

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS – UFPEL
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO E CONSERVAÇÃO DO
SOLO E DA ÁGUA



Dissertação

DINÂMICA DE LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DE ROCHAS SILICÁTICAS
EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS

Matheus Farias Grecco

Pelotas, 2018

Matheus Farias Grecco

**DINÂMICA DE LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DE ROCHAS SILICÁTICAS
EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Solos)

Orientador: Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto
Coorientador: Dr. Adilson Luís Bamberg

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

G789d Grecco, Matheus Farias

Dinâmica de liberação de nutrientes de rochas silicáticas em solos de diferentes texturas / Matheus Farias Grecco ; Luiz Fernando Spinelli Pinto, orientador ; Adilson Luís Bamberg, coorientador. — Pelotas, 2018.

101 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Potássio. 2. Agrominerais. 3. Agricultura sustentável. I. Pinto, Luiz Fernando Spinelli, orient. II. Bamberg, Adilson Luís, coorient. III. Título.

CDD : 631.4

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Matheus Farias Grecco

**DINÂMICA DE LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DE ROCHAS SILICÁTICAS
EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 29/03/2018

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto (Orientador), Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof.^a Dr^a. Flavia Fontana Fernandes, Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Pesquisador Dr. Carlos Augusto Posser Silveira, Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas.

Dedico este trabalho aos meus pais, Milton e Dinalva e a minha irmã Dina.

AGRADECIMENTOS

Ao Criador, Jeová Deus, por conceder a dádiva da vida e a capacidade de compreender a sua criação.

A meus pais, irmã e amigos pelo apoio durante esta etapa da minha vida e pela confiança em mim depositada, sendo o meu grande alicerce.

Ao Professor Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto pela orientação, confiança e contribuição na minha formação.

Ao pesquisador Adilson Luís Bamberg pela coorientação, pelos ensinamentos e apoio.

A Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água (MACSA) da notória Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

A Embrapa Clima Temperado e funcionários pela estrutura e apoio no desenvolvimento de diversas atividades, em especial aos Pesquisadores Carlos Augusto Posser Silveira e Rosane Martinazzo, ao funcionário Hamilton Pereira e a bolsista Rosângela Mattos.

Ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM inspetoria de Porto Alegre, em especial aos Pesquisadores Magda Bergmann, João Ângelo Toniolo e Andrea Sander pelo auxílio na coleta das amostras de rochas.

Aos colegas de curso e departamento, pelas discussões, estudos, ajuda e companheirismo.

Aos funcionários do Departamento de Solos em especial a Sérgio Machado pelo apoio na execução das análises de água em laboratório.

Aos demais amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para a viabilização deste trabalho.

*“A sabedoria dos homens é proporcional não à sua
experiência, mas à sua capacidade de adquirir experiência”*

(George Bernard Shaw)

RESUMO

A agricultura brasileira emprega um grande volume de fertilizantes para obter a máxima produção de alimentos. A maioria dos fertilizantes são importados gerando uma dependência do mercado externo. Uma alternativa para o uso de fertilizantes são as rochas silicáticas, em especial aquelas portadoras de potássio na sua estrutura. Essa dissertação tem por objetivo geral realizar uma revisão sobre o potencial de fornecimento de potássio a partir de rochas silicáticas para a agricultura bem como avaliar quatro tipos de rochas silicáticas portadoras de minerais com potássio quanto à sua capacidade de liberação de nutrientes em um estudo com colunas de lixiviação e em experimento de incubação. As rochas silicáticas utilizadas nos experimentos foram: Monzogranito, Dacito, Ultrapotássica e Granada biotita gnaiss. Os dois estudos foram conduzidos na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, utilizando dois tipos de solo: um Planossolo Háplico, coletado em área sob pousio por 5 anos no Capão do Leão, RS, e um Nitossolo Vermelho, coletado em área anexa ao campo experimental no IFRS de Sertão, RS. O delineamento experimental do Estudo I - incubação foi em blocos casualizados com quatro repetições e o delineamento de tratamento teve arranjo fatorial 2x4, sendo o fator 1 (tipo de rocha) do tipo qualitativo - com cinco níveis: Monzogranito, Dacito, Ultrapotássica e Granada biotita gnaiss, e o fator 2 (dose de rocha) do tipo quantitativo, com quatro níveis: 0; 5.000; 10.000 e 20.000 kg ha⁻¹. O ensaio de incubação foi conduzido em sala com temperatura ambiente, sendo a unidade experimental constituída de um pote plástico de volume de 0,4 dm⁻³. O período de incubação foi de 4 meses. No Estudo II – colunas de lixiviação, o arranjo experimental foi composto por 5 tratamentos, 2 tipos de solos e 3 repetições, perfazendo 30 unidades experimentais. Para simular o regime de precipitação, foram aplicados 300 mL (40 mm) de água destilada, de forma gradual na parte superior das colunas de lixiviação, uma vez por semana durante 15 semanas. Dentre as litologias avaliadas, a rocha Ultrapotássica (Bagé, RS) apresentou desempenho superior quanto ao incremento de atributos químicos dos dois tipos de solo. A rocha Ultrapotássica disponibilizou Ca, Mg e alterou os índices de acidez e de saturação por bases dos solos estudados. Os teores de P disponível do solo foram alterados positivamente por todas as rochas em pelo menos alguma das doses em experimento de incubação, sendo mais provável esse efeito relacionado à liberação de ácido monossilícico, deslocando íons PO₄⁻ para a fase disponível. Considerando o K, as rochas pouco ou nada alteraram os valores médios do K extraível dos solos e as quantidades acumuladas, provavelmente porque as rochas silicáticas não apresentam teores significativos de K solúvel em água. Dessa forma, a metodologia de incubação rocha:solo utilizada neste estudo demonstrou ser apropriada para avaliar a dinâmica de liberação da maioria dos nutrientes de rochas para o solo, com exceção de K. Em estudos futuros, recomenda-se a utilização de experimentos com espécies de plantas tais como as gramíneas, com alta capacidade de extração de K.

ABSTRACT

Brazilian Agriculture utilizes a large volume of fertilizers to obtain the maximum food production. Most of fertilizers are imported generating a dependency in the external market. An alternative to fertilizers use is the silicate rocks, in particular those that are potassium carrier in their structure. This work aims in general to perform a review about potassium supply potential to agriculture from silicate rocks as well as evaluate four silicate rocks rich in potassium with relation to their nutrients release capability in leaching columns and in incubation experiment. The silicate rocks used in the experiments were: Monzogranite, Dacite, Ultrapotassic rock and Granada biotite gnaiss. Both studies were conducted at the “Estação Experimental Terras Baixas” of Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS State by using two soil types: An Haplic Planosol collected in field with 5 years of fallow at Capão do Leão, RS State and a Yellow Nitosol collected in the surroundings of an experimental field area in Sertão, RS State. The experimental design in Study 1 - incubation was randomized block design with four repetitions and factorial design 2 x 4, being the factor 1 (rock type) was qualitative – with five levels: Control (no rock), Monzogranite, Dacite, Ultrapotassic rock and Granada biotite gnaiss, and factor 2 (rock dose) was quantitative, with four levels: 0; 5.000; 10.000 e 20.000 kg ha⁻¹. The incubation test was conducted in controlled environment at room temperature, where the experimental unit was composed of a 0,4 dm⁻³ soil + rock volume in a plastic pot. The incubation period was four months. In the study 2 – leaching columns experiment arrangement was composed by 5 treatments, 2 soil types and 3 repetitions, totaling 30 experimental units. To simulate rainwater regime, 300 mL (40 mm) of distilled water was applied gradually upper part of the to the leaching columns, once a week for 15 weeks. Among the evaluated lithologies, the Ultrapotassic rock (Bage, RS) presented the best performance to the others regarding the improvement of chemical attributes of the two types of soil. The Ultrapotassic rock provided Ca, Mg and altered the acidity and base saturation indexes of the studied soils. The soil P contents were positively altered by all rocks in at least one of the doses in the incubation experiment, being this effect likely related to the release of monosilicic acid by displacing PO₄⁻ ions to the available phase. Considering the K, rocks little or no altered the mean values of extractable K of soils and the accumulated quantities, probably because the silicate rocks do not have significant levels of water soluble K. Thus, the methodology of incubation rock:soil used in this study seems to be appropriate to evaluate the release dynamics of mostly nutrients from rocks to the soil, unless K. In future studies, it is recommended the use of experiments with plant species such as grasses, with high K extraction capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de estabilidade de minerais fontes de potássio no solo.	28
Figura 2. Diferenças na orientação do hidrogênio da hidroxila. A. Micas trioctaédricas. B. Micas trioctaédricas. (Fonte: Kalinowski, 1997).	31
Figura 3. Representação esquemática das fases de K no solo. Adaptado de Krauss, (2000).	35
Figura 4. Experimento de dinâmica de liberação de elementos químicos com Colunas de Lixiviação.	41
Figura 5. Variações de pH, condutividade elétrica, Ca, Mg, e Al ao longo das lixiviações e acumulados de Ca, Mg e Al num Planossolo Háplico.	52
Figura 6. Variações de K, Na e P ao longo das lixiviações e acumulados de K, Na e P num Planossolo Háplico.	54
Figura 7. Variações de pH, condutividade elétrica, Ca, Mg, e Al ao longo das lixiviações e acumulados de Ca, Mg e Al num Nitossolo Vermelho..	56
Figura 8. Variações de K, Na e P ao longo das lixiviações e acumulados de K, Na e P num Nitossolo Vermelho..	58
Figura 9. Petrografia da BHRF, a sericitização é observada nas manchas cinza- amareladas acima dos plagioclásios.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Minerais de K- feldspato e seus teores equivalentes (%).	23
Tabela 2. Minerais feldspatoides, fórmula química e seus teores equivalentes (%). 24	
Tabela 3. Minerais do grupo das micas e seus teores equivalentes (%).	25
Tabela 4. Teores de K total, K estrutural, K não trocável, K trocável e K solução para 13 solos do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Adaptado de Britzke, 2010).	37
Tabela 5. Atributos físico-químicos da camada arável (0-20 cm) de um Planossolo Háplico e de um Nitossolo Amarelo de Pelotas e Sertão, RS, respectivamente.	38
Tabela 6. Litoquímica de rochas silicáticas utilizadas em experimento de incubação.	39
Tabela 7. Descrição e dose dos tratamentos utilizados no experimento de incubação.	40
Tabela 8. Descrição dos tratamentos avaliados em cada solo.	41
Tabela 9. Análise estatística do fator tipo de insumo para os atributos químicos do Planossolo Háplico e do Nitossolo Vermelho, incubados com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio. Valores médios de 16 repetições para os quatro tratamentos, e média de quatro repetições para o solo natural.	46
Tabela 10. Atributos químicos do Planossolo Háplico incubado com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio. Valores médios de quatro repetições. ...	47
Tabela 11. Atributos químicos do Nitossolo Vermelho incubado com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio.	50
Tabela 12. Valores médios de macro e micronutrientes e atributos químicos do solo avaliados após 12 lixiviações (médias de 3 repetições).	60
Tabela 13. Valores médios de totais liberados de Ca, Mg, Na, K e P após 12 lixiviações em dois tipos de solo submetido à diferentes tipos de rochas silicáticas ricas em K (médias de 3 repetições).....	72
Tabela 14. Coeficientes de correlação de Pearson para atributos químicos de dois solos incubados com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio..	73
Tabela 15. Quadros da análise da variação dos fatores de tratamento “fonte”, “dose” e da interação “fonte.dose” de atributos químicos do solo do experimento de incubação.	75

Tabela 16. Quadros da análise da variação dos fatores de tratamento “fonte”, “dose” e da interação “fonte.dose” de atributos químicos do solo do experimento de incubação.	76
Tabela 17. Quadros da análise da variação e parâmetros dos modelos das regressões polinomiais do fator “dose”, realizada quando houve interação entre os fatores “fonte” e “dose”, de atributos químicos do solo do experimento de incubação.	77
Tabela 18. Quadros da análise da variação e parâmetros dos modelos das regressões polinomiais do fator “dose”, realizada quando houve interação entre os fatores “fonte” e “dose”, de atributos químicos do solo do experimento de incubação.	86
Tabela 19. Quadros da análise da variação dos fatores “solo”, “fonte” e da interação “solo.fonte” de atributos químicos do solo de colunas de lixiviação após 12 lixiviações.	95
Tabela 20. Quadros da análise da variação dos fatores “solo”, “fonte” e da interação “solo.fonte” de valores acumulados de atributos químicos de lixiviados coletados ao longo de 12 lixiviações.	96
Tabela 21. Dados brutos de atributos químicos de amostras do Planossolo submetido a doses crescentes de quatro rochas silicáticas em experimento de incubação.	97
Tabela 22. Dados brutos de atributos químicos de amostras do Nitossolo submetido a doses crescentes de quatro rochas silicáticas em experimento de incubação.	99
Tabela 23. Dados brutos de atributos químicos de amostras de Planossolo e Nitossolo sob quatro rochas silicáticas em colunas de lixiviação, em 12 lixiviações.	101

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Coeficientes de correlação de Pearson para atributos químicos de dois solos incubados com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio..	72
Apêndice B - Coeficientes de correlação de Pearson do Estudo I - Experimento de incubação com um Planossolo Háplico e um Nitossolo Vermelho.....	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1. Panorama dos fertilizantes potássicos no Brasil.....	18
2.2. Remineralizadores de solo.....	20
2.3. Remineralizadores de solo e fontes de potássio.....	21
2.4. Principais minerais primários silicatados constituídos por potássio.....	22
2.4.1. Feldspatos Potássicos.....	22
2.4.2. Feldspatoides.....	24
2.4.3. Micas.....	24
2.4.4. Diagramas de estabilidade de minerais.....	26
2.4.5. Minerais silicáticos com potencial para liberação de potássio.....	28
2.4.6. Dinâmica do potássio na reserva mineral do solo.....	32
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1. Estudo I - Experimento de incubação.....	38
3.1.1. Local.....	38
3.1.2. Caracterização do solo e das rochas.....	38
3.1.3. Delineamento experimental e análise estatística.....	39
3.2. Estudo II – Avaliação agrônômica de rochas silicáticas em colunas de lixiviação.....	40
3.2.1. Local.....	40
3.2.2. Procedimento experimental e análise estatística.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1. Estudo I - Experimento de incubação.....	43
4.2. Estudo II – Avaliação agrônômica de rochas silicáticas em colunas de lixiviação.....	51
5. CONCLUSÕES.....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

1. INTRODUÇÃO

A agricultura começou há cerca de 12 mil anos, no período Neolítico, época em que os agricultores visavam apenas suprir as suas necessidades básicas. Com o tempo observou-se que o solo empobrecia após a atividade agrícola mais intensiva, e por isso necessitava de adubação para manter ou elevar a produção de alimentos. A história relata que no princípio pensava-se que os nutrientes essenciais para as plantas eram de origem orgânica (esterco, ossos, restos de lã, etc.). Porém, em alguns locais iniciou-se a aplicação de rochas moídas no solo para aumento da fertilidade. Gregos e romanos usavam um tipo de calcário com presença de certas impurezas (argilas e matéria orgânica) e verificaram seu efeito como adubo para os diversos cultivos agrícolas

O tempo passou e no século XVIII James Hutton já realizava experimentos com diversos tipos de rochas, observando na sua pesquisa o efeito positivo no solo de marga dolomíticas e rochas semelhantes (Bakey, 1967). Porém, o uso de rochas moídas ocorria de forma empírica. No século XIX Julius Hensel chegou à conclusão de que rochas moídas eram benéficas para o solo, dispondo nutrientes para as plantas a curto prazo. Inclusive Hensel publicou um livro chamado de Pães de Pedra, onde descreve as vantagens do uso de rochas moídas na agricultura. Porém não existia o conhecimento da mineralogia e da dinâmica de nutrientes no solo. Assim, as doses de rochas moídas aplicadas poderiam ser maximizadas ou minimizadas dependendo dos seus constituintes minerais.

