

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

WILLIAN MARQUES DUARTE

**POTENCIAL DAS ROCHAS FLOGOPITITO, GRANITO E SIENITO NA
DISPONIBILIZAÇÃO DE PÓTASSIO EM SOLOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre no Curso de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, da
Universidade do Estado de Santa Catarina –
UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

**LAGES – SC
2010**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14^a Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Willian Marques Duarte
Potencial das rochas flogopítito, granito e sienito na
disponibilização de pótassio em solos. / Willian
Marques Duarte – Lages, 2010.
43 p.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências
Agroveterinárias / UDESC.

1. Pó de rocha. 2. Rochas silicáticas. 3. Adubação.
I.Título.

CDD – 631.81

WILLIAN MARQUES DUARTE

**POTENCIAL DAS ROCHAS FLOGOPITITO, GRANITO E SIENITO NA
DISPONIBILIZAÇÃO DE PÓTASSIO EM SOLOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovado em: 29/07/2010

Homologado em: / /2010

Banca Examinadora:

Orientador/presidente:

Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC/Lages - SC

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado
em Manejo do Solo e Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Agrárias – UDESC/Lages – SC

Membro:

Dr. Jaime Antônio de Almeida
UDESC/Lages - SC

Membro:

Dr. Juliano Corulli Corrêa
Embrapa Suínos e Aves/Concórdia - SC

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Lages, Santa Catarina
29 de Julho de 2010

Ao Deus da vida,
essa força maior e poderosa que nos
impulsiona na busca da evolução.

Dedico.

In memoriam ao meu amigo de graduação Rodrigo Nei...

“O presente e o futuro tornar-se solidário com o passado”
Allan Kardec

AGRADECIMENTOS

Ao nosso Deus, aos Guias e Anjos da Guarda que em momentos de reflexão e obstáculos vem nos auxiliar com suas sabedorias extraordinárias sempre nos colocando na busca da sinceridade, do amor, da verdade e da justiça do bem.

Aos meus pais, Silvano e Helena, meu irmão Wilton que são seres iluminados pela luz divina que sempre me motivam e apóiam minhas ideologias.

Ao Centro de Ciências Agroveterinárias-UDESC pela oportunidade de cursar o Mestrado em Ciência do Solo e à CAPES pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador professor Álvaro Luiz Mafra que esteve presente nesta fase de aprendizado na pós-graduação, todo meu sincero agradecimento.

Ao co-orientador professor Jaime Antônio de Almeida pela oportunidade de partilhar seus conhecimentos e reforçar conceitos magníficos da Ciência do Solo.

Aos professores da pós-graduação Paulo Cassol, Ildegardis Bertol, Pedro Boff , Mari Inês Boff, Cleimon Dias que são exemplos de profissionais.

Aos funcionários Fernando Ramos, Leandro Hoffmann e Fátima pela disposição quando precisei de vossas colaborações.

Aos bolsistas Ricardo Pereira e Marcos Maurício Foresti que ajudaram na condução e análise dos experimentos.

Aos bolsistas colaboradores pelo apoio na condução dos trabalhos, Cristiano Dela Picolla e Daniel Perón Navarro Lins, e grandes amigos do prédio Macekof.

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, em especial a turma 2008/1 da Ciência do solo e Manejo do solo, Dayana, Douglas Rogeri, Gessiane, Vitor, Eliete, Elaine, Camilla, Rodrigo Teske, Marcos, Ivana, Margarete, Carmem, João Stupp, Karine e a Tatiane da Produção vegetal grandes amigos.

Ao grande camarada André Luiz Santos de Souza que esteve presente na etapa final deste curso, me incentivando e apoiando.

Aos meus professores da graduação prof. Gilmar Laforga e Jorge Mattos que foram fundamentais para entrada neste mestrado.

A todos os amigos e famílias de Lages, São Joaquim, Anita Garibaldi, Esmeralda que me acolheram com este calor humano nesta passagem por Santa Catarina.

E aqueles que tivemos grandes amizades, obrigado pelas positivas vibrações.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de pós de rochas na disponibilização de potássio em solos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando as rochas flogopítito, granito e sienito. Amostras de um Cambissolo Húmico e Argissolo Vermelho-Amarelo foram coletadas, secas ao ar e peneiradas, corrigidas a pH 5,2 com calcário dolomítico e mantidas a 80% da capacidade máxima de retenção de água na incubação. O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com dois solos e cinco níveis e formas de K, com quatro repetições por tratamento. Sendo, T1: sem adubação; T2: 14,7 Mg ha⁻¹ flogopítito + NP; T3: 12,6 Mg ha⁻¹ granito + NP; T4: 11,1 Mg ha⁻¹ sienito + NP; T5: NPK; Os pós das rochas de flogopítito, granito e sienito foram acrescentados em quantidades equivalentes a 500 kg/ha de K₂O com base no teor total de K das rochas de 3,42; 3,99 e 4,5%. Após o período de incubação de 180 dias, foram cultivados em sucessão feijão, trigo e trigo mourisco. A determinação do K no solo foi realizada após extração com solução de Mehlich-1. Foram quantificados os teores de K da parte aérea do feijão, do trigo e trigo mourisco, por fotometria de chama. Os resultados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias de pelo teste de Tukey (P>0,05). O flogopítito não diferiu do KCl nos três cultivos e nos dois solos nas condições de casa de vegetação.

Palavras-chave: Pó de rocha, rochas silicáticas, adubação

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the potential of rock powders in the availability of potassium in soils. The experiment was conducted in greenhouse conditions using the rocks phlogopitite, granite and sienite. Samples of a Humic Cambisol and a Redish Yellow Argisol were collected, air dried and sieved, adjusted to pH 5.2 with lime and maintained at 80% of maximum water holding capacity. The experiment was conducted in completely randomized design in a factorial (2 x 5) (two soil types and five levels of K) with four replicates per treatment. Being, T1: without fertilizer, T2: 14.7 Mg ha⁻¹ + NP phlogopitite, T3: 12.6 Mg ha⁻¹ granite + NP, T4: 11.1 Mg ha⁻¹ sienite + NP, T5: NPK, Powder rocks of phlogopitite, granite and sienite were added in amounts equivalent to 500 kg/ha⁻¹ K₂O based on content total K rocks of 3.42; 3.99 and 4.5%. After the incubation period of 180 days, were grown in succession beans, wheat and buckwheat. The determination of soil K was performed after extraction with Mehlich⁻¹ solution. We quantified the K shoot of beans, wheat and buckwheat by flame photometry. The results were submitted to variance analysis and comparison of means by Tukey test (P > 0.05). The phlogopitite and the KCl did not differ for the three crops in the two soils under greenhouse conditions .

Keywords: Rock powder, silicate rocks, fertilization

LISTA DE FIGURAS

Figura - 1 Rochas utilizadas como fontes de K: (a) Flogopítito (b) Granito (c) Sienito.... 31

LISTA DE TABELAS

Tabela - 1	Composição química total das rochas utilizadas como fontes de potássio nos cultivos (%).	31
Tabela - 2	Composição granulométrica em percentual do pó de flogopítito, granito e sienito.	32
Tabela - 3	Teores de K trocável extraídos por solução Mehlich 1 e resina trocadora de ânions (RTA) em dois solos após cultivo sucessivo de plantas, com aplicação de potássio na forma de pós de rochas, comparativamente à adubação KCl e solo não adubado e corrigido (testemunha).	35
Tabela - 4	Valores de pH em água dos solos cultivadas com três fontes de rochas, KCl e testemunha em Argissolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Húmico.	38
Tabela - 5	Teores de K no tecido vegetal em plantas cultivadas em dois solos após cultivo sucessivo de plantas, com aplicação de potássio na forma de pós de rochas, adubação de KCl e solo não adubado.	39
Tabela - 6	Produção de matéria seca das plantas cultivadas com três fontes de rochas, KCl e testemunha em Argissolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Húmico.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. Modelos de desenvolvimento da agricultura.....	12
2.2. Origem dos nutrientes e absorção pelas plantas.....	14
2.3. Processo de intemperismo nas rochas.....	16
2.4. O uso do pó de rocha e pesquisas realizadas.....	20
2.5. Potássio no solo e na planta.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1. Material testado.....	30
3.1.1. Solo.....	30
3.1.2. Rocha.....	30
3.1.3. Culturas.....	32
3.2. Condução do experimento.....	33
3.2.1. Delineamento experimental e análise estatística.....	33
3.3. Análise do tecido vegetal e solo.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1. Teores de potássio e pH dos solos.....	35
4.2. Potássio na matéria seca da parte aérea (MSPA).....	39
5. CONCLUSÕES	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

A atividade agrícola é essencial para a produção de alimentos e de produtos de primeira necessidade para o bem-estar humano, devendo-se buscar continuamente sistemas de produção adaptados ao ambiente com a mínima dependência de insumos e de recursos naturais não-renováveis.

No Brasil predominam solos ácidos e deficientes em nutrientes, tais como potássio. Para alcançar boas produtividades nesses solos é necessário empregar grandes quantidades de fertilizantes, o que aumenta o custo de produção. Além do que, o uso incorreto e de grandes quantidades de insumos tem gerado conflitos entre a economia e a ecologia expressos pela contaminação do solo e da águas.

A demanda por alimentos com mais qualidade e saudáveis vem crescendo em função da exigência dos consumidores, fazendo com que os agricultores busquem técnicas de produção diferenciada, como a produção orgânica, agroecológica, sistemas agroflorestais entre outros. Tais formas de produção podem apresentar restrição ao uso das fontes tradicionais de potássio, como o cloreto de potássio, pela elevada solubilidade e liberação de grande quantidade de cloro.

Dessa forma, é necessário adotar sistemas de produção e de cultivo que minimizem perdas e desperdícios. Há necessidade que se desenvolvam novos processos produtivos, onde as tecnologias sejam menos agressivas ambientalmente, mantendo a produtividade.

As técnicas a serem desenvolvidas devem prever melhorias na produtividade evitando o aumento desnecessário de áreas cultivadas, aproveitando os avanços já alcançados com a mecanização, adubação, manejo fitossanitário, sementes selecionadas, dentre outras práticas recomendadas.

O Brasil vem se destacando como um dos maiores produtores agrícolas, e a demanda por fertilizantes têm crescido paralelamente, ocasionando um déficit na balança comercial devido à importação de fertilizantes fosfatados, potássicos e enxofre. No caso do potássio, a maior parte do fertilizante consumido no Brasil é importado.

Há necessidade de uma agricultura com tecnologias mais sustentáveis, que vem de encontro com uso racional dos solos. Diante disso tem se buscado o desenvolvimento de modos de produção menos impactantes nos ambientes. A utilização do pó de rocha é uma opção aos fertilizantes minerais solúveis, sendo as rochas calcárias as mais comuns, utilizadas como corretivo de acidez do solo, e as rochas fosfatadas (apatitas), que podem ser aplicadas de forma natural no solo.

Nas últimas décadas as rochas moídas estão sendo utilizadas como fonte de nutrientes às plantas e para recuperação de solos empobrecidos, desequilibrados e que perderam grande parte das reservas de nutrientes dos seus constituintes minerais.

O pó de rocha é composto por diferentes tipos de matérias-primas, sendo moídas, com granulometria variada, disponibilizando nutrientes a curto, médio e longo prazo. A sua disponibilização está relacionada ao tipo, quantidade e reatividade do mineral, bem como à ação de microorganismos e fatores climáticos. Em função de variações na composição das rochas, pode haver disponibilidade de vários nutrientes.

No Brasil existe uma diversidade de rochas silicáticas que são ricas em feldspatos potássicos, e micas, como flogopita, moscovita e biotita, que podem representar possibilidade de uso como fertilizantes potássicos quando moídas. Pesquisas evidenciam o potencial destas rochas como fontes alternativas de potássio, no entanto as respostas à aplicação dos pós dependem da natureza da rocha, do tipo de solo e da cultura.

