SOUZA MARTINS<sup>1</sup>, ÁLVARO VILELA DE RESENDE<sup>2</sup>, CLAUDINEI GOUVEIA DE OLIVEIRA<sup>3</sup>,  
ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO<sup>4</sup>

## Introdução

O Brasil apresenta uma dependência de fertilizantes que limita a sustentabilidade de sua agricultura (Lapido-Loureiro e Nascimento, 2003; Lapido-Loureiro *et al.*, 2009). Os dados mostram que 70% do total dos fertilizantes produzidos no país são derivados de Fontes Convencionais de Nutrientes (FCN) importadas, compostas essencialmente de variantes de NPK, de elevada concentração e alta solubilidade (Rodrigues, 2009, 2010). De forma específica, a utilização destas fontes importadas na produção de biocombustíveis líquidos compete com a produção de alimentos (Sparovek *et al.*, 2008). A crise relacionada com o aumento de preço das matérias primas em 2008 também agravou este quadro em relação aos aspectos econômicos (Rodrigues, 2010).

Estes fatos fragilizam o posicionamento do Brasil em relação à sustentabilidade de seu programa de produção de biocombustíveis líquidos em substituição às fontes de energia fóssil (Sparovek *et al.*, 2008) e coloca um desafio na prospecção de soluções alternativas neste setor (Lapido-Loureiro *et al.*, 2009). Várias opções estão sendo avaliadas em relação à viabilidade agrônômica e econômica, considerando-se as seguintes abordagens: manejo de fertilizantes; desenvolvimento de tecnologia de fertilizantes com controle de solubilidade de FCN; e desenvolvimento de Fontes Alternativas de Nutrientes (FAN).

O manejo de fertilizantes é uma das alternativas fundamentais para o uso racional das FCN (Dibb, 2000). Vários estudos mostram que a utilização dos fertilizantes no Brasil não é feita de forma racional, geralmente com uso excessivo de alguns e falta em outros nutrientes (Ceretta *et al.*, 2007; Prado *et al.*, 2007, 2008). A própria calagem não é utilizada em quantidade e de forma correta. Os principais motivos para o uso incorreto dos fertilizantes estão relacionados com a falta de transferência de tecnologia e a aspectos culturais da prática do produtor agrícola. O sucesso desta abordagem depende de um programa a ser desenvolvido como política pública para a avaliação e o monitoramento da fertilidade atual dos solos agrícolas, assim como de uma assistência técnica efetiva ao produtor agrícola em relação às indicações de adubação.

O avanço da tecnologia de fertilizantes mostra um potencial de modificação das matrizes das FCN a partir de materiais redutores de cinética e da integração com fontes de material orgânico. O desenvolvimento tecnológico dos materiais redutores de cinética ainda está na fase mais básica (Shaviv, 2001), mas constitui um caminho promissor para o uso racional das FCN em condições tropicais (Bernardi *et al.*, 2004, 2007). A integração das FCN com material orgânico apresenta maior viabilidade para aplicações em curto prazo, especialmente pela maior simplicidade dos processos de produção (Benedito *et al.*, 2010; Benites, 2009).

As FAN, que geralmente são os materiais silicáticos e os orgânicos com uso potencial na agricultura, apresentam características e atributos em geral bem diferenciados em relação às FCN (Leonardos *et al.*, 1987, 2000; Martins *et al.*, 2008; Martins e Theodoro, 2010; Resende *et al.*, 2006a). O uso mais generalizado das FAN sempre foi limitado pelo conceito de fertilização que privilegia fontes solúveis e de elevada concentração, além dos baixos custos das FCN antes da crise de 2008. O quadro atual de custos elevados coloca

<sup>1</sup> D.Sc. Universidade de Brasília (UnB). Embrapa Cerrados. E-mail: eder@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> D.Sc. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Embrapa Milho e Sorgo. E-mail: alvaro@cnpmc.embrapa.br

<sup>3</sup> D.Sc. Universidade de Brasília (UnB). Universidade de Brasília – UnB. E-mail: gouveia@unb.br

<sup>4</sup> D.Sc. Universidade Federal de Viçosa (UFV). Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: afurtini@dcs.ufla.br

uma oportunidade para discussão do paradigma ainda vigente de uso exclusivo das FCN na fertilização de solos.

De forma específica, os materiais silicáticos apresentam potencial como fonte de nutrientes minerais e como condicionador do solo (Stewart, 1975; Straaten, 2006, 2007). Os macronutrientes mais importantes encontrados nestes materiais são o potássio e o fósforo. Ocorrem também nutrientes secundários essenciais, como o cálcio, magnésio, o silício e o enxofre (Straaten, 2006, 2007; Luz *et al.*, 2010). Os micronutrientes ocorrem nos materiais silicáticos em proporções geralmente equilibradas (Leonardos *et al.*, 1987). Estes materiais são fontes de liberação controlada e este processo gera minerais que melhoram a qualidade do solo (Straaten, 2010).

O presente capítulo discute o uso potencial de materiais silicáticos como FAN para a agricultura brasileira, em especial na sustentabilidade da produção de biocombustíveis líquidos.

## Paradigmas na utilização de fertilizantes

O paradigma atual preconiza a utilização das FCN em função das altas concentrações e à elevada solubilidade dos nutrientes. As altas concentrações permitem o transporte a baixo custo em distâncias intercontinentais. A elevada solubilidade das FCN favorece a disponibilidade dos macronutrientes para as plantas cultivadas. Este conceito foi empregado com sucesso na variante brasileira da Revolução Verde (Paterniani, 2001), que possibilitou a produção agrícola em solos tropicais profundos e muito pobres em nutrientes, em especial no Bioma Cerrado a partir da década de 1970 (Shiki *et al.*, 1997), aliado ao uso do calcário agrícola na correção da acidez e na diminuição da saturação por alumínio (Goedert, 1989).

Outro fator importante que compõe este paradigma e que perdurou até o início da década de 2000, foi o baixo custo destas matérias primas (Rodrigues, 2009; Manning, 2010a, b). A crise de 2008 marcou uma ruptura dos custos das FCN, que mesmo depois da fase aguda retornaram acima dos valores históricos e sem perspectivas de alterações (Manning, 2010a). Somente a partir desta crise existe uma prospecção efetiva de alternativas a este modelo. A principal explicação para esta mudança brusca nos custos das FCN estão relacionadas a elevação de demanda dos fertilizantes (Rodrigues, 2009, 2010), além da concentração das empresas detentoras da produção e comercialização no mundo (Benetti, 2002, 2004; Kulaif, 1997, 1999). No Brasil, a situação é mais grave devido a impossibilidade de aumento no curto prazo da produção de FCN a partir de novas jazidas brasileiras de gás natural (N), de fosfato (P) e de potássio (K), apesar de seu potencial mineral (Rodrigues, 2010).

Aliado a estes fatores econômicos e de disponibilidade de matérias-primas, as FCN apresentam algumas desvantagens em seu comportamento em clima tropical relacionadas às elevadas temperaturas e precipitação pluviométrica, além das características intrínsecas dos solos (Fyfe *et al.*, 2006; Leonardos *et al.*, 1987, 2000). O nitrogênio na forma de uréia apresenta grandes perdas por volatilização (Bernardi *et al.*, 2004, 2007). O potássio na forma de cloreto apresenta elevada mobilidade química e física por movimentação em solução e por erosão (Bertol *et al.*, 2007; Hernani *et al.*, 1999; Izidorio *et al.*, 2005), com maiores agravantes em solos arenosos e de textura média (Rosolem *et al.*, 2005). Os fosfatos solúveis são parcialmente adsorvidos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, abundantes em solos tropicais (Fontes e Weed, 1996; Novais e Smyth, 1999; Valladares *et al.*, 2003).