Atualmente, muita coisa mudou e a agricultura brasileira utiliza imensas quantidades de fertilizantes para garantir que as plantas tenham condições nutricionais adequadas e que elas possam expressar seu máximo potencial produtivo. Entretanto, novos desafios surgiram, destacando-se o manejo da fertilidade do solo para altas produtividades, a eficiência de uso dos insumos, o aumento dos custos dos fertilizantes e o risco de contaminação ambiental pelo seu uso inadequado. Neste aspecto destaca-se a busca por novas fontes de nutrientes, como as rochas silicáticas, em especial aquelas portadoras de potássio na sua estrutura.

As rochas que contém minerais potássicos estão amplamente distribuídas na superfície terrestre. O K é o sétimo elemento químico mais abundante da crosta e estima-se que a crosta continental possui aproximadamente 2,5% de K. Em termos de teores de K, as principais rochas são: evaporíticas (com K), ultrabásicas alcalinas

leucíticas, kimberlito, rochas silicáticas alcalinas, biotita xisto e carbonatito. Em determinados casos, rochas com K poderão apresentar teores anômalos mais elevados, de modo que não raro são encontradas rochas silicáticas com teores entre 3 e 10% de K_2O no sul do Brasil.

Qualquer novo produto a ser comercializado no mercado brasileiro como um insumo agrícola necessita apresentar eficiência agrônômica. Da mesma forma, não basta apenas moer qualquer rocha e aplicá-la ao solo, ela deve passar por experimentos que atestem a sua eficiência no fornecimento de nutrientes. O Brasil conta com uma legislação específica para o uso desse tipo de material e por isso, é fundamental conhecer o potencial e a viabilidade de cada material, já que a solubilidade das rochas normalmente é baixa. Pelo fato de serem constituídas por um ou mais minerais, e que nem todos irão se meteorizar e dispor nutrientes para o solo rapidamente, é preciso investigar e compreender a dinâmica de liberação dos nutrientes.

Cada mineral possui uma taxa de dissolução, os fatores que influenciam nesse aspecto são principalmente a textura e o tamanho de grão. Ao ficarem expostos na solução do solo e aos ácidos orgânicos excretados por determinadas plantas e microrganismos do solo, os minerais de uma rocha podem apresentar uma taxa de dissolução compatível com as necessidades das plantas. No caso das rochas silicáticas ricas em potássio, ao serem cominuídas, expõem novas superfícies de seus minerais silicatados potássicos, que em contato com a solução do solo podem elevar a taxa de liberação do nutriente K dos diferentes minerais. A pré-alteração, hidrotermal ou deutérica, da rocha eleva a taxa de liberação de K_2O da rocha silicática.

Considera-se como fatores centrais a importância do potássio e outros nutrientes para as plantas, a dependência externa brasileira sobre a importação de fertilizantes, a relativa abundância e disponibilidade de rochas com potássio na sua composição e ainda a necessidade de se compreender a dinâmica de liberação do potássio e de outros nutrientes dessas rochas.

2. HIPÓTESE

Rochas silicáticas ricas em potássio, ao serem cominuídas, expõem novas superfícies de seus minerais, aumentando a superfície de contato com a solução do solo, elevando a taxa de liberação dos seus nutrientes.

3. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de quatro tipos de rochas silicáticas do RS portadoras de minerais com potássio quanto à sua capacidade de alteração dos atributos químicos de dois tipos de solo, em experimento de incubação e em estudo com colunas de lixiviação.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Avaliar o potencial de liberação de macro e micronutrientes de quatro diferentes tipos e doses de rochas silicáticas moídas em dois tipos de solo, em experimento de incubação.

b) Avaliar a dinâmica temporal de atributos químicos da solução de dois tipos de solo, submetidos a aplicação de quatro rochas silicáticas moídas, em experimento de colunas de lixiviação.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. Panorama dos fertilizantes potássicos no Brasil

O Brasil tem como suas maiores fontes de crescimento econômico a produção agrícola, o que o torna o quarto maior consumidor mundial de fertilizantes. O elevado consumo de insumos se deve ao país apresentar solos naturalmente ácidos, baixa reserva natural de nutrientes, alta suscetibilidade à lixiviação, além da exportação de nutrientes via colheita de grãos, silagens, pastoreio e outros. Além dessas características dos solos a posição geográfica brasileira desfavorece a ocorrência de depósitos sedimentares, fornecedores de minerais evaporíticos que podem ser empregados como fertilizantes. Com isso, as reservas minerais nacionais não possuem a capacidade de atender a demanda do mercado interno por adubos (Nascimento et al., 2008).

Segundo a ANDA (2018), somente no ano de 2017 os agricultores utilizaram 34,4 milhões toneladas de fertilizantes, sendo que mais de 76,4% destes foi adquirido no exterior. Considerando somente as fontes de K a importação é ainda maior, ultrapassando a marca de 90% do total empregado nos solos. Portanto, para o Brasil que tem parte relevante da sua balança comercial sustentada na agricultura, essa dependência do mercado externo afeta a soberania nacional, de modo que uma interrupção no mercado de fertilizantes convencionais poderia comprometer a produção agrícola brasileira.

Os fertilizantes minerais são geralmente concentrados e possuem alta solubilidade, possibilitando uma resposta rápida da cultura para esse tipo de adubação. A história relata que no princípio da técnica de adubação pensava-se que os nutrientes essenciais para as plantas eram de origem orgânica. Os produtos aplicados eram rejeitos de origem orgânica (esterco, ossos, restos de lã, etc.), substâncias normalmente pouco solúveis em contato com a água (Alcarde, 2005). Com o passar dos anos e com o aumento dos conhecimentos sobre a nutrição mineral das plantas, foi constatado que sais solúveis em água apresentavam efeitos imediatos na produção das culturas. O químico alemão J. Glauber (1604-1668) realizou teste com o nitrato de potássio (KNO_3) coletado de currais de gado, este incorporado ao

solo resultou em aumento considerável no desenvolvimento das plantas (Lopes; Guilherme, 2007). A revolução da química e manipulação de formulados solúveis estimulou vários cientistas a desenvolverem fertilizantes, que testaram e comprovaram seus efeitos rápidos sobre as plantas. Em torno de 1840, o químico alemão Justus von Liebig formulou a lei do mínimo, em que o crescimento das plantas é limitado pelo nutriente que esteja presente no solo em concentrações mais limitantes (Brown, 1942). Com o conhecimento de que a adição de nutrientes em um solo eleva a produção e de quais nutrientes são essenciais para o crescimento da planta, chegou-se à conclusão de que se deveria adicionar nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) ao solo.

O principal aspecto negativo destes produtos talvez seja de que nem todos os nutrientes colocados no solo são aproveitados pelas plantas. As perdas são causadas principalmente pela lixiviação, insolubilização, erosão e volatilização (Alcarde, 2005; Streck et al., 2008). De acordo com Baligar et al. (2001) o K aplicado no solo tem em média uma perda 40% para o ambiente. As perdas de K ocorrem devido ao íon K^+ ser extremamente móvel na solução do solo, estando sujeito à lixiviação. Um outro aspecto negativo é que o Brasil é extremamente adstrito de fertilizantes. Como no país predominam áreas com elevada precipitação pluviométrica anual, esses sais solúveis são mais facilmente lixiviados das camadas superficiais do solo. Esse processo, além de promover a perda de eficiência de uso de nutrientes, favorece a poluição dos corpos d'água. Assim, devido às características naturais de alguns solos e de condições climáticas, a aplicação de fertilizantes pode causar impactos econômicos, ambientais, poluição de águas superficiais e subterrâneas (Melamed; Gaspar, 2005).

Uma possibilidade de incremento da fertilidade do solo é por meio do uso de remineralizadores silicáticos. Esse método consiste em incorporar rocha moída ao solo, recompondo a fração de minerais intemperizáveis para atuar de forma semelhante aos minerais primários e secundários de um solo pouco intemperizado, com a liberação gradual de nutrientes (Amparo, 2003; van Straaten, 2006). As pesquisas têm apontado para diversos tipos de rochas que podem ser aplicadas para fornecimento de macro e micronutrientes (Bamberg et al., 2011; Grecco et al., 2013). Segundo Levinson (1974) as principais rochas contendo K são: Rochas ultrabásicas alcalinas leucíticas, kimberlito, rochas silicáticas alcalinas, biotita xisto e carbonatito. Para recondicionar e remineralizar o solo em termos de fornecimento de K, os minerais que se destacam são: os de origem evaporítica (silvita, carnalita, langbeinita,

polihalita, kainita), feldspatos potássicos (microclínio, ortoclásio e sanidina), feldspatoides (leucita e nefelina), biotita, flogopita e zeolitas (Luz et al., 2010).

Contraditoriamente à quase que completa dependência externa brasileira por insumos fontes de K, o país possui em sua geologia a maioria das rochas e minerais silicáticos que podem fornecer K, apresentando-se como fontes alternativas e possivelmente viáveis de fornecimento de K para as plantas.

Como reflexo de trabalhos de pesquisa que vêm demonstrando a viabilidade de uso agrícola de determinadas rochas, e do aumento de produtores rurais demandando alternativas, foi criada no Brasil a categoria dos remineralizadores de solo como insumo agrícola, a partir da promulgação da Lei 12.890/2013. Essa legislação especifica como remineralizador todo "material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo".

5.2. Remineralizadores de solo

No ano de 2016 as Instruções Normativas nº 5 e nº 6 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelecem as especificações e garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem, a rotulagem e a propaganda dos remineralizadores destinados à atividade agrícola. Qualquer remineralizador que atenda aos requisitos da IN 5 e IN 6 pode obter registro no MAPA. As instruções normativas adotam principalmente dois critérios para o registro de um remineralizador: a) especificações e garantias que devem ser evidenciadas por análises geoquímicas e mineralógicas, como percentuais mínimos da soma de bases (óxidos de cálcio, de magnésio e de potássio) e percentuais máximos de elementos potencialmente tóxicos (EPT's) e de sílica livre, a indicação do pH de abrasão e a granulometria; b) eficiência agrônômica do remineralizador, que deve ser avaliada por instituições públicas de pesquisa (Embrapa, universidades e outras instituições de ensino e pesquisa) e outras entidades credenciadas pelo MAPA. Esses critérios foram adotados visto que alguns litotipos apresentarem teores interessantes do ponto de vista geoquímico e mineralógico, porém uma baixa taxa de dissolução mineral que pode ser comprovada através de um teste de eficiência agrônômica.

Uma possibilidade de incremento da fertilidade do solo é por meio do uso de remineralizadores silicáticos. Esse método consiste em incorporar rocha cominuídas ao solo, recompondo a fração de minerais intemperizáveis para atuar de forma semelhante aos minerais primários e secundários de um solo pouco intemperizado, com uma liberação gradual de nutrientes (Amparo, 2003; van Straaten, 2006). De acordo com van Straaten (2007), determinados tipos de rochas contêm quantidades apreciáveis de macronutrientes e micronutrientes. O uso desses remineralizadores pode promover o fornecimento mais eficiente de nutrientes para a solução do solo e reduzir os riscos de eutrofização dos corpos d'água (Melamed; Gaspar, 2005). Além disso os remineralizadores de solo têm como princípio a regionalização, visto que a fonte e o mercado consumidor devem ser próximos, em um raio de no máximo 150 km. O que acarreta em um baixo custo final para o agricultor comparado com fertilizantes concentrados de alta solubilidade. Como a principal fonte de remineralizadores são os rejeitos da exploração de rochas, o uso no solo na forma moída é um destino ecologicamente correto.

5.3. Remineralizadores de solo e fontes de potássio

Os remineralizadores de solo começaram a ser testados principalmente visando a redução da acidez do solo. Esses materiais eram cominuídos e aplicados diretamente no solo, visto que a moagem ao reduzir os minerais aumentava a reatividade do remineralizador. Entre as rochas com uso consagrado na agricultura temos o calcário, o gesso (gipsita), margas dolomíticas, fosfatos naturais, gesso (gipsita), wollastonita (silicato de cálcio), carnalita e silvita. O calcário e o gesso fornecem Ca e S, respectivamente. A margas fornece Ca e por ser rica em argilas melhora as condições físicas do solo. Os fosfatos naturais liberam o nutriente P. A wollastonita fornece Si e Ca. E os minerais carnalita e silvita fornecem K.

Ao analisar o efeito benéfico dessas litologias, muitos testaram rochas silicáticas para verificar se apresentavam melhora nas condições químicas e físicas do solo, liberando macro e micronutrientes. Porém, a taxa de liberação de nutrientes dependendo das condições pode ser considerada de médio a longo prazo. Com isso, os remineralizadores silicáticos não se enquadram como minério pela indústria de fertilizante. Entretanto, pesquisas com rochas silicáticas portadoras de minerais

potássios como flogopita e a biotita apresentaram cinética de dissolução de médio a curto prazo (Martins *et al.*, 2004).

5.4. Principais minerais primários silicatados constituídos por potássio

A crosta terrestre é formada por diversos tipos de rochas, que são constituídas por minerais. Mineral é uma substância de ocorrência natural, sólida, com arranjo atômico altamente ordenado, composição química definida e geralmente de origem inorgânica (Press *et al.*, 2006). As rochas ao serem expostas na superfície terrestre, ficam sujeitas ao intemperismo. Esse fenômeno é o resultado das alterações químicas, físicas e biológicas que ocorrem nos minerais, no decorrer do tempo. Esse processo contribui na formação dos solos. Os minerais potássicos estão amplamente distribuídos na superfície terrestre, ocorrem em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. O K é o sétimo elemento químico mais abundante da crosta. A crosta continental possui aproximadamente 2,58% de K (Clarke; Washington, 1924).

5.4.1. Feldspatos Potássicos

Os feldspatos potássicos são minerais abundantes na crosta terrestre, correspondem a um volume estimado de 12% na crosta terrestre (Klein; Hurlbut, 1999). Os feldspatos potássicos estão contidos no grupo dos tectossilicatos, minerais formados por uma estrutura tridimensional de tetraedros de SiO_4 ligados, onde todos os íons de oxigênio de cada tetraedro são compartilhados com os tetraedros vizinhos (Klein; Hurlbut, 1999). Seus minerais são Ortoclásio, Microclínio e Sanidina. As fórmulas químicas e teores equivalentes (%) destes minerais são apresentados na Tabela 1. Os teores de potássio no ortoclásio e no microclínio são os mesmos, já na sanidina o teor é inferior.

Tabela 1. Minerais de K- feldspato e seus teores equivalentes (%).

