

## ***Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica***

### *Stonemeal as alternative form of potassium supplementation in agriculture agroecology*

Geovana Poton Arcobeli Cola<sup>1\*</sup>, João Batista Pavesi Simão<sup>2</sup>.

**Resumo:** A agricultura atual se baseia no uso intensivo de insumos industrializados, devido a sua resposta rápida, mas que traz consequências danosas ao ambiente. Devido a sua alta solubilização, comprometem os cursos d'água, por serem facilmente lixiviados. A técnica de rochagem (utilização do pó de rocha como fertilizante), além de ser uma prática agrícola há muito utilizada, pode contribuir para uma alternativa ao fornecimento de nutrientes como o potássio, por exemplo. O pó de rocha utilizado apresenta uma lenta solubilização, tendo que passar por processos físicos, químicos e biológicos para que se solubilizem e disponibilizem nutrientes às plantas. Tais processos ainda estão sob estudos, mas devido à grande variabilidade das rochas, e de rejeitos, é pertinente a investigação para cada tipo de rocha. Alguns trabalhos já mostram que materiais de granulometria fina, quando inoculados com bactérias do gênero *Acidithiobacillus*, sofrem processos químicos e proporcionam uma maior liberação dos nutrientes. O objetivo deste trabalho é investigar o uso da rochagem no Brasil, com ênfase nos processos de solubilização de potássio.

**Palavras-chave:** agroecologia, pó de rocha, solubilização de potássio, *Acidithiobacillus*.

**Abstract:** The present model of agriculture is based on intensive use of industrial inputs, due to its rapid response, but presents a highly cost value and brings damaging consequences to the environment. Due to its high solubilization, most of the time these inputs compromise the watercourses because they are easily leachate. The stonemeal technique (use of rock powder as a fertilizer), besides being a long-used agricultural practice, primarily liming and natural phosphate, can contribute to an alternative supply to other nutrients such as potassium. The rock powder utilized in majority of the cases presents a slow solubilization, tending to go through physical, chemical and biological processes in order to solubilize and deliver nutrients to plants. Such processes are still under studies, but due to the large variability of the rocks, the wastes generated by mining and soil are relevant in the research for each rock type, region, soil and cultivation. Some studies already show materials that present fine soil particle size when inoculated with bacteria of genus *Acidithiobacillus*, suffer chemical process and provide a greater release of nutrients. The objective of this study is to investigate the state of art of stonemeal in Brazil, emphasizing the processes of solubilization of potassium.

**Keywords:** agroecology, stonemeal, solubilization of potassium, *Acidithiobacillus*.

## **INTRODUÇÃO**

Apesar de todo potencial produtivo do solo de diversos países, cerca de metade das terras agricultáveis ainda não são cultivadas. Mais de dois bilhões de hectares têm sido degradados, devido a uma grande variedade de processos, principalmente aqueles relacionados ao manejo inadequado sem bases ecológicas ou sustentáveis (UNEP, 2000).

Além disso, o modelo de produção agrícola vigente privilegia o uso intensivo de insumos industrializados, negligenciando o potencial e as oportunidades oferecidas pela exploração dos componentes biológicos do solo em prol da produção com bases sustentáveis. A ciclagem de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio e a solubilização de rochas são alguns exemplos de processos microbiológicos naturais que garantem o potencial produtivo do solo (OLIVARES, 2009).

A agricultura moderna faz uso de fertilizantes e corretivos a fim de proporcionar um aumento da produção, de modo a atender aos critérios econômicos, e ao mesmo tempo tentando conservar a fertilidade e a biodiversidade do solo, com redução de problemas no ambiente (RAIJ, 1987). Em contrapartida à atual situação global, será exigido um manejo mais adequado das terras agricultáveis e dos recursos hídricos. Assim, para a intensificação, a diversificação e a especialização de sistemas de produção agrícola, deverão ser desenvolvidas novas tecnologias inovadoras e específicas para solos e plantas (LAL, 2000).

O desenvolvimento e a aplicação de um manejo sustentável dos solos de forma integrada na agricultura implicarão na redução de dependência de fertilizantes minerais e no incremento do uso de fontes naturais de nutrientes, como as rochas fosfatadas e potássicas, a fixação biológica de nitrogênio e a utilização de adubos

\*autor para correspondência

Recebido para publicação em 27/02/2012; aprovado em 29/11/2012

1 Bióloga, aluna de pós-graduação – *Lato sensu* – em Agroecologia – IFES - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia, Caixa Postal: 47. CEP: 29.500-000. Alegre – ES. E-mail: geovanacola@hotmail.com\*

2 Eng. Agr. D. Sc., Professor Associado I do Departamento de cafeicultura – IFES - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia, Caixa Postal: 47. CEP: 29.500-000. Alegre – ES. E-mail: jbpavesi@ifes.edu.br

orgânicos (adubação verde), em combinação com a reciclagem de resíduos (FAO, 1995).

A busca de sistemas agrícolas auto-sustentáveis, com baixo uso de insumos externos, diversificados e eficientes em termos energéticos, é a maior preocupação dos pesquisadores, agricultores e formuladores de políticas em todo o mundo.

A agricultura sustentável geralmente refere-se a um modo de fazer agricultura que busca assegurar produtividades sustentadas em longo prazo, através do uso de práticas de manejo ecologicamente seguras (PRETTY, 1982).

Um tema atual de grande importância que vem sendo discutido nesse contexto é a agroecologia, pois ela fornece os princípios ecológicos básicos para o estudo e tratamento de ecossistemas tanto produtivos quanto preservadores dos recursos naturais, e que sejam culturalmente sensíveis, socialmente justos e economicamente viáveis (ALTIERI, 1987).

A agroecologia também é chamada de agricultura sustentável que, segundo Altieri (1987), tem como objetivo a manutenção da produtividade agrícola com o mínimo possível de impactos ambientais e com retornos econômico-financeiros adequados à meta de redução da pobreza, assim atendendo às necessidades sociais das populações rurais.

É necessário um novo modelo de agricultura no cenário agrícola atual, que concilie processos físicos, químicos e biológicos, que são base do funcionamento dos solos que sustentam a produção agrícola.

A tecnologia da aplicação de pó de rocha (rochagem) pode se configurar como uma excelente alternativa, uma vez que o Brasil apresenta uma enorme geodiversidade e que, portanto, pode viabilizar o uso de diferentes tipos de rochas, em diferentes regiões, para alcançar padrões de fertilidade compatíveis com as necessidades regionais e ainda facilitar mecanismos de desenvolvimento regional, dentro de padrões mais sustentáveis (THEODORO, 2000). A rochagem é uma prática agrícola antiga, sendo a calagem e a fosfatagem natural casos particulares dessa prática.

A revalorização recente da utilização de rochas na agricultura está ligada à busca de alternativas às fontes de nutrientes importados pelo Brasil, visto que o país se tornou um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes. Segundo Daher (2008), o Brasil importa cerca de 70% dos fertilizantes de que necessita.

A rochagem representa uma alternativa também sob o aspecto social e ambiental, uma vez que promove o aproveitamento de grandes quantidades de rejeitos de pedreiras e mineradoras (BERGMANN; THEODORO, 2009).