Estas características negativas dos fertilizantes solúveis foram percebidas e diversas linhas de pesquisa são desenvolvidas para a adaptação às condições tropicais, relacionadas especialmente ao manejo racional dos fertilizantes nos sistemas agrícolas, além de processos para controlar a taxa de liberação para adaptar às condições tropicais (Bernardi *et al.*, 2004, 2007; Monte *et al.*, 2009). O manejo racional de fertilizantes geralmente não é aplicado plenamente pelo agricultor, apesar da disponibilidade tecnológica (Lopes *et al.*, 1998; Ceretta *et al.*, 2007; Sousa e Rein, 2009) e os processos para a liberação controlada de nutrientes apresentam custos ainda muito elevados (Blaylock *et al.*, 2005; Shaviv, 2001). Destaca-se uma grande inovação realizada na agricultura brasileira que foi a diminuição da demanda de N, especialmente na cultura da soja, pela inoculação de microrganismos fixadores deste nutriente (Hungria *et al.*, 2001).

Pesquisas recentes buscam alternativas semelhantes para a cultura da cana-de-açúcar \*canuto *et al.*, 2003; Reis Jr. *et al.*, 2000)

Outra limitação importante das fontes solúveis é a ausência de outros nutrientes minerais em sua composição (Fyfe *et al.*, 2006; Leonardos *et al.*, 2000). Várias culturas apresentam desequilíbrios nutricionais e maior sensibilidade ao ataque de pragas e doenças por este motivo. Aliado aos desequilíbrios nutricionais, pode ocorrer o “consumo de luxo” das culturas, pois neste modelo de fertilização pode ocorrer o acúmulo dos nutrientes na planta sem refletir em aumento de produção (Bataglia, 2005; Kaminski *et al.*, 2007; Rende *et al.*, 2006b).

Uma solução para esta crise é a substituição, pelo menos das FCN para as FAN. Neste caso, ocorre uma mudança radical nos conceitos do novo paradigma (Fyfe *et al.*, 2006). Na prática, a principal delas é a transição do uso de matérias primas globalizadas (FCN) para matérias primas regionais (FAN).

No novo paradigma, as características das FAN apresentam vantagens relativas ao modelo anterior das FCN:

- a grande abundância e a ocorrência bem distribuída no território nacional permitem a utilização regional das FAN, da mesma forma que o calcário agrícola.
- a baixa solubilidade das FAN racionaliza o uso dos nutrientes pelas plantas e diminui no médio e longo prazo a necessidade de utilização de nutrientes solúveis pelo aumento sustentável da fertilidade do solo e o efeito residual.
- o baixo custo de produção e a simplicidade do processo produtivo permitem o desenvolvimento de uma mineração de pequeno porte, da mesma forma que as produtoras de calcário agrícola.
- a elevada complexidade composicional é caracterizada por uma diversidade de minerais em diferentes proporções e permite a recuperação gradual da fertilidade do solo pelo intemperismo destes mesmos minerais.
- o efeito condicionador do solo é produto da formação de novas fases minerais com elevada superfície específica e carga superficial, derivadas do intemperismo dos minerais primários.

As desvantagens aparentes oriundas das baixas concentrações e solubilidade de nutrientes, na realidade constituem vantagens em condições tropicais. Os solos tropicais lixiviados e de baixa fertilidade são pobres tanto nos nutrientes, como em minerais de argila de elevada CTC (Kronberg *et al.*, 1979; Marques *et al.*, 2004; Sousa e Rein, 2009). As rochas com potencial para uso na agricultura apresentam uma complexidade composicional presente nos solos de elevada fertilidade (Leonardos *et al.*, 1987; Straaten, 2007). A simples moagem destas rochas pode ser suficiente para viabilizar sua utilização nos sistemas agrícolas (Martins *et al.*, 2008). O intemperismo gradual das FAN nos solos tropicais gera argilas com elevada CTC (Gadd, 2007). Desta forma, além de fornecer nutrientes, os resíduos da transformação mineral pelo intemperismo das FAN têm um papel condicionador dos solos (Straaten, 2007).

Do ponto de vista econômico esta limitação logística obriga a formação de uma indústria mineral de pequeno porte e uma cadeia produtiva regional de matérias primas. Além dos benefícios econômicos regionais, estas características diminuem a possibilidade de concentração em poucos grupos produtores destas matérias primas. Ocorre exatamente o oposto com as FCN, onde a oligopolização é um fenômeno mundial (Benetti, 2002, 2004; Kulaif, 1997, 1999).

Entende-se que o processo de mudança de paradigma deve ser gradual (Fyfe *et al.*, 2006) e a utilização das FCN deve prosseguir em diversos níveis em associação com as FAN, dependendo do estágio de conversão dos sistemas de manejo da fertilidade dos solos agrícolas e das condições regionais.

## Materiais silicáticos

Os materiais silicáticos com uso potencial na agricultura podem ter diferentes origens e processos de produção (Luz *et al.*, 2010). Do ponto de vista industrial estes materiais podem ser primários ou secundários. Os materiais primários são extraídos diretamente da natureza, como é o caso do calcário. Os materiais secundários geralmente são formados por subprodutos de outros processos industriais, como é o caso de resíduos de mineração (Martins *et al.*, 2008) e os formados, por exemplo, na produção do aço (Anderson, 1991; Korndörfer *et al.*, 2004; Savant *et al.*, 1999).

Os materiais primários podem passar por processos de beneficiamento de diversos tipos. A moagem é o processo fundamental necessário para uso na agricultura. A pulverização da rocha permite o aumento da superfície de contato entre os minerais da rocha com o solo e a água para promover o intemperismo, a liberação de nutrientes e formação de novas fases minerais (Luz *et al.*, 2010).

Outros processos podem ser utilizados, mas geralmente apresentam limitações devido ao custo energético elevado, como são os processos térmicos e a acidificação (Cekinski *et al.*, 1996; Eichler, 1983; Freitas *et al.*, 2007; Fujimori, 1984; Leite, 1985; Pini e Chaves, 2001; Vallarelli e Guardani, 1981; Vallarelli *et al.*, 1993). O uso destes processos tem o objetivo de modificar os minerais primários para aumentar a disponibilidade de nutrientes e o efeito condicionador do solo (Nascimento e Lapido-Loureiro, 2004). A concentração e o aumento da solubilidade de nutrientes por processos industriais é possível, mas sua utilização é restrita devido ao elevado custo energético e a ausência de tecnologia sustentável. Entretanto, os elevados custos das FCN pós-2008 podem viabilizar alguns destes processos.