Minerais	Fórmula	Teores Equivalentes (%)			
		K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Microclínio	KAlSi ₃ O ₈	16,90	-	18,40	64,70
Ortoclásio	KAlSi ₃ O ₈	16,90	-	18,40	64,70
Sanidina	[K,Na]SiAl ₄ O ₈	12,88	2,82	18,59	65,71

O microclínio é formado em uma estrutura triclínica. A sua dureza é igual a 6, a densidade fica entre 2,54 a 2,57, o brilho é vítreo e a coloração pode ser branca a amarela clara, raramente vermelha a verde (Deer et al., 1992). O microclínio diferencia-se do ortoclásio pelos cristais triclínicos e pela presença da geminação da lei periclina (“xadrez”), observada em microscópio. O microclínio é um mineral encontrado em rochas ígneas formadas em profundidade e resfriamento lento, como os granitos e sienitos. Nas rochas sedimentares está ocorrendo nos arcósios e conglomerados. Nas rochas metamórficas está presente nos gnaisses (Klein; Hurlbut, 1999).

O mineral ortoclásio cristaliza-se no sistema monoclinico. Possui dureza 6, a densidade varia de 2,56-2,58 e com brilho vítreo. A cor pode ser incolor, branco, cinza, vermelho carne e raramente amarelo ou verde (Deer et al., 1992). O ortoclásio cristaliza-se em temperaturas intermediárias e tem uma distribuição Al-Si parcialmente ordenada (Klein; Hurlbut, 1999). Distingue-se dos outros feldspatos por sua clivagem em ângulo reto e pela falta das estriações do geminado sobre a melhor superfície de clivagem. (Dana; Hurlbut, 1969). É um mineral comum de rochas granodioríticas, sieníticas, nefelina sienitos, arcósios, arenitos, conglomerados e nos gnaisses.

A sanidina possui cristalografia monoclinica. Sua dureza é 6, a densidade apresenta valores entre 2,56-2,62, brilho vítreo e sua coloração é incolor. A estrutura da sanidina é de um silicato no qual os tetraedros (SiAl)O₄ estão ligados uns aos outros em todas as direções, apresenta uma distribuição desordenada de Al e Si no âmbito tetraedral (Klein; Hurlbut, 1999). Coloração incolor, branco, cinza branco amarelado e branco avermelhado. O microclínio tem ocorrência e composição semelhantes ao do ortoclásio. Coloração branca a amarelo-pálido e raramente vermelho. (Dana; Hurlbut, 1969). A sanidina ocorre como fenocristais em rochas ígneas extrusivas, como riolitos e traquitos.

5.4.2. Feldspatoides

Os feldspatoides são tectossilicatos anidros, possuindo aluminossilicatos de potássio, de sódio e de cálcio como principais elementos. O seu arranjo químico semelhante ao dos feldspatos. Os feldspatoides contêm cerca de dois terços da sílica existente nos feldspatos potássicos, por isso tendem a formar soluções ricas em Na e K (álcalis) e pobres em Si. Seus principais minerais são leucita e nefelina. As fórmulas químicas e teores equivalentes (%) destes minerais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Minerais feldspatoides, fórmula química e seus teores equivalentes (%).

Minerais	Fórmula	Teores Equivalentes (%)			
		K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Leucita	KAlSi ₂ O ₆	21,5	-	23,5	55
Nefelina	[Na, K] AlSiO ₄	8,06	15,91	34,90	41,13

A leucita é mineral com cristalografia tetragonal, dureza 5,5, densidade 2,47, brilho vítreo a fosco e coloração branca a cinza (Klein; Hurlbut, 1999). A leucita encontra-se somente nas rochas ígneas, onde a quantidade de sílica do magma foi insuficiente para combinar com o potássio para formar o feldspato (Dana; Hurlbut, 1969).

A nefelina possui um arranjo hexagonal, a dureza varia de 5,5 a 6, densidade entre 2,6 a 2,65, brilho vítreo, possui coloração incolor, branca ou amarelada. A nefelina é mais comum entre os feldspatoides (Klein; Hurlbut, 1999). A nefelina forma-se primariamente em rochas ígneas alcalinas subsaturadas em sílica, vulcânicas (fonolito e nefelina basalto) ou plutônicas (nefelina sienito). Secundariamente pode-se formar pelo metassomatismo de rochas (nefelinização) e pela contaminação de magmas básicos (Dana; Hurlbut, 1969).

5.4.3. Micas

Este grupo faz parte dos filossilicatos, os minerais deste grupo são caracterizados por uma morfologia lamelar e clivagem basal perfeita (Dana; Hurlbut, 1969). A estrutura da mica é uma lâmina complexa, na qual uma camada de cátions

X com coordenação octaédrica está estratificada entre duas camadas idênticas de tetraedros (Si, Al)O₄ unidos entre si. As micas podem ser subdivididas em classes dioctaédricas e trioctaédricas. Conforme o arranjo das suas folhas a mica pode estar mais suscetível ao intemperismo (Deer *et al.*, 1992). Os principais minerais formadores do grupo das micas são a moscovita, a flogopita, biotita e lepidolita. A Tabela 3 apresenta a composição química e os teores equivalentes (%).

Tabela 3. Minerais do grupo das micas e seus teores equivalentes (%).

Minerais	Fórmula	Teores Equivalentes (%)									
		K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O	F	Li ₂ O
Moscovita	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	11,81	-	-	38,36	-	-	45,21	4,07	0,95	-
Flogopita	KMg ₃ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	11,23	-	28,84	12,16	-	-	42,99	4,53	0,25	-
Biotita	K(Mg,Fe) ₃ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	10,86	-	23,24	11,76	8,29	-	41,58	3,64	1,10	-
Lepidolita	KLi ₂ Al(Al,Si) ₃ O ₁₀ (F,OH) ₂	12,13	-	-	13,13	-	-	61,89	2,32	4,89	7,70

A Moscovita cristalograficamente é um mineral monoclinico, com dureza 2 a 2,5, densidade entre 2,76 a 2,88, possui brilho vítrio a sedoso ou nacarado e a coloração pode ser incolor a transparente. Em blocos espessos pode ser translúcido, variando entre tons claros de amarelo, castanho, verde e vermelho (Deer et al., 1992). A moscovita (mica branca), pertence à classe das micas dioctaedrais. É um mineral amplamente distribuído nos ambientes geológicos. Nas rochas ígneas predomina nos granitos e sienitos e em rochas metamórficas ocorre como constituinte principal em micaxistos e de forma acessória em gnaisses e xistos (Klein; Hurlbut, 1999).

A flogopita tem sua cristalografia monoclinica, com cristais frequentemente grandes e largos, dureza 2, a 3, densidade 2,86, brilho vítreo nacarado, coloração marrom amarelada, verde, branca. A flogopita pertence à classe das micas trioctaedrais (Deer et al., 1992). Esse mineral é encontrado kimberlitos, rocha ultrabásicas, calcários metamorfisados e ricos em Mg e dolomitos (Klein; Hurlbut, 1999).

A biotita cristaliza-se com geometria monoclinica, dureza 2,5 a 3, densidade 2,8 a 3,2, brilho intenso e de cor marrom a preto. Esse mineral possui o arranjo trioctaédrico. A biotita é um mineral comumente encontrado em rochas ígneas,

granitos, dioritos, gabros e peridotitos e nas rochas metamórficas, forma-se no metamorfismo regional e no de contato.

A lepidolita possui um sistema de cristalização monoclinico, formando cristais lamelares e massas escamosas refinadas, a dureza varia de 2,5 a 4, a densidade é de 2,84, o brilho é nacarado, possui cores rosa e lilás a branco acinzentado. O arranjo da lepidolita é trioctaédrico. A lepidolita é um mineral raro, ocorre em pegmatitos, geralmente associados a outros minerais portadores de lítio, como a turmalina, ambligonita e espudomênio (Klein; Hurlbut, 1999).

5.4.4. Diagramas de estabilidade de minerais

Os minerais (primários) são formados na crosta terrestre em diversas combinações físicas e químicas, como a temperatura, pressão e composição do material de origem (Klein; Hurlbut, 1999). Na superfície terrestre, sob a ação do intemperismo os minerais tornam-se física e quimicamente instáveis (Press et al., 2006). A suscetibilidade ao intemperismo de cada mineral é condicionada pelas características intrínsecas do mesmo (clivagem, coeficiente de expansão, defeitos no cristal e tamanho do grão) e as condições do ambiente onde está inserido (Melo; Alleoni, 2009).

Os processos intempéricos são classificados de duas formas, o intemperismo químico e o intemperismo físico. Caso haja a ação de organismos vivos ou matéria orgânica no processo, o mesmo é classificado como intemperismo físico biológico ou químico biológico. No intemperismo químico os minerais são dissolvidos ou tem sua composição química alterada. O intemperismo físico provoca fragmentação na estrutura do mineral. Nos processos intempéricos físicos ou químicos biológicos, as plantas e microorganismos geram ácidos orgânicos que alteraram a estrutura do mineral (Teixeira et al., 2003).

Cada espécie mineral possui uma estabilidade química própria, isso se deve as suas características de formação em ambientes com diferentes condições físicas e químicas (Press et al., 2006). A estabilidade química pode ser definida como uma medida da tendência que um mineral possui de resistir em uma dada forma química, ao invés de reagir espontaneamente para tornar-se uma substância química diferente

(Melo; Alleoni, 2009). Os minerais apresentam estabilidade ou instabilidade em relação as condições específicas de um ambiente.

A determinação da estabilidade do mineral pode ser realizada por análises de solubilidade e de taxa de dissolução. A análise de solubilidade de um mineral é medida pela quantidade desse dissolvida na água quando a solução está saturada. Quanto maior a solubilidade mineral menor será a sua estabilidade frente as intempéries. A taxa de dissolução de um mineral pode ser mensurada de uma forma simples, analisando o intervalo de tempo que o mineral leva para se dissolver em uma solução não saturada. Quanto mais rápido for a dissolução de um mineral, menor será a sua estabilidade. O conceito de estabilidade mineral está relacionado com a energia do sistema. O estado mais estável é o de baixa energia, comparativamente aos demais estados do sistema.

Em função das reações químicas do intemperismo os minerais liberam elementos para a solução do solo e formam um conjunto de novos minerais (denominados minerais secundários), na busca de um equilíbrio químico com as condições do meio. No solo, os minerais primários de maior estabilidade concentram-se nas frações areia e silte. Os minerais secundários, formados a partir da intemperização dos minerais primários de menor estabilidade, são encontrados principalmente na fração argila. O diagrama de estabilidade (Fig. 1) demonstra graficamente em que condições cada mineral estará sujeito ao intemperismo no solo.

A constante de equilíbrio termodinâmico (K) descreve relações entre as concentrações dos produtos e dos reagentes em reações químicas na condição de equilíbrio.

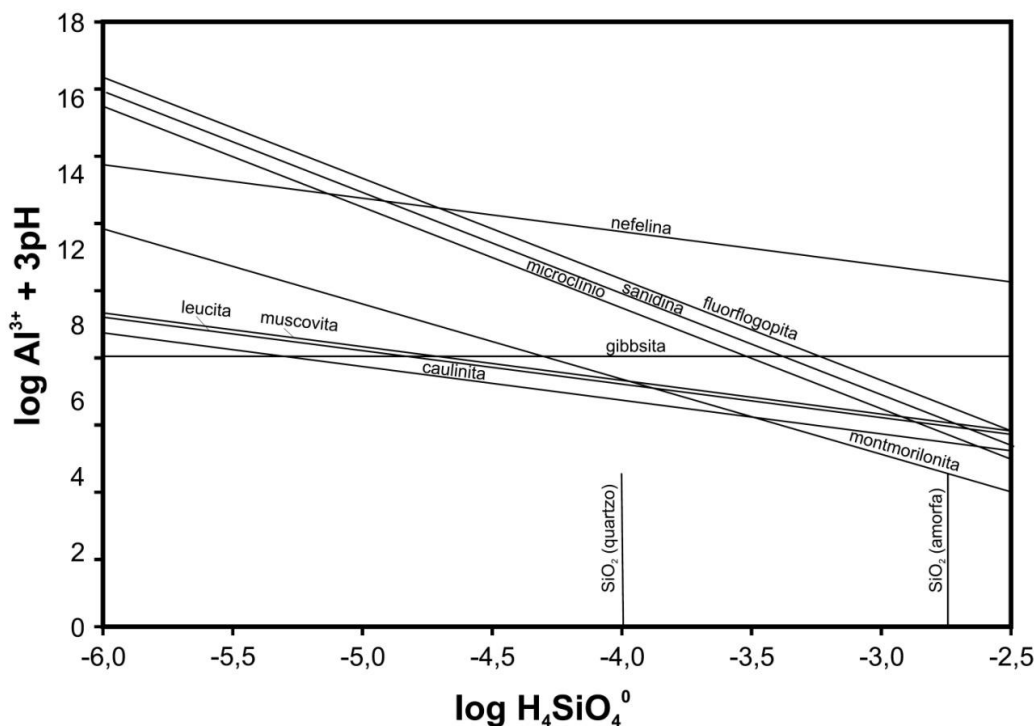


Figura 1. Diagrama de estabilidade de minerais fontes de potássio no solo.

5.4.5. Minerais silicáticos com potencial para liberação de potássio

A indústria de fertilizantes usa os minerais halóides como matéria prima para a elaboração dos seus produtos. Esses minerais são interessantes por possuírem elevados teores de K (~50%) e alta solubilidade. Porém, os depósitos evaporíticos não são abundantes ao redor do globo, visto que necessitam de condições especiais climáticas para a sua formação no decorrer do tempo geológico. Os agrominerais silicáticos não são considerados minério pela indústria de fertilizantes, por serem considerados de baixa solubilidade. No caso de sua utilização, o processo mais simples e conhecido é a extração de K por dissolução a partir de forte ataque químico, acompanhado de tratamento térmico. (Nascimento; Loureiro, 2004). Ensaios estão sendo realizados com a finalidade de avaliar a taxa de liberação do nutriente K com o uso de agrominerais silicáticos, com ou sem tratamento químico, físico e biológico.

O feldspato potássico possui uma estrutura resistente, isso faz com que o cátion K^+ não consiga se libertar com facilidade do mineral. A taxa de solubilidade do feldspato potássico é extremamente baixa. No feldspato potássico o K encontra-se nos interstícios desses minerais, balanceando as cargas negativas resultantes dos

tetraedros coordenados por Al. Para cada quatro tetraedros existe um átomo de K para manter a eletroneutralidade do mineral (Britzke, 2010). Nos feldspatos a liberação do K da estrutura mineral ocorre pela ação da água e de ácidos fracos, com reações de hidrólise e/ou protonação (Mengel; Kirkby, 1987). Caso a alteração do feldspato potássico ocorra por hidrólise parcial irá formar mica/ilita, montmorilonita e/ou caulinita e liberar o K^+ , a formação de um determinado mineral secundário se dá pela intensidade da hidrólise (Mielniczuk, 1977). Se a hidrólise for total, a ação intempérica nos feldspatos resultará na solubilização da sílica, liberação do K^+ para a solução do solo e na neoformação do mineral gibbsita ($Al(OH)_3$).

Essa grande resistência ao intemperismo torna o feldspato potássico inviável como uma fonte alternativa para o nutriente K sem qualquer processo tecnológico adicional (Nascimento et al., 2008). Estudos com tratamento térmico foram realizados com o sienito nefelínico para aumentar a solubilidade do feldspato potássico (Faquin, 1982). O feldspato potássico pela reação com soluções hidrotermais liberou o nutriente potássio e transformou-se em um mineral secundário kalsilita, que possui alta solubilidade. Além disso, trabalhos vêm sendo conduzidos no intuito de utilizar rochas com teores mais elevados de K_2O (5-15%) como minério para produção de fertilizante fonte de K, sendo que alguns já conseguiram desenvolver rotas tecnológicas viáveis do ponto de vista técnico (Wang et al., 2017).