A produção total brasileira de rochas ornamentais e de revestimento, atualmente supera 5,2 milhões de toneladas, sendo 3 milhões de toneladas de granitos, 1 milhão de toneladas de mármore e o restante referente à produção de ardósias, quartzitos foliados, entre outros. O Espírito Santo, em especial, é líder na produção de rochas

ornamentais no Brasil, com cerca de 2,7 milhões de toneladas/ano, representando 56% da extração de granitos e 75% da produção de mármore em 2008. A cadeia produtiva da indústria de rochas ornamentais tem uma grande importância econômica no estado do Espírito Santo. São inclusos como componentes dessa cadeia setores de extração e de beneficiamento de mármore e granitos (SEBRAE, 2011).

Entretanto, em ambos os setores, de extração e de beneficiamento, é gerada uma grande quantidade de rejeitos (em alguns casos pode atingir 60% do produto extraído) que vem se acumulando em pátios de empresas, tornando seu destino final um problema ambiental de grandes proporções. Nesse sentido, o grande desafio enfrentado por estes setores é desenvolver ações que resultem em um destino viável desses rejeitos e de menor impacto ambiental, como por exemplo, estudos de caracterização de tais rejeitos, com o intuito de identificação dos minerais presentes visando sua utilização na agricultura como fonte de fertilização.

Entre os fertilizantes solúveis, as fontes contendo o elemento potássio (k) são a segunda mais utilizadas no Brasil, sendo fornecidas em sua maioria, por países como Canadá, Alemanha, Rússia, entre outros. O Brasil atualmente produz apenas cerca de 650 mil toneladas/ano de fertilizantes potássicos (ROBERTS, 2004).

Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (2003), em todo o hemisfério Sul há apenas uma mina de potássio em operação, a de Taquari – Vassouras em Sergipe, com uma produção, em 2002, de aproximadamente 340 mil toneladas de  $K_2O$ , que satisfaz menos de 12% das necessidades do país em potássio naquele ano (2,9 milhões de toneladas). As rochas potássicas brutas, contendo minerais como biotitas, micas, micaxistos e feldspatos, entre outros minerais, após os processos de moagem e peneiramento, são de emprego limitado devido a sua reduzida eficiência agrônomo, em função do baixo teor de potássio solúvel (BALLESTERO et al., 1996).

Em função dessa baixa solubilidade, há a necessidade de utilizar processos físicos, químicos ou biológicos, para que essas fontes minerais se modifiquem e, assim, disponibilizem os nutrientes no solo para as plantas.

Logo objetivo deste trabalho é investigar o estado de arte da rochagem no Brasil, com ênfase nos processos de solubilização de potássio.

## **ROCHAGEM: PRINCÍPIOS E PROCESSOS**

Segundo Leonardos et al. (1976), a rochagem parte do princípio de diversificação de fontes de nutrientes, criando novas opções de suprimento, como a incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, podendo ser considerada como um tipo de remineralização, onde o pó de rocha é utilizado para rejuvenescer solos pobres ou lixiviados, fundamentando-se, basicamente, na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produtividade sustentável.

A tecnologia da rochagem foi primeiramente divulgada e sugerida no Brasil na década de 1950, pelos pesquisadores Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko, no estado de Minas Gerais. Posterior a divulgação e a sugestão de tal técnica inovadora e de caráter sustentável, o professor e pesquisador Othon Leonardos, da Universidade de Brasília (UNB), partiu para diversas pesquisas relacionadas ao tema, sendo hoje considerado um grande precursor da rochagem no Brasil e referência para diversos trabalhos ligados a esse tema. Suas pesquisas têm como objetivo testar diferentes tipos de rochas brasileiras, incorporando aos aspectos geoquímicos e agrônômicos um viés mais social e ambiental à pesquisa (LINS et al., 2009).

Mais recentemente, a utilização de pó de rocha vem sendo pesquisada quanto ao seu potencial agrônômico, sobretudo no suprimento de potássio, em várias regiões do Brasil (MELAMED, GASPARG & MIEKELEY, 2007).

O aproveitamento das rochas, como fontes restituidoras de nutrientes para as plantas, recuperadora e renovadora do solo, pode configurar uma tecnologia alternativa capaz de auxiliar na redução do uso de produtos químicos, especialmente aqueles incorporados em formas altamente solúveis, como é o caso dos adubos em formulações NPK (PINHEIRO; BARRETO, 1996; THEODORO, 2000).

Os solos brasileiros, em geral, apresentam carência de potássio. Isso se deve a questões relativas à rocha de origem dos solos e também porque a forma solúvel, além de ser removida pelas culturas, é lixiviável no perfil do solo. A baixa capacidade de troca catiônica (CTC) desses solos implica em baixa capacidade de armazenamento de potássio. O potássio é um dos macronutrientes mais utilizados pela planta, perdendo apenas para o nitrogênio (KINPARA, 2003).

O teor de potássio presente nas plantas varia de 1 a 5% com base na massa da planta. Este é absorvido pelas raízes na forma  $K^+$ , embora ocorra em várias outras formas no solo. Vilela et al. (2002) apontam a forma trocável (adsorvido) do potássio no solo como a mais importante para as plantas em solos sob Cerrado. A outra forma em que o potássio está disponível para a planta é a forma solúvel. Uma vez na planta, o potássio é um elemento móvel que é translocado aos tecidos meristemáticos.

Muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de substituir totalmente ou parcialmente os fertilizantes potássicos, principalmente pelo alto custo desse insumo. Experimentos realizados no Sri Lanka com mica, flogopita e feldspato potássico, em culturas de chá e arroz, mostraram que a aplicação das rochas promoveu aumentos de cerca de 10% na produção em duas safras seguidas, quando comparada à fertilização convencional (WEERASURIYA; THILAKARATHNA; COORAY, 1996).

Estudos realizados em casa de vegetação por Lôbo (1988), utilizando gnaiss como fonte alternativa de potássio, evidencia a importância desse elemento obtido da rocha na nutrição vegetal e sua influência no equilíbrio

sobre os teores de nitrogênio e fósforo. Em experimento utilizando pó de basalto, observou-se que pequenos acréscimos nos teores de nutrientes disponíveis no solo, com doses que variaram de 0 a 100 t/ha, e concluiu-se que altas dosagens poderiam atingir o resultado esperado em nível de campo (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998).

Wang et al. (2000), em um experimento com a cultura do arroz realizado no norte da China, relacionaram o crescimento de algumas plantas com a oferta de potássio proveniente de minerais do gnaiss, concluindo que a presença de potássio influenciou no crescimento da cultura de arroz e que o crescimento das plantas se mostrava mais expressivo nas porções onde a fração fina (granulometria do material) era dominante.

De acordo com Osterroht (2003), trabalhos realizados com rochas como fontes de nutrientes podem apresentar resultados pouco consistentes, sobretudo quando os estudos são conduzidos em vasos, em solo estéril ou com baixa atividade biológica, com pequenas quantidades de substrato ou realizados por um curto período, em condições de clima temperado. Por outro lado, bons resultados ocorrem se as condições são contrárias, ou seja, clima tropical, experimentos de longa duração, solos com alta atividade biológica e material finamente moído.

O pó de rocha pode ser facilmente encontrado ou obtido em certas regiões do país. Por exemplo, no estado de Santa Catarina existem várias reservas de minerais que contêm nutrientes necessários às plantas. Na região de Lages há várias rochas alcalinas contendo fonolitos, olivina, melilita e carbonatitos ricos em potássio e fósforo (SCHEIBE, 1986). No Município de Anitápolis – SC, também há rochas alcalinas, como o carbonatito, e na serra da região leste há abundância de granitos ricos em potássio. Existem, ainda nessa região, inúmeras pedreiras que produzem brita e subprodutos, como o pó de brita, que constituem fonte com potencial a ser estudado (COMIN-CHIARAMONTI et al., 2002).