A utilização da energia de processos metalúrgicos, por exemplo, pode ser uma das rotas sustentáveis de processos de transformação das FAN. Os processos biológicos podem também ser utilizados na produção de fertilizantes organominerais a partir de silicatos (Badr *et al.*, 2006; Bigham *et al.*, 2001; Calvaruso *et al.*, 2006; Dalcin, 2008; Lopes-Assad *et al.*, 2006). Uma terceira rota é a utilização de misturas de FCN e FAN, tanto com processos biológicos, químicos e/ou físicos (Benedito *et al.*, 2010; Oba *et al.*, 2000). Em todas estas rotas é possível diminuir a demanda de nutrientes a partir de FCN (Chaves e Oba, 2004; Chaves, 2010).

Os silicatos, além de disponibilizar nutrientes minerais e melhorar as características físico-químicas como condicionadores de solo, também disponibilizam silício, muito importantes no desenvolvimento de diversas culturas de gramíneas, entre elas a cana-de-açúcar (Korndörfer *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006). Outros efeitos positivos dos silicatos também estão relacionados com as interações silício-fósforo, favorecendo o melhor aproveitamento de fósforo (Carvalho *et al.*, 2001).

### MATERIAIS POTÁSSICOS

Os materiais potássicos mais importantes derivados de rochas silicáticas são formados pelos seguintes minerais (Luz *et al.*, 2010; Manning, 2010a, b): feldspato, muscovita, glauconita, flogopita, biotita, feldspatóides, e zeólitas. Estes minerais podem ser fontes de potássio e silício. A flogopita e a biotita também podem disponibilizar magnésio, especialmente durante o processo de liberação de potássio (Martins, 2001).

O feldspato potássico, a glauconita e a muscovita apresentam cinética de dissolução muito baixa (Blum e Stillings, 1995). A flogopita e a biotita apresentam cinética de dissolução moderada, enquanto os feldspatóides apresentam cinética de dissolução elevada (Martins *et al.*, 2004).

O aproveitamento agrônomico do potássio a partir de materiais de baixa cinética de dissolução, ricos em feldspato, glauconita e/ou muscovita pode ser viabilizado por meio de processos de beneficiamento físicos, biológicos ou químicos. A moagem ultrafina (80% < 400 mesh, ou < 0,038 mm) de fonolitos, ricos em feldspato potássico, apresenta eficiência agrônomico para culturas anuais (Cortes *et al.*, 2010). Processos térmicos de fusão (> 1.000° C) ou hidrotermais por soluções salinas sobre feldspatos potássicos também

umentam a solubilidade dos produtos pela transformação mineralógica e formação de novas fases mais solúveis, como a kalsilita (Vilela e Sousa, 1986).

Os processos térmicos (Eichler, 1983; Leite, 1985) e os biológicos (Dalcin, 2008) são os mais indicados para os materiais ricos em glauconita (Lapido-Loureiro *et al.*, 2010). Os estudos agrônômicos indicaram um aumento da disponibilidade a partir de 800° C (Leite, 1985). Os processos biológicos de compostagem e de bioextração também são eficientes (Lapido-Loureiro *et al.*, 2010; Lopes-Assad *et al.*, 2006, 2009).

Os experimentos agrônômicos com os materiais ricos em biotita e flogopita como fonte de potássio apresentam uma elevada eficiência agrônômica e efeito residual em culturas anuais (Martins *et al.*, 2008; Resende *et al.*, 2006a). O único processo de beneficiamento, neste caso, é a moagem, sendo que não é necessário uma granulometria muito fina (100% < 2 mm, 50% < 0,3 mm). A quantidade de potássio aproveitada no primeiro cultivo varia dependendo da granulometria dos minerais, do tipo de solo e da cultura estudada (Resende *et al.*, 2006a).

Os feldspatóides, como a kalsilita, apresentam a mais elevada disponibilidade de potássio entre os minerais silicáticos (Silva e Ritchey, 1982). Entretanto, a ocorrência natural destes minerais está associada a rochas alcalinas especiais, do tipo kamafugito, e é muito rara devido à elevada alterabilidade deste mineral em clima tropical (Manning, 2010b). Um dos processos industriais de beneficiamento hidrotermal de rochas potássicas transforma o feldspato potássico em kalsilita e aumenta, desta forma, a disponibilidade de potássio (Silva e Ritchey, 1982; Vilela e Sousa, 1986).

Os minerais do grupo da zeólita podem apresentar potássio em sua composição (Manning, 2010b). No entanto, estes minerais são aplicados usualmente em sistemas agrônômicos como condicionador de solo e controlador de cinética de liberação de FCN, especialmente do nitrogênio (Bernardi *et al.*, 2010).

Todos estes processos de beneficiamento agregam valor às FAN derivadas destes materiais silicáticos potássicos, mas promovem um aumento de custo de produção. Um análise econômica e energética deve ser desenvolvida para avaliar a viabilidade destes produtos.

Por outro lado, os resíduos dos processos de liberação do potássio geram novas fases minerais com elevada superfície específica e carga superficial. Este é o caso da formação de vermiculita a partir da biotita ou flogopita (Martins *et al.*, 2004). Estas novas fases melhoram as características físico-químicas do solo e da CTC, aumentando, inclusive, o aproveitamento de fontes solúveis.

#### **MATERIAIS MAGNESIANOS**

Os silicatos de magnésio principais são os seguintes (Luz *et al.*, 2010): olivina ( $Mg_2SiO_4$ ), enstatita ( $MgSiO_3$ ), serpentina ( $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ), talco ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ) e clorita ( $Mg_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$ ). Estes minerais são típicos de rochas ultramáficas. Estes minerais apresentam potencial como corretivo de acidez e fornecedor de silício e magnésio (Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2009).

Estes estudos geralmente indicam uma cinética de liberação do silício e do magnésio inferior aos silicatos de cálcio (Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006), mas os efeitos no controle de doenças apresentam resultados similares entre os dois tipos de silicatos (Santos *et al.*, 2009).

#### **MATERIAIS CÁLCICOS**

Os silicatos de cálcio mais importante utilizados na agricultura são os minerais com estrutura e composição da wollastonita ( $CaSiO_3$ ), o extremo cálcico do grupo dos piroxênios (Costa e Girardi, 2004). Este é um tipo de mineral que ocorre em rochas metamórficas em ambientes naturais (Moraes *et al.*, 2007). Em processos industriais são formados na produção de aço (Korndörfer *et al.*, 2004). Estes materiais são utilizados como corretivo de acidez do solo e fornecedor de cálcio e de silício (Pereira *et al.*, 2007; Prado e Fonseca, 2010).

Recentemente foi comprovada a existência de uma jazida de wollastonita na região de Goianira (GO), de elevada qualidade (45% de CaO e 49% de SiO<sub>2</sub>) e com reserva estimada em torno de 5,5 milhões de toneladas (Bittar e Silva, 2009).

#### MATERIAIS SILICÁTICOS CARBONOSOS

Os materiais silicáticos carbonosos com maior importância agrônômica atualmente são os folhelhos pirobetuminosos da Formação Irati. As camadas desta Formação ocorrem nas bordas da Bacia do Paraná, abrangendo os estados do Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além do Paraguai e Argentina (Araújo *et al.*, 2000).

O aproveitamento deste folhelho na produção de petróleo na região de São Mateus do Sul (PR) pela Petrobras gera resíduos com potencial de utilização na agricultura, como condicionadores de solo (Messias *et al.*, 2010), fornecedores de nutrientes (Gardin *et al.*, 2010), corretivos de acidez (Ferreira *et al.*, 2010; Silveira *et al.*, 2010), no controle de doenças e promotores de crescimento de plantas (Gardin *et al.*, 2010).