Porém o custo desse processamento é elevado, tornando-o inviável economicamente (Martins et al., 2008). Estudos com rochas dacíticas de textura micrográfica da Formação Serra Geral, encontradas no sul do Brasil, apresentaram efeito sobre a produção de massa seca em experimento agrônômico em condições controladas com plantas de milho (Grecco et al., 2013). A razão para a liberação do K, dos feldspatos potássicos deve-se a textura de resfriamento rápido e as feições de devitrificação. A micropetrografia mostra que dacito é uma rocha microgranular, com textura micrográfica, dada por intercrescimento de quartzo e feldspato alcalino, observou-se ainda textura esferulítica que é própria de feições de devitrificação (Grecco et al., 2012). Assim, dependendo das condições de formação do feldspato potássico o K e de sua sanidade, uma fração deste pode ser liberado da sua estrutura em um curto prazo a médio prazo.

Os feldspatoides são considerados como petro fertilizantes, por terem K em grande quantidade e uma taxa de liberação razoável (Mathers, 1994). Experimentos de biolixiviação feitos por Rossi (1978) mostraram que entre 21% e 27% do K contido

no mineral leucita foi extraído por atividade microbiana (*Penicillium expansum* e *Aspergillus nigermostrou*). Bakken (2000) em seu estudo com fornecimento de K para pastagens na Noruega aplicou agrominerais como fontes de K, entre elas o nefelinasienito. O autor constatou que 30% de K absorvido pelas plantas foram liberados da estrutura dos feldspatoídes.

Em relação aos minerais micáceos, os que possuem arranjo trioctaedral são mais suscetíveis ao intemperismo do que os dioctaedrais (Melo; Alleoni, 2009). A taxa de troca iônica das micas está relacionada à orientação da ligação da hidroxila (O-H). Na estrutura das micas trioctaédricas a ligação O-H está orientada normalmente aos planos das camadas 2:1. Nas micas dioctaédricas a ligação O-H está inclinada ao sítio octaédrico vazio (Serratoza; Bratley, 1958 *apud* Martins et al., 2004). Nas micas trioctaedrais com o H⁺ da hidroxila próximo ao K⁺ da intercâmara, ambos os íons irão se repelir fortemente, por possuírem cargas positivas (Figura 2). Com isso a mica trioctaédrica fica com uma ligação mais fraca. Na mica dioctaédrica o H⁺ da hidroxila são atraídos para o sítio octaédrico vazio, região de maior eletronegatividade da estrutura do mineral.

Nas biotitas foi observado que a oxidação do Fe²⁺ retém fortemente o K⁺. Quando ocorre a oxidação do Fe²⁺ alguns cátions octaédricos são expelidos da estrutura da biotita, formando espaços vazios na estrutura do mineral. Esses espaços vazios atraem na sua direção os íons H⁺ das OH estruturais. Com isso, as OH que estão em uma posição perpendicular às camadas passam para uma posição oblíqua, conferindo uma característica dioctaédrica para o mineral. Com a orientação do H⁺ para o espaço vazio irá aumentar a distância do K⁺, conseqüentemente aumentando a estabilidade da biotita.

As micas trioctaedrais que contém flúor (F) em sua estrutura possuem maior estabilidade do que as dioctaedrais. Na lepidolita o F está ligado ao cátion dioctaedral no lugar da OH. A substituição da OH pelo F remove os prótons, colocando o K em um ambiente mais negativo, ficando com uma ligação forte na estrutura do mineral. Micas com alto teor de F⁻ apresentam maior estabilidade (Kalinowski, 1997).

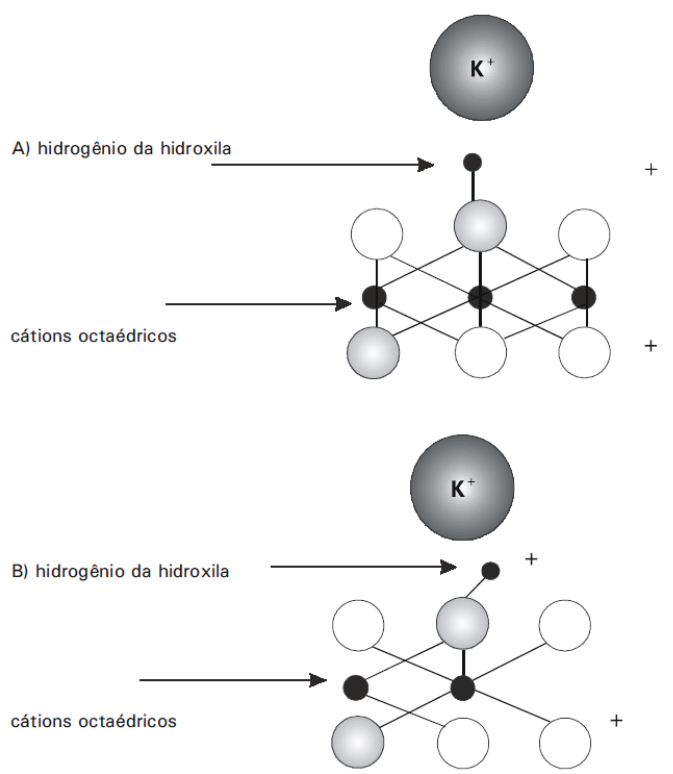


Figura 2. Diferenças na orientação do hidrogênio da hidroxila. A. Micas trioctaédricas. B. Micas trioctaédricas. (Fonte: Kalinowski, 1997).

De acordo com Resende et al. (2005) as rochas que contêm quantidades apreciáveis dos minerais biotita ou flogopita são promissoras para aplicação direta no solo, pois tendem a se solubilizar e liberar K com relativa facilidade. No Brasil, foi realizado um estudo com biotita concentrada como fonte de K, para a cultura do milho. A biotita concentrada apresentou aumento na matéria seca da cultura, maior efeito residual em relação ao KCl e o índice de eficiência agrônômica foi de 54% em relação ao KCl (Duarte et al., 2012). Testes agrônômicos foram realizados com flogopitito oriundo do rejeito da mineração de esmeralda, em Campo Formoso, Bahia, Brasil. Um dos estudos conduzidos foi o de avaliação do efeito residual para fornecimento de K de rochas silicáticas no desenvolvimento de plantas de *Brachiaria decumbens* cv. Basilinsk cultivadas em um sistema de integração lavoura-pecuária (Rocha et al., 2009). Entre as rochas estavam a o flogopitito, os autores constataram que essa litologia promoveu o crescimento e a produtividade de matéria verde da gramínea nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de K₂O.

5.4.6. Dinâmica do potássio na reserva mineral do solo

O solo é definido como um corpo natural composto essencialmente de minerais, matéria orgânica, líquidos e gases, que se encontra na superfície terrestre (Melo; Alleoni, 2009). Os horizontes presentes nos solos são resultantes dos processos de adições, perdas, transferências e transformações de energia e matéria ao qual ficou suscetível o material de origem (Soil Survey Staff, 1999). A fertilidade dos solos formados pelo intemperismo está condicionada pelos processos pedogenéticos. Os nutrientes presentes no solo são provenientes do material de origem e da decomposição de restos vegetais. O nutriente K no solo ocorre em formas distintas, sendo a primeira fase estrutural no mineral primário e a última é fase livre na solução do solo (Nachtigall, 1986). Assim, a disponibilidade de K está condicionada aos tipos e quantidades dos minerais presentes, na quantidade de matéria orgânica e da capacidade do solo em retê-lo nos minerais secundários (Hodges, 2010).

Segundo Tisdale et al. (1993) as formas de K no solo podem ser classificadas em quatro categorias, seguindo uma ordem crescente de disponibilidade: a) estrutural, b) não-trocável, c) trocável e d) em solução, que somadas fornecem o teor de K total. O K estrutural encontra-se na estrutura cristalina dos minerais, não estando disponível para assimilação das plantas. Nos minerais primários silicatados, por exemplo, na biotita, o K estrutural encontra-se entre as unidades cristalinas formadas pelas camadas de tetraedros de silício e octaedros de alumínio. A biotita é um filossilicato que pertence ao grupo das micas, com uma estrutura trioctaedral (Klein; Hurlbut, 1999). Com a ação dos processos intempéricos os minerais primários (exemplo a biotita) perdem a sua estabilidade e se transformam em minerais secundários (argilominerais). Isso se deve a dois principais fatores: i) redução da carga negativa e consequente troca de K por cátions hidratados; ii) dissolução mineral e recombinação dos produtos do intemperismo (Melo; Alleoni, 2009).

Nos minerais secundários o potássio não trocável encontra-se retido entre as lâminas 2:1. A fase não trocável do K ocorre nos minerais argilosos interestratificados (Sparks, 1985) e em bordas de micas parcialmente intemperizadas (Kirkman et al., 1994). Nos argilominerais (2:1), por exemplo, a vermiculita, o K não trocável encontra-se nas cavidades siloxanas. Essa cavidade possui alta densidade que retém o cátion K devido a sua carga negativa (Huang, 1988). A cavidade siloxana é o plano de íons de oxigênio que limitam cada lado de uma camada de um argilomineral 2:1

(Sposito, 1984). A cavidade ocorre em intervalos regulares na superfície do mineral e servem como locais reativos para a formação de complexos de superfície com cátions. Os complexos podem ser formados quer com cátions hidratados ou desidratados (Melo; Alleoni, 2009). Na forma não trocável o K está retido em função do ajustamento físico-químico do cátion K^+ desidratado em cargas permanentes. Isso ocorre devido ao K possuir ligações coulômbicas em coordenação com as cargas negativas geradas por substituição isomórfica (Britzke, 2010). Quando os minerais secundários possuem alta densidade de carga negativa estrutural, ao ponto de ser superior à energia de hidratação do íon, o mineral secundário permanece desidratado e o K fica retido nos poros ditrigonais entre as lâminas tetraédricas adjacentes (Melo et al., 2009). Do ponto de vista de disponibilidade para as plantas o K não trocável é tido como de liberação muito lenta.

Com o aumento da hidratação do mineral secundário o cátion K passa para a fase trocável (disponível). O K trocável encontra-se na superfície de argilominerais, está adsorvido eletrostaticamente com cargas negativas (Britzke, 2010). A matéria orgânica no solo também pode reter essa fase do K em sua superfície. As ligações químicas do K trocável nos argilominerais está estabelecida de duas formas: por complexos de esfera externa (adsorção não-específica) ou na forma de nuvem de íons difusíveis (Sposito, 1989), sendo facilmente deslocado por outros cátions. Essa fase do K é considerada a mais importante a ser utilizada pelas plantas durante o período de cultivo (Oliveira et al., 1971). Por ser considerada como uma reserva imediata de reposição do nutriente K na solução do solo.

Após ser liberado do mineral secundário (argilomineral) o K passa para a fase solúvel. O K encontra-se livre na solução do solo, por estar sob condições normais de umidade e livre de forças de adsorção (Reitemeier, 1951). Essa fração é de extrema relevância visto que nessa forma o nutriente é prontamente assimilável pelas plantas (Gianello; Mielniczuk, 1981). O teor de K na solução do solo está condicionado pelas reações de equilíbrio e cinética, o conteúdo de água e a concentração dos íons bivalentes na solução e na fase trocável (Martin; Sparks, 1985). A passagem do K solução para o interior da planta se dá principalmente por duas formas: a primeira é por difusão do íon K^+ da solução do solo para o interior das raízes; o segundo processo envolve o transporte do íon K^+ por fluxo de massa através da membrana da raiz e liberação no interior da mesma (Malavolta et al., 1997). As plantas são promotoras da liberação de potássio dos minerais, pois retiram parte do que está disponível (K

trocável), forçando o equilíbrio da reação para o lado da fase solúvel. Além disso, liberam ácidos orgânicos de baixo peso molecular que atacam os minerais, promovendo a dissolução e liberação de K do mineral para as fases trocável e solúvel. Além de ser absorvido pelas plantas o K solução por ser um íon muito móvel pode ser lixiviado do solo ou a ser adsorvido na superfície de argilominerais e/ou pela matéria orgânica.

Referente às transições das fases do K, Sparks (1980) as classifica na seguinte ordem: de não-trocável para trocável como lenta, enquanto que a passagem de K trocável para K solução sendo rápida. A Figura 3 apresenta um modelo teórico da dinâmica do K no solo (Sparks, 1989).

Sob o ponto de vista de capacidade de retenção do nutriente K na fração mineral do solo, os teores são distintos entre as fases: estrutural, não trocável, trocável e solução. Teoricamente na fase do K estrutural (dentro do mineral) as ligações são fortes, oferecendo uma maior resistência para a liberação do íon K^+ para a fase seguinte, sendo a disponibilidade do K para o solo muito lenta. Posteriormente, na fração não trocável, onde o K^+ está retido na estrutura dos argilominerais (fração coloidal), os teores de K serão menores. A fase não trocável é tida como de liberação lenta do nutriente K. Na fase trocável o K encontra-se adsorvido na superfície dos coloides, o seu teor de K é inferior a fase não trocável, porém a sua disponibilidade para a solução do solo é moderada, visto que nessa fração a alteração é maior devido à área superficial dos coloides ser maior. A última fase o K encontra-se livre na solução do solo estando prontamente disponível para a planta.

Os fatores que determinam a capacidade de um solo em liberar ou fixar K varia de acordo com a qualidade e quantidade de coloides no solo, a concentração de K na solução, pH, cátions e os ciclos de umedecimento e secagem. Em solos agrícolas a disponibilidade de K pode ser analisada em função do tempo, em reserva de longo, médio e curto prazo. A análise temporal de liberação de K está relacionada com os ciclos de uma cultura. Um agromineral que consiga liberar o K nos primeiros ciclos é tido como de liberação em curto prazo, os minerais que precisam de vários ciclos de produção de uma cultura são considerados de liberação de longo prazo.

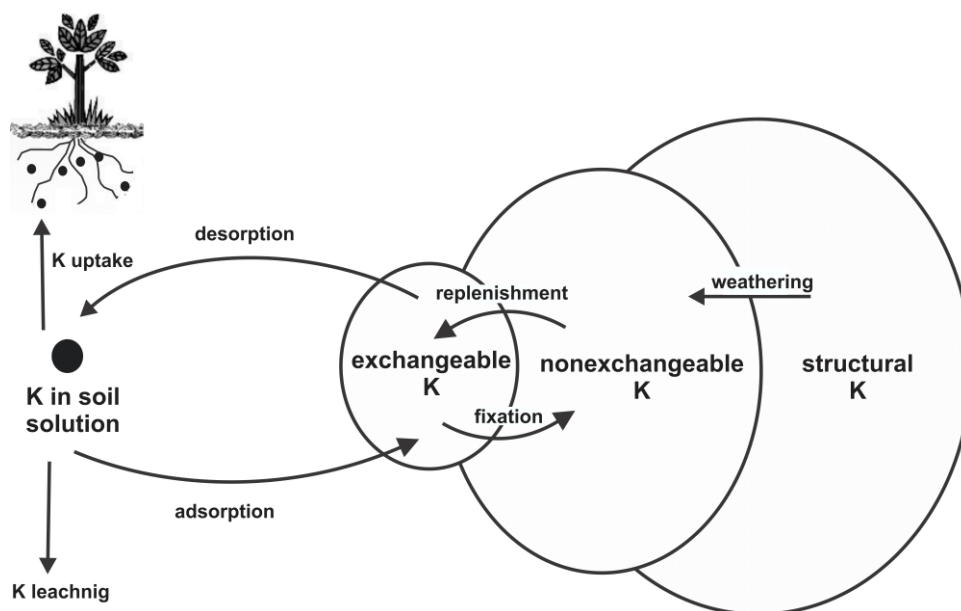


Figura 3. Representação esquemática das fases de K no solo. Adaptado de Krauss, (2000).