O presente trabalho objetivou avaliar o potencial do uso de pós de rochas de flogopítito, granito e sienito na disponibilização de potássio em Cambissolo Húmico Alumínico léptico e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Modelos de desenvolvimento da agricultura

As primeiras civilizações eram nômades, vivendo da caça e pesca. Com o passar do tempo tornaram-se sedentárias, realizando o cultivo para sua subsistência. Um dos primeiros locais que praticaram agricultura foi em torno do rio Nilo no Egito (KIEHL, 1985).

O registro mais antigo do uso do solo é datado em 8.000 a.C., ao partir do qual teria início uma revolução agrícola, quando a humanidade passou a cultivar para atender suas necessidades que crescem continuamente com o desenvolvimento. Com a evolução agrícola, as civilizações que povoaram a Europa, a Ásia menor e a Índia modificaram por completo os ambientes transformando-os em campos agrícolas. O mesmo modelo de colonização adotado pelos europeus ocorreu nas Américas e África, particularmente no Brasil foi a partir do século XVIII (CORDANI e TAIOLI, 2008).

Desde então, a agricultura brasileira vem desenvolvendo novas tecnologias com o objetivo de melhorar a produção agrícola, buscando maior produção de alimentos por área cultivada.

A modernização agrícola no Brasil iniciou com o advento da Revolução Verde. Esta recebeu impulso no governo de Getúlio Vargas do período de 1930 a 1945, quando existiram grandes incentivos a diversos setores industriais, entre os quais as indústrias de insumos para a agricultura, máquinas, fertilizantes minerais solúveis, sementes melhoradas, herbicidas e inseticidas (STEDILE, 2005).

Deste então os fertilizantes solúveis têm sido usados largamente em áreas agrícolas. Estima-se que no Brasil, em 1997, cerca de 10 milhões de toneladas de fertilizantes tenham sido utilizados nos 40 milhões de hectares cultivados com grãos, para alcançar elevados patamares de produção e produtividade (MARTINS et al., 2008).

Este aumento da produtividade das culturas agrícolas no Brasil foi incrementado pelo uso de fertilizantes minerais que tem sido comprovado cientificamente pelos centros de pesquisa, universidades, empresas públicas e privadas e pelos próprios agricultores. O uso eficiente de fertilizantes minerais é o fator que mais contribui para o aumento da produtividade agrícola, entretanto podem englobar cerca de 40 % dos custos variáveis de produção (LOPES et al., 2003).

A produção mundial de fertilizantes é estimada em 206,5 milhões/t em 2007/08 com projeção para 241 milhões/t em 2011/12. A demanda por fertilizantes aumentará da atualidade de 197 milhões de toneladas para 216 milhões de acordo com a FAO (2008).

No ano de 2003 houve uma produção de 658 mil t ano⁻¹ de KCl, sendo 394,8 mil t ano⁻¹ de K₂O no complexo Taquari-Vassouras, município de Rosário do Catete-SE, representando 10,8% da demanda nacional. Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o balanço projetado entre a oferta e a demanda de cloreto de potássio no período 2001-2010, aponta um déficit a ser suprido via importação da ordem de 39,23 milhões de toneladas, o que acarretará um gasto total nos próximos 10 anos de 8,77 bilhões de dólares. Essas projeções mostram um grande ônus para a balança comercial do País e exige uma ação coordenada para buscar fontes alternativas de K (LOPES, 2005).

As reservas de sais de K oficialmente aprovadas no Brasil são da ordem de 14,5 bilhões de toneladas de silvinita e carnalita, das quais 64,9% medidas, 24,6% indicadas e 10,5% inferidas, estas reservas estão localizadas nos estados de Sergipe e Amazonas (LOPES, 2005).

O Brasil sendo um dos principais produtores de alimentos no mundo, consome as maiores quantidades de fertilizantes, importando a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura. A dependência dessas importações além de desfavorecer a balança comercial brasileira, implica questões estratégicas como a necessidade de negociações com um grupo restrito de países fornecedores de um insumo essencial à produção agrícola (NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004). Consequentemente é necessário buscar alternativas econômicas aos fertilizantes tradicionais.

Visualizando possíveis cenários no Brasil, a partir dos anos de 1970, no período áureo da Revolução Verde, houve um convencimento de agricultores e técnicos ligados a agricultura, incluindo a pesquisa, o ensino e extensão, de que existia uma maneira mais sensata de resolver os problemas ligados a nutrição mineral e sanidade vegetal, como a manutenção da matéria orgânica, favorecendo o maior acúmulo de resíduos com cultivos consorciados, com adubação verde, rotação de cultura, controle biológico de insetos e doenças, entre outras alternativas (KHATOUNIAN, 2001).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentos - FAO, os últimos cinquenta anos foram marcados por uma simplificação dos sistemas agrícola, evidenciando desmatamento, aumento de monocultivos, consumo elevado de adubos solúveis e agrotóxicos; e perdas incalculáveis da biodiversidade (ALMEIDA e CORDEIRO, 2002).

Umas das consequências do uso indiscriminado de fertilizantes minerais solúveis na agricultura é que o excesso de adubo no solo prejudica o crescimento das raízes por duas razões, pela toxicidade e pela salinidade, ou seja, pela elevada pressão osmótica desenvolvida no solo (MALAVOLTA e ROMERO, 1975).

Para alcançar uma produção agrícola elevada é necessário em alguns casos o uso de grandes quantidades de adubos, e quanto ao destino desses adubos, parte é absorvida pelas plantas e a outra permanece no solo. No caso do KCl, o cloro pode acumular no solo, se apresentar um cátion disponível o Cl poderá se ligar e lixivar (PRIMAVESI, 1982).

Portanto, a adubação a base de cloreto de potássio pode ser desfavorável em solos ácidos e em clima quente, pois aumenta a pressão osmótica da solução do solo, dificultando a absorção de nutrientes. Nesses casos o mais indicado seria sulfato de potássio. O KCl também pode interferir na germinação das sementes quando em contato, especialmente de leguminosas, pois as sementes têm baixo teor de carboidratos, e quanto menor a reserva de carboidratos maior será o efeito do cloro que vem ligado ao potássio (MALAVOLTA e ROMERO, 1975).

Dos adubos potássicos mais utilizados destacam-se o cloreto e o sulfato de potássio, sendo o primeiro o mais consumido, representando cerca de 95% das fontes de potássio. O cloreto de potássio contém de 60 a 62% de potássio na forma de K₂O solúvel em água. A obtenção desse material ocorre por dois processos: a recristalização e a flotação. Na recristalização o minério de potássio impuro é dissolvido e em seguida os componentes são submetidos a uma cristalização a vácuo separando-os. Já no processo de flotação ocorre uma separação mecânica das partículas dos minerais integrantes do minério, fundamentando-se na variação da capacidade dos materiais sólidos de flutuarem em líquidos com massas específicas determinadas (MALAVOLTA e ROMERO, 1975).

2.2. Origem dos nutrientes e absorção pelas plantas

Os nutrientes do solo são oriundos principalmente dos minerais primários, da mineralização da matéria orgânica, dos fertilizantes adicionados no plantio, e aqueles da fixação biológica (PRIMAVESI, 1982).

Os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas são 16. O carbono, o hidrogênio e o oxigênio, as plantas retiram do gás carbônico (CO₂) e da água (H₂O). O nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre são requeridos pelas plantas em quantidades maiores, sendo denominados de macronutrientes. Os micronutrientes B, Cl, Co,

Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn e Na, também são essenciais em quantidades menores requeridas pelas plantas (MALAVOLTA et al, 2002).

A absorção desses nutrientes está ligado ao desenvolvimento do sistema radicular, pois, quanto mais extenso e profundo for, maior será o número de extremidades ativas com maior eficiência. Elas se desenvolvem melhor na camada mais próxima da superfície do solo e é fundamental que se mantenha a cobertura no solo para acúmulo de matéria orgânica para dentre outros fatores minimizarem a variação de temperatura durante o dia, ocasionando estresse na planta.

O transporte dos nutrientes na planta deve ser adequado tanto no xilema quanto no floema. As folhas além de realizarem a fotossíntese, são também capazes de absorver pequenas quantidades de nutrientes. Por outro lado, alguns elementos solúveis como o potássio podem ser perdidos das folhas em pequenas quantidades pela ação da água da chuva (MALAVOLTA e ROMERO, 1975).

Para um melhor desenvolvimento da raiz e parte aérea da planta é necessário manter e melhorar cada vez mais a fertilidade do solo com adoção de um manejo apropriado. O conhecimento desta fertilidade é mensurado com a quantidade de nutrientes disponíveis aos vegetais. Consequentemente a produtividade do solo resultará da capacidade da planta absorver e metabolizar os nutrientes para produzir substâncias vegetais resultando na colheita (PRIMAVESI, 1982).

A maioria dos solos brasileiros possui uma baixa quantidade de nutrientes para nutrição das plantas de ciclo curto. Além disso, a liberação de nutrientes a partir da estrutura dos minerais é um processo lento, dependente do processo de intemperização. De modo geral as plantas não conseguem absorver os nutrientes na forma estrutural que se encontram nos minerais (PRIMAVESI, 1982). Somente após o processo de intemperização são dissolvidos na água e disponibilizados às plantas pela solução do solo. Portanto, o importante para as plantas é o nutriente disponível e não o seu teor total no solo (ERNANI, 2008).

Os nutrientes minerais das plantas são retirados do solo e sintetizados em substâncias orgânicas para as plantas, e quando as plantas terminam seu ciclo ou após a colheita, os nutrientes são exportados com o produto, empobrecendo o solo. Além da exportação dos nutrientes pela colheita também ocorrem perdas por lixiviação, volatilização e erosão.

A disponibilidade dos nutrientes às plantas não depende apenas dos minerais constituintes, mas também das condições de absorção e metabolismo da planta, pois a água no solo contribui para atuar como solvente, enquanto o oxigênio para absorção ativa de minerais e condições para o desenvolvimento de raízes (PRIMAVESI, 1982).

2.3. Processo de intemperismo nas rochas

As rochas são constituídas por diferentes minerais, com variações quanto a força de ligação entre eles. Na constituição mineralógica das rochas são reconhecidos minerais essenciais, que se apresentam em maior abundância e os minerais acessórios que ocorrem em menor quantidade, podendo ou não estar presentes (MADUREIRA FILHO et al., 2008).

A litosfera é composta por três grupos de rochas, sendo as ígneas, sedimentares e metamórficas. As primeiras resultam do resfriamento do material fundido proveniente do interior da terra, denominado magma. As sedimentares originam-se da acumulação de detritos derivados da alteração de rochas. A ação do calor e da pressão pode causar modificações profundas nas rochas pré-existentes transformando-as em rochas metamórficas (BIGARELLA et al., 1994).

O globo terrestre apresenta de três formas de rochas ígneas no globo, do tipo ígnea intrusiva quando o resfriamento ocorre no interior da terra, ígnea extrusiva quando o magma consegue chegar à superfície e do tipo hipabissal quando o magma consolida próximo à superfície. Quanto maior for o tempo de resfriamento do magma, maior é a possibilidade de se formarem cristais grandes. Quando o resfriamento é rápido, não há tempo suficiente para ocorrer à união de vários elementos, e por isso formam-se cristais pequenos (TOLEDO et al., 2008).