Nas outras regiões, os calcários associados aos folhelhos são utilizados como corretivos de acidez do solo, especialmente no Sudoeste Goiano e no Mato Grosso. Estes materiais silicáticos carbonosos apresentam grande potencial como condicionadores de solo, especialmente no aumento da CTC (Pereira *et al.*, 2003). Também podem ter seu uso viabilizado como fonte de magnésio e de silício.

### Ocorrências de fontes de materiais silicáticos no Brasil

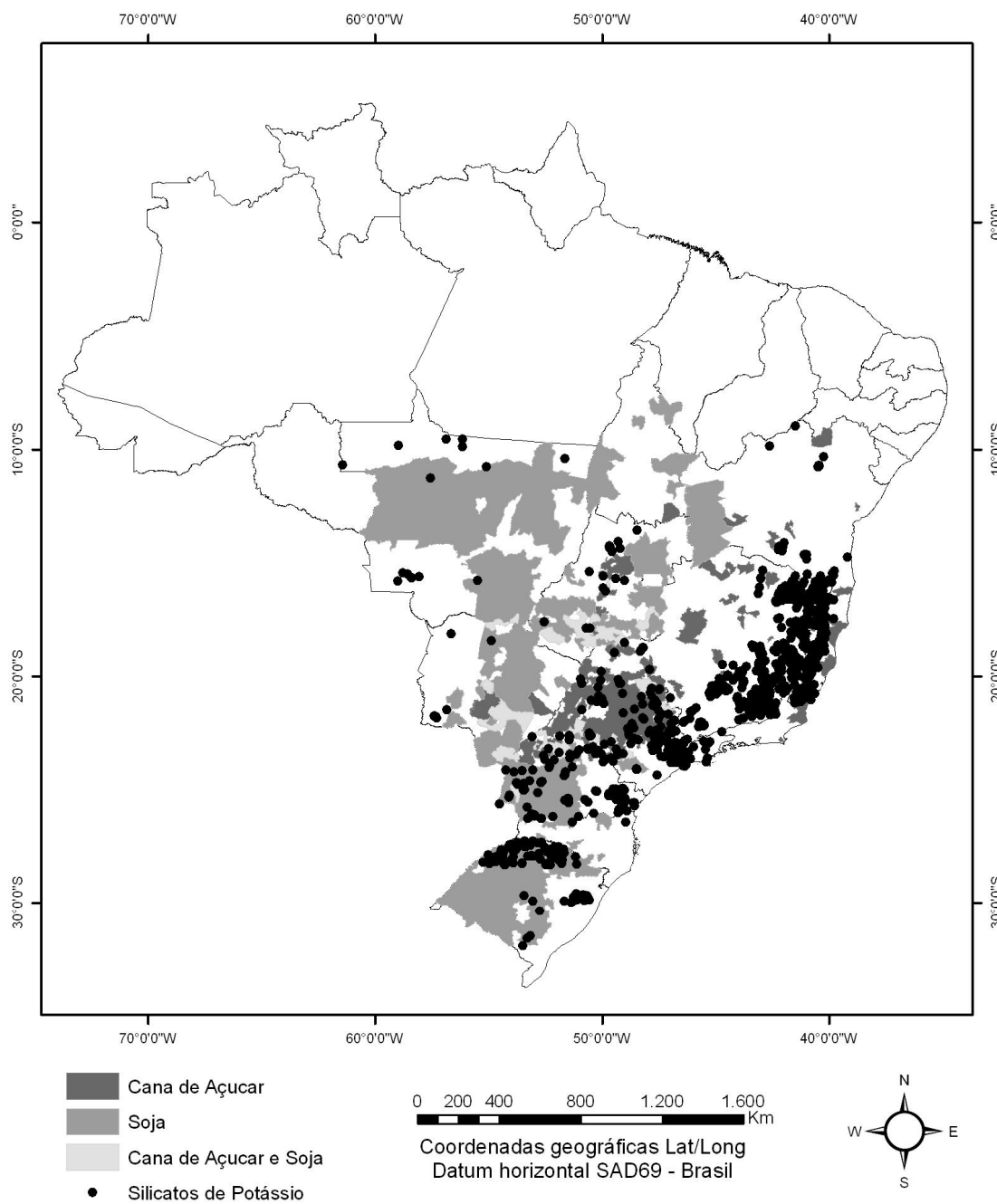
Vários trabalhos mostram o potencial de materiais silicáticos como fontes de nutrientes e de condicionadores de solo (Martins *et al.*, 2008; Resende *et al.*, 2006a), mas praticamente não existem estudos sistematizados mostrando as ocorrências destas fontes.

Em busca realizada no banco de dados GEOBANK da CPRM (Dantas e Leão Neto, 2007), nas entradas de ocorrências de recursos minerais (veja: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>), especialmente para a região Centro-Sul do país, obtiveram-se algumas informações.

Os recursos minerais estão listados por substância mineral, localização e associação litológica. As entradas podem ser ocorrências ou minas ativas. A busca foi realizada para as seguintes fontes de materiais silicáticos: potássicos, magnesianos e condicionadores de solo (zeólita e materiais silicáticos carbonosos).