Devido aos baixos teores solúveis de nutrientes em pó de rochas, esse material tem sido pouco utilizado como fertilizante para as plantas. Sua maior desvantagem reside na dificuldade de liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para os vegetais (HARLEY; GILKES, 2000).

Porém, pode ser vantajoso utilizar esses materiais na agricultura, pois além de permitir que pequenas reservas ou resíduos de exploração sejam aproveitados, constitui-se em adubação mais completa e com vários nutrientes. Entretanto, além da escolha da rocha adequada, é preciso que se estabeleça um sistema mais eficiente para promoção da disponibilidade dos nutrientes nela encontrados.

## POTÁSSIO

O potássio é um elemento essencial aos processos metabólicos nas plantas, pois exerce fundamental papel na fotossíntese, regula a entrada de dióxido de carbono (através da abertura e fechamento dos estômatos) e atua na

ativação de sistemas enzimáticos (ANDRADE et al., 2000).

O potássio atua na regulação osmótica, no balanço de cátions-ânions, na relação hídrica nas plantas; no movimento dos estômatos; no alongamento celular; na estabilização do pH do citoplasma, na neutralização de ânions orgânicos e inorgânicos; na ativação enzimática para um grande número de enzimas; na síntese de proteína; e na fotossíntese e no transporte de açúcares no floema (FURLANI, 2004).

Nos sistemas biológicos, o potássio só existe no estado monovalente de pequeno raio iônico, cuja absorção é altamente seletiva e acoplada aos processos metabólicos, apresentando elevada mobilidade dentro da planta em todos os níveis: no interior da célula, entre as células individuais, entre os tecidos e no transporte de longa distância via xilema e floema. Assim, as plantas requerem potássio em altas quantidades. Por esta razão, ele é considerado um dos três principais nutrientes vegetais e sua deficiência acarreta na diminuição do crescimento das plantas e as tornam sujeitas às doenças, à quebra de talos e à suscetibilidade a outras condições de estresse (RAIJ, 1990).

O suprimento natural de potássio não é suficiente para sustentar altas produções e a deficiência desse nutriente reduz significativamente as colheitas. Por esta razão, o fornecimento desse nutriente ao solo tem de ser suplementado pela adubação potássica (MIELNICZUK, 1978).

O potássio pode penetrar entre as lâminas de alguns aluminossilicatos, sendo essa forma praticamente indisponível às plantas. Mas, assim como outros íons, pode ser “trocado” ou substituído por outros, podendo ficar adsorvido eletricamente. Esse fenômeno de substituição é denominado troca iônica e é um fenômeno de vital importância em físico-química de solos, pois age na retenção ou na liberação dos nutrientes às plantas, e dos sais minerais do solo (REICHARDT; TIMM, 2004).

No solo o potássio é encontrado como componente estrutural de minerais, como biotitas, micas, feldspatos entre outros, que se encontram aprisionados temporariamente entre camadas de argila, como K-trocável retido eletrostaticamente pelos colóides do solo carregados negativamente e, em uma pequena quantidade, como K-solúvel na solução do solo (RAIJ, 1990).

O K-trocável e o K-solução representam a reserva imediata de potássio no solo. Quando essas formas chegam a valores baixos, os minerais primários iniciam a liberação de potássio para a solução (MIELNICZUK, 1978). Em vista disso, os minerais são recursos importantes e de grande interesse na substituição da fertilização potássica. Particularmente os feldspatos que constituem a principal reserva de potássio do solo (MIELNICZUK, 1978).

Sendo o potássio um recurso não renovável, necessita-se de um melhor aproveitamento para aumentar sua vida útil, pois o custo da fertilização potássica para o Brasil é

muito alto, e o país depende da importação da quase totalidade do potássio que é consumido em seu território.

A microbiota tem papel especial na disponibilidade de potássio, particularmente em solos pobres, podendo competir com as plantas pelo nutriente. Essa imobilização é temporária, pois com a morte dos microrganismos, o potássio é liberado das células por mineralização. A microbiota também pode contribuir na liberação de potássio pela decomposição de minerais silicatados (HUNGRIA; URQUIAGA, 1992).

## **A ROCHAGEM E SUA CAPACIDADE DE FORNECER POTÁSSIO (K) SOLÚVEL AO SOLO**

De acordo com Machado et al. (2005), uma questão ainda controversa se refere à identificação da melhor metodologia de avaliação da disponibilidade de potássio em solos que receberam a aplicação dessas rochas, visto que a forma mineral em que o nutriente se encontra na rocha implica na maior ou menor facilidade de disponibilização para as plantas.

A maioria dos minerais que apresentam K em sua estrutura, o apresentam na forma insolúvel, por isso há certa dificuldade na obtenção desse elemento, como no caso dos silicatos, por exemplo (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004).

Muitos processos para a solubilização de K estão sendo estudados, tanto processos físicos, químicos e biológicos. O sucesso de um método ou um conjunto de métodos na solubilização de potássio a partir de fragmentos rochosos pode significar uma redução da dependência da aquisição internacional de fontes potássicas e também diminuição dos custos das safras.

### **Processos físicos**

Segundo Resende et al. (2006), estudos em casa de vegetação utilizando as rochas brecha alcalina, biotita xisto e ultramáfica alcalina como fontes de K para a soja e o milho em sucessão evidenciaram que a aplicação desses materiais, apenas moídos, contribuiu de forma significativa para o fornecimento de potássio às plantas já no primeiro cultivo, em Latossolo argiloso de Cerrado, permanecendo ainda considerável efeito residual do nutriente para o cultivo subsequente.

Considerando os efeitos de curto prazo (um ou dois cultivos em condições de casa de vegetação), essas rochas têm apresentado pelo menos 50% de eficiência agrônoma, em relação à fonte solúvel (KCl) (MACHADO et al., 2005; RESENDE et al., 2006).

Assim sendo, tais rochas moídas poderiam ser empregadas como fontes de liberação gradual de nutrientes, o que é uma característica desejável quando se considera o efeito fertilizante mais duradouro e o menor risco de perdas, comparativamente aos adubos de alta solubilidade.

A diversidade granulométrica tem a função de melhorar as características de permo-porosidade do solo,

além de potencializar a oferta de macro e micro-elementos por mais tempo.

O fator granulométrico vem sendo avaliado tanto em termos de eficiência no processamento industrial, quanto da influência no desempenho agrônomo das fontes. Cada mineral ou minério tem a sua mobilidade própria, que é caracterizada pela probabilidade de quebra, e pela distribuição de tamanhos gerados.

Os materiais mais finos (tamanho de argila e silte, ou seja, respectivamente, menores que 0,002 mm e entre 0,002 e 0,05 mm) disponibilizam mais facilmente seus principais elementos, podendo, em função do intemperismo ou da abrasão, se transformar mais rapidamente em argilo-minerais (THEODORO et al. 2006). Esse caso é especialmente importante nos rejeitos que contêm feldspatos, piroxênios, olivinas, flogopitas e apatitas. Por outro lado, os materiais com granulometria mais grosseira podem estender, por um período mais longo, o tempo e a oferta de nutrientes. Nesse caso, as práticas de manejo e a irrigação, comuns na agricultura, favorecem a quebra da estrutura dos minerais, tornando possível, ao longo do tempo, a oferta de diferentes macro e micronutrientes.