As rochas ígneas possuem uma variedade composicional que é consequência da composição do magma. Essa composição química reflete nas espécies de minerais constituintes e na sua proporção, no caso dessas rochas o teor de sílica é um parâmetro para caracterizá-las, podendo ser subdivididas em ácidas o teor de sílica >65% (granitos e riolitos), intermediárias o teor de sílica entre 65 e 52% (sienitos), básicas o teor de sílica entre 52 e 45% (basaltos e gabros) e ultrabásicas o teor de sílica <45% (dunitos e piroxinitos). Assim, as rochas ácidas apresentam minerais claros como quartzo, feldspatos, moscovita, as intermediárias predominam os minerais félscicos de cores claras, e com altos teores de Si, Al, Na e K, representados principalmente pelos feldspatos e feldspatóides, além do quartzo (SZABÓ et al., 2008).

A denominação ácidas ou básica, embora não indiquem características de acidez ou alcalinidade das rochas, são normalmente um indicativo da sua riqueza química em minerais essenciais que contenham elementos básicos, como Ca, Mg, Na, K e Fe. Quanto maior for o conteúdo destes, maior é a possibilidade de se formarem solos quimicamente férteis.

O raciocínio para este entendimento é o seguinte: quanto maior for a proporção de sílica, expressa como SiO_2 , menor será a proporção dos demais óxidos, tais como K_2O , Fe_2O_3 , MgO , CaO , etc.; portanto, quanto mais sílica, mais ácida será a rocha, sua coloração será mais clara, devido a menor quantidade de minerais ricos em ferro, e também menor será sua riqueza em minerais que contêm Ca e Mg. Tais rochas, que podem ser exemplificadas pelo granito e pelo riolito, darão origem quase que invariavelmente a solos pobres. Já as rochas pobres em SiO_2 , como o basalto, o diabásio, o gabro, tem mais Fe e por isso são mais escuras, sendo igualmente mais ricas em minerais que contêm Ca e Mg.

Entre os minerais formadores mais característicos das rochas ígneas destacam-se o quartzo, feldspatos, micas, piroxênios, anfibólios e a olivina. Os feldspatos, feldspatóides e micas são os que apresentam na sua composição o elemento K, trata-se de silicatos de alumínio. O ortoclásio, a microclina e a sanidina são os feldspatos potássicos mais comuns no solo, o ortoclásio é encontrado nos granitos e sienitos. A Leucita (KAlSi_2O_6) e a Nefelina [$\text{KNa}_3(\text{AlSi}_2\text{O}_6)_4$] são os feldspatóides mais comuns como fonte de potássio, Leucita, que ocorre em rochas magmáticas extrusivas, tem maior conteúdo de K que a Nefelina. O K presente nos feldspatos e nos feldspatóides é de tipo estrutural, assim esses minerais necessitam ser dissolvidos por meio das reações naturais de intemperismo químico que ocorrem durante a formação e o desenvolvimento do solo (BIGARELLA et al, 1994).

Nos minerais aluminossilicatos também se encontra potássio na estrutura, entre os principais estão os filossilicatos e aos tectossilicatos, que podem conter entre 5 e 15% de K. Nos filossilicatos, os tetraedros se unem formando cadeias que se estendem infinitamente em duas direções, onde cada tetraedro apresenta três oxigênios compartilhados, a exemplo das micas, que tem a muscovita (mica branca) e a biotita e flogopita (micas escuras), estes são mais encontradas nas frações grosseiras dos solos (areia e silte). Nos tectossilicatos, todos os oxigênios de cada tetraedro são compartilhados com tetraedros vizinhos, formando uma rede tridimensional que se projeta em todas as direções, cujos exemplos principais são os minerais do grupo do quartzo e dos feldspatos (ERNANI e ALMEIDA, 2007).

As rochas ígneas que ocorrem em volume significativo na crosta são os granitos (rocha intrusiva) e o basalto (rocha extrusiva) (SZABÓ et al., 2008). Estas contêm as maiores concentrações de potássio, que variam entre 46 e 54 g kg^{-1} nos granitos e sienitos e somente 7 g kg^{-1} no basalto. Nas rochas sedimentares pelíticas (argilitos, siltitos e folhelhos), o conteúdo de K é de aproximadamente 30 g kg^{-1} , enquanto que nos calcários é de apenas 6 g kg^{-1} (ERNANI e ALMEIDA, 2007).

Já os sienitos formam corpos plutônicos de granulação média a grosseira e textura holocrystalina, possuem ocorrência geográfica bastante restrita. Estas são ricas em feldspatos. Feldspato é um termo genérico para um grupo de aluminossilicato contendo potássio, sódio e cálcio. Os principais minerais são albita ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), anortita ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) e ortoclásio/microclínio ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). Entre os tipos de sienitos alcalinos citam-se o nordmarkito e o pulaskito. O primeiro possui pequena quantidade de quartzo como mineral acessório, enquanto que o pulaskito apresenta ligeira deficiência de sílica, responsável pelo pequeno conteúdo de nefelina na rocha. A nefelina constitui os feldspatóides, que podem apresentar deficiência em sílica originando rochas insaturadas como nefelina-sienito caracterizado por ser um feldspato alcalino. Esta rocha contém alta percentagem de minerais ricos em sódio e potássio (SAMPAIO e FRANÇA, 2005).

Na medida em que as rochas se intemperizam formam-se no regolito os horizontes ou as camadas, paralelas a superfície do terreno, que possuem propriedades geradas por processos formadores do solo. Portanto o solo é um corpo natural que deriva de materiais de origem orgânica e inorgânica. São produtos das transformações que ocorrem na crosta terrestre da interação da atmosfera, da hidrosfera e biosfera, ou seja, são oriundos do intemperismo (PRADO, 1991).

O intemperismo é um conjunto de modificações nas propriedades físicas com a desagregação do material de origem, e nas propriedades químicas com a decomposição das rochas. Os fatores que influenciam a ação do intemperismo são basicamente cinco, o clima que expressa à variação de temperatura e distribuição das chuvas, o relevo com a drenagem de águas, a fauna e flora que fornece a matéria orgânica, o material de origem que apresenta diferença na resistência dos processos de alterações intempérica, e por fim o período de exposição das rochas (TOLEDO et al., 2008). Estes fatores do intemperismo atuam lentamente podendo formar minerais secundários, como argilas e óxidos de ferro, que influenciam na liberação de nutrientes às plantas.

Os fatores que influem diretamente na aceleração do intemperismo são a umidade, temperaturas elevadas e a diminuição da concentração dos nutrientes na solução do solo, aumentado pela disponibilização dos elementos que se encontram na forma estrutural e fornecendo as plantas (ERNANI, 2008).

Quando sucedido o processo de intemperismo e formação do solo, este tem a função de sustentar as plantas e fornecer nutrientes, água e ar para que se complete o seu ciclo vital. Os constituintes do solo são de natureza sólida, líquida e gasosa, sendo que a sólida se refere à

sua composição mineral e orgânica e o restante (líquido e gasoso) ocupa o espaço poroso entre as partículas que constituem a fase sólida (PRADO, 1991).

Portanto o perfil do solo é formado a partir do intemperismo e da pedogênese. Ele está estruturado verticalmente da rocha fresca na base, formando sobre ela o saprolito e o *solum*. Os materiais do perfil tornam-se diferenciados da rocha parental em função da composição, estrutura e texturas, o que tornam diferentes compartimentos morfo-climáticos do globo que leva a formação de perfis compostos de horizontes de distintas espessuras e composição variada (TOLEDO et al., 2008).

Os nutrientes que fazem parte do solo são originados principalmente da intemperização dos minerais primários com o rompimento da rede cristalina e da decomposição da matéria orgânica. Ambas as fontes de nutrientes são de processos lentos, contudo a decomposição da matéria orgânica é mais rápida que o intemperismo, disponibilizando os nutrientes de forma mais imediata. Mesmo assim, em muitas situações, a taxa de liberação não consegue suprir a demanda nutricional de espécies cultivadas. Em função disso é necessário adicionar fertilizantes ao solo, que podem ser de origem orgânica ou mineral (ERNANI, 2008).

A fração mineral pode ser constituída de partículas de tamanhos variáveis desde argilas ($<0,002\text{mm}$) até matações ($> 200\text{mm}$) (PRADO, 1991). A fração argila é a principal responsável pela troca iônica, por apresentar cargas positivas e negativas. A maioria dos solos na crosta terrestre apresenta maior número de cargas negativas, estas cargas que estão na superfície dos minerais de argila e da matéria orgânica são capazes de adsorver íons com cargas opostas (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+) que podem ser substituídos uns pelos outros (RESENDE et al., 1999).

Normalmente solos que são mais intemperizados apresentam argilas do tipo caulinita, que proporciona uma capacidade de troca de cátions muito reduzida, o que interfere na disponibilização de nutrientes aos vegetais (PRIMAVESI, 1982). Além disso, o armazenamento de água pode influenciar a mobilidade de íons na fase líquida, alterando disponibilidade de nutrientes para as raízes das plantas.

Entre os íons da fase mineral e da solução do solo existe um equilíbrio, pois o restabelecimento irá depender principalmente da capacidade do complexo de troca. Em solos de clima temperado o restabelecimento é intenso, já em solo tropicais o complexo de troca é reduzido.

Alguns nutrientes que as plantas necessitam para seu desenvolvimento se encontram na forma estrutural, ou seja, os elementos fazem parte da estrutura dos minerais primários e

secundários. No caso do elemento K ele se encontra nas entrecamadas das micas, nos feldspatos, o Ca e o Mg nos plagioclásios, piroxênios e nas olivinas, e o P nas apatitas (ERNANI, 2008).

Os nutrientes dos fertilizantes orgânicos podem ser constituídos por restos de plantas, subprodutos de animais e outros resíduos de origem biológica. Já os fertilizantes minerais são oriundos de rochas ricas em determinados nutrientes, obtidos a partir da moagem ou extração por tratamento químico, que resultará um produto com alta concentração e solubilidade dos nutrientes (PRIMAVESI, 1982).

Segundo Primavesi (1982) o solo “é um sistema dinâmico de complexas inter-relações recíprocas entre seus componentes físico, químico e biológico”, pois muitos minerais que se encontram em formas de cristais, formas alteradas como a combinação de argilas e matéria orgânica e precipitados não estão disponíveis as plantas.

2.4. O uso do pó de rocha e pesquisas realizadas

Os recursos minerais são qualificados como materiais rochosos com potencial de serem utilizados pelo homem, subsidiando o crescente desenvolvimento tecnológico. Desde os primórdios da civilização o homem já utilizava esses recursos, como lascas de quartzo para confecções de instrumentos rudimentares empregados na caça, em guerras, na agricultura com a fertilização dos solos, preparo de alimentos entre outros empregos (BETTENCOURT e MORESCHI, 2008).

A prática de utilizar corretivos nos solos foi intensificada a partir da Idade Média, com o fim do sistema feudal. Até então não havia interesse em adubar, pois as terras não pertenciam aos servos. A partir dos séculos XV e XVI a maioria das terras passaram a pertencer aos próprios agricultores que a fertilizavam com farinha de ossos, cinzas e calcários com o intuito de aumentar a produtividade.

Com o passar dos anos foram desenvolvidas práticas utilizando rochas moídas ou trituradas na agricultura, denominando-se rochagem. O pó de rocha pode ser constituído por uma ou mais rochas com o objetivo de recuperar solos empobrecidos, desequilibrados que perderam parte de seus nutrientes. A Rochagem é definida como uma prática agrícola de incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, sendo a calagem e a fosfatagem natural casos particulares desta prática (LEONARDOS, et al., 1976). 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.

Segundo informações sistematizadas por Julius Hensel, o pó de rocha já era amplamente utilizado na agricultura de diversos países da Europa no final do século XIX. As rochas eram empregadas como fontes naturais de cálcio, fósforo, potássio, e magnésio, além de uma série de micronutrientes indispensável à nutrição vegetal (PINHEIRO e BARRETO, 2004).