Ao analisar as fases do K na fração sólida em termos de disponibilidade de K para as plantas, pode-se fazer uma analogia com aplicações financeiras. O K estrutural é comparável a um investimento a longo prazo, o K não trocável seria um investimento a curto prazo, o K trocável seria como se o investidor tivesse dinheiro em uma conta corrente e o K solúvel seria semelhante a ter dinheiro em caixa (Brady; Weil, 2013).

Britzke (2010) realizou um estudo sobre as diferentes fases do K no solo. A pesquisa foi realizada através de análises químicas para a quantificação dos teores de K, com diferentes extratores para cada fase do K (Tabela 1). O estudo foi realizado com treze amostras de solos de várzea da metade sul do Rio Grande do Sul, Brasil, coletados na camada superficial (0 a 20 cm). Entre os solos analisados o K total apresenta uma ampla variação (138,2 a 6976,6 mg kg⁻¹). Entre as fases do K os maiores teores concentram-se na fase estrutural, ficando em torno de 49 a 91% do K total.

As diferentes fases do K no solo foram determinadas por Britzke (2010) através de análises químicas, usando diferentes extratores para cada fase (Tabela 4). Em seu estudo o autor associou os teores de K encontrados nos solos com a mineralogia, através de difratometria de raio X (DRX) nas frações areia, silte e argila. O estudo foi realizado com treze amostras de solos de várzea da metade sul do Rio Grande do

Sul, Brasil, coletados na camada superficial (0 a 20 cm). Entre os solos analisados o K total apresenta uma ampla variação (138,2 a 6976,6 mg kg⁻¹). Entre as fases do K os maiores teores encontram-se na fase estrutural (49 a 91% do K total). Os teores de K determinados em cada fase podem ser compreendidos ao serem relacionados com a mineralogia predominante nas frações de solos.

Comparando-se a mineralogia e os teores de dois solos com K total bem distintos, como o de Cachoeirinha e de Caçapava do Sul, pode-se compreender a dinâmica do K nas fases do solo. O Gleissolo Háplico de Cachoeirinha apresentou um dos menores teores de K total. O baixo teor de K deste solo o autor atribui ao predomínio de minerais que não possuem K. Na fração silte foi identificado o quartzo (SiO₂) como mineral predominante. Na fração argila o mineral de maior ocorrência é a caulinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄), também ocorreram picos de vermiculita ((Mg,Fe,Al)₃[(Al,Si)₄O₁₀](OH)₂4(H₂O)) e quartzo. A caulinita dependendo do grau de evolução do solo tende a não possuir K em sua estrutura. Para esse solo o K disponível é classificado como de disponibilidade média com 31,7 mg kg⁻¹ (SOSBAI, 2007).

Já o Planossolo Hidromórfico de Caçapava do Sul, RS possui um dos maiores teores de K total (6101,1 mg kg⁻¹). A análise na fração argila detectou o mineral esmectita como o de maior ocorrência, além de picos dos minerais illita ((K,H₃O)(Al,Mg,Fe)₂(Si,Al)₄O₁₀[(OH)₂, (H₂O)]), caulinita, quartzo e feldspato potássico (KAlSi₃O₈). A presença desses minerais primários e secundários na fração argila deve-se ao solo ser pouco desenvolvidos, ou seja, pouco intemperizado. A fração silte apresentou maior intensidade de quartzo, além de albita e microclínio. Na fração areia foram detectados os minerais sanidina, microclínio e predomínio de quartzo.

O contraste dos teores de K de ambos os solos, permitem associar a maior disponibilidade de K a uma reserva mineral rica em minerais primários e secundários portadores de K, destacando a grande influência dos minerais primários nos teores de K disponível as plantas. Pode-se ainda destacar desse estudo que solos com os menores teores de K total apresentam uma percentagem maior de K disponível. O Planossolo de Sto. Antônio da Patrulha possui um teor de K extraível muito próximo do K total. Isso deve-se ao solo não possuir minerais potássicos na reserva mineral. O autor conclui que solos com baixos teores de K total e K não-trocável necessitam de uma adubação maior para K, enquanto alguns solos menos evoluídos talvez em um ciclo de cultivo não necessitam de adubação solúvel para K.

Tabela 4. Teores de K total, K estrutural, K não trocável, K trocável e K solução para 13 solos do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Adaptado de Britzke, 2010).

Solo	Local	K total ¹	K	K não	K	K
		mg kg ⁻¹	estrutural ²	trocável ³	trocável ⁴	extraível ⁵
		%				
Planossolo Hidromórfico	Sto. Antônio da Patrulha	138,2	49,1	16,7	34,2	44,5
Gleissolo Háptico	Cachoeirinha	236,9	73,6	14,1	12,3	13,4
Planossolo Hidromórfico	Paraíso do Sul	394,9	84,1	9,9	6,0	9,0
Planossolo Hidromórfico	Restinga Seca	406,7	83,6	7,0	9,4	10,7
Chernossolo Ebânico	Uruguaiana	710,8	85,7	6,4	7,9	7,8
Planossolo Háptico	São Gabriel	888,5	79,8	15,3	4,9	5,4
Planossolo Háptico	Rosário do Sul	1046,5	91,4	4,8	3,8	5,1
Planossolo Hidromórfico	Cachoeira do Sul	1184,7	85,8	11,4	2,8	4,0
Planossolo Hidromórfico	Santa Maria	1461,2	75,6	14,7	9,7	10,3
Planossolo Hidromórfico	Sta. Vitória do Palmar	1627,0	87,7	9,0	3,2	3,4
Planossolo Hidromórfico	Caçapava do Sul	6101,1	70,3	28,7	1,0	1,3
Gleissolo Melânico	Camaquã	6733,1	72,7	25,4	1,9	2,1
Gleissolo Háptico	Dom Pedrito	6976,6	69,9	27,9	2,1	2,3

¹extração ácida com HF; ²diferença entre K-HF e K- NaTFB com 24 horas de extração; ³diferença entre K- NaTFB 24 horas de extração e K-acetato de amônio pH 7,0; ⁴K-acetato de amônio pH 7,0; ⁵extração com solução Mehlich¹.

Considerando o contexto exposto até aqui com relação à existência de rochas com minerais portadores de potássio no sul do Brasil, a dependência da agricultura brasileira por fontes importadas de insumos e a escassez de informações sobre a dinâmica de liberação de K de rochas silicáticas, demonstra-se a necessidade de avaliar conhecer a dinâmica de liberação de nutrientes de rochas e resíduos minerais de processos industriais com potencial de uso agrícola.

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. Estudo I - Experimento de incubação

6.1.1. Local

O trabalho foi implantado em sala com ambiente controlado na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, no município do Capão do Leão/RS em abril de 2016.

6.1.2. Caracterização do solo e das rochas

Para condução do experimento utilizou-se dois tipos de solo: um Planossolo Háplico proveniente do Centro Agropecuário da Palma/Capão do Leão – RS coletado em área de campo natural e Nitossolo Amarelo coletado em área anexa ao campo experimental no município de Sertão, RS. Foram coletados aproximadamente 500 kg na camada superficial (0-20 cm) dos dois tipos de solo, em seguida foram expostos ao ar, destorroados e passados em peneira de 1 cm de malha. Previamente à instalação do experimento, foi realizada a análise de fertilidade do solo e dos insumos utilizados. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, estão descritos os atributos dos dois tipos de solo utilizados no experimento de incubação.

Tabela 5. Atributos físico-químicos da camada arável (0-20 cm) de um Planossolo Háplico e de um Nitossolo Amarelo de Pelotas e Sertão, RS, respectivamente.

Tipo de solo	pH	MO ¹ %	CTC ³ - cmol _c dm ⁻³ -	Al - mg dm ⁻³ -	P -- mg dm ⁻³ --	K -- mg dm ⁻³ --	Ca -- cmol _c dm ⁻³ --	Mg -- cmol _c dm ⁻³ --	S ⁴ ----- mg dm ⁻³ -----	Zn	Cu	B	Mn
Planossolo	4,8	1,1	8,8	1,1	3,4	27,0	0,8	0,7	18,6	0,2	0,7	0,1	6,3
Nitossolo	5,1	2,2	13,5	0,1	18,8	138,0	5,7	2,3	14,7	2,9	7,4	0,1	36,4

¹ Matéria orgânica; ² Capacidade de troca de cátions efetiva; ³ Capacidade de troca de cátions potencial; ⁴ Soma de bases.

As amostras foram coletadas de rocha in situ (amostra macroscópica), cerca de 10 kg, com o cuidado de serem frescas, sem alterações e representativas da litologia para análise química total. A litoquímica foi realizada no ACME – Analytical Laboratories Ltd, Vancouver, Canadá. Pelo tratamento analítico foram determinados os elementos maiores, menores e os elementos-traço com os equipamentos de ICP-

OES (Inductively Coupled Plasma) e ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry). Na Tabela 6 está descrita a análise litoquímica das litologias utilizadas nos experimentos.

Tabela 6. Litoquímica de rochas silicáticas utilizadas em experimento de incubação.

Rocha	Óxidos (%)											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
Monzogranito	70,29	0,49	13,24	4,23	0,07	0,99	2,42	2,87	4,33	0,15	0,7	99,76
Dacito	66,35	1,00	12,66	6,91	0,12	1,26	3,55	3,09	3,60	0,28	1,0	99,81
Rocha Ultrapotássica	41,68	1,75	13,05	11,05	0,12	0,22	11,52	0,21	8,53	0,94	9,7	99,64
Granada Biotita Gnaiss	61,82	1,21	15,04	5,55	0,08	2,34	4,48	2,64	4,27	0,43	1,7	99,61

Todos os materiais foram previamente cominuídos e passados em peneira de 0,3 mm, caracterizando-os fisicamente como de granulometria “filler”.

6.1.3. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e o delineamento de tratamento teve arranjo fatorial 2x4, sendo o fator 1 (tipo de insumo) do tipo qualitativo - com dois níveis: Planossolo e Nitossolo, e o fator 2 (dose de rocha) do tipo quantitativo, com quatro níveis: 0; 5.000; 10.000 e 20.000 kg ha⁻¹. Os tratamentos estão descritos na Tabela 7.

O ensaio de incubação foi conduzido em sala com temperatura ambiente, sendo a unidade experimental constituída de um pote plástico de volume de 0,4 dm⁻³, de aproximadamente 18 cm diâmetro, com tampa perfurada. Os solos permaneceram em temperatura ambiente variando de 15-30 °C e controle quinzenal da umidade do solo no período experimental em valores próximos à capacidade de campo. O período total de incubação do solo com os insumos foi de 4 meses. Após a incubação, foram coletadas amostras e encaminhadas para o Laboratório de Análises de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando as variáveis apresentaram efeito significativo para os fatores estudados, em isolado e interação, procedeu-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro no caso do fator qualitativo (Tipo de insumo) e de regressão polinomial para o fator quantitativo (Doses

dos insumos). Estatisticamente, os tipos de solo foram avaliados separadamente, não sendo considerados como um fator de tratamento.

Tabela 7. Descrição e dose dos tratamentos utilizados no experimento de incubação.

Solo	Tratamentos	Litologia	Dose	
Planossolo	T1	Testemunha	0	
	T21	Granodiorito	5.000	
	T22	Granodiorito	10.000	
	T23	Granodiorito	20.000	
	T31	Dacito	5.000	
	T32	Dacito	10.000	
	T33	Dacito	20.000	
	T41	Rocha Ultrapotássica	5.000	
	T42	Rocha Ultrapotássica	10.000	
	T43	Rocha Ultrapotássica	20.000	
	T51	Granada Biotita Gnaisse	5.000	
	T52	Granada Biotita Gnaisse	10.000	
	T53	Granada Biotita Gnaisse	20.000	
	Nitossolo	T1	Testemunha	0
		T21	Granodiorito	5.000
T22		Granodiorito	10.000	
T23		Granodiorito	20.000	
T31		Dacito	5.000	
T32		Dacito	10.000	
T33		Dacito	20.000	
T41		Rocha Ultrapotássica	5.000	
T42		Rocha Ultrapotássica	10.000	
T43		Rocha Ultrapotássica	20.000	
T51		Granada Biotita Gnaisse	5.000	
T52		Granada Biotita Gnaisse	10.000	
T53		Granada Biotita Gnaisse	20.000	

6.2. Estudo II – Avaliação agrônômica de rochas silicáticas em colunas de lixiviação

6.2.1. Local

O experimento em colunas de lixiviação foi implantado em abril de 2016 na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS. As colunas de lixiviação foram confeccionadas com tubos de PVC de 10 cm de diâmetro e 30 cm de altura. (Figura 4).



Figura 4. Experimento de dinâmica de liberação de elementos químicos com Colunas de Lixiviação.

Foram coletados, destorroados e passados em peneira de 4 mm de malha dois tipos de solo (camada de 0-20 cm) para o experimento: um Planossolo Háplico, coletado no município de Capão do Leão, RS e um Nitossolo Vermelho, coletado no município de Sertão, RS. Estes solos são os mesmos utilizados no experimento de incubação. Os tratamentos desse experimento são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

Tabela 8. Descrição dos tratamentos avaliados em cada solo.

Identificação	Tratamentos/ Localidade
T1	Solo Natural – sem tratamento
T2	Monzogranito – Pelotas/RS
T3	Dacito - Caxias do Sul/RS
T4	Rocha Ultrapotássica – Bagé/RS
T5	Granada biotita gnaiss – Pantano Grande/ RS

As amostras de rochas foram cominuídas para que 100% das partículas tivessem diâmetro < 0,3 mm (ABNT 50), sendo aplicado nas colunas uma dose equivalente de 10.000 kg ha⁻¹. As amostras de rochas foram homogeneizadas com cada tipo de solo, sendo a mistura uniformemente disposta nas colunas de lixiviação.

O arranjo experimental foi composto por 5 tratamentos, 2 tipos de solos e 3 repetições, perfazendo 30 unidades experimentais.

Para simular o efeito da água da chuva, optou-se por aplicar de forma gradual na parte superior das colunas de lixiviação o volume de 300 mL (40 mm) de água destilada uma vez por semana, durante 15 semanas, coletando-se então a solução percolada. Essa quantidade de água aplicada equivale a aproximadamente 5 vezes a quantidade de água percolada no mesmo período em um solo de drenagem livre e sem vegetação na superfície na região de Pelotas/RS. Portanto, esse experimento visa simular o processo de lixiviação com um fator de aceleração de 5 vezes, resultando em 13 meses em condições normais de lixiviação em campo.

As soluções percoladas foram coletadas e acondicionadas em frascos de polipropileno (tubo tipo Falcon), sendo o pH e a condutividade elétrica imediatamente mensurados. Em seguida as amostras foram acidificadas com HNO₃ até pH inferior a 2. A preservação e as análises seguiram a metodologia proposta no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1992). Os elementos Ca, Mg foram determinados diretamente por espectrometria de absorção atômica (Varian AA240 Duo).