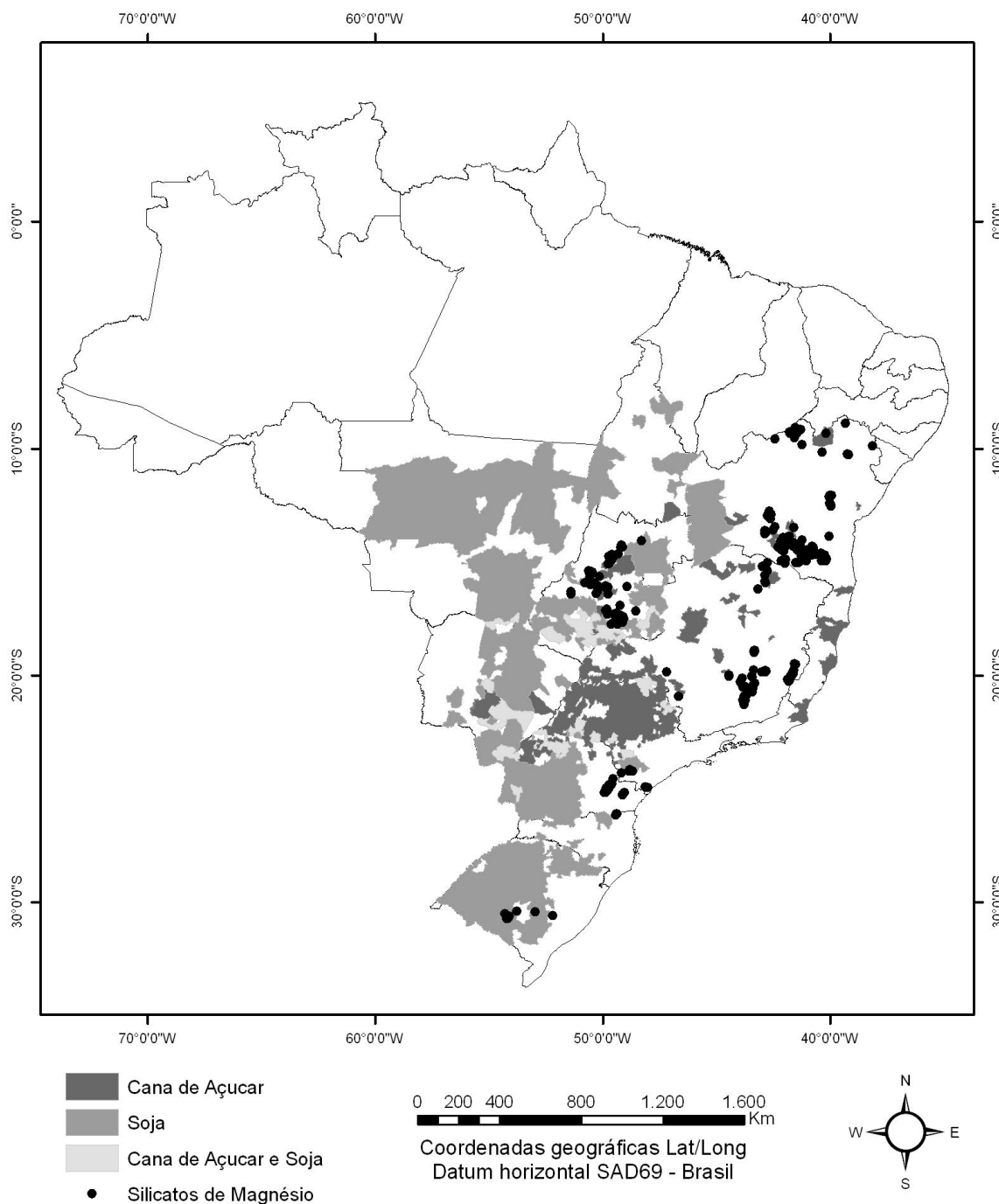
A estas ocorrências foram associadas as áreas de produção de cana-de-açúcar e de soja para a região Centro-Sul do país. Observa-se a grande abrangência das ocorrências de materiais silicáticos potássicos (Fig. 1), magnesianos (Fig. 2) e os condicionadores de solo (Fig. 3). As ocorrências de calcário (Fig. 4) indicam que a logística dos materiais silicáticos é viável para o seu aproveitamento regional. (Rocha e Teixeira, 2010).





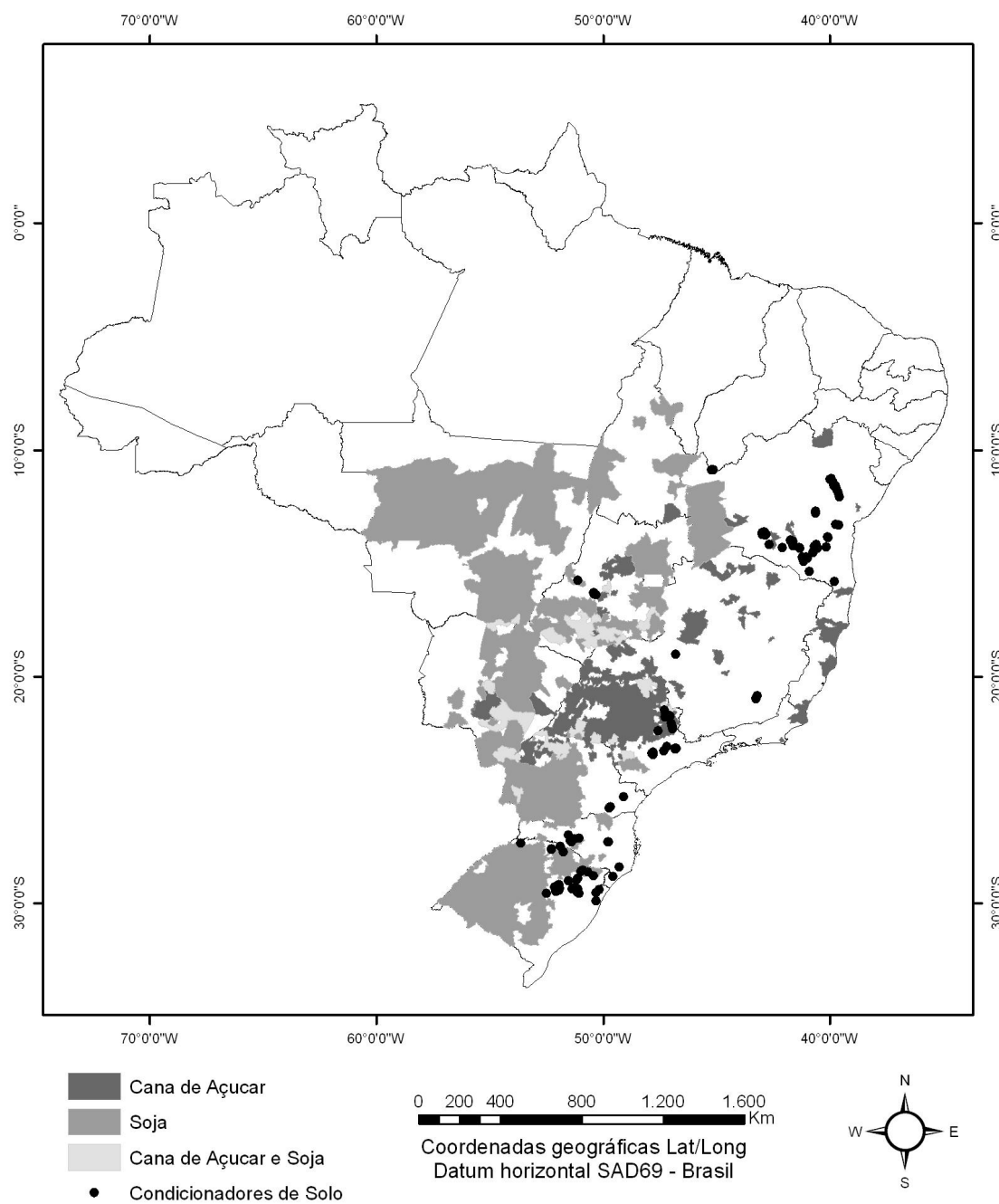
Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 1 – Ocorrências minerais associadas a silicatos de potássio e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