As rochas moídas fornecem algumas vantagens em relação aos fertilizantes minerais solúveis. Uma delas está relacionada à baixa solubilidade do pó, reduzindo a necessidade de se adubar com frequência, pois o seu efeito residual é prolongado. Além disso, os pós de rochas não acidificam e nem salinizam o solo, podem corrigir a acidez e evitam que a planta absorva mais do que o necessário (AMPARO, 2003).

No instante em que há incorporação da rocha no solo distintos fatores físicos, químicos e biológicos agem com maior ou menor intensidade na superfície dos minerais, quanto mais fragmentados por meio do processo físico possivelmente maior será a ação dos processos químicos, acelerando com o desenvolvimento dos vegetais e animais, que deles resultarão o gás carbônico, exsudados, ácidos orgânicos e outras substâncias (MALAVOLTA e ROMERO, 1975).

O processo citado anteriormente é baseado no intemperismo que ocorre naturalmente no solo. O intemperismo vem ser um processo complexo que compreende a desagregação física, decomposição química e biológica de rochas transformando os minerais de estrutura complexa em estruturas mais simples, nesse sentido o conhecimento da granulometria aliado a outras técnicas irá contribuir com a aceleração da disponibilização dos nutrientes (FORMOSO, 2006).

O Brasil vende e compra diversos produtos de origem mineral, demonstrando a importância da indústria extrativista no contexto econômico da transformação mineral que sucede na cadeia produtiva da matéria-prima mineral primária. Dentre várias indústrias destacam-se segmentos da metalúrgica, petroquímica, de cimentos e fertilizantes agrícolas. Quando se trata de alguns fertilizantes, existe uma produção insuficiente ou ausência de recursos minerais economicamente que implicam pesada dependência externa como os fertilizantes potássico e fosfatos (FAIRCHILD, 2008).

O emprego de fertilizantes e corretivos agrícolas pode contribuir diretamente com o aumento da produtividade das culturas, contudo deve-se fazer a aplicação de modo que não onere o custo e sejam evitados desperdícios. Dependendo das propriedades do adubo sua eficiência está ligada inteiramente com as características físicas (estado físico, granulometria, consistência, fluidez e densidade), de natureza química (número de nutrientes, forma química,

concentrações e compostos nocivos aos vegetais) e de natureza físico-químico (solubilidade, higroscopicidade, empedramento e índice salino) (LOPES e GUILHERME, 1992).

A fertilização feita a partir de rochas moídas é considerada uma técnica importante principalmente para a recuperação dos solos já degradados pelo uso intensivo da agricultura, restabelecendo parte dos solos os elementos minerais lixiviados (THEODORO e ROCHA, 2005).

Em sistemas de produção agroecológica ou orgânica não é permitido o uso de fertilizantes com alta solubilidade, daí a possibilidade de utilizarem-se rochas potássicas para atender estes sistemas, tornando-as importantes como fonte de insumo natural, principalmente em solos com teores baixos de potássio.

O emprego de pós de rochas na agricultura pode ser também uma alternativa de reciclar resíduos de mineração a nível local, principalmente para as unidades da agricultura familiar, potencializadas com uso de técnicas agrícolas de adubação verde, compostagem e na formação de pomares, cujas espécies possuem ciclo mais longo. Além de reciclar o resíduo das mineradoras irá contribuir na redução dos custos com a produção agrícola e os impactos negativos na balança comercial brasileira, principalmente quando se trata do uso de adubos minerais solúveis.

Theodoro e Leonards (2006) ressaltam que a técnica de rochagem é baseada no rejuvenescimento e conservação de solos, pela adição de pós de determinadas rochas que contêm fósforo, cálcio, magnésio, potássio e micronutrientes. Os resultados da pesquisa realizada pelos autores demonstram que o uso da rochagem apresenta vantagens econômicas, ambientais e produtivas significativas em culturas de milho, arroz, mandioca, cana-de-açúcar em comparação à adubação convencional.

Algumas tentativas têm sido acompanhadas no sentido de utilizar rochas moídas no solo, e técnicas que tornem mais eficiente a solubilização dos nutrientes. Conforme pesquisas realizadas pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e EMBRAPA com rochas ígneas, estes identificaram e caracterizaram rochas com potencial fertilizante.

Neste levantamento foram identificadas algumas rochas distribuídas no território nacional, destacando-se uma biotita xisto e um flogopítito, encontrados em rejeitos de mineração de esmeralda nas regiões de Nova Era (MG) e Campo Formoso (BA); uma brecha alcalina composta por flogopita, zeólita e feldspatóides, oriunda de Rio Verde (GO); um carbonatito, composto por carbonatos e flogopita, da região de Catalão (GO); e uma ultramáfica alcalina, rocha ígnea composta por minerais ferromagnesianos (olivina-melilitito, ou flogopítito), piroxênio, feldspato, carbonato e flogopita, extraída no município de Lages

(SC). De modo geral as rochas que contêm maiores quantidades de biotita e flogopita seriam mais promissoras como fonte de potássio, uma vez que esses dois minerais apresentam maior solubilidade do que os feldspatos (RESENDE et al., 2006).

Depois de realizado o levantamento e testes do material, a perspectiva é que o modelo de exploração seja similar ao do calcário, com vários pontos espalhados pelo território nacional. A viabilidade da utilização dessas rochas seria de jazidas de pequeno e médio porte nas principais áreas onde se desenvolvem atividades agropecuárias, facilitando a extração, transporte e distribuição, para diminuir os custos e permitir maior competitividade em relação à importação do cloreto de potássio e outros adubos.

Trabalhos realizados com rochas contendo quantidades razoáveis de flogopita ou biotita constituem fontes alternativas de K. Algumas dessas rochas são os kamafugitos, flogopítitos, biotítitos e kimberlitos (RESENDE et al., 2006). As micas também apresentam grande potencial para fornecimento de K devido ao seu considerável teor de K_2O e ocorrência abundante (NASCIMENTO e LOUREIRO, 2004).

Um experimento realizado por Barbosa Filho et al. (2006) evidenciou que os fatores de liberação de K das rochas para o solo estão relacionados ao tipo de rochas silicáticas e o tempo de contato delas com solo. Quanto à granulometria, as frações de 0,355 e 0,25 mm foram as que mais disponibilizaram o K trocável, e a liberação máxima de K trocável ocorreu até 90 dias de incubação para todas as rochas silicáticas. Em outro estudo, os pós de rochas de brecha alcalina, biotita xisto e ultramáfica alcalina contribuíram significativamente no cultivo de soja e milho em casa de vegetação já no primeiro cultivo em Latossolo argiloso de cerrado, permanecendo ainda considerável efeito residual do nutriente para o cultivo subsequente (RESENDE et al., 2006).

A utilização de rochas silicáticas de origem vulcânica de natureza ultramáfica e ricas em potássio em experimento realizado por Theodoro et al. (2006) verificou a partir da primeira safra resultados promissores, confirmando as potencialidades econômica, produtiva e ambiental da técnica da rochagem. Durante cinco anos foi feito um acompanhamento da produção e características da fertilidade dos solos, ocorrendo incremento no pH, Ca, Mg, P e K, especialmente na segunda safra. Os resultados ainda demonstraram que os teores de nutrientes no solo foram superiores daqueles encontrados antes da aplicação do pó de rocha.

Pesquisas estão sendo realizadas também com diversos grupos de microrganismos, como bactérias, fungos e actinomicetos, evidenciando sua contribuição no processo de biossolubilização de minerais silicatados que contêm potássio retido.

No entanto, a disponibilização dos elementos de algumas rochas para o solo requer longos períodos de tempo. Em função disso alguns experimentos estão adotando técnicas que aceleram o processo de liberação desses nutrientes, como a existência de microrganismos capazes de promover a solubilização das rochas como o fungo *Aspergillus niger* que mostrou eficiente na solubilização de rochas fosfáticas, graças à produção de ácidos orgânicos (ASSAD et al., 2006), e bactérias oxidantes do enxofre do gênero *Thiobacillus* que apontam como promissora na solubilização de K e P de forma similar aos fertilizantes minerais solúveis (LIMA et al., 2007)

Este tipo de biossolubilização de rochas irá proporcionar a produção de fertilizantes diferenciados e menos impactantes na produção agrícola. Conforme os estudos em andamento poderão ter microorganismos específicos e adaptados para os ecossistemas tropicais, oferecendo nutrientes às plantas com baixo custo econômico e ambiental.

Algumas rochas apresentam baixa solubilidade para utilizar diretamente no solo, nesse sentido estão sendo desenvolvidos processos de compostagem e biossolubilização de rochas, possibilitando a maximização da liberação de K da rede cristalina das rochas, melhorando a absorção de nutrientes pelas plantas.

Em função das diferentes características mineralógicas e variações na granulometria, a utilização desses materiais também pode ser viabilizada pelas práticas de compostagem, pois durante o processo de compostagem o componente microbiano promove alterações termodinâmicas que atuam na decomposição e mineralização dos substratos, cujas fases críticas ocorrem no início do processo através dos microrganismos termofílicos.

O desenvolvimento microbiano ao longo da compostagem pode incrementar a diversidade de microrganismos influenciada pelo tipo, quantidade, qualidade, superfície específica e poder calorífico dos substratos utilizados, resultando uma diversidade de organismos, da densidade da população e dos efeitos de perturbações e estresses ambientais causados nos materiais (KENNEDY, 1999).

2.5. Potássio no solo e na planta

O potássio é depois do nitrogênio o elemento mais exigido pela maioria das plantas cultivadas. Diferente do nitrogênio que pode ser disponibilizado pelo processo de fixação biológica por bactérias, para o potássio não existe fontes renováveis, de modo que sua disponibilização depende da reserva dos solos ou dos fertilizantes minerais.

O K atua na síntese de proteínas, de carboidratos, e da adenosina trifosfato (ATP), na regulação osmótica, na manutenção de água na planta através do controle da abertura e fechamento dos estômatos (ERNANI e ALMEIDA, 2007). O elemento é essencial também para a fosforilação oxidativa, atua em algumas enzimas do tipo glicolíticas que participam do desdobramento dos açúcares na respiração e também são responsáveis pela síntese do amido e das proteínas (PRIMAVESI, 1982). Ainda o potássio tem um dos papéis fundamentais em regular a absorção de água, equilibrar o efeito do fósforo e nitrogênio, dá maior resistência aos colmos e talos contra a entrada de organismos invasores de certas doenças após as chuvas pesadas (MALAVOLTA, 1976).

A maior concentração de potássio é encontrada nos tecidos meristemáticos de grande atividade e normalmente a dominância apical desaparece, ou diminui muito em algumas plantas devido à deficiência do potássio (MALAVOLTA e ROMERO, 1975).

A absorção de determinados nutrientes é influenciada pelo pH do solo que ocorre na faixa que vai de 4,0 a 8,0 (MALAVOLTA e ROMERO, 1975). No entanto, para solos de tamponamento alto a quantidade de calcário requerida para elevar o pH do solo a 6,0 é elevada, devido ao alto teor de matéria orgânica, Al trocável e acidez potencial de muitos solos.

Portanto, a elevação do pH em H_2O para 5,2 exigiria uma menor quantidade de calcário para solos tamponados e é capaz de neutralizar ou reduzir os efeitos tóxicos do Al e do Mn, melhorando a fertilidade química, principalmente por promover aumento nos teores de Ca e Mg (ALMEIDA et al., 1999). Quando o pH do solo é baixo existe a toxidez que restringe o desenvolvimento do sistema radicular implicando em menor absorção de K, pois este nutriente se desloca até as raízes pelo mecanismo de difusão, semelhante o que ocorre com o P (ERNANI, 2008).

A elevação do pH aumenta o número de cargas elétricas negativas do solo fazendo com que o K da solução migre para as cargas criadas, caso a concentração de K esteja baixa, a elevação do pH pode diminuir a disponibilização desse nutriente as plantas. O fator da capacidade de manter estas cargas nas partículas do solo é denominado de capacidade de troca de cátions, então quanto mais elevado a CTC maior será a quantidade de cátions que estarão adsorvidos e posteriormente através de reações de troca iônica será cedido aos vegetais (MALAVOLTA, 1976).