### Processos químicos

Os principais processos químicos envolvidos na solubilização dos minerais são o intemperismo e a utilização de soluções extratoras.

São chamados de intemperismo das rochas os processos físicos, químicos e biológicos, que contribuem para a desestabilização das rochas, sendo um processo que após iniciado, torna-se a cada momento mais facilitado. É, portanto, um processo progressivo a não ser, que cessem todos os fatores (BARRETO, 1998).

No processo de intemperismo, grandes e importantes modificações são realizadas. Há reações químicas transformadoras de minerais, às vezes com lixiviação de elementos importantes, que são transportados e que podem reagir com outros formando novos compostos (BARRETO, 1998).

O intemperismo químico destaca-se pela ação da água da chuva, que atua nos minerais das rochas e os decompõem, dando origem a novos minerais e a solutos que migram pelas fraturas do solo.

As principais reações de intemperismo químico são: a) hidratação, que consiste na atração entre os dipolos das moléculas de água e as cargas elétricas não neutralizadas da superfície dos grãos – absorção de H<sub>2</sub>O na estrutura do mineral, formando um novo mineral; b) dissolução, que consiste na solubilização completa (congruente) ou incompleta (incongruente) do mineral; c) hidrólise, por exemplo, onde os silicatos de Al ou Fe, que são convertidos em argilomineral ou hidróxido de ferro ou alumínio, acompanhado pela perda de cátions e pela incorporação de H<sup>+</sup> das soluções lixiviantes; d) oxidação, onde ocorre o processo de transferência de elétrons, onde o íon receptor de elétrons é reduzido e o que doa o elétron

é oxidado; e e) acidólise que é a influência dos ácidos orgânicos, que promovem a redução do pH da água possibilitando a solubilização dos minerais presentes no solo (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009).

Segundo Silva Filho e Vidor (2001), com a adição de pó de rocha ao solo, a água, através do intemperismo químico, irá agir sobre o material pétreo, decompondo-o lentamente, podendo liberar, de forma gradual, os elementos químicos para as plantas.

O tipo de rocha, a composição mineralógica, o relevo e a vida microbiana, trazem grande influência na estabilidade das rochas. O clima é o grande agente que aproveita das “fraquezas” da rocha para exercer sua ação (SILVA FILHO; VIDOR 2001).

O intemperismo das rochas pode ser superficial, ou mesmo alcançar grandes profundidades. Na superfície, a rocha que sofre o intemperismo, pode estar totalmente intemperizada, os minerais desagregados e muitos deles decompostos.

Segundo Milagres et al. (2007), a utilização de soluções extratoras multielementares está sendo estudada por diversos pesquisadores com o objetivo de simplificar os procedimentos analíticos, reduzir o custo das análises e testar a extração simultânea de vários nutrientes de plantas, com o intuito de aumentar a exatidão analítica, diminuir os limites de detecção e determinar concomitantemente vários elementos.

Existem diversas soluções extratoras que servem para determinar a eficiência relativa (ER) das fontes de potássio, que na verdade é uma forma de monitoramento do teor de potássio liberado no solo que será absorvido pela planta.

No trabalho realizado por Resende et al. (2006), os extratores Mehlich 1, Acetado de Amônio (a pH 0,7), Bray 1 e Resina de troca iônica, conforme metodologias descritas por Silva (1999), foram utilizados para medir os teores de K liberados ao solo por parte das rochas utilizadas (brecha, biotita e ultramáfica).

Outros extratores para o elemento potássio, como digestão ácida com ácido fluorídrico (HF) também são citados na literatura com a intenção de determinar a eficiência ER das fontes de potássio.

### Processos biológicos

Uma desvantagem da utilização do pó de rocha reside na dificuldade de liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para as plantas, necessitando da atuação de processos biológicos para aumentar a solubilização dos nutrientes.

Segundo Coffler (2007), o solo é um sistema dinâmico onde fatores de natureza física, química e biológica interagem continuamente. As transformações microbianas, assim como as diferentes reações químicas do solo, podem ser alteradas de acordo com os tipos de manejos adotados.

A biomassa microbiana constitui um meio de transformação para todos os materiais orgânicos do solo e atua como reservatório de nutrientes vegetais

(THEODORO et al., 2003). O reconhecimento da importância dos microrganismos do solo tem levado a um aumento no interesse em se medir os nutrientes contidos em sua biomassa, cuja estimativa fornece dados úteis sobre mudanças nas propriedades biológicas do solo decorrentes de seu uso, logo, processos chave nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes são mediados ou dependentes da ação biológica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Esses processos podem se dar pela atuação de bactérias do tipo *Acidithiobacillus*, oxidantes do enxofre, que diminuem o pH do solo e solubilizam fósforo e potássio (STAMFORD et al., 2008).

### Bactérias de poder solubilizador

Segundo Garcia Júnior (1991), uma alternativa para aumento da disponibilidade de nutrientes de rochas é a solubilização biológica.

Diversos microrganismos conseguem solubilizar o nutriente potássio através da decomposição de minerais silicados. Hungria e Urquiaga (1992) relatam em sua revisão de literatura o crescimento de bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus* e *Penicillium* em meio de cultura deficiente em potássio, ao qual se adicionou uma rocha. Os mesmos autores relatam que o potássio pode ser liberado de minerais como biotita, muscovita, ortoclássio, entre outros.

A liberação do potássio desses minerais ocorre principalmente pela ação de ácidos orgânicos e inorgânicos produzidos pela atividade biológica (HARLEY; GILKES, 2000) que age pela liberação de  $H^+$  ou como complexantes. Por outro lado, a própria remoção do K-solúvel pela absorção microbiana favorece a liberação do potássio dos minerais, aumentando o gradiente de concentração durante a reação de hidrólise dos minerais (ALEXANDER, 1980; HARLEY; GILKES, 2000).

As bactérias do gênero *Acidithiobacillus* são conhecidas como oxidantes do enxofre, capazes de produzir ácido sulfúrico ( $SO_4^{2-}$ ) a partir do enxofre elementar, proporcionando a liberação de fósforo e potássio insolúveis, por efeito do baixo pH (GARCIA JÚNIOR, 1991).

A aplicação de enxofre (S) elementar com bactérias do gênero *Acidithiobacillus* ao solo tem grande significado agrônomo, primeiro, pela produção de  $SO_4^{2-}$ , que é requerido em grandes quantidades pelas plantas, e segundo, pela ação direta e indireta do  $H_2SO_4$  sobre o pH do solo, especialmente para aplicação em solos de elevado pH (STAMFORD et al. 2008).

Lima et al. (2007) obtiveram resultados positivos com a inoculação das plantas com a bactéria *Acidithiobacillus* sp. conjuntamente com rochas potássicas (biotita xisto) e enxofre, em mistura com vermicomposto. Como resultado de seus trabalhos, observaram maior crescimento e

rendimento da cultura de alface utilizada para o experimento, comparando-se com os fertilizantes minerais solúveis.