6.2.2. Procedimento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. O delineamento de tratamentos foi em arranjo fatorial: Fator A – Tipo de solo: Planossolo e Nitossolo e o Fator 2: Tipo de rocha com 5 níveis: Solo Natural – sem tratamento; Monzogranito – Pelotas/RS; Dacito - Caxias do Sul/RS; Basalto Hidrotermalizado – Bagé/RS; Granada biotita gnaisse – Pantano Grande/ RS.

Os dados dos teores dos elementos avaliados nos lixiviados foram multiplicados pelos volumes lixiviados, sendo então submetidos à análise de valores discrepantes, e então calculadas as médias (três repetições) para cada tipo de solo e tratamento. Os dados médios foram apresentados na forma de gráficos, enquanto os valores médios de totais acumulados ao final de todas as lixiviações foram submetidos à análise da variância (Teste F) e comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Estudo I - Experimento de incubação

Na Tabela 9 é apresentada a análise estatística do efeito principal dos quatro tipos de insumos sobre os atributos químicos do Planossolo Háplico e do Nitossolo Vermelho. Verifica-se que, para praticamente todas as variáveis avaliadas, e independentemente da dose, observou-se influência significativa pela adição das rochas aplicadas. Para a verificação da análise da variância, considerando os efeitos dos fatores de tratamento (tipo de insumo e dose do insumo) e a interação entre estes, pode-se consultar os quadros da análise da variância, para cada atributo analisado, apresentados no Anexo I.

No caso do Planossolo Háplico, somente os teores dos macronutrientes K e Mg e dos micronutrientes Zn e B não foram influenciados pelas litologias aplicadas. Já as variáveis pH, SMP, P, Ca, CTC ef, Sat. Bases e as Relações Ca/Mg e (Ca+Mg)/K tiveram incremento superior com a rocha Ultrapotássica em comparação às demais. Por outro lado, os teores de P, Al, H+Al e Sat. Al foram negativamente influenciados por algumas rochas, em especial pela Granada Biotita Gnaisse.

Para o Nitossolo Vermelho, solo com teor de argila mais elevado em comparação ao Planossolo Háplico, os teores de K, H+Al e CTC pH 7 não foram influenciados significativamente pelas rochas aplicadas. De modo semelhante ao observado no Planossolo, a rocha Ultrapotássica destacou-se em relação às demais litologias para as variáveis pH, P, Al, Ca, Sat. Bases, Sat. Al e aumentou a Relação Ca/Mg. Por outro lado, a rocha Ultrapotássica reduziu o teor de Mn disponível, nos dois tipos de solo em relação às demais rochas, enquanto que a Granada Biotita Gnaisse reduziu os teores de Mn e Zn disponível no Nitossolo.

Após a análise do fator tipo de solo, realizou-se a análise da interação dos fatores tipo de insumo x dose do insumo, ou seja, avaliou-se o efeito de dose do insumo dentro de cada tipo de insumo. Além disso, cada tipo de solo foi analisado separadamente. Os valores médios dos atributos químicos do Planossolo Háplico são apresentados na Tabela 10. foram influenciados significativamente pela adição de doses crescentes das rochas aplicadas (Tabela 4). Todas as 4 litologias alteraram pelo menos algum dos atributos avaliados.

Dentre as rochas aplicadas para o Planossolo Háplico, a Ultrapotássica apresentou os resultados mais consistentes e promissores, incrementando positivamente as seguintes variáveis: pH, SMP, P, Ca, CTC ef, CTC pH 7, Sat. Bases, Relação Ca/Mg, Relação (Ca/Mg)/K e Cu. Destas, para as variáveis SMP, P, Ca, CTC pH 7, Sat. Bases e Cu, houve incremento linear com o aumento da dose do produto, enquanto nas demais variáveis houve efeito quadrático, ou seja, os valores médios das variáveis aumentaram até atingir um determinado pico, tornando a reduzir até a maior dose aplicada, demonstrando que a máxima eficiência técnica do produto foi alcançada antes da dose máxima aplicada (20 t ha⁻¹). Para as variáveis Sat. Al e Mn houve decréscimo linear significativo com o aumento da dose da rocha Ultrapotássica.

Considerando as demais rochas, a aplicação do Monzogranito resultou em incremento positivo de efeito quadrático nos teores de P, Mg e CTC ef, e redução linear da relação (Ca+Mg)/K. Já a aplicação do Dacito aumentou, de forma linear, apenas os teores de Cu. Finalmente, a Granada Biotita Gnaiss incrementou significativamente os atributos Mg, H+Al, CTC ef, CTC pH 7, e do micronutriente Cu. Para os atributos Mg e CTC ef esse incremento foi linear, enquanto que para o H+Al CTC pH 7 e Cu houve efeito quadrático. Para as variáveis SMP e Mn houve decréscimo significativo, de comportamento quadrático com o aumento da dose.

Os resultados positivos apresentados pela Ultrapotássica são evidenciados e explicados principalmente por uma combinação da sua composição química e mineralógica. Tal litologia apresenta cerca de 11,5 % de CaO (Tabela 3), principalmente sob a forma de carbonato, a calcita, um mineral de dissolução rápida e congruente, encontrada também em abundância em calcários calcíticos, reconhecidamente capaz de alterar positivamente os índices de acidez e de bases do solo, sobretudo de cálcio. No caso do P, que também aumentou linearmente com a adição da rocha, esse comportamento provavelmente deve ser em boa parte como consequência do aumento do pH. Neste caso, um fornecimento pela própria rocha, poderia ocorrer também, já que com um teor de 0,94% P₂O₅ ela pode fornecer até 188 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Ainda em relação ao teor de P disponível no solo, o Monzogranito também poderia incrementá-lo diretamente, a partir do teor nativo da rocha, já que o pH não foi influenciado pela adição da rocha. Trabalhos anteriores, avaliando a mineralogia em lâminas petrográficas dessa litologia, demonstraram a presença visual de apatitas (Grecco et al., 2016). Entretanto, considerando-se uma dose de 20 t ha⁻¹ de

Monzogranito, e tendo a rocha um teor médio de apenas 0,15%, esta poderia aportar até 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o que poderia explicar em grande parte, o aumento de P_2O_5 . A hipótese mais provável tem a ver com a adição de silicatos por esta rocha, que poderia deslocar parte dos ânions PO_4^- do próprio solo para a fração extraível. Uma análise do teor de silício disponível dessas rochas poderia comprovar essa hipótese.

Considerando a hipótese principal deste trabalho, os teores de K extraível do Planossolo não foram influenciados significativamente pela adição das rochas moídas. Com exceção da Granada Biotita Gnaisse, com um incremento linear significativo, passando de 47 a 65 mg kg^{-1} da menor à maior dose, as demais rochas não promoveram aumento significativo do teor desse nutriente. De fato, o teor de K extraível normalmente representa apenas uma pequena fração do teor total de K presente no solo (Moterle, 2008). Este mesmo autor salienta que altas doses de K adicionadas no solo são muitas vezes adsorvidas aos compartimentos de K não detectados pelos métodos de análise de rotina, vindo a compor uma reserva potencialmente disponível as plantas, porém, detectadas somente por extratores de potássio não trocáveis como o HNO_3 . Considerando esse fato, pelas características químicas de riqueza em K total de todas as litologias empregadas nesse estudo, essas devem alterar apenas as frações menos acessíveis à maior parte das plantas, ou seja, as frações de K não trocável e K estrutural. Essa hipótese poderia ser comprovada somente a partir de um fracionamento do K das amostras de solo empregadas nesse estudo.

Tabela 9. Análise estatística do fator tipo de insumo para os atributos químicos do Planossolo Háplico e do Nitossolo Vermelho, incubados com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio. Valores médios de 16 repetições para os quatro tratamentos, e média de quatro repetições para o solo natural.

Solo	Tratamento	pH H ₂ O	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC ef	CTC pH 7	Sat. bases	Sat. Al	Relação Ca/Mg	Relação (Ca+Mg)/K	Zn	Cu	S	B	Mn
		--- mg dm ⁻³ ---			----- cmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----		----- mg dm ⁻³ -----							
Planos- solo	Monzogranito	4,56 b	6,44 b	56,82 b	53,5 ns	0,22 b	1,92 b	0,65 ns	2,69 ab	2,92 b	5,40 b	50,09 b	7,67 b	2,98 b	18,88 b	2,2 ns	1,39 bc	14,8 ab	0,21 ns	26,84 a
	Dacito	4,51 b	6,44 b	48,76 bc	51,5	0,27 ab	1,93 b	0,64	2,70 ab	2,96 b	5,40 b	50,01 b	9,29 b	3,05 b	19,55 b	2,6	1,50 ab	14,63 b	0,24	27,38 a
	Ultrapotássica	5,02 a	6,63 a	68,71 a	53,5	0,11 b	3,17 a	0,65	2,19 b	4,07 a	6,16 a	63,04 a	3,33 b	4,84 a	27,91 a	2,36	1,54 a	15,05 ab	0,24	18,23 b
	Granada Biotita Gnaisse	4,58 b	6,31 b	40,06 c	56,3	0,46 a	1,97 b	0,69	3,38 a	3,25 b	6,18 a	47,51 b	14,9 a	2,83 b	18,55 b	2,57	1,33 c	15,68 a	0,26	20,40 b
	Solo Natural	4,55	6,53	52,78	47,0	0,23	1,88	0,64	2,43	2,88	5,08	51,95	8,08	2,98	20,90	2,06	1,32	14,93	0,23	26,02
Nitos- solo	Monzogranito	4,68 b	5,57 ab	6,4 bc	94,0 ns	0,55 a	5,38 b	2,01 a	7,26 ns	8,16 b	14,88 ns	51,57 b	6,76 a	2,69 c	30,76 bc	2,91 a	5,23 a	15,21 a	0,28 ab	51,76 a
	Dacito	4,67 b	5,58 ab	5,79 c	96,0	0,55 a	5,70 b	2,05 a	7,19	8,56 ab	15,20	52,98 b	6,44 a	2,79 bc	31,70 ab	2,76 a	4,56 b	14,01 ab	0,31 a	51,16 a
	Ultrapotássica	4,90 a	5,70 a	8,06 a	97,3	0,32 b	6,36 a	1,95 ab	6,39	8,86 a	14,93	57,83 a	3,66 b	3,28 a	33,38 a	3,14 a	5,08 ab	13,23 b	0,26 ab	43,67 b
	Granada Biotita Gnaisse	4,66 b	5,56 b	6,83 b	98,3	0,59 a	5,44 b	1,87 b	7,36	8,14 b	14,91	50,96 b	7,24 a	2,94 b	29,17 c	2,11 b	5,70 a	14,68 a	0,18 b	53,94 a
	Solo Natural	4,68	5,48	5,83	96,0	0,55	5,47	2,04	8,08	8,3	15,83	49,28	6,63	2,68	30,6	3,2	5,4	14,35	0,25	52,61

ns: análise da variância não significativa pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 10. Atributos químicos do Planossolo Háplico incubado com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio. Valores médios de quatro repetições.

Solo	Tratamento	Dose	pH H ₂ O	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC ef	CTC pH 7	Sat. bases	Sat. Al	Relação Ca/Mg	Relação (Ca+Mg)/ K	Zn	Cu	S	B	Mn
		Mg ha ⁻¹	-----	--- mg dm ⁻³ ---	-----	cmol _c dm ⁻³ -----	-----	% -----	-----	mg dm ⁻³ -----											
Planos- solo	Monzo- granito	0	4,55 ^{ns}	6,53 ^{ns}	52,78 ^{**}	47 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,88 ^{ns}	0,64 ^{**}	2,43 ^{ns}	2,88 ^{**}	5,08 ^{ns}	51,95 ^{ns}	8,08 ^{ns}	2,98 ^{ns}	20,90 [*]	2,06 ^{ns}	1,32 ^{ns}	14,93 ^{ns}	0,23 ^{ns}	26,02 ^{ns}
		5	4,55	6,45	49,65	53	0,20	2,17	0,77	2,65	3,28	5,73	53,73	6,20	2,85	21,68	2,28	1,41	15,33	0,18	29,24
		10	4,58	6,38	52,18	59	0,25	1,95	0,64	2,90	2,98	5,63	48,55	8,58	3,05	17,05	2,16	1,41	14,43	0,25	27,84
		20	4,55	6,40	72,68	55	0,20	1,69	0,55	2,80	2,58	5,18	46,10	7,83	3,05	15,90	2,29	1,42	14,53	0,20	24,28
	Dacito	0	4,55 ^{ns}	6,53 ^{ns}	52,78 ^{ns}	47 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,88 ^{ns}	0,64 ^{ns}	2,43 ^{ns}	2,88 ^{ns}	5,08 ^{ns}	51,95 ^{ns}	8,08 ^{ns}	2,98 ^{ns}	20,90 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,32 [*]	14,93 ^{ns}	0,23 ^{ns}	26,02 ^{ns}
		5	4,48	6,48	51,78	52	0,33	2,07	0,70	2,60	3,23	5,50	52,68	10,40	3,03	20,95	2,31	1,36	14,83	0,28	29,81
		10	4,53	6,48	41,25	55	0,28	1,78	0,56	2,58	2,75	5,05	49,28	10,10	3,18	16,68	2,99	1,61	14,28	0,23	26,17
		20	4,50	6,28	49,23	52	0,25	1,97	0,65	3,20	3,00	5,95	46,13	8,60	3,03	19,68	3,06	1,71	14,48	0,25	27,52
	Ultra- potássica	0	4,55 ^{**}	6,53 [*]	52,78 [*]	47 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,88 [*]	0,64 ^{ns}	2,43 ^{ns}	2,88 ^{**}	5,08 [*]	51,95 [*]	8,08 ^{ns}	2,98 ^{**}	20,90 ^{**}	2,06 ^{ns}	1,32 [*]	14,93 ^{ns}	0,23 ^{ns}	26,02 [*]
		5	4,78	6,55	63,78	55	0,10	2,53	0,60	2,38	3,38	5,68	57,78	2,95	4,18	22,38	2,43	1,58	15,30	0,23	22,74
		10	4,95	6,55	70,88	55	0,10	3,43	0,68	2,38	4,35	6,63	64,18	2,30	5,10	29,48	2,57	1,63	14,95	0,25	17,03
		20	5,80	6,90	87,40	57	0,00	4,85	0,68	1,58	5,68	7,25	78,25	0,00	7,10	38,90	2,37	1,64	15,03	0,28	7,13
	Granada Biotita Gnaisse	0	4,55 ^{ns}	6,53 ^{**}	52,78 ^{ns}	47 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,88 ^{ns}	0,64 [*]	2,43 ^{**}	2,88 [*]	5,08 ^{**}	51,95 ^{ns}	8,08 ^{ns}	2,98 ^{ns}	20,90 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,32 ^{**}	14,93 ^{ns}	0,23 ^{ns}	26,02 ^{**}
		5	4,63	5,98	25,78	48	0,78	1,66	0,61	4,95	3,15	7,33	52,30	26,63	2,65	18,20	1,87	1,47	16,75	0,23	13,21
		10	4,53	6,40	43,60	65	0,28	2,24	0,73	2,80	3,40	5,93	53,00	8,15	3,05	18,05	2,82	1,59	15,95	0,23	21,36
		20	4,60	6,33	38,08	65	0,55	2,09	0,77	3,35	3,58	6,38	49,63	16,75	2,65	17,05	3,52	0,94	15,10	0,35	21,02

ns: regressão polinomial não significativa pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

*: efeito linear significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

** : efeito quadrático significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Considerando os atributos químicos do Nitossolo Vermelho, após a adição de doses crescentes das rochas aplicadas, verifica-se também que, de modo geral, houve influência das fontes avaliadas (Tabela 10). Novamente, a Ultrapotássica apresentou os resultados mais consistentes e promissores, incrementando positivamente as seguintes variáveis: pH, SMP, P, Ca, CTC ef, Sat. Bases, Relação Ca/Mg, Relação (Ca/Mg)/K e Zn. Destas, para as variáveis pH, SMP, Ca, Sat. Bases, Rel. Ca/Mg, e Rel. (Ca+Mg)/K, houve incremento linear com o aumento da dose do produto, enquanto que as demais variáveis apresentaram um crescimento até o pico de eficiência técnica, quando tornou a decrescer (efeito quadrático). Para as variáveis Al, Mg, H+Al, CTC pH 7, Sat. Al, Cu e Mn houve decréscimo significativo de modo linear com o aumento da dose da rocha Ultrapotássica.