A calagem além de aumentar a produtividade das culturas pela maior adsorção de potássio torna o elemento menos sujeito à perda por lixiviação. O aumento da eficiência dos fertilizantes e corretivos agrícolas e o entendimento do comportamento desses no sistema

solo-planta-atmosfera tem o objetivo principal de maximizar o aproveitamento desses insumos (LOPES e GUILHERME, 1992).

Para que os nutrientes fornecidos ao solo não sejam perdidos principalmente pela lixiviação, é recomendado conhecer a textura do solo que implicará no manejo da adubação e correção do solo, pois pode haver necessidade de parcelamento da adubação nitrogenada e potássica (LOPES e GUILHERME, 1992). Estudo realizado por Ernani et al (2003) verificou que a lixiviação de potássio diminuiu em mais 50% quando se realizou a adição de calcário dolomítico tanto em Cambissolo como em Latossolo, em função da diminuição da concentração desse cátion na solução dos solos.

Após absorvido, o potássio é transportado pelo xilema passando rapidamente pelo floema de modo que os dois sistemas de vasos apresentam quase a mesma concentração desse elemento.

O potássio do solo depende da maneira como se liga aos componentes sólidos, resultando em várias formas de K no solo. Ele se encontra na maior parte nas estruturas dos minerais primários e secundários (K estrutural) com aproximadamente 98%, liberados da estrutura dos minerais para a solução do solo a partir do intemperismo, no entanto é um processo lento. O potássio total é representado pelo somatório de todas as formas de K existentes, varia de solo para solo em função do material de origem do solo, da composição mineralógica e do grau de intemperismo. O K não trocável inclui parte do K estrutural, e é considerado como sendo a quantidade extraída do solo por uma solução de ácido nítrico fervente. O K fixado é aquele que se encontra neutralizando as cargas negativas existentes no interior das entrecamadas de alguns minerais do tipo 2:1, como a illita e a vermiculita.

Já o potássio trocável é a fonte de maior interesse para a nutrição vegetal, se encontra ligada às cargas negativas existentes nas superfícies dos sólidos orgânicos e inorgânicos, como a matéria orgânica, os minerais de argila, óxidos e hidróxidos do solo. Apesar da matéria orgânica apresentar quantidades de K extremamente pequenas, pois se restringe ao K presente na fração orgânica viva. Cada uma dessas formas mantém um equilíbrio específico com a solução do solo, por isso, elas afetam a disponibilidade de K aos vegetais com diferentes magnitudes e só uma pequena fração se encontra em formas mais prontamente disponíveis às plantas (ERNANI e ALMEIDA, 2007).

A exigência nutricional do elemento varia de acordo com cada planta, no caso das leguminosas removem do solo quantidades de nitrogênio que são o dobro de K, e cerca de 10 vezes mais que de fósforo (MALAVOLTA, 1976).

A absorção dos elementos no sistema solo planta pode ser representada pela seguinte sequência: íon (fase sólida) \leftrightarrow íon (solução) \leftrightarrow íon (raiz) \leftrightarrow íon (parte aérea), podendo ocorrer à passagem direta do íon da fase sólida para raiz. As setas da equação indicam reações em ambos os sentidos, cuja intensidade depende de constantes de equilíbrio, que variam de nutriente para nutriente, compostos, temperatura, pH e outros fatores. O equilíbrio raramente é alcançado, normalmente o sentido do nutriente predomina do solo para parte área.

A passagem do íon da fase sólida para a interface solução/raiz pode ocorrer por três processos simultâneos, pela interceptação da raiz, fluxo de massa e difusão. No primeiro caso, à medida que as raízes crescem entram em contato com as partículas do solo, os íons podem ser adsorvidos. No fluxo de massa a solução do solo carrega os íons para a raiz. Já na difusão o nutriente entra em contato com a raiz ao passar de uma região de maior concentração para uma de menor concentração próxima da raiz, consistindo em um movimento lento dos nutrientes em distâncias curtas perto da raiz (MALAVOLTA, 1976).

O fornecimento adequado de potássio é responsável pela resistência das plantas ao frio, seca e contra as doenças e por aumentar a respiração. Em períodos úmidos e quentes a absorção de potássio torna-se alta, em função da melhor difusão do elemento no solo (PRIMAVESI, 1982).

Em regiões onde as chuvas são constantes, há redução na absorção de potássio em função da lixiviação. Já as temperaturas baixas reduzem a absorção de potássio pela planta. Nos solos brasileiros o problema se agrava pelos solos serem pobres em minerais contendo K, apresentando baixa capacidade de retenção de cátions, principalmente daqueles monovalentes, favorecendo a lixiviação do K oriundo dos adubos para fora da zona de crescimento radicular (VILELA et al., 2004).

De modo geral nos solos com baixa capacidade de troca de cátions como os arenosos, recomenda-se parcelamento das doses de K quando possível, pois diminui as perdas por lixiviação (CFS, 2004).

As fontes de potássio podem variar conforme os minerais do material de origem do solo pela intemperização, do ambiente e do estádio de evolução alcançado. Do ponto de vista de nutrição da planta, o equilíbrio mais importante é entre o K trocável e o K na solução, as quais são as fontes imediatas de K para as plantas. Com exaustão dessas formas, o K não-trocável, que representa a reserva a longo prazo, é lentamente liberado para o solo, podendo então ser absorvido pela planta, retido na CTC, fixado, erodido, lixiviado, biociclado, assim sendo necessário adotar um programa de adubação para as culturas (CURI et al., 2005).

Como a maioria dos solos brasileiros são bastante intemperizados e lixiviados, ocorre o predomínio de caulinita, gibbsita, goethita e hematita na fração argila em diferentes proporções, e com pequenas quantidades de minerais fornecedores de K nas frações mais grosseiras (areia e silte), as reservas de K-trocável tendem a ser diminutas, caracterizando ambientes com baixas reservas de médio e longo prazo (TROEH e THOMPSON, 2007).

O potássio pode ser encontrado em vários minerais, entretanto, a maioria dos minerais de potássio apresenta baixa solubilidade, em função da reatividade das superfícies dos argilominerais na retenção e a disponibilidade de K. Os minerais que oferecem certo valor como matéria-prima são os seguintes: silvita (KCl), silvinita (mistura de KCl e NaCl), carnalita (KCl.MgCl₂.6H₂O), cainita (MgSO₄KCl.3H₂O), langbeinita (K₂SO₄.2MgSO₄), nitro (KNO₃) e polihalita (K₂SO₄.MgSO₄.2CaSO₄.2H₂O (MALAVOLTA e ROMERO, 1975).

Os principais minerais ligados à presença e à disponibilidade de K nos solos brasileiros são feldspatos potássicos, micas, vermiculitas e esmectitas (CURI et al., 2005). Os feldspatos potássicos incluem uma série de minerais (ortoclásio, microclina e sanidina), sendo o ortoclásio o mineral mais comum, principalmente nas rochas magmáticas intrusivas, como o granito. São minerais primários formados a altas temperaturas em rochas ígneas e metamórficas. O K presente dos feldspatos não é prontamente disponível para as plantas, pois está fortemente ligado às moléculas de oxigênio dos tetraedros de SiO₄ e AlO₄, compensado a deficiência de cargas da estrutura mineral. Assim a liberação dos íons K requer a dissolução em uma reação de intemperismo ácido em pH < 5,0 (reação simplificada: KAlSi₃O₈ + H⁺ → HAlSi₃O₈ + K⁺).

Apesar de muitos solos como Latossolos e Argissolos conterem feldspatos em estádio avançado de intemperismo, o suprimento de K para as plantas é bastante lento, constituindo reservas a longo prazo.

As micas (biotita e moscovita) também são minerais primários abundantes nas rochas de granitos, xistos, filitos, gnaisses e outros, que liberam potássio com certa facilidade quando moídas. Sua estrutura consiste no empilhamento de camadas 2:1 formadas por duas lâminas tetraedrais (SiO₄,AlO₄) envolvendo uma lâmina octaedral (Al, Mg,Fe), o K ocupa o espaço entrecamadas e está fortemente ligado às moléculas de oxigênio tetraedrais. Esta forte ligação do K impede o afastamento das camadas e expansão da mica, significando que o K não está prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas. Já os argilominérias do tipo 1:1 como a caulinita podem apresentar apenas íons K adsorvidos na superfície externa, ou seja, prontamente disponível para as plantas.

A vermiculita é um mineral secundário que pode ser encontrado nas rochas ígneas, possui uma estrutura básica 2:1 similar as micas, apresentando capacidade de expansão. A menor carga líquida negativa da camada e a presença de Fe^{3+} é o que diferencia as vermiculitas das micas, com os espaços entrecamadas ocupados por cátions (Mg, Ca, Na, K). Já as esmectitas possuem uma estrutura 2:1, diferenciando pela menor densidade de carga nas camadas. O Fe^{3+} octaedral pode ser reduzido a Fe^{2+} , aumentando a carga da camada das esmectitas, favorecendo a fixação do K. As esmectitas são argilominerais característicos de Cambissolos, Gleissolos entre outros (CURI et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material testado

3.1.1. Solo

Para realização deste experimento foram coletadas amostras de dois solos em áreas com características físicas e químicas distintas, na camada de 0-0,2 m a partir da superfície do solo. Os solos foram caracterizados como Cambissolo Húmico Alumínico léptico, que apresenta em média, 443 g kg^{-1} de argila, 402 g kg^{-1} de silte, 155 g kg^{-1} de areia, pH em água 5,2, Al trocável $0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, Ca + Mg trocáveis $10,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, P extraível $8,4 \text{ mg dm}^{-3}$, K trocável 78 mg kg^{-1} e MO 33 g kg^{-1} (BERTOL et al., 2004; ALMEIDA et al., 2005). E um Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico com 380 g kg^{-1} de argila, 110 g kg^{-1} de silte, 510 g kg^{-1} de areia, pH em água 4,2, Al $5,02 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, Ca $1,53 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, K 62 mg kg^{-1} , H+Al $11,78 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, C 2,7% (BRIGHENTI et al., 2009). Os solos foram coletados respectivamente, em Lages e Blumenau, no Estado de Santa Catarina.

O Cambissolo Húmico foi oriundo de uma área previamente calcariada que está há mais de cinco anos sem cultivo, prevalecendo cobertura de gramíneas, e o Argissolo Vermelho-Amarelo foi coletado de uma área de vegetação natural.

As amostras de solo foram colocadas para secar ao ar e depois peneiradas em malha de 5mm, transferidas para sacos plásticos com seis quilos de solo. Os solos foram corrigidos a pH 5,2 com calcário dolomítico e mantidos a 80% da capacidade da capacidade de campo. Utilizou-se as seguintes quantidades de calcário, $7,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o Cambissolo Húmico e $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ Argissolo Vermelho-Amarelo, conforme Almeida et al. (1999).

3.1.2. Rocha

As rochas avaliadas como fontes de K foram flogopitito, granito e sienito. O flogopitito (Figura 1a) foi coletado em Lages-SC, apresenta uma mineralogia complexa e possivelmente possui em sua composição além da flogopita, minerais como olivina, carbonatos e piroxênios, que lhe confere uma taxa de solubilização mais rápida (RESENDE et al., 2006). A grande variação no conteúdo de piroxênios é responsável por uma expressiva variação na tonalidade das rochas, variando de cinza clara a preto acinzentado.

O granito foi oriundo do Vale do Itajaí, município de Ibirama-SC, trata-se de um granito feldspático potássico (Figura 1b), composto de alta proporção de ortoclásio mesopertítico e plagioclásio, relacionado à Suíte Intrusiva Subida (DNPM, 1987).