### ESTUDOS DE CASOS DE PROCESSOS BIOLÓGICOS APLICADOS À ROCHAGEM

Devido ao baixo teor de nutrientes solúveis em rochas, há a necessidade de utilizar processos físicos, químicos ou biológicos, para que sejam disponibilizadas estas fontes minerais. A acidificação parcial destas rochas é um método químico que constitui alternativa viável para uma melhor solubilização do material, e conseqüentemente, aumento da disponibilidade desse nutriente para as plantas. Uma alternativa para o aumento da disponibilidade de nutrientes de rochas é a solubilização biológica, principalmente realizada por bactérias.

Segundo Kelly e Wood (2000), as bactérias mais importantes que realizam a oxidação do enxofre pertencem ao gênero *Thiobacillus*, recentemente incluídas no novo gênero *Acidithiobacillus*. As bactérias oxidantes do enxofre são de grande importância na reciclagem de elementos no solo, e algumas espécies são de grande relevância em processos biotecnológicos, sendo utilizados na solubilização de metais de interesse econômico, como o cobre, a prata, o ouro e o urânio, em escala industrial (GARCIA JÚNIOR, 1992). As bactérias desse gênero ocorrem naturalmente nos solos agrícolas.

Alguns trabalhos apontam a necessidade de se usar bactérias específicas na solubilização de rochas, sem o que a solubilização pode ser lenta e com resultados variáveis (LOMBARDI et al., 1981). Por outro lado, verifica-se a eficiência na solubilização quando da adição de bactérias eficazes e em concentração ideal do inóculo (STAMFORD et al., 2006).

O ácido sulfúrico produzido na reação microbiológica de bactérias oxidantes do enxofre pode atuar sobre as rochas disponibilizando os nutrientes pela redução do pH (STAMFORD et al., 2002).

Oliveira et al. (2010) testaram a solubilidade de apatita de Gafsa (35% de  $P_2O_5$  total) em solo, onde se adicionaram enxofre elementar em três doses (100, 150 e 200  $g/kg^{-1}$  de rocha) e três doses de inoculante de *Acidithiobacillus thiooxidans* (400, 600, 800 mL) para a cultura de alface em condições controladas.

O experimento foi realizado com o objetivo de produção de biofertilizante a partir de diferentes proporções da rocha e de enxofre inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans*. Foram determinados, entre outros, o pH e o fósforo disponíveis em tempos de amostragem diferentes (10, 20 e 30 dias). O extrator de P disponível foi Mehlich-I, de acordo com a metodologia da Embrapa (1997).

Os resultados do pH obtidos nos diferentes tratamentos com doses de enxofre e de inoculação com *Acidithiobacillus thiooxidans* constam na Tabela 1.

**Tabela 1** – Valores de pH nos tratamentos com rocha fosfatada (Itafós) em mistura com doses crescentes de enxofre elementar e do inoculante com *Acidithiobacillus thiooxidans*, em função do tempo de atuação da bactéria

Tratamento	Tempo		
	10 dias	20 dias	30 dias
S <sub>100</sub> Ac <sub>400</sub> <sup>(1)</sup>	4,6a	4,1a	3,4b
S <sub>150</sub> Ac <sub>600</sub> <sup>(2)</sup>	4,6a	4,0a	3,3ab
S <sub>200</sub> Ac <sub>800</sub> <sup>(3)</sup>	4,6a	3,7b	3,1a

<sup>(1)</sup> S<sub>100</sub> Ac<sub>400</sub> corresponde a 100 g S/kg rocha e 400 mL de inóculo de *Acidithiobacillus thiooxidans*;

<sup>(2)</sup> S<sub>150</sub> Ac<sub>600</sub> corresponde a 150 g S/kg rocha e 600 mL de inóculo de *A. thiooxidans*;

<sup>(3)</sup> S<sub>200</sub> Ac<sub>800</sub> corresponde a 200 g S/kg rocha e 800 mL de inóculo de *A. thiooxidans*;

Médias com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2010).

Na Tabela 1, observa-se que há sensível redução no pH do biofertilizante com o aumento da dose de enxofre e do inoculante com *Acidithiobacillus thiooxidans* a partir dos 20 dias após a inoculação. Esse fato mostra que a produção de ácido sulfúrico aumenta a acidez, em função da quantidade de S elementar e também devido à concentração do inóculo. De acordo com He et al. (1996), a redução no pH é o fator mais importante para o aumento

da disponibilidade de elementos contidos em minerais, devido à atuação da bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans* na produção de ácido sulfúrico.

Os resultados de fósforo disponível na rocha em função da mistura com diferentes doses de enxofre e de inoculante com a bactéria em diferentes tempos de coleta das amostras são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – P disponível nos tratamentos com rocha fosfatada (Itafós) em mistura com doses crescentes de enxofre elementar e de inoculante com *Acidithiobacillus* em função do tempo de atuação da bactéria

Tratamentos	10 dias	20 dias	30 dias	P disponível (g/kg <sup>-1</sup> )
S <sub>100</sub> Ac <sub>400</sub> <sup>(1)</sup>	2,1 Ba	3,9 Bb	5,0 Ab	
S <sub>150</sub> Ac <sub>600</sub> <sup>(2)</sup>	2,7 Ca	4,5 Bab	5,1 Aab	
S <sub>200</sub> Ac <sub>800</sub> <sup>(3)</sup>	3,2 Ca	5,9 Ba	6,8 Aa	

<sup>(1)</sup> S<sub>100</sub> Ac<sub>400</sub> corresponde a 100 g S/kg rocha e 400 mL de inóculo de *Acidithiobacillus thiooxidans*;

<sup>(2)</sup> S<sub>150</sub> Ac<sub>600</sub> corresponde a 150 g S/kg rocha e 600 mL de inóculo de *A. thiooxidans*;

<sup>(3)</sup> S<sub>200</sub> Ac<sub>800</sub> corresponde a 200 g S/kg rocha e 800 mL de inóculo de *A. thiooxidans*;

Médias com a mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem pelo Teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2010).

Os autores tiveram como conclusão do trabalho, que a disponibilidade de fósforo do biofertilizante de rocha fosfatada em função do tempo e também da dose de enxofre e do inóculo com a bactéria *Acidithiobacillus* fornece mais de três vezes o fósforo disponível do que o obtido na análise inicial, passando de 2,1 g kg<sup>-1</sup> para 6,8 g kg<sup>-1</sup> de fósforo disponível.

Moura (2006) verificou o potencial do uso de biofertilizantes produzidos a partir das rochas apatita e biotita na cultura do melão (cv. AF-682). Também nesse caso, adicionaram-se enxofre e *Acidithiobacillus* sp. para solubilizar nutrientes. O resultado final foi comparado com fertilizantes químicos convencionais em Argissolo do Vale do São Francisco – PE. Dois tipos de biofertilizantes - um fosfatado (BP) e outro potássico (BK) - foram adicionados em doses correspondentes a 1/2, 1 e 2 vezes a dose de fertilizantes convencionais (superfosfato triplo como fonte de fósforo e cloreto de potássio, como fonte de potássio). Os tratamentos consistiram: (a) do controle; (b) da adição de fertilizantes convencionais no nível recomendado; e (c) de três níveis de mistura das rochas fosfatadas e potássicas com enxofre e inóculo bacteriano.

As rochas utilizadas na produção dos biofertilizantes foram: apatita de Irecê, Bahia, com 24% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total e biotita xisto de Santa Luzia, Paraíba, com 8-10% de K<sub>2</sub>O total. As rochas foram moídas e aplicadas nos níveis correspondentes ao dobro da dose recomendada para a cultura de melão conforme sugestões do IPA (1998).