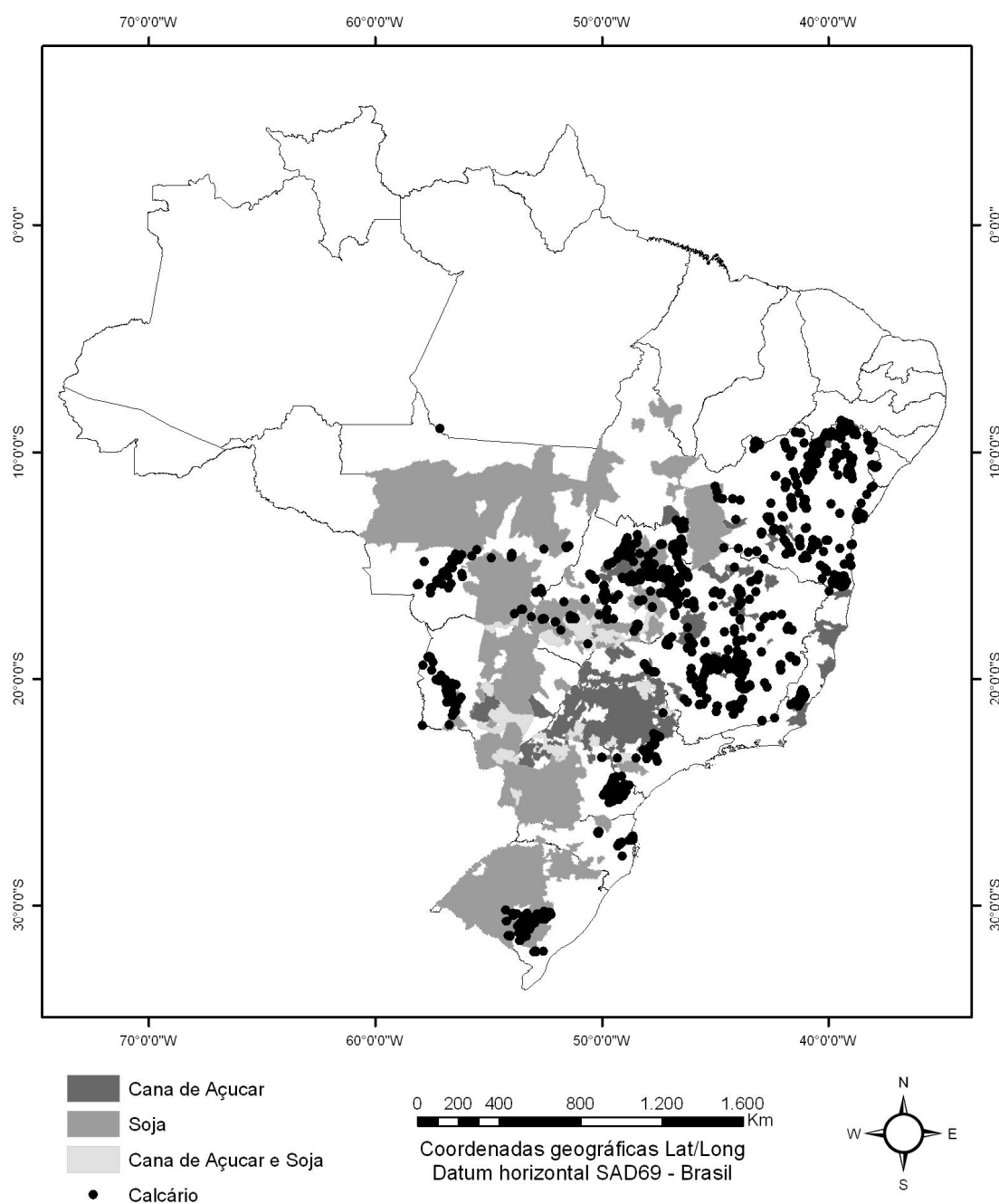
Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 2 – Ocorrências minerais associadas a silicatos de magnésio e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 3 – Ocorrências minerais associadas a condicionadores de solo e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 4 – Ocorrências minerais associadas a calcários e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.

As FAN apresentam uma lógica de mercado similar ao calcário. O aproveitamento do calcário como corretivo de acidez do solo é possível apenas até um limite econômico de distância da jazida até a área produtiva, geralmente inferior a 350 km (Pereira, 2007).

As ocorrências das FAN indicam que este conceito pode ser utilizado para diminuir a necessidade de FCN e aumentar a sustentabilidade, ainda que parcial da produção de biocombustíveis líquidos no Brasil.



## Conclusões

Os estudos recentes indicam a necessidade da assimilação do novo paradigma dos fertilizantes e condicionadores de solo baseados em FAN, em substituição progressiva ao modelo das fontes solúveis e de elevada concentração. As dimensões econômica e ambiental são muito evidentes, especialmente após a crise de 2008.

Os materiais silicáticos primários e, ou secundários mostram grande potencial no desenvolvimento de fontes de nutrientes e condicionadores de solo. A distribuição das fontes no território brasileiro indica seu elevado potencial regional, especialmente para a produção de biocombustíveis líquidos.

Ações estratégicas da indústria e do estado podem utilizar este potencial para desenvolver uma produção de biocombustíveis sustentável, com a diminuição da dependência de insumos importados. Além disso, a cadeia produtiva regional possibilita a geração de novos negócios e empregos.

## Referências bibliográficas

- ANDERSON, D.L. (1991). Soil and leaf nutrient interactions following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, 30(1):9-18.
- ARAÚJO, L.M.; TRIGÜIS, J.A.; CERQUEIRA, J.R.; FREITAS, C.S. (2000). The atypical Permian petroleum system of the Paraná Basin, Brazil. In: M.R. Mello e B.J. Kats (eds.), **Petroleum system of South Atlantic margins**. AAPG Memoir, 73:377-402.
- BADR, M.A.; SHAFEI, A.M.; EL-DEEN, S.H.S. (2006). 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.
- BATAGLIA, O.C. (2005). Métodos diagnósticos da nutrição potássica com ênfase no DRIS. In: T. Yamada; T. Roberts (eds.), **Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira**, 2, São Pedro, SP, Anais ..., Piracicaba: POTAFOS, p. 321-341.
- BENEDITO, D.S.; PROCHNOW, L.I.; SILVEROL, A.C.; TOLEDO, M.C.M. (2010). Eficiência agrônômica de compostos organominerais obtidos pelo processo Humifert. **Bragantia**, Campinas, 69(1):191-199.
- BENETTI, M.D. (2002). Reestruturação das indústrias de suprimentos agrícolas no Brasil, nos anos 90: concentração e desnacionalização. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, 30(1):137-166.
- BENETTI, M.D. (2004). Globalização e desnacionalização do agronegócio brasileiro no pós 1990. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser, **Documentos FEE**, 61, 173 p.
- BENITES, V.M. (coord.) (2009). **Produção de fertilizantes organominerais granulados a partir de resíduos de suinocultura no Sudoeste Goiano**. Embrapa, Projeto de Pesquisa, Macroprograma 3.
- BERNARDI, A.; MONTE, M.; POLIDORO, J.C.; SOUZA-BARROS, F. (2010). Potencial de uso de zeolitas na agropecuária. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 21, p. 191-196.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; AMORIM, H.S.; SOUZA-BARROS, F.; PAIVA, R.P.P.; MONTE, M.B.M. (2004). Avaliação agrônômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 57.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; BOTREL, N.; OIANO NETO, J.; MONTE, M.B.M.; VERRUMA-BERNARDI, M.R. (2007). Produção e qualidade de frutos de tomateiro cultivado em substrato com zeólita. **Horticultura Brasileira**, 25:306-311.

- BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.; AMARAL, A.J. (2007). Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 31:133-142.
- BIGHAM, J.M.; BHATTI, T.M.; VUORINEN, A.; TUOVINEN, O.H. (2001). Dissolution and structural alteration of phlogopite mediated by proton attack and bacterial oxidation of ferrous iron. **Hydrometallurgy**, 59(2-3):301-309.
- BITTAR, N.; SILVA, H.H. (2009). Wollastonita de Goianira- Goiás. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, livro de resumos, Brasília, DF.
- BLAYLOCK, A.D.; KAUFNABB, J.; DOWBENKO, R.D. (2005). Nitrogen fertilizer technologies. **Western Nutrient Management Conference**, Salt Lake City, 6:8-13.
- BLUM, A.E.; STILLINGS, L.L. (1995). Feldspar dissolution kinetics. In: Eds. A.F. White e S. L. Brantley, Chemical weathering rates of silicate minerals, **Reviews in Mineralogy**, 31:291-351.
- CALVARUSO, C.; TURPAULT, M-P.; FREY-KLETT, P. (2006). Root-associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: a budgeting analysis. **Applied and Environmental Microbiology**, 72:1258-1266.
- CANUTO, E.L.; OLIVEIRA, A.L.M.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. (2003). Evaluation of the biological nitrogen fixation contribution in sugarcane plants originated from seeds and inoculated with nitrogen-fixing endophytes. **Brazilian Journal of Microbiology**, 34(supl.1): 62-64.
- CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; SANTOS, C.D.; FERNANDES, L.A.; CURI, N.; RODRIGUES, D.C. (2001). Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:557-565.
- CEKINSKI, E.; PEREIRA, S.C.C.; GUARDANI, R.; GIULIETTI, M. (1986). Aspectos gerais da produção de termo-fosfatos. **Encontro Nacional de Rocha Fosfática**, III. São Paulo, Ibrafos, 1986.
- CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; PAVINATO, A. (2007). Manejo da adubação. In: R. F. Novais, *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 851-872.
- CHAVES, A.P. (2010). Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 40, p. 313-321.
- CHAVES, A.P.; OBA, C.A.I. (2004). Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 63, 25 p.
- CORTES, G.P.; FERREIRA, R.C.; CORTES, G.P.; RAMPAZZO, L. FERREIRA, L.C. (2010). Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 8, p. 75-83.
- COSTA, P.C.C.; GIRARDI, V.A.V. (2004). Petrografia e química mineral dos diques máficos da região Crixás-Goiás, estado de Goiás. **Geol. USP**, Sér. cient. [online], 4(2):27-42.
- DALCIN, G. (2008). **Seleção de Microrganismos Promotores da Disponibilidade de Nutrientes Contidos em Rochas, Produtos e Rejeitos de Mineração**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Dissertação de Mestrado, 95 p.
- DANTAS, A.S.L.; LEÃO NETO, R. (2007). Levantamentos geológicos no Serviço Geológico do Brasil – CPRM, como tecnologia social: A busca de novos paradigmas. In: F.R.C. Fernandes, G.M.M. Matos, Z.C. Castilhos, A.B. Luz (eds.), **Tendências Tecnológicas Brasil 2015 – Geociências e Tecnologia Mineral**, Rio de Janeiro: CETEM, Parte I, cap. 4, p. 57-77.
- DIBB, D.W. (2000). The mysteries (myths) of nutrient use efficiency. **Better Crops**, 84(3):3-5.

- EICHLER, V. (1983). **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**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, UFLA, Dissertação de mestrado.
- FERREIRA, L.H.G.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N.; SANTOS, L.C. (2010). Efeito da combinação de calcário de xisto e calcário dolomítico com diferentes fontes de fósforo sobre a produtividade da cultura da soja. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 25, p. 219-224.
- FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. (1996). Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, 72:37-51.
- FREITAS, L.R.; NASCIMENTO, M.; ALMENDRA, E.R. (2007). PATENTE, PI 0602252-9: **Process for Recovery of Potassium Values Contained in Verdete Slates**. Companhia Vale Do Rio Doce.
- FUJIMORI, K. (1984). 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 – p. 4892-4902.
- FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H., THEODORO, S.H. (2006). Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:715-720.
- GADD, G.M. (2007). Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. **Mycological Research** 111: 3–49.
- GARDIN, J.P.P.; DOUMER, M.E.; MESSIAS, R.S.; FERREIRA, L.H.G.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N. (2010). Avaliação do efeito de fertilizantes foliares a bases de água de xisto na produtividade e na atividade enzimática na cultura do milho. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 26, p. 225-232.
- GOEDERT, W.J. (1989). Região dos Cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 24(1):1-17, 1989.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA W.M. (1999). Sistema de manejo de solos e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 23(1):145-54.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.U.; MENDES, I.C. (2001). Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Circular Técnica**, Londrina: Embrapa Soja, 35, 48 p.
- IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. (2005). Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 25(3):660-670.
- KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S. (2007). Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1003-1010.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. (2004). Análise de silício no solo, planta e fertilizante. **Boletim Técnico 02**, Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU. 50p.
- KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; SANTOS, A.M. (1979). The chemistry of some Brazilian soils: Element mobility during intense weathering. **Chemical Geology**, 24(3-4):211-229.
- KULAIF, Y. (1997). A evolução recente e a configuração atual da indústria brasileira de fertilizantes. **Minérios Mineraleis**, São Paulo, 220:35-39.
- KULAIF, Y. (1999). A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 42, 244 p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (eds.) (2009). **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/ PETROBRAS, 656 p.

- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M. (2003). Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 53, 75 p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M.; NEUMANN, R.; RIZZO, A.C. (2010). Tecnologias de aplicação de glauconita como fonte de potássio na agricultura: O caso brasileiro e a experiência indiana. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 12, p. 111-119.
- LEITE, P.C. (1985). **Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnésiano**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, UFLA, Dissertação de Mestrado.
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. (1987). The use of ground rocks in laterite systems – an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. **Chemical Geology**, 60:361-370.
- LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; ASSAD, M.L. (2000). Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 56:3-9.
- LOPES-ASSAD, M.L.; BRANDÃO, J.A.V.; ÁVILA, J.E.T. (2009) Biofertilizantes produzidos a partir de rochas potássicas e fosfatadas. In: D. Vilela; E.N. Fernandes; G.R. Carvalho; R.S. Verneque; C.E. Martins; R. Zoccal (orgs.). **Fórum das Américas: Leite e derivados**. 1 ed. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, v. 7, p. 155-170.
- LOPES-ASSAD, M.L.; ROSA, M.M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S.R. (2006). Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, 9(1)1-17.
- LOPES, A.S.; ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A. (1998) Os adubos e a eficiência das adubações. 3. ed., São Paulo: ANDA, **Boletim Técnico**, 3, 43 p.
- LUZ, A.B.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; SAMPAIO, J.A.; CASTILHOS, Z.C.; BEZERRA, M.S. (2010). Rochas, minerais e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes alternativos. (Nessa publicação).
- MANNING, D.A.C. (2010a). Mineral sources of potassium for plant nutrition: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 30(2):281-294.
- MANNING, D.A.C. (2010b). Stone meal as a source of plant nutrients, especially potash: a mineralogical approach. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro, **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**, cap. 5, p. 47-54.
- MARQUES, J.J.; SCHULZE, D.G.; CURI, N.; MERTZMAN, S.A. (2004). Major element geochemistry and geomorphological relationship in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, 119:179-195.
- MARTINS, E.S., OLIVEIRA, C.G., RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. (2008). Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para a Agricultura. In: Adão B. Luz e Fernando Lins (eds.), **Rochas e Mineraias Industriais – Usos e Especificações**, Rio de Janeiro: CETEM, p. 205-221.
- MARTINS, E.S.; THEODORO, S.H. (eds.) (2010). **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 322 p.
- MARTINS, J.C. ; MARTINS, E.S. ; REATTO, A. (2004). Revisão sobre intemperismo de micas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, **Série Documentos**, 164:1-42.
- MARTINS, J.C. (2001). **Cinética de dissolução de flogopita do Complexo Carbonatítico de Catalão I**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, UnB, Instituto de Geociências, 227 p. Dissertação de Mestrado.
- MESSIAS, R.; SILVA, S.D.A.; PAGEL, I.; ARAÚJO, V.F.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N. (2010). Influência de formulações foliares a base de água de xisto (AX) no teor de óleo em duas cultivares de girassol (*Helianthus annuus L.*). In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 30, p. 255-258.
- 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.; SOUZA-BARROS, F. (2009). Nutrient Release by a Brazilian Sedimentary Zeolite. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 81(4):1-13.