O sienito (Figura 1c) é caracterizado como nefelina sienito porfirítico, são rochas de alcalinidade moderada caracterizando por apresentarem uma matriz fanerítica, com destaque especial para fenocristais de olivina, feldspato e flogopita.

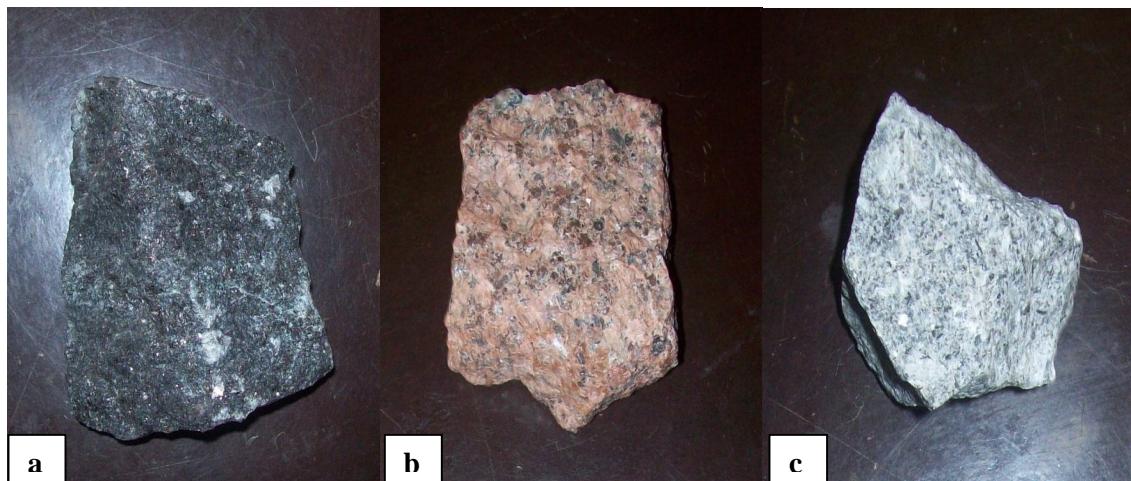


Figura 1: Rochas utilizadas como fontes de K: (a) Flogopitito (b) Granito (c) Sienito.

Amostras das rochas de granito e flogopitito foram encaminhadas para o laboratório Actlabs na província de Ontário no Canadá, para realizar análise dos teores totais dos elementos químicos pelo procedimento de Fusão com Peróxido de Sódio e quantificação por ICP. O teor total de K da rocha sienito foi inferido com base no Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina (DNPM, 1987), conforme Tabela 1.

Tabela 1: Composição química total das rochas utilizadas como fontes nos cultivos (%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Flogopitito	33,96	7,51	12,82	0,22	18,44	13,35	1,48	3,42	1,41
Granito	69,84	14,21	2,81	0,04	0,49	1,81	4,01	3,99	0,14
Sienito*								4,7*	

*Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina (DNPM, 1987).

Os materiais utilizados foram coletados em blocos irregulares, quebrados e moídos em moinho de martelo, posteriormente peneirados e padronizados para que apresentassem diâmetro inferior a 1,125mm.

A granulometria do pó de rocha foi conhecida a partir de amostras de 100g realizadas com três repetições (Tabela 2). Utilizou-se um jogo de peneiras de 1,00, 0,5, 0,25, 0,125 e 0,053 mm em um agitador horizontal, durante três minutos em ciclo máximo, o material retido em cada peneira foi pesado.

Tabela 2: Composição granulométrica em percentual do pó de flogopítito, granito e sienito.

Rochas	Peneiras (mm)					
	1,00	0,5	0,25	0,125	0,053	<0,053
Flogopítito	4,8	27,2	22,3	19,9	17,5	8,0
Granito	4,1	30,0	28,4	19,9	11,2	6,1
Sienito	3,8	32,4	26,4	17,2	11,8	8,3

Os materiais das rochas foram misturados manualmente e individualmente ao solo em sacos plásticos. A incubação dos pós de rocha e do calcário nos solos foi realizada por um período de 180 dias, ao término do qual o solo foi transferido para os vasos de 8L, homogeneizado a cada cultivo e a umidade foi mantida constante por meio de pesagem dos vasos. Depois de realizada a incubação, o feijão foi semeado em março de 2009, em sucessão trigo e trigo mourisco, em cada vaso foram deixados dois, três e cinco plantas respectivamente.

3.1.2. Culturas

A primeira planta cultivada no experimento foi a cultivar do feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR88 Uirapuru, cultivar do grupo preto, de ampla adaptação, apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte ereto, guias curtas, com possibilidade de colheita manual e mecânica. O tempo médio até o florescimento é de 43 dias, o ciclo médio é de 86 dias da emergência a colheita.

A planta seguinte cultivada foi a cultivar do trigo (*Triticum aestivum*) Fundacep Cristalino que se destaca pela alta força de glúten e pela absorção de água de sua farinha. Trigo da classe melhorador é recomendado para os estados do RS, SC, PR e MS. Possui um ciclo precoce de 140 dias, florescimento até 86 dias e estatura média da planta de 90 cm, apresentando um hábito de crescimento de semi-ereto.

E por último foi cultivado o trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) conhecido também como mourisco, trigo sarraceno, trigo mouro ou trigo preto é uma planta dicotiledônia. A cultivar foi a IPR-92 que está registrada no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares do Ministério da Agricultura desde o ano 2000. O trigo mourisco é uma planta de

múltiplos usos, apresenta bom desenvolvimento em solos pobres, com grande tolerância a acidez e capacidade de utilização de formas de fósforo e potássio pouco solúveis. Pode ser utilizado como adubo verde para a regeneração de solos esgotados. O trigo mourisco consegue bom desenvolvimento em solos pobres, possuindo um período de floração de aproximadamente 40 dias.

O manejo fitossanitário foi utilizado apenas no feijão para controle de fungos com o produto Score a 25% da dose (ingrediente ativo Difeconazole) e para o controle de insetos e ácaros o produto Oberan a 25% da dose (ingrediente ativo Espiromesifeno).

3.2. Condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC, no município de Lages.

3.2.1. Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo dois solos x cinco níveis e formas de K, com quatro repetições por tratamento, os tratamentos empregados foram os seguintes:

- ✓ T1: sem adubação e pH 5,2
- ✓ T2: 14,7 Mg ha⁻¹ flogopítito + NP; pH 5,2;
- ✓ T3: 12,6 Mg ha⁻¹ granito + NP; pH 5,2;
- ✓ T4: 11,1 Mg ha⁻¹ sienito + NP; pH 5,2;
- ✓ T5: NPK; pH 5,2;

Os pós das rochas de flogopítito, granito e sienito foram acrescentados em quantidades equivalentes a 500 kg/ha de K₂O com base no teor total de K das rochas de 3,42; 3,99 e 4,7%. Após a incubação do solo foi realizada adubação única de base pré-plantio com 100 mg/kg de K₂O na forma solúvel (KCl) com exceção dos tratamentos com pó de rocha e testemunha, e 100 mg/kg de N (uréia) e 100 mg/kg de P₂O₅ (STF) em todos tratamentos, com exceção da testemunha.

3.3. Análise do tecido vegetal e solo

Após o cultivo das plantas foram coletadas amostras de solos homogeneizadas de cada balde, realizando a determinação do pH em água. O K do solo foi extraído com solução duplo ácido (Mehlich-1), após cada cultivo, e por e resina de troca iônica somente após o cultivo de feijão.

O material vegetal da parte aérea foi colhido em pleno florescimento, correspondendo a 45 dias para o feijão, 88 dias para o trigo e 43 dias para o trigo mourisco. O material foi acondicionado em sacos de papel e mantido em estufa com circulação forçada de ar à 60°C até alcançar massa constante, para determinação da produção de matéria seca da parte aérea (MSPA).

Os teores de K foram quantificados da parte aérea do feijão, do trigo e trigo mourisco, após digestão com ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado mais peróxido de hidrogênio (H_2O_2) concentrado, em bloco digestor a 375°C. Em ambos os procedimentos de análise de solo e planta, após diluição do extrato foram determinados os teores de potássio (K) por fotometria de chama, conforme descrito em Tedesco et al. (1985).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias de pelo Teste de Tukey ($P>0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teores de potássio e pH dos solos

Os teores de potássio variaram com os tratamentos, especialmente no primeiro cultivo (Tabela 3). No Argissolo, o teor foi influenciado pelas fontes de potássio no solo, não ocorrendo diferença entre o flogopítito e a fonte solúvel, independentemente do extrator de potássio utilizado na análise de solo. As demais fontes (granito e sienito) foram inferiores ao tratamento com a fonte solúvel, mas não diferiram da testemunha. Para o Cambissolo, somente o tratamento com pó de sienito diferiu dos demais, sendo inferior aos demais tratamentos, mas unicamente no primeiro cultivo.

Após o primeiro cultivo (feijão) o teor foi maior no tratamento com adubo mineral solúvel em relação aos pós de granito e sienito. Resultado semelhante foi obtido por FERREIRA (2006) quando cultivou feijão em um Cambissolo Húmico a campo, verificou também maiores teores de potássio nos tratamentos onde foi aplicado o adubo solúvel em relação à fonte granito, atribuindo este efeito a maior disponibilidade do elemento no adubo. Também SIVEROL e FILHO (2007) evidenciaram maior teor de potássio quando se utilizou fontes solúveis no cultivo de milho em Latossolo Vermelho-Amarelo em casa de vegetação, tiveram melhor desempenho em comparação com os outros ensaios feitos com pó de rocha granito piroxenito.

Tabela 3: Teores de K trocável extraídos por solução Mehlich 1 e resina trocadora de ânions (RTA) em dois solos após cultivo sucessivo de plantas, com aplicação de potássio na forma de pós de rochas, comparativamente à adubação KCl e solo não adubado.

Tratamentos	Feijão			Trigo	Trigo mourisco
	Extrator Mehlich 1	Extrator RTA	Extrator Mehlich 1		
Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico					
KCl	100 a	79 a	58 a	25 ab	
Flogopítito	73 ab	67 ab	64 a	42 a	
Granito	59 b	61 b	51 a	24 ab	
Sienito	43 b	62 b	45 a	32 ab	
Testemunha	60 b	55 b	52 a	20 b	
Cambissolo Húmico Alumínico léptico					
KCl	173 a	86 a	155 a	45 ab	
Flogopítito	164 a	82 ab	119 a	59 a	
Granito	142 ab	77 abc	131 a	27 b	
Sienito	114 b	71 c	93 a	40 ab	
Testemunha	162 a	74 bc	144 a	52 a	

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5%.

No argissolo as fontes naturais granito e sienito não diferiram do tratamento testemunha, sem aplicação de potássio, o que evidencia a baixa velocidade de liberação desse nutriente a partir dos pós de rocha. Entretanto, Erhart (2009) constatou em experimento a campo com videira Cabernet Sauvignon, em Neossolo Litólico Húmico, que a fonte granito resultou em teores superiores no fornecimento de potássio encontrado antes da implantação do experimento.

O comportamento do flogopítito demonstrou apresentar teor de potássio semelhante à testemunha e ao tratamento com KCl, pode estar relacionado com a granulometria mais fina obtida nesta rocha, sendo observada maior quantidade de material na fração $<0,053$ mm (Tabela 2). Resende et al. (2006a) citam que a moagem é um fator que necessita ser avaliado no processamento industrial, visto que cada mineral tem uma granulometria própria após a moagem, que é caracterizada pela probabilidade de quebra dos minerais. Dessa forma, a etapa de moagem deve ser bem estudada antes do dimensionamento e escolha do equipamento e muito bem controlada na operação industrial, visando obter um material fino e mais reativo. Além de apresentar uma granulometria mais fina, consequentemente maior contato da área de superfície específica durante a incubação de 180 dias, o flogopítito apresenta em sua composição os minerais flogopita, biotita e feldspatóides, que são mais facilmente intemperizados. Entre as micas, as de coloração escura, como a biotita e a flogopita, são mais intemperizáveis do que as brancas, como a muscovita. Atribuindo essa diferença ao maior conteúdo de ferro presente na biotita, o qual, sendo mais facilmente oxidado, tornaria essas micas mais instáveis (ERNANI e ALMEIDA, 2007).