A granulometria das rochas utilizada no trabalho exposto não é citada, mas conforme já descrito no subcapítulo – Processos físicos – quanto mais fino o material, mais fácil é a disponibilização de seus minerais.

Para o cultivo da bactéria foi utilizado o meio específico 9 K (SILVERMAN e LUDGREN, 1959) e a adição de *Acidithiobacillus* foi realizada da seguinte forma: para cada camada com 1000 kg de rocha (fosfatada ou potássica), em mistura homogênea com enxofre (100 kg), adicionou-se a cultura de *Acidithiobacillus* diluída em água filtrada, na proporção de 1,5 L para cada 10 L de água, usando-se um pulverizador de pressão com capacidade para 12 litros.

Antes da colocação do material em camadas no canteiro, o canteiro foi revestido com lona plástica e

recoberto com o mesmo material após o preparo da última camada (4000 kg de rocha: 400 kg de enxofre) com a finalidade de evitar acúmulo de água de precipitações.

Diariamente o material era irrigado para manutenção da umidade próxima da capacidade de campo, durante o período de incubação de 60 dias. Após esse período, verificou-se por meio de análises químicas que o material estava estabilizado, ou seja, o pH encontrava-se constante,

sendo tal critério, segundo a autora, utilizado para definir o processo final da incubação (MOURA, 2006).

Após 60 dias de incubação, o material foi analisado com relação ao teor total de P e K, teor de P solúvel em citrato de amônio, teor de P extraído por Mehlich I e teor de P e K extraídos em água (EMBRAPA, 1999). Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Teores de fósforo e potássio ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nos biofertilizantes e nas rochas fontes de P e K utilizadas no experimento, usando diferentes métodos de extração

	Análise de K			Total	Análise de P		
	Total	H <sub>2</sub> O	Mehlich I		H <sub>2</sub> O	Mehlich I	CNA +H <sub>2</sub> O
	g Kg <sup>-1</sup>				g Kg <sup>-1</sup>		
Biofertilizante K	15,0	0,5	5,0	ND <sup>(1)</sup>	ND	ND	ND
Biofertilizante P	2,7	ND	ND	106	4,0	17,0	42
Biotita	16,2	0,2	ND	ND	ND	ND	ND
Apatita	ND	ND	ND	106	0,4	22,0	55

<sup>1</sup>ND: Não Determinado.

Fonte: Adaptado de Moura (2006).

De acordo com a Tabela 3, os teores de fósforo e potássio variam quando estes se encontram em modo bruto (na rocha moída) e quando estão misturados com enxofre e inóculo da bactéria (biofertilizante). Também apresentam diferenças de teores, quanto aos diferentes métodos de extração.

Em relação ao biofertilizante potássico (BK) e a rocha biotita, a rocha apresenta um teor total de potássio maior que o do BK e um teor solúvel em água menor. Isso é explicado pelo fato do BK ser composto pelo pó da rocha biotita misturado com enxofre e o inóculo da bactéria, o que acaba dissolvendo o teor total de potássio presente na rocha, e devido à redução do pH pela ação do inóculo com enxofre, há um alto poder de solubilização do material.

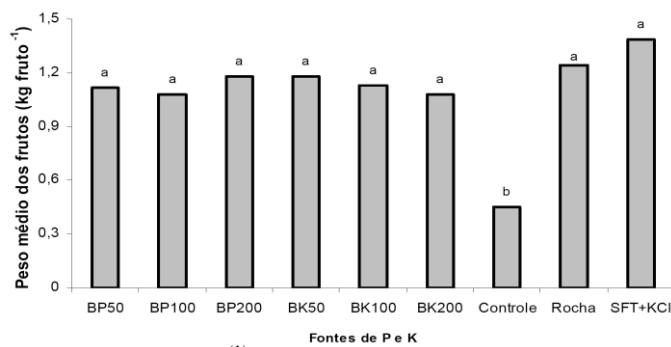
Para o biofertilizante fosfatado (BP) e a rocha apatita, observa-se que o teor total se mostra igual para ambos, porém em relação aos métodos de extração estes apresentam variações. O BP, quando extraído em água, apresenta maior teor de fósforo comparado com a rocha apatita, devido a mesma explicação descrita para o BK e a rocha biotita. Já para os extratores, Mehlich I e CNA +H<sub>2</sub>O, os teores extraídos do BP são menores, comparados com o da rocha apatita. Como esses

extratores são considerados fortes por fazerem uso de ácidos, conseguem extrair um menor teor de fósforo do BP, porque este apresenta uma concentração de fósforo mais dissolvida com enxofre e inóculo da bactéria, já o teor de fósforo presente na rocha apatita se apresenta de uma forma mais concentrada, apresentando um maior teor quando extraído por esses extratores.

Na sequência do experimento realizado por Moura (2006), avaliou-se o efeito do uso de biofertilizantes (fosfatado e potássico produzidos a partir de pó de rochas submetidas a ataque sulfúrico produzido por *Acidithiobacillus*) no cultivo de melão.

Os biofertilizantes reduziram o pH do solo quando comparados com os fertilizantes convencionais, o pó das rochas e com o tratamento controle. Os maiores teores de fósforo e potássio disponíveis foram obtidos com os biofertilizantes nas doses mais elevadas. Para a avaliação do peso médio dos frutos, os resultados foram estatisticamente iguais, tanto para a aplicação da mistura dos fertilizantes convencionais, como das rochas e dos biofertilizantes (BP e BK), diferenciando-se apenas o controle que apresentou uma média baixa conforme a Figura 2.





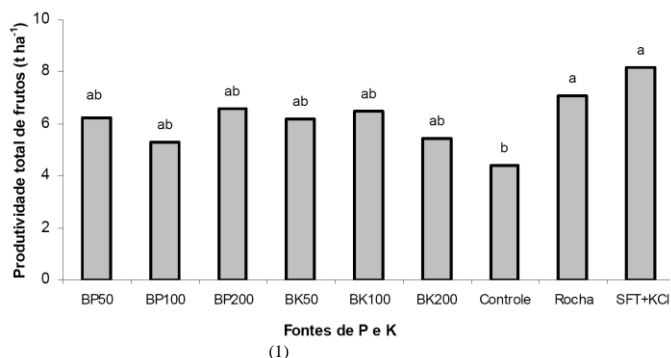
**Figura 1** – Efeito da aplicação de biofertilizantes fosfatado e potássico (BP e BK), fertilizantes convencionais (SFT+KCl) e rochas fontes de fósforo e potássio, no peso médio do melão (cv. AF 682) em Argissolo (textura média) do Vale do São Francisco, PE. \*Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P = 0,05).

(1) Os tratamentos BP e BK sempre foram aplicados conjuntamente (BP+BK); como não houve diferença estatística, para simplificação, em cada nível, denominou-se: BP50=  $BP_{50} + (BK_{50}, BK_{100}, BK_{200})$ ; BP100=  $BP_{100} + (BK_{50}, BK_{100}, BK_{200})$ ; BP200=  $BP_{200} + (BK_{50}, BK_{100}, BK_{200})$ ; BK50=  $BK_{50} + (BP_{50}, BP_{100}, BP_{200})$ ; BK100=  $BK_{100} + (BP_{50}, BP_{100}, BP_{200})$ ; e BK200=  $BK_{200} + (BP_{50}, BP_{100}, BP_{200})$ , respectivamente.