Para as demais rochas, verifica-se que a aplicação do Monzogranito resultou em incremento linear e positivo nos teores de P e redução sutil de Zn. Para a aplicação do Dacito, os teores de P, K, Ca e Rel. (Ca+Mg)/K apresentaram efeito quadrático e positivo, enquanto que Zn e Cu tiveram redução, com comportamento quadrático e linear, respectivamente.

Para a Granada Biotita Gnaiss, se observou um incremento significativo dos atributos SMP (linear), e de P, K e Cu (quadrático). Para as variáveis SMP e Mn houve decréscimo significativo, com comportamento quadrático com o aumento da dose.

Novamente, resultados mais expressivos foram apresentados pela rocha Ultrapotássica. Por ter uma composição química mais pobre em SiO₂ e mais rica em nutrientes (Ca, Mg, K₂O e P₂O₅), ainda que na forma de óxidos, e sua matriz ser amorfa, sem a presença de minerais visíveis a olho nu, facilita seu intemperismo.

Ainda em relação ao teor de P disponível no solo, todas as litologias influenciaram positivamente seus teores com o incremento da dose aplicada. Isso pode ter ocorrido, provavelmente porque todas as rochas são compostas majoritariamente por silício. Dependendo do mineral que se encontra esse silício, poderá haver certa solubilidade, liberando ácido monossilícico H₄SiO₄, que poderá deslocar íons PO₄ para a fase disponível, já que os dois íons competem pelos mesmos sítios de adsorção do solo.

Considerando o foco principal desse trabalho, o potássio, os teores de K extraível por Mehlich-1 do Nitossolo também praticamente não foram influenciados pela adição das rochas moídas. As exceções foram o Dacito e a Granada Biotita Gnaiss, com um incremento quadrático significativo, passando de 96 a 102 e 96 a

107 mg kg⁻¹ da menor à maior dose, respectivamente. As demais rochas não promoveram aumento significativo do teor desse nutriente. Dessa forma, independentemente do tipo de solo (argiloso ou arenoso), rochas ricas em K devem alterar apenas as frações menos acessíveis à maior parte das plantas, ou seja, as frações de K não trocável e K estrutural. Somente a partir de um fracionamento do K das amostras de solo empregadas nesse estudo, ou um estudo com plantas de alta capacidade extratora de silício e potássio, para comprovar se essas rochas realmente não liberam quantidades significativas de K, ou ainda a avaliação de microrganismos solubilizadores de K são alternativas a serem testadas para incrementar a liberação de K a partir dessas rochas.

Tabela 11. Atributos químicos do Nitossolo Vermelho incubado com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio.

Solo	Tratamento	Dose	pH H ₂ O	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC ef	CTC pH7	Sat. bases	Sat. Al	Relação Ca/Mg	Relação (Ca+Mg)/K	Zn	Cu	S	B	Mn
		Mg ha ⁻¹	-----	-- mg dm ⁻³ --	-----	cmol _c dm ⁻³ -----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Solo	Monzo-granito	0	4,68 ^{ns}	5,48 ^{ns}	5,83 *	96 ^{ns}	0,55 ^{ns}	5,47 ^{ns}	2,04 ^{ns}	8,08 ^{ns}	8,30 ^{ns}	15,83 ^{ns}	49,28 ^{ns}	6,63 ^{ns}	2,68 ^{ns}	30,60 ^{ns}	3,20 **	5,40 ^{ns}	14,35 ^{ns}	0,25 ^{ns}	52,61 ^{ns}
		5	4,68	5,63	5,63	89	0,53	5,31	2,02	6,75	8,08	14,30	52,88	6,55	2,63	32,20	2,68	5,15	15,08	0,33	52,71
		10	4,65	5,58	6,75	98	0,55	5,24	1,98	7,13	8,00	14,58	51,33	6,88	2,65	28,73	2,72	5,61	14,45	0,25	51,39
		20	4,70	5,60	7,40	93	0,58	5,50	1,98	7,10	8,28	14,80	52,80	6,98	2,80	31,50	3,05	4,76	16,98	0,28	50,32
	Dacito	0	4,68 ^{ns}	5,48 ^{ns}	5,83 **	96 **	0,55 ^{ns}	5,47 **	2,04 ^{ns}	8,08 ^{ns}	8,30 ^{ns}	15,83 ^{ns}	49,28 ^{ns}	6,63 ^{ns}	2,68 ^{ns}	30,60**	3,20**	5,40 *	14,35 ^{ns}	0,25 ^{ns}	52,61 ^{ns}
		5	4,70	5,78	5,48	89	0,55	5,70	2,00	5,70	8,50	13,65	58,23	6,48	2,88	34,05	2,47	5,12	14,50	0,28	48,66
		10	4,60	5,45	5,28	97	0,58	6,12	2,18	8,25	9,13	16,80	50,98	6,33	2,83	33,38	2,46	3,79	13,73	0,35	54,26
		20	4,70	5,63	6,60	102	0,53	5,52	1,98	6,75	8,30	14,53	53,45	6,35	2,80	28,78	2,91	3,95	13,45	0,38	49,10
Nitossolo	Ultra-potássica	0	4,68 *	5,48 *	5,83 **	96 ^{ns}	0,55 *	5,47 *	2,04 *	8,08 *	8,30 ^{ns}	15,83 *	49,28 *	6,63 **	2,68 *	30,60 *	3,20 **	5,40 *	14,35 ^{ns}	0,25 ^{ns}	52,61**
		5	4,80	5,63	8,25	101	0,35	6,51	1,98	6,93	9,10	15,68	56,33	3,83	3,28	32,75	4,12	5,72	12,88	0,28	43,88
		10	4,98	5,73	9,15	97	0,23	6,56	1,91	6,03	8,95	14,75	59,20	2,48	3,45	34,18	2,96	4,83	12,48	0,40	40,28
		20	5,15	5,98	9,00	95	0,15	6,87	1,86	4,53	9,10	13,48	66,50	1,70	3,73	35,98	2,29	4,37	13,23	0,13	37,93
	Granada Biotita Gnaisse	0	4,68 ^{ns}	5,48 *	5,83 **	96 **	0,55 ^{ns}	5,47 ^{ns}	2,04 **	8,08 *	8,30 ^{ns}	15,83 *	49,28 ^{ns}	6,63 ^{ns}	2,68 ^{ns}	30,60 *	3,20 **	5,40 **	14,35 ^{ns}	0,25 ^{ns}	52,61 ^{ns}
		5	4,65	5,45	5,38	95	0,58	5,37	2,01	8,20	8,20	15,83	48,20	7,03	2,68	30,48	2,31	4,25	14,05	0,18	53,12
		10	4,65	5,65	6,88	95	0,65	5,36	1,61	6,55	7,85	13,75	52,45	8,30	3,33	28,70	1,37	6,33	15,43	0,20	53,00
		20	4,65	5,65	9,25	107	0,58	5,55	1,80	6,60	8,20	14,23	53,93	7,00	3,08	26,90	1,58	6,82	14,90	0,08	57,04

ns: regressão polinomial não significativa pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

*: efeito linear significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

** : efeito quadrático significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

7.2. Estudo II – Avaliação agrônômica de rochas silicáticas em colunas de lixiviação

Na Figura 5 são apresentados os valores médios das leituras de atributos químicos do Planossolo Háplico. Os valores de pH das soluções lixiviadas iniciaram em torno de 6,0 na primeira lixiviação, passando para a faixa de 7,0-7,5 na 2ª coleta, em geral permanecendo nesse intervalo até o final do experimento, sem diferenças marcantes entre as litologias, havendo apenas um pico de 8,4 para o Dacito na 3ª coleta e um valor mais baixo, de 6,2 para a testemunha na 8ª coleta (Fig. 5-A). Para a condutividade elétrica, a Ultrapotássica apresentou valores superiores quando comparada às demais litologias e ao solo natural entre a 1ª e a 5ª coleta (Fig. 5-C). Para as quantidades lixiviadas de Ca, apesar das diferenças visuais perceptíveis principalmente até a 5ª coleta, com comportamento semelhante ao verificado com os valores de Condutividade Elétrica (Fig. 5-C), e que resultou em diferença visível nos totais acumulados da Ultrapotássica (Fig. 5-D), essa diferença não foi considerada estatisticamente significativa pelo teste e nível de significância utilizados (Tukey, $p > 0,05$). Para os elementos Mg (Fig. 5-E; Fig. 5-F) e Al (Fig. 5-G; Fig. 5-H) não é possível verificar diferenças entre as rochas e das rochas em relação ao solo natural, tanto para as quantidades lixiviadas em cada coleta, quanto para os totais acumulados ao final das 12 lixiviações.

Os resultados demonstram, novamente, que a rocha Ultrapotássica apresentou desempenho superior às demais, liberando quantidades maiores de elementos dissolvidos na solução do solo, conforme também pode ser observado pelos dados de Condutividade Elétrica, sendo provavelmente influenciada em especial pelos teores de Ca. Em trabalho realizado com solos de 15 lavouras de produção de morango em Turuçu, Bamberg (2010) detectou variações temporais da condutividade elétrica da solução do solo ao longo do ciclo da cultura, sendo essas variações explicadas principalmente pelos teores de Ca. No presente estudo, uma correlação positiva também foi encontrada entre Ca e CTC efetiva, CTC pH7 e Saturação por Bases (Apêndice B).

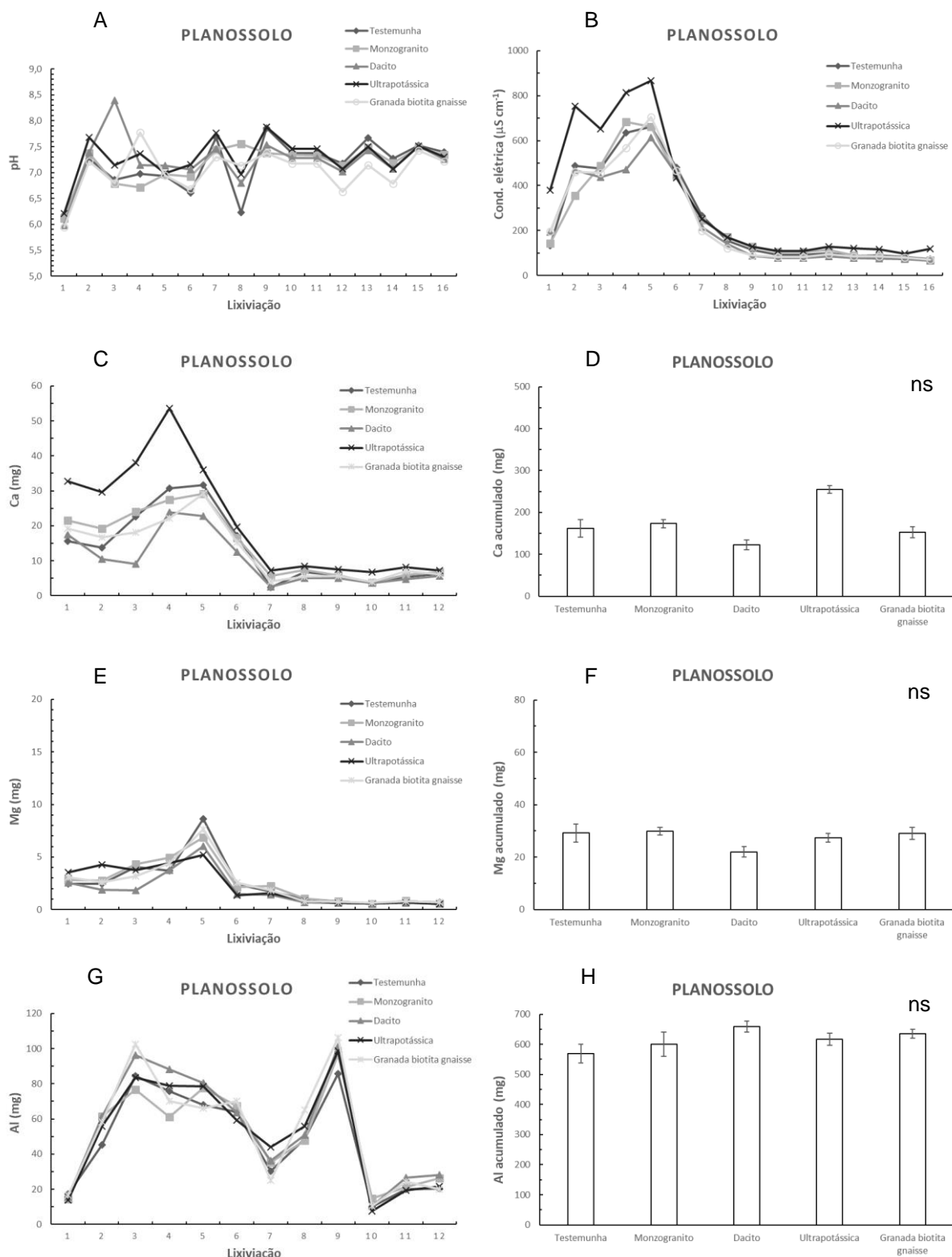


Figura 5. Variações de pH, condutividade elétrica, Ca, Mg, e Al ao longo das lixiviações e acumulados de Ca, Mg e Al num Planosolo Háplico. A. Leituras de pH; B. Leituras de Condutividade Elétrica; C. Cálcio lixiviado (mg). D. Cálcio acumulado. E. Magnésio lixiviado. F. Magnésio acumulado; G. Alumínio lixiviado. F. Alumínio acumulado. ns: diferença mínima não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tomando-se em consideração as quantidades lixiviadas de K (Fig. 6-A) e o somatório dessas quantidades de K lixiviado após 12 coletas (Fig. 6-B) para o Planossolo, não é possível observar diferenças marcantes entre as litologias avaliadas. Nas primeiras 5 coletas dos lixiviados há um incremento de liberação desse nutriente, que atinge um pico entre a 3ª coleta (Monzogranito, Ultrapotássica e Granada Biotita Gnaisse) e 4ª coleta (Dacito), mas que reduz gradualmente até atingir uma estabilidade a partir da quinta coleta.