A maior liberação de potássio pelo flogopítito é altamente desejável para culturas anuais, que têm ciclo curto e necessitam rápida absorção de nutrientes para seu desenvolvimento. Resende et al. (2006) testou as rochas moídas biotita xisto, brecha alcalina e ultrámafica alcalina, no cultivo de milho, soja e milheto em casa de vegetação em Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, evidenciando a pronta liberação de parte do K das rochas logo no primeiro cultivo. Já Barbosa Filho et al. (2006b) observaram maior teor de K liberado pelo flogopítito em relação as demais fontes naturais, quando se avaliou pós de rochas silicatadas como fonte de potássio incubados durante 180 dias, em dois Latossolos com variação quanto à textura, os autores mencionam que a liberação máxima de K trocável ocorreu até os 90 dias de incubação. Resultado diferente foi obtido por Silva et al. (2009) onde os teores de potássio foram ainda mais baixos que a testemunha, quando utilizou resíduo de mineração da rocha flogopítito incubados por 30 dias, com o cultivo de soja, milho e melão

em Argissolo Acinzentado em casa de vegetação. Para outras rochas como o basalto, o período de incubação pode ser maior, Escosteguy et al. (1998) incubou um Latossolo Vermelho e um Podzólico Vermelho-Amarelo com doses de 0 a 100 t ha⁻¹ de pó de basalto em um período de 300 dias, verificaram aumentos nos teores de potássio no período de incubação.

Embora não tenha sido feita análise do fator época, os teores de potássio diminuíram ao longo dos cultivos nos dois solos evidenciando a contribuição da absorção deste elemento pelas plantas especialmente pelo feijoeiro, sendo o potássio o nutriente mais absorvido pela cultura depois do nitrogênio (VIEIRA e VIEIRA, 2005), e a maior absorção também pode estar relacionada com a restrição do volume de solo cultivado as plantas.

Após o cultivo do trigo não se observou diferença dos teores de potássio das fontes e testemunha, evidenciando a absorção pelas plantas nos dois primeiros cultivos, reduzindo a disponibilidade deste nutriente no solo. No cultivo do trigo mourisco no Argissolo as fontes não diferiram, somente o flogopítito diferiu da testemunha apresentando maior efeito residual. Esta rocha, em função da facilidade de intemperismo, pode disponibilizar o potássio para a planta por um período maior em relação às outras rochas.

O Cambissolo Húmico apresentou maior teor de potássio trocável principalmente no primeiro cultivo com teores alto à suficiente e no segundo cultivo suficiente a médio (Tabela 3) (CQFS – RS/SC, 2004), evidenciando também um teor mais elevado no tratamento testemunha do que no perfil de referência (ALMEIDA et al., 2005), o que sugere que o solo utilizado no experimento tenha sido previamente adubado. Neste solo, os maiores teores de potássio foram obtidos com o extrator Mehlich 1 em relação à resina trocadora de ânions. Esta característica é em função do extrator ácido ser mais forte, podendo deslocar também o potássio não trocável, no entanto seguiu a mesma tendência quanto aos teores quando se utilizou a RTA. Motta et al. (1993) mencionam que grandes acréscimos são dependentes do método de extração utilizado, onde os de composição ácida extraem quantidades superiores as das resinas trocadoras de íons, sendo um indicativo de que ocorre maior ataque ácido sobre os minerais.

Em relação aos menores teores de potássio que foram obtidos pela resina de troca iônica no Cambissolo Húmico, se justifica pelo fato de ser um método sensível aos processos que controlam a disponibilidade dos nutrientes na superfície das raízes, resultando em valores mais precisos. A resina de troca iônica permite que os resultados representem as características do solo que regulam o processo de difusão do K no solo estimando a concentração desse nutriente na solução do solo (NACHTIGALL e RAIJ, 2005).

No Argissolo Vermelho-Amarelo deve-se destacar que os teores potássio associados aos tratamentos com as rochas avaliadas podem ter sido superestimados, em função de ter sido empregado o extrator Mehlich-1. Considerando que tal extrator é formado por ácidos, estes podem ter reagido com os minerais presentes nas rochas avaliadas, contribuindo para intensificar a liberação do potássio não trocável presente na estrutura dos materiais.

Os teores de potássio pós cultivo do feijão nos tratamento com KCl, flogopítito, sienito, granito e testemunha não diferiram no Cambissolo Húmico, disponibilizando o nutriente de maneira semelhante, Bolland e Baker (2000) também não obtiveram liberação de K do pó de granito, contento biotita, em solos arenosos do sudoeste da Austrália em vários experimentos em casa de vegetação e no campo.

Os valores de pH do Argissolo Vermelho-Amarelo e do Cambissolo Húmico estão apresentados na Tabela 4. Pode-se perceber que houve efeito da calagem nos tratamentos elevando o pH dos solos em relação aos valores originais, mas este efeito foi percebido apenas a partir do segundo cultivo, provavelmente em função do pouco tempo de reação do corretivo durante o primeiro cultivo. Entretanto, o pH pode ter afetado a disponibilidade de potássio, em decorrência de alterações provocadas no poder tampão do potássio (PTK) pela modificação no número de cargas elétricas. Segundo Ernani (2008) a elevação do pH pela calagem influencia a alteração do equilíbrio entre as fontes disponíveis de K com o aumento do número de cargas negativas. A redução nos teores de potássio de solo no segundo e terceiro cultivos indicada na Tabela 3, indica que a disponibilidade de potássio às plantas provavelmente sofreu influência com elevação do pH.

Tabela 4: Valores de pH em água dos solos cultivadas com três fontes de rochas, KCl e testemunha em Argissolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Húmico.

Tratamentos	Feijão	Trigo	Trigo mourisco
Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico			
KCl	4,7 b	5,4 a	5,6 a
Flogopítito	4,9 a	5,4 a	5,6 a
Granito	4,7 b	5,0 a	5,3 a
Sienito	4,7 b	5,2 a	5,6 a
Testemunha	4,9 a	5,3 a	5,5 a
Cambissolo Húmico alumínico léptico			
KCl	6,3 b	6,9 a	7,1 a
Flogopítito	6,4 ab	7,0 a	7,3 a
Granito	6,4 ab	7,0 a	7,2 a
Sienito	6,3 b	6,9 a	7,1 a
Testemunha	6,5 a	7,1 a	7,2 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5%.

4.2. Potássio na matéria seca da parte aérea (MSPA)

Os teores de potássio no tecido no Argissolo Vermelho-Amarelo foram superiores no tratamento com KCl em relação aos tratamentos granito e sienito nos três cultivos e estas últimas fontes apresentaram níveis abaixo do adequado no tecido vegetal do trigo (Tabela 5) (CQFS – RS/SC, 2004); o KCl foi superior em função da disponibilização rápida que o adubo solúvel apresenta. O flogopítito não diferiu do KCl e da testemunha, evidenciando o mesmo efeito observado em relação ao teores de K no solo (Tabela 3). O desempenho do flogopítito no suprimento de K acumulado no tecido está relacionado à granulometria do material e na sua composição, conforme anteriormente comentado.

Tabela 5: Teores de K no tecido vegetal em plantas cultivadas em dois solos após cultivo sucessivo de plantas, com aplicação de potássio na forma de pós de rochas, KCl e solo não adubado.

Tratamentos	Feijão	Trigo	Trigo mourisco.
	g/kg		
Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico			
KCl	41 a	20 a	42 a
Flogopítito	34 abc	18 abc	38 a
Granito	29 bc	13 c	27 b
Sienito	28 c	14 bc	25 b
Testemunha	39 ab	18 abc	32 ab
Cambissolo Húmico Alumínico léptico			
KCl	31 b	48 a	41 a
Flogopítito	31 b	44 a	36 ab
Granito	35 ab	40 a	30 b
Sienito	35 ab	36 a	32 ab
Testemunha	41 a	45 a	31 ab

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5%.

No Cambissolo Húmico não houve diferença entre as fontes de potássio em relação aos teores deste elemento no tecido das plantas, especialmente no primeiro e segundo cultivos. Já no cultivo com trigo mourisco a planta absorveu maiores quantidades de potássio no tratamento KCl, e o tratamento com granito teve a menor absorção, pois o granito apresenta em sua composição os feldspatos potássicos, , porém o potássio destes minerais primários não é prontamente disponível para as plantas.

Em termos de produção de massa de matéria seca (MSPA), não houve diferença entre as fontes de K nos dois solos avaliados, à exceção do trigo no Argissolo (Tabela 6), onde

ocorreu diferença na massa de matéria seca do KCl e granito. O trigo apresentou massa de matéria seca no tratamento KCl superior ao do granito, em função da exigência deste nutriente para seu desenvolvimento. Resultado diferente foi obtido por Costa et al. (2009) quando testou o basalto e flogopítito como fontes de potássio em um solo de textura arenosa e argilosa em casa de vegetação com cultivo de milheto, onde o pó de basalto apresentou melhor resposta no desenvolvimento de plantas do que o pó de flogopítito.

A produção de massa foi mais baixa no granito, podendo ser atribuído a menor capacidade de fornecimento do nutriente para o solo (Tabela 3) ocasionado pela baixa solubilidade do pó de rocha. Resultado semelhante foi obtido por Siverol e Filho (2007), quando utilizou como fonte de potássio um granito e um piroxenito no cultivo de milho em um Latossolo Vermelho-Amarelo em casa de vegetação, acarretando também menor massa de matéria seca em comparação ao adubo solúvel e piroxenito.

Embora o trigo mourisco tenha sido a última planta cultivada, o desenvolvimento da parte área não diferiu entre os tratamentos. Esta planta apresenta como característica a tolerância à acidez e alta capacidade de utilização de formas de potássio pouco solúveis no solo (MAGALHÃES et al., 1991), sendo alternativa para cultivos em solos pobres em nutrientes, como opção inclusive para ser utilizada como adubação verde

Tabela 6: Produção de matéria seca das plantas cultivadas com três fontes de rochas, KCl e testemunha em Argissolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Húmico.

Tratamentos	Feijão	Trigo	Trigo mourisco
	g / vaso		
Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico típico			
KCl	10,5 a	23,6 a	3,4 a
Flogopítito	10,7 a	18,5 ab	4,5 a
Granito	12,0 a	16,3 b	5,0 a
Sienito	12,1 a	16,9 ab	4,7 a
Testemunha	9,4 a	18,9 ab	3,1 a
Cambissolo Húmico Alumínico léptico			
KCl	11,0 a	14,4 a	6,7 a
Flogopítito	10,9 a	12,4 a	7,5 a
Granito	10,5 a	11,2 a	7,2 a
Sienito	11,5 a	13,0 a	5,3 a
Testemunha	4,1 b	11,4 a	6,0 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Considerando os resultados obtidos, o granito e sienito são fontes que possivelmente necessitam de um tempo maior de intemperismo para liberar o potássio. Já o flogopítito

apresenta representa uma fonte potencial de liberação mais rápida. Apesar da velocidade de disponibilização de nutrientes ser baixa, provavelmente esses materiais contém potássio não trocável que pode eventualmente ser absorvido pelas plantas. Segundo Curi (2005) existe uma correlação entre o K trocável e o K absorvido pelas plantas em cultivos sucessivos para algumas culturas como milho e o azevém, já para a soja apresenta grande capacidade de utilização das reservas não trocáveis de K, entretanto essa capacidade varia entre as cultivares e diminuem com a adubação potássica.