Fonte: Moura (2006).

A mistura de rochas (BP50, BP100, BP200, BK50, BK100 e BK200) e os fertilizantes convencionais (SFT+KCL), na dose recomendada para a cultura do melão, resultaram em maiores produtividades quando

comparados com o tratamento controle (Figura 3), não se verificando diferença estatística com a aplicação de biofertilizantes.



**Figura 2.** – Efeito da aplicação de biofertilizantes fosfatado e potássico (BP e BK), fertilizantes convencionais (SFT+KCl) e rochas fontes de fósforo e potássio, na produtividade do meloeiro (cv. AF 682) em Argissolo (textura média) do Vale do São Francisco, PE. \*Médias com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P = 0,05).

(1) Os tratamentos BP e BK sempre foram aplicados conjuntamente (BP+BK); como não houve diferença estatística, para simplificação, em cada nível, denominou-se: BP50=  $BP_{50} + (BK_{50}, BK_{100}, BK_{200})$ ; BP100=  $BP_{100} + (BK_{50}, BK_{100}, BK_{200})$ ; BP200=  $BP_{200} + (BK_{50}, BK_{100}, BK_{200})$ ; BK50=  $BK_{50} + (BP_{50}, BP_{100}, BP_{200})$ ; BK100=  $BK_{100} + (BP_{50}, BP_{100}, BP_{200})$ ; e BK200=  $BK_{200} + (BP_{50}, BP_{100}, BP_{200})$ , respectivamente.

Fonte: Moura (2006).

Como resultado do trabalho, a autora concluiu que tanto o fertilizante convencional, como os biofertilizantes e a mistura de rochas não diferiram na produtividade de frutos e no peso médio de frutos, exceto para o tratamento controle, e que há um efetivo efeito da bactéria

*Acidithiobacillus* na oxidação do enxofre adicionado e na disponibilização de nutrientes contidos nas rochas, especialmente para fósforo e potássio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos princípios básicos da agricultura agroecológica consiste na substituição de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade por outros insumos que apresentem taxas de liberação de nutrientes mais ajustadas à demanda das culturas ao longo do tempo e que preferencialmente se encontrem próximos das regiões de cultivo, reduzindo assim custos com transporte e aumentando a sustentabilidade da produção agrícola.

Algumas vantagens da utilização dos resíduos de rochas são a correção do pH, o fornecimento de nutrientes e seu efeito residual prolongado. Por outro lado, a conclusão entre suas mais sérias restrições está à lenta solubilização dos minerais presentes nas rochas e, portanto, a lenta liberação dos nutrientes às plantas.

Tendo em vista que as rochas vêm sendo testadas como alternativas à reposição de nutrientes nos solos cultivados e que essas são de composição complexa, de granulometria diversa e que sua utilização repercute de forma diferenciada em função das características do meio onde são aplicadas (solo, plantas, organismos presentes), existem vários desafios a serem superados pela pesquisa.

Muitos desses desafios constituem-se na busca de métodos mais adequados que auxiliem na melhor disposição de potássio no solo a ser absorvido pela planta.

Logo, a rochagem se apresenta no cenário agrícola como uma tecnologia que carece de pesquisa constante, de forma a atender a demandas dos agricultores/produtores, para que possam ter produções compatíveis com suas necessidades e para atender ao mercado.

Muitos experimentos com rochagem vêm sendo desenvolvidos, tanto buscando a caracterização de rochas ou de rejeitos de rochas, como no estabelecimento de processos físicos, químicos e biológicos visando rápida solubilização de nutrientes nesses materiais, testando as mais diversas espécies vegetais e tipos de solos.

A agroecologia aposta nessa alternativa e tem razões para acreditar na multiplicação de resultados positivos quando de sua aplicação, pois visa diminuir a dependência de insumos industrializados, fazendo uso de rochas ou de rejeitos de mineradoras que até certo ponto se apresentam como um grande problema de impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M. **Introducción a la Microbiología del suelo**. México: AGT, p. 491. 1980.

ALTIERI, M.A. **Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture**. Boulder: Westview Press, 1987.

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M. da; GOMIDE, J. A.; ALVAREZ, V. H.; MARTINS, C. E.; SOUZA, D. P. H. de. **Produtividade e Valor Nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio**

e **Potássio**. Rev. Brasileira de zootecnia, v. 6, n. 29, p. 1589-1595, 2000.

BALLESTERO, S. D.; JORGE, J. A.; NICOLINO, C. A. C.; FILLIETTAZ, E. V. V.; ONO, R. K. **Efeito da compostagem na solubilização de rochas fosfatadas e potássicas**. Biociência, Taubaté, v. 2, n. 1, p.15-22. 1996.

BARRETO, S. B. **A farinha de rochas MB-4 e o solo** – 1998. Disponível em: <[http://www.campestreterramistica.com.br/arq/Livro\\_farinha.pdf](http://www.campestreterramistica.com.br/arq/Livro_farinha.pdf)>. Acessado em 18 de maio. 2011.

BERGMANN, M. F. THEODORO, S. M. de C. H. **Rochagem Viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no Distrito mineiro de Ametista do Sul (DMAS), RS, BRASIL**. In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM: Rochagem e fertilidade do solo, 2009, Brasília. **Anais...** Brasília – DF: Embrapa Cerrados, 2010, p 137-145.

COFFLER, R. **Rochas Potássicas Moídas na Produção de Mudanças de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morang Inoculadas com Microrganismo solubilizador de Potássio**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de Engenheiro Florestal). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Seropédica – RJ. 2007.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C. B.; MARQUES, L. S.; CENSI, P.; RUBERTI, E.; ANTONINI, P. **Carbonatites from southeastern Brazil: Sr-Nd-Pb systematics**. Short Papers - IV South American Symposium on Isotope Geology, p. 520-523. 2002.

DAHER, E. **Uma crise de demanda**. DBO *Agrotecnologia*, abril/maio, p. 27, 2008.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2003. Sumário Mineral.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 1 ed. Brasília: Comunicação para transferência de tecnologia. p. 370. 1999.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa em Solos – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro, 1997.

FAO. **World agriculture: towards**, by N. Alexandratos, ed. New York. USA. John Wiley & Sons. 1995.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 1 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 452. 2004.