- MORAES, R.; FUCK, R.A.; BROWN, M.; PICCOLI, P.; BALDWIN, J.; DANTAS, E.L.; LAUX, J.H.; JUNGES, S.L. (2007). Wollastonite-scapolite-clinopyroxene marble of the Anápolis-Itaçu Complex, Goiás: more evidence of ultrahigh-temperature metamorphism. **Revista Brasileira de Geociências**, 37(4-suplemento):11-17.
- NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (2004). Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 66p. (**Série Estudos e Documentos**, 61).
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. (eds.) (1999). **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, DPS, 399 p.
- OBA, C.A.I.; LACOUT, J.L.; CHAVES, A.P. (2000). Novo fertilizante organo-fosfatado viabiliza materiais fosfatados marginais. **Brasil Mineral**, n. 183, p. 60-4.
- PATERNIANI, E. (2001). Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, São Paulo, 15(43):303-326.
- PEREIRA, C.M. (2007). **Política de uso de calcário agrícola e a sustentabilidade da agricultura no Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, 316 p.
- PEREIRA, H.S.; BARBOSA, N.C.; CARNEIRO, M.A.C.; KORNDÖRFER, G.H. (2007). Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42(2):239-247.
- PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDÖRFER, G.H. (2003). Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:101-108.
- PINI, R.A.; CHAVES, A.P. (2001). **Fabricação de termofosfato utilizando fosfogesso**. São Paulo, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI, 151.
- PRADO, R.B.; BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; POLIDORO, J.C.; DART, R.O.; NAUMOV, A. (2008). Mapping Potassium Availability from Limited Soil Profile Data in Brazil. In: A. E. Hartermink; A.B. Mc Bratney; M.L. Mendonça-Santos (orgs.). **Digital Soil Mapping with Limited Data**: Springer, p. 91-101.
- PRADO, R.B.; TURETTA, A.P.; POLIDORO, J.C.; BENITES, V.M.; BALIEIRO, F.C.; CHAVAGLIA FILHO, P.; FERREIRA, C.E.G. (2007) Mapeamento da disponibilidade de cálcio e magnésio em solos do Sudoeste Goiano. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, Anais, Gramado-RS, CD-Rom.
- PRADO, R.M.; FONSECA, I.M. (2010). Uso agrícola de resíduos minerais da siderurgia para produção de agroenergia: Resultados da UNESP com cana-de-açúcar. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 22, p. 197-205.
- RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M.S. (2006). Reatividade de corretivos de acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:849-857.
- REIS JÚNIOR, F.B.; SILVA, L.G.; REIS, V.M.; DÖBEREINER, J. (2000). Ocorrência de bactérias diazotróficas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 35(5); 985-994. RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SENA, M.C.; NASCIMENTO, M.T.; SILVA, L.C.R.; LINHARES, N.W. (2006a) Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Espaço & Geografia**, 9:135-161.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. (2006b). Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da Região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:453-466.
- ROCHA LIMA, M. H. M. e TEIXEIRA, N. SILVA (2010). Um estudo das principais lavouras para a produção de biocombustíveis. (Nessa publicação)
- RODRIGUES, A.F.S. (2009). Agronegócio e Mineralnegócio: Relações de dependência e sustentabilidade. In: **Informe Mineral: Desenvolvimento e Economia Mineral**. Brasília: DNPM, v.7, p. 28-47.

- RODRIGUES, A.F.S. (2010). Mineração para o Agronegócio. In: A. F. S. Rodrigues (coord.), **Economia Mineral do Brasil**, Brasília: DNPM, 2009, cap. 7, p. 532-595.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. (2005). Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 36:1063-1074.
- SANTOS, A.B; PRABHU, A.S; FERREIRA, E.; FAGERIA, N.K. (2009). Fertilização silicatada na severidade de brusone e na incidência de insetos-praga em arroz irrigado. | **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13(5):537-543.
- SAVANT, N.K, KORNDÖRFER, G.H., DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. (1999). Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **J. Plant Nutr.**, 22(12):1853-1903.
- SHAVIV, A. (2001). Advances in controlled-release fertilizers. In: D.L Sparks (org.), **Advances in Agronomy**, San Diego-CA: Elsevier, vol. 71, cap. 1, p. 1-49.
- SHIKI, S.; SILVA, J.G.; ORTEGA, A.C. (1997). **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do Cerrado Brasileiro**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
- SILVA, J.E.; RITCHEY, K.D. (1982). Adução potássica em solos de Cerrado. In: Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira, 1982, Londrina. Potássio na Agricultura Brasileira: Anais, Piracicaba: Insituto da Potassa e Fosfato, p. 323-338.
- SILVEIRA, C.A.P.; FERRREIRA, L.H.G.; PILLON, C.N.; GIACOMINI, S.J.; SANTOS, L.C. (2010). Efeito da combinação de calcário de xisto e calcário dolomítico sobre a produtividade de grãos de dois sistemas de rotação de culturas. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 24, p. 215-218.
- SOUSA, D.M.G., REIN, T.A. (2009). Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: Experiências no Cerrado. **Informações Agrônômicas**, São Paulo, 126:1-7.
- SPAROVEK, G.; MARTINS, S.P.; MAULE, R.F.; SMORIGO, J. (2008). Mercado mundial de biocombustíveis e oportunidade para a produção brasileira de etanol de cana-de-açúcar, sob perspectivas econômicas, ambientais e de segurança alimentar. Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Estudos Avançados Multidisciplinares, Núcleo de Estudos Agrários, **Cadernos do CEAM**, 8(33):7-82.
- STEWART, B.A. (1975). **Soil Conditioners**. In: Soil Science Society of America – Special Publication, Madison, 7p. 186.
- STRAATEN, P. (2006). Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:731-747.
- STRAATEN, P. (2007). **Agrogeology – The use of Rocks for Crops**. Canadá: Universidade de Guelph, P. van Straaten., 440 p.
- STRAATEN, P.V. (2010). Geodiversity, biodiversity and the origin of crops. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 1, p. 13-22.
- VALARELLI, J.V., NOVAIS, R.F., MELO, M.T.V., LEAL, E.D. (1993). Ardósias “Verdete” de Cedro do Abaeté na produção de termofosfato potássico fundido e sua eficiência agrônômica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 65(4):343-375.
- VALARELLI, J.V.; GUARDANI, R. (1981). Estudos Experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como fertilizantes. **Fertilizantes**, 3(3):4-7.
- VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. (2003). Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, 62(1):111-118.
- VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; (1986). Avaliação agrônômica de fontes de potássio para solos de cerrado. In: W.J. Goedert e F.A. Dias Filho (eds.), **Relatório Bial** (1984/1985). Brasília: Embrapa, Petrofertil, p. 131-134.