Nesse sentido o efeito benéfico da rochagem amplia e agrega o potencial do uso de rochas em função da gama de nutrientes que possuem. Avaliações permanentes deverão ser realizadas nas mais variadas condições de sistemas de plantio, como no plantio direto, na integração lavoura-pecuária, na fruticultura, na silvicultura e contemplando a produção convencional e orgânica (RESENDE et al., 2006a).

5. CONCLUSÕES

- O pó de rocha flogopítico não diferiu do KCl em relação à disponibilização de potássio no solo e na absorção deste elemento pelas plantas em três cultivos e nos dois solos testados em condições de casa de vegetação, representando uma fonte potencial deste nutriente a ser melhor avaliada como fertilizante na agricultura.
- Os pós de rocha de granito e sienito não mostraram resposta quanto às variáveis testadas, evidenciando serem materiais de disponibilização mais lenta de potássio às plantas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. A.; ERNANI, P. R. & MAÇANEIRO, K. C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. *Revista Ciência Rural*. v. 29, n. 4, p.651-656. 1999.
- ALMEIDA, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. de.; JÚNIOR, W. A. Z. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 437-445. 2005
- ALVAREZ VENEGAS, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CATARUTTI, R.B.; LOPES, A.S.(1999) Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5^a aproximação. Viçosa: SFSEMG, p. 25-32.
- AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. *Revista Agroecologia Hoje*, Botucatu, n. 20, p.10-12. ago/set 2003.
- ANGHINONI, I.; BAYER, C. Manejo da fertilidade do solo. In: BISSANI et al, Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas. Porto Alegre: Gênesis, 2004. 328 p. p. 251-264.
- ASSAD, M. L. L.; ALMEIDA, J. Agricultura e Sustentabilidade: contextos, desafios e cenários. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v.29, n.1, p.15-30. Jul/dez 2004.
- ASSAD, M. L. L. et al. Solução de pó-de-rocha por *Aspergillus Niger*. *Espaço e Geografia*, Brasília, v.9, n.1, p 1-17. 2006.
- BARBOSA FILHO et al. Aplicação de rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz em terras altas. *Espaço e Geografia*. Brasília, v.9, n.1, p. 63-84. 2006.
- BERTOL, I; ALBURQUERQUE, J. A; LEITE, D; AMARAL, A. J; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 155-163. 2004.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G.F. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis: UFSC, 1994. v. 1.
- BORGES, et al. Efeito da aplicação de rochas silicáticas sobre a comunidade microbiana durante o processo de compostagem. *Espaço e Geografia*. Brasília, v.9, n.2, p. 33-52. 2006.
- BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. Anual Mineral de 2005. Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=294> > Acesso em: 02 maio. 2008.
- BRASIL, Secretaria de Política Agrícola – SPA. Informativo de Economia Agrícola: Análise da conjuntura macroeconômica do setor agrícola, do mercado de insumos e crédito rural. Ano 02. v. 01. Fev. 2008.

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

CASTRO et al. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para cultura do girassol. *Espaço e Geografia*. Brasília, v.9, n.2, p. 17-31. 2006.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. SBCS/NRS, Porto Alegre. 10a Edição. 400p. 2004.

CORDONI, U. G; TAIOLI, F. A terra, a humanidade e o desenvolvimento sustentável. In. TEIXEIRA, W. et al (Org.). *Decifrando a terra*. 1. ed. São Paulo: Editora Nacional, 2008. p.517-528.

COSTA, L. G; LOPES-ASSAD, M. L. R. C; LOPES, O. M. M. Efeito de pó de rocha e matéria orgânica em plantas de milheto. *Anais de Eventos da UFSCar*, v. 5, p. 449, 2009

CURI, N; KAMPF, N; MARQUES, J. J. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In *Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Patafos, 2005. p. 71-91.

DNPM. Departamento Nacional da Produção Mineral. Mapa geológico do estado de Santa Catarina, escala 1:500.000. Florianópolis, Coord. de Recursos Minerais da Secretaria de Ciência e Tecnologia, Minas e Energia. 1987. 216p. (Série textos básicos de geologia e recursos naturais de Santa Catarina, 1).

DUTRA, R. Beneficiamento de minerais industriais. In: *Congresso Brasileiro de Cerâmica, 49º*, 2005. São Pedro. Anais eletrônico... São Pedro: ABC, 2005. Disponível em:< http://www.abceram.org.br/asp/49cbc/pdf/49cbc_senaipr_1.pdf > Acesso em 01 maio de 2008.

ERNANI, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Lages: O Autor, 2008. 230 p.

ERNANI, P. R; ALMEIDA, J.A. Potássio. In *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBSC, 2007. 1017 p.

ESCOSTEGUY, P. A. & KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 22, p.11-20. 1998.

FAO. Base de dados FAOSTAT. Disponível em: <<http://apps.fao.org>>. Acesso em: maio. 2010.

FERREIRA, É, R.N.C; ALMEIDA, J. A; MAFRA, Á. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. Lages, v.8, n.2, p. 111-121, 2009.

FORMOSO, M. L. L. Some topics on geochemistry of weathering: a review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. p 809-820. 2006

JORGE, J. A. Solo: manejo e adubação: compêndio de edafologia. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1983. 309 p.

KHATOUNIAN, C. A. A reconstrução ecológica da agricultura. Botucatu: Agroecológica, 2001. 348 p.

KENNEDY, C. A. Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environmental*. v. 1999.74, p.65-76.

KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agrônoma, 1985.

LANTMANN, A. F; CASTRO, C; WIETHOLTER, S. O potássio na cultura do trigo. In Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Patafos, 2005. p. 723-743.

LIMA, R.C.M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, E. R. S.; DIAS, S. H. L. 2007. Rendimento da alface e atributos químicos de um Latossolo em função da aplicação de biofertilizantes de rochas com fósforo e potássio. *Horticultura Brasileira* 25: 224-229.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L.R.G. Uso Eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1992. 64 p.

LOPES, A. S; GUILHERME, L. R. G; SILVA, C. A. P. Vocação da terra. São Paulo: ANDA, 2003. 23 p.

LOPES, A. S. Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Patafos, 2005. p. 21-32.

MADUREIRA Fº, J. B. M, ANTECIO, D; McREATH, I. Minerais e rochas: constituintes da terra sólida. In. TEIXEIRA, W. et al (Org.). Decifrando a terra. 1. ed. São Paulo: Editora Nacional, 2008. p.27-37.

MAGALHÃES, J. C. A. J.; VIEIRA, R. F.; PEREIRA, J.; PERES, J. R. R. Efeito da adubação na disponibilidade de fósforo de fosfatos, numa sucessão de culturas, em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, p. 330-337, 1991.

MALAVOLTA, E. ABC da adubação. 4. ed. São Paulo: Ceres. 1979, 255 p.

MALAVOLTA, E.; ROMERO, J.P. (Coord.). Manual de Adubação. 2 ed. São Paulo: ANDA. 1975. 346 p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C.; Adubos e adubação. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MARTINS, É. S. et al; Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205-221.

MEDEIROS, J. C; ALBUQUERQUE, J. A; MAFRA, A. L; BATISTELA, F; GRAH, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1657-1665, 2009.

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

NACHTIGALL, G. R; RAIJ, B. V. Análise e interpretação do potássio no solo. In Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Patafos, 2005. p. 93-115.

NICHELE, É. R. Utilização de minerais no desenvolvimento de plantas e na mitigação de odores em criações animais confinados. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências do solos) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

MOTTA, A. C. V.; KUDLA, A. P. & FEIDEN, A.. Efeito da aplicação do pó de basalto sobre algumas características químicas dos solos e crescimento de planta em um LE e LR. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Ed. da UFPR. V. 12 (1-2), p.173-178, 1993.

OLIVEIRA, L.A.M. DE; SOUZA, A.E. Balanço Mineral Brasileiro 2001: potássio. Disponível em:< http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral_2001/potassio.pdf. Acesso em: 10 maio 2007.

PRADO, H. de. Manejo de solos: descrições pedológicas e suas implicações. São Paulo: Nobel, 1991. 117 p.

PINHEIRO, S.; BARRETO, S. B. “MB-4”: agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes. 5. ed. Porto Alegre: Salles, 2004. 273 p.

PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais. 4. ed. São Paulo: Nobel. 1982, 541 p.

RESENDE, M. et al. Pedologia: base para distinção de ambientes. 3. ed. Viçosa: NEPUT, 1999. 338 p.

RESENDE, A. V. de, et al. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rocha “in natura” na agricultura brasileira. *Espaço e Geografia*, Brasília, v,9, n.1, p 19-42. 2006a.

RESENDE, A. V. de, et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. *Espaço e Geografia*, Brasília, v.9, n.1, p 135-161. 2006b.

SAMPAIO, J. A; FRANÇA, S. C. A. Nefelino sienito. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 545-558.

SILVA, D. B. da et al. Avaliação de genótipos de mourisco na região de cerrado. EMBRAPA Recursos genéticos e Biotecnologia, Brasília, 2002. n. 21.

SILVA, D. J. et al. Potencial de um Resíduo de Mineração de Flogopítito na Liberação de Nutrientes. *Anais XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 2009.

SILVEROL, A. C; FILHO, L. M. Utilização de pó de granito e manto de alterações de piroxenito para fertilização de solos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v.2, n.1, fev.2007.

SOBRAL et al. Liberação de K pelo flogopítito, ultramáfica e brecha em um Latossolo amarelo dos tabuleiros costeiros. *Espaço e Geografia*, Brasília, v.9, n.1, p. 117-133. 2006.

PAES SOBRINHO, J. B. ; ALMEIDA, J. A.; EHART, J.; Mineralogia, propriedades químicas e classificação de solos das Serras do Leste Catarinense. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. Lages, v.8, n.1, p. 9-24. 2009

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do solo. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10º ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

STEDILE, J. P. A questão agrária no Brasil: o debate tradicional. São Paulo: Expressão Popular, 2005. 302 p.

SZABÓ, G. A. J; BABINSK, M; TEIXEIRA, W. Rochas ígneas. In. TEIXEIRA, W. et al (Org.). Decifrando a terra. 1. ed. São Paulo: Editora Nacional, 2008. p.327-345.

TEDESCO, M. J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Depto de Solos da Fac. de Agronomia, UFRGS.(Boletim técnico, 5). 1985.

TEDESCO, J. C. Terra, trabalho e família: racionalidade produtiva e ethos camponês. Passo Fundo: EDIUPF, 1999. 331 p.

THEODORO, S. H., et al. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço e Geografia*. Brasília, v.9, n.1 p. 101-130. 2006.

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

THEODORO, S. H. & ROCHA, E. L. Rochagem: equilíbrio do solo e vigor para as plantas. III Congresso Brasileiro e III Seminário Estadual de Agroecologia, Outubro 2005. Florianópolis. Resumos. Florianópolis Epagri/UFSC, 2005. CD-Rom.

TOLEDO, M. C. M; OLIVEIRA, S. M. B; MEFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In. TEIXEIRA, W. et al (Org.). Decifrando a terra. 1. ed. São Paulo: Editora Nacional, 2008. p.139-157.

TROEH, F. R; THOMPSON, L. M. Solos e fertilidade do solo. 6. ed. São Paulo: Andrei, 2007. 693 p.

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

VEGRO, C.L.R.; FERREIRA, C. E. R. P. T. Fertilizantes: desempenha recorde em 2007. *Analises e Indicadores do Agronegócio*, São Paulo, v.3, n.2. fev. 2008.

VIEIRA, C; VIEIRA, R. F. O potássio na cultura do feijão. In Simpósio sobre potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 591-607.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. & SILVA, J. E. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.169-183. 2004