- GARCIA JÚNIOR, O. **Isolation and characterization of *Thiobacillus thiooxidans* and *Thiobacillus ferrooxidans* from mineral mines.** Rev. Bras. Microbiol. 20, p. 1-6. 1991.
- GARCIA JÚNIOR., O. **O enxofre e suas transformações microbianas.** In: CARDOSO, E.; SAITO, M. T.; NEVES, M. C. P. Microbiologia do solo. Campinas: SBCS, p. 243-255. 1992.
- 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.
- HE, Z. L.; BALIGAR VC; MARTENS DC; RITCHEY KD; KEMPER WD. **Factors affecting phosphate rock dissolution in acid soil amended with liming materials and cellulose.** *Soil Science Society of American Journal.* cap. 60, p. 1596-1601. 1996.
- 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.
- IPA. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco.** 2. ed. Recife; 1998.
- KAMPF, N. CURI, N. MARQUES, J. J. **Química e mineralogia do solo, part I: Cap. V - Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo.** Viçosa: Rev. Brasileira de Ciências do Solo. p. 333-379. 2009.
- KELLY D. P; WOOD, A. P. **Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen.** International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. p. 511-516. 2000.
- KINPARA, D. L. A. **A importância estratégica do potássio para o Brasil.** 1.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. p. 27. (Série Documentos Embrapa Cerrados).
- LAL, R. **Soil management in the developing countries.** Soil Science, v.165, n.1, p. 57-72. 2000.
- LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. **Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos.** Anais 29 Congr. Brasil. Geol., Belo Horizonte, p. 137-145. 1976.
- LIMA, R. C. M.; STAMFORD, N. P.; ROSÁLIA, C. E. de; SANTOS, S.; DIAS, S. H. L. D. **Rendimento da alfaca e atributos químicos de um Latossolo em função da aplicação de biofertilizantes de rochas com fósforo e potássio.** Horticultura. Brasileira, v.25, n.2, p. 224-229. Abr./jun. 2007.
- LINS, F. F.; THEODORO, S.H.; MARTINS, E. de S.; GUERRA, E. A. (2009) Apresentação. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, 2010, Planaltina – DF. Apresentação: **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem.** Embrapa Cerrados, p. 302. 2010.
- LÔBO, A. E. M. **Aplicação de Gnaisse como fonte alternativa de potássio e sua relação com o vegetal.** Projeto de pesquisa – CNPq. Brasília, 1988.
- LOMBARDI, M. L. C. O.; LOPES, E. S.; CARDOSO, E. J. B. N.; SILVA, M. T. R. **Eficiência da dissolução de três fosfatos naturais no solo, pela atividade microbiológica de oxidação de enxofre elementar.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador. Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 38. 1981.
- MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; SOBRINHO, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L. & CORAZZA, E.J. (2005) **Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas.** Anuais: II. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, *Anais.* Recife: UFRPE/SBCS.
- MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais.** 2007. Parte de tese (Doutorado). Series estudos e documentos. SED-72, CETEM/MCT.
- MIELNICZUK, J. **O Potássio no Solo.** Instituto da Potassa-Fosfato (EUA) e Instituto da Potassa (Suíça). Piracicaba – SP, 1978.
- MILAGRES, J. J. M.; ALVAREZ V., V. H.; NEVES, J. C. L.; CANTARUTTI, R. B.; BORGES Jr., M. **Determinação de Fe, Zn, Cu e Mn extraídos do solo por diferentes extratores e dosados por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido e espectrofotometria de absorção atômica.** R. Bras. Ci. Solo, v.31, p. 237- 245. 2007.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: Editora UFLA, p. 626. 2002.
- MOURA, P. M. de. **Uso de biofertilizantes de rochas com enxofre e inoculado com *Acidithiobacillus* em argissolo acinzentado do vale do São Francisco cultivado com melão.** Pernambuco: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2006. 71p. Dissertação Mestrado.

- NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: O potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM: MCT, 66 p. (Estudos e Documentos, 61). 2004.
- OLIVARES, F. **Bactérias promotoras de crescimento vegetal**. Boletim Informativo da SBCS, jan-abr, 2009.
- OLIVEIRA, W. J. de.; STAMFORD, N. P.; ANDRADE, M. M. de.; JUNIOR, S. da S.; SOARES, H. R.; BARBOSA, D. de A. **Produção de Biofertilizante Produzido com Diferentes Níveis de Rocha Fosfatada e de Enxofre inoculado com *Acidithiobacillus***. In: XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas, XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo (FertBio), 2010, Guarapari. **Anais... FertBio, 2010 (CD-ROM)**.
- OSTERROHT, M. Rochagem: Pra quê? In: **Rochagem-I: adubação com rochas silicatadas moídas**. Revista Agroecologia Hoje, ano IV, n. 20, ago/set, 2003.
- PINHEIRO, S.; BARRETO, S. B. **"MB-4": agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes**. 5. ed. corr. [s.l.]: Fundação Juquira Candiru, p. 273. 1996.
- PRETTY, K.M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: T. YAMADA, K. IGUE, O. MUZILLI, N.R. USHERWOOD. (Eds.) **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), p.177-194. 1982.
- RAIJ, B. **Potássio: Necessidade e Uso na Agricultura moderna**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. POTAFOS. Piracicaba- SP, 1990.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 142. 1987.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Absorção de nutrientes pelas plantas. In:\_\_\_\_ **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole, cap. 16, p. 341-362. 2004.
- RESENDE, A. V. de; MACHADO, C. T. T.; MARTINS, E. de S.; SENA, M. C. de.; NASCIMENTO, M. T. do.; SILVA, L. de C. R.; LINHARES, N. W. **Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais**. Rev. Espaço & Geografia, V. 9, n. 1, p. 135-161. 2006.
- ROBERTS, T. **Reservas de minerais potássicos e a produção de fertilizantes potássicos no mundo**. Potafos: Informações Agrônomicas. n.107, p.2-3. 2004.
- SCHEIBE, L. F. **Geologia e petrologia do maciço alcalino de Lages, SC, Brasil**. São Paulo. Instituto de Geociências, USP, 1986. p. 224. Tese Doutorado.
- SEBRAE. **Um panorama do setor**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/setor/rochas-ornamentais/o-setor/producao>>. Acessado em: 09 ago. 2011.
- SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. **Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 36, n. 12, 1495-1508 p.2001.
- SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia. p. 370. 1999.
- SILVERMAN, M.P., LUNDGREN, D. G. **Studies on the chemoautotrophic iron bacterium *Ferrobacillus ferrooxidans*. I. Na improved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields**. Bacteriol., n.77, p. 642-647. 1959.
- STAMFORD, N. P.; FREITAS, A. D. S. ; FERRAZ, D. S. ; SANTOS, E. **Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on saline soils amendment and growth of cowpea and yam bean legumes**. *Journal of Agricultural Science* 139: p. 275-281. 2002.
- STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A. ; SANTOS, C. E. R. S.; DIAS, S. H. L. **Biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and nutrients uptake in a tableland soil**. *Geomicrobiology*. n. 23, p. 261-265. 2006.
- STAMFORD, N.P.; LIMA, R.A.; LIRA, M.A. & SANTOS, C.E.R.S. **Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and their effects in soil chemical attributes**. *World J. Microbiol. Biotechnol.* p. 2061-2066. 2008.
- THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. Brasília: UNB, 2000. p. 225. Tese Doutorado.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. **Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes**. Rev. Espaço & Geografia, V.9, n. 2, p. 263-292. 2006.
- THEODORO, V. C. de A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; MOURÃO JUNIOR, M. **Carbono da biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros**. *Acta Scientiarum: Agronomy Maringá*, v. 25, n. 1, p. 147-153. 2003.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Global. **Environment outlook 2000**. London:Earthscan Publications. 2000.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de; SILVA, J.E. da. **Adubação potássica**. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p. 169-183. 2002.

WANG, J.G., ZHANG, F. S., ZHANG, X. L.; CAO. Y. P. **Release of potassium from Kbearing minerals: Effect of plant roots under P deficiency**. In: HINSINGER, P. (edit.) Nutrient cycling in agroecosystems. Kluwer Academic Publishers. p. 45-52. 2000.

WEERASURIYA, T. J.; THILAKARATHNA P. K.; COORAY, P. I. **Evaluation of phlogopite mica and K-feldspar as slow-release multinutrient fertilizers**. In: \_\_\_The dynamic geosphere, Ed. Gupta & Kerrich. p. 237. 1996.