Para o Na (Fig. 6-C), há uma intensa e maior liberação desse nutriente na primeira coleta, liberando cerca de 25 mg para o solo natural e 15 mg para o solo com Monzogranito, mas que cai abruptamente até 4 mg na segunda coleta para todos os tratamentos, permanecendo com um comportamento de decréscimo gradual até próximo de 1 mg para todas os tratamentos na 12 coleta. Esse comportamento resultou na ausência de diferenças significativas (teste de Tukey, $p < 0,05$) nos totais acumulados após as 12 coletas (Fig 6-D).

No caso do P, também não é possível verificar diferenças entre os tratamentos ao longo das coletas de lixiviados (Fig. 6-E), ocorrendo um aumento abrupto que partiu de 2-3 mg na 1ª coleta até 8-10 mg na 3ª coleta, atingindo 10-12 mg na 5ª coleta. A partir da segunda coleta, os valores de P sempre flutuaram entre 5 e 12 mg, fato que pode estar associado à manutenção do solo das colunas de lixiviação numa condição de maior umedecimento, bem como de valores de pH mais altos em relação à primeira coleta. Nesta situação, pode ocorrer ambiente deficiência de aeração do solo, fato que favorece os processos de oxirredução, aumentando a disponibilidade de P para todos os tratamentos. Ao final das 12 lixiviações, não foi possível observar diferenças significativas entre os tratamentos aplicados, inclusive em relação à testemunha. De fato, todas as rochas avaliadas não são consideradas fontes de P, devido ao seu baixo teor total e P_2O_5 , e que normalmente se encontra em minerais de baixa solubilidade. Assim como para o K das rochas, no caso do fósforo, somente plantas hábeis em extrair formas de P menos disponíveis do complexo de troca poderiam explorar a fração de P fornecida por rochas moídas.

Na Figura 7 são apresentados os valores médios das leituras de atributos químicos do Nitossolo Vermelho. Os valores de pH das soluções lixiviadas iniciaram num nível maior em relação ao Planossolo (Fig. 5-A), entre 7,0-7,3 na primeira lixiviação, em geral permanecendo entre 7,0-8,0 até o final do experimento, sem diferenças marcantes entre as litologias, havendo apenas um pico de 8,5 para a

Ultrapotássica na 2ª coleta e de 8,4 para a testemunha na 8ª coleta (Fig. 7-A). Para a condutividade elétrica, todos os tratamentos apresentaram incremento entre a 1ª e 4ª coleta partindo de 50-150 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e chegando a picos que foram de 500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para a Granada biotita gnaissse na 4ª coleta até 750 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para a Ultrapotássica na 3ª coleta (Fig. 7-B). Deste ponto em diante todos os tratamentos apresentaram redução gradual, mas a Ultrapotássica sempre apresentando valores superiores aos demais tratamentos.

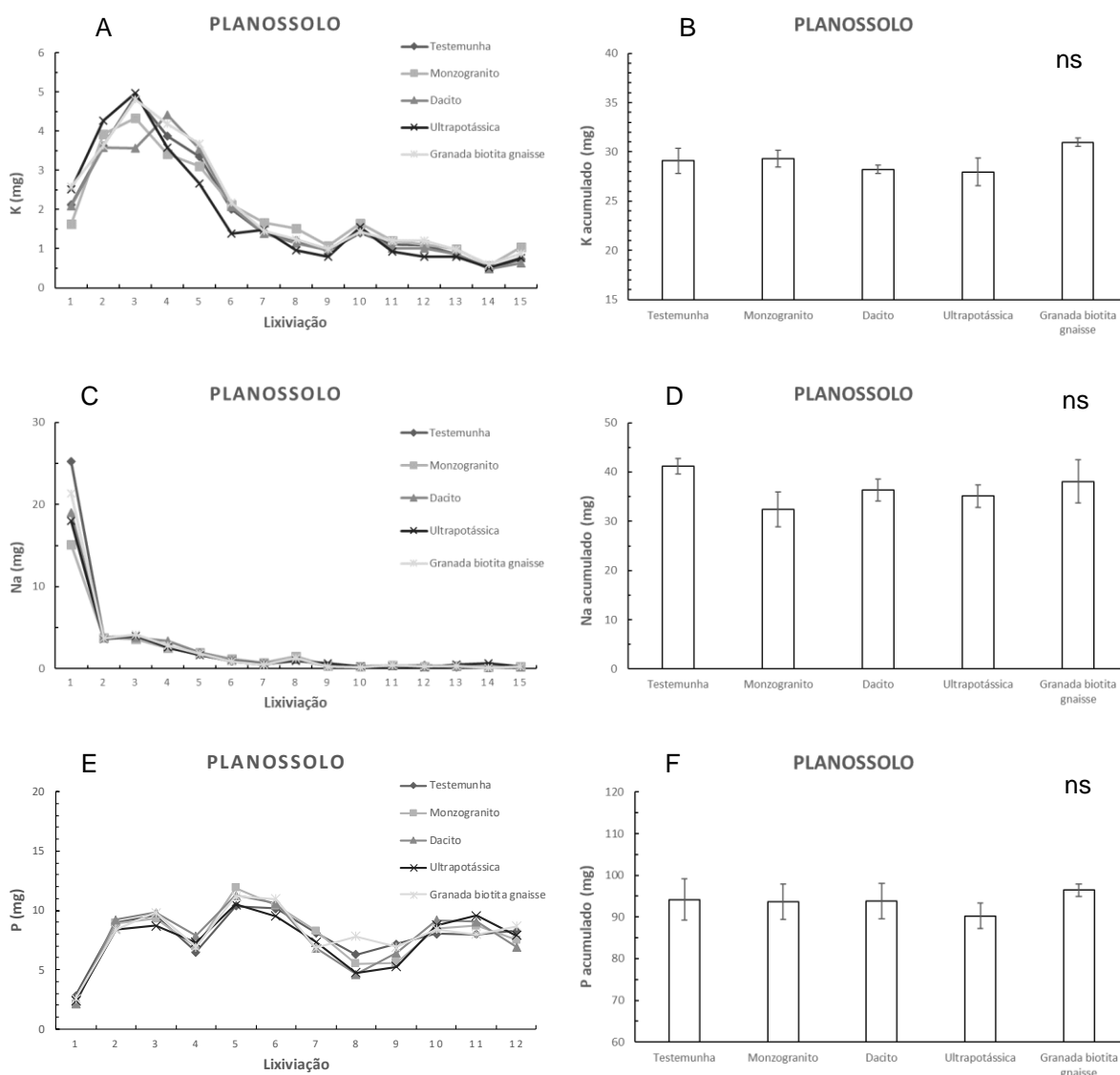


Figura 6. Variações de K, Na e P ao longo das lixiviações e acumulados de K, Na e P num Planossolo Háplico. A. Leituras de K; B. Acumulados de K; C. Leituras de Na; D. Acumulados de Na. E. leituras de P; F. acumulados de P. ns: diferença mínima não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para as quantidades lixiviadas de Ca, diferenças visuais em favor da Ultrapotássica contra as demais rochas aplicadas são perceptíveis desde a 2ª coleta (Fig. 7-C). Esse comportamento resultou em diferença significativa nos totais acumulados da Ultrapotássica em relação às demais rochas (Fig.7-D), porém não significativa em relação ao solo natural. Para o Mg (Fig. 7-E) observa-se que novamente a Ultrapotássica foi superior, sendo lixiviado maior quantidade entre a 4ª e 7ª coleta em relação aos demais tratamentos, com um pico de 15 mg na 5ª coleta, mas esse padrão não resultou em diferença significativa nos totais acumulados após 12 coletas (Fig. 7-F). No caso do Al (Fig. 7-G; Fig. 7-H) não é possível verificar diferenças entre as rochas e das rochas em relação ao solo natural, tanto para as quantidades lixiviadas em cada coleta, quanto para os totais acumulados ao final das 12 lixiviações.

Dentre as rochas avaliadas, percebe-se que a Ultrapotássica libera Ca e Mg em quantidades maiores que as demais rochas. Em estudo anterior, Grecco et al. (2016) observaram a presença de sericita e plagioclásios compondo essa rocha. O Ca é proveniente dos plagioclásios, minerais mais suscetíveis ao intemperismo, liberando o nutriente em ambos os solos. Os plagioclásios desagregam-se nos primeiros estádios de alteração intempérica, levando a perda de coesão, formando fraturas que tendem a se alargar à medida que a alteração progride (Truffi; Clemente, 2001).

Para as quantidades lixiviadas de K (Fig. 8-A) e para o somatório dessas quantidades de K lixiviado após 12 coletas (Fig. 8-B) no Nitossolo, também não é possível observar diferenças marcantes entre as litologias avaliadas. Entre a 1ª e 3ª coleta há um incremento de liberação desse nutriente, que atinge um pico entre a 3ª e 5ª coleta, mantendo liberações de 2-3 mg de K que vão reduzindo de forma muito suave até a última coleta.

Para o Na (Fig. 8-C), há uma maior liberação desse nutriente na primeira coleta, liberando cerca de 5-7 mg para todos os tratamentos, mas que cai menos de 1 mg na segunda coleta para todos os tratamentos, permanecendo com lixiviação estável nesse patamar para todos os tratamentos até a 12 coleta. Esse comportamento resultou na ausência de diferenças significativas (teste de Tukey, $p < 0,05$) nos totais acumulados após as 12 coletas (Fig 8-D).

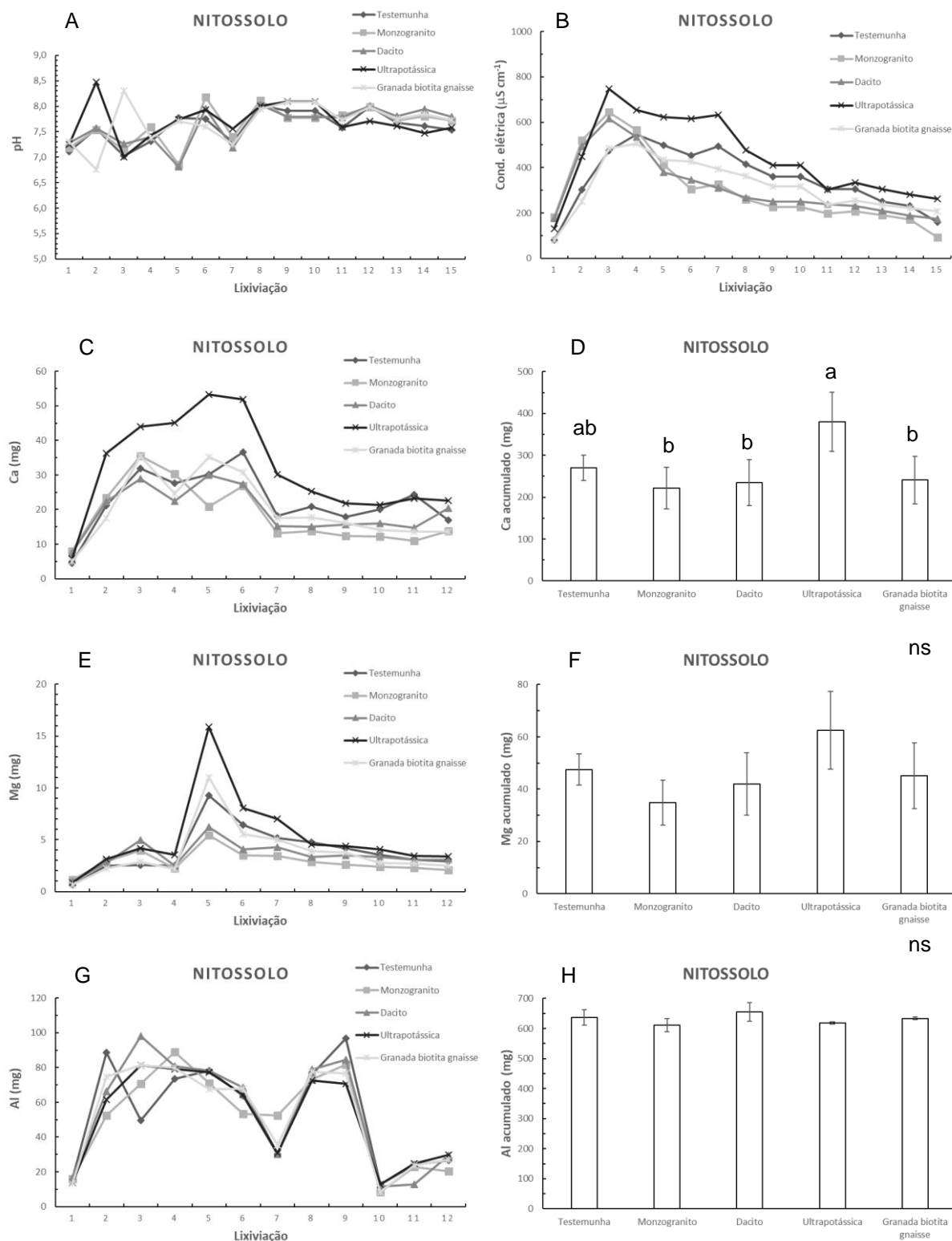


Figura 7. Variações de pH, condutividade elétrica, Ca, Mg, e Al ao longo das lixiviações e acumulados de Ca, Mg e Al num Nitossolo Vermelho. A. Leituras de pH; B. Leituras de Condutividade Elétrica; C. Cálcio lixiviado (mg). D. Cálcio acumulado. E. Magnésio lixiviado. F. Magnésio acumulado; G. Alumínio lixiviado. H. Alumínio acumulado. ns: diferença mínima não significativa pelo teste F a 5% de probabilidade de erro. Letras iguais indicam diferença mínima não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A intensidade de lixiviação de K e Na do Nitossolo é menor em relação ao Planossolo, sendo uma característica de solos argilosos quando comparados a solos arenosos. Pelo fato de sua CTC ser maior, o Nitossolo possui maior número de sítios de carga negativa, aptos à retenção de cátions trocáveis. Em compensação, Planossolo é mais permissivo à lixiviação de bases com menor valência, tais como o K e o Na. Além disso, nota-se que nenhuma das litologias avaliadas liberou o Na em excesso, o que poderia ser um problema para as culturas agrícolas.

No caso do P, também não é possível verificar diferenças entre os tratamentos ao longo das coletas de lixiviados (Fig. 8-E), ocorrendo um aumento abrupto que partiu de valores inferiores a 2 mg na 1ª coleta até 6-11 mg na 3ª coleta, oscilando entre esses valores até a última coleta. Igualmente ao Planossolo, pode ter ocorrido ambiente de deficiência de aeração do solo após o início das lixiviações, fato que favorece os processos de oxirredução, aumentando a disponibilidade de P para todos os tratamentos. Ao final das 12 lixiviações, não foi possível observar diferenças significativas entre os tratamentos aplicados, inclusive em relação à testemunha (Fig. 8-F).

Considerando o comportamento do K, nutriente mais importante para esse estudo, pode ser observado que, independentemente do tipo de solo, mesmo o solo natural libera quantidades comparáveis ao solo submetido a diferentes tipos de rocha moída. Esse resultado remete a ideia de que tais litologias não seriam capazes de fornecer K às plantas. Entretanto, diversos estudos já demonstraram que a presença de plantas extratoras (dreno planta), principalmente as gramíneas, incrementa a capacidade de determinadas rochas ricas em K de fornecer esse nutriente, desde que o mineral rico em K seja de fácil intemperização, ou que tenha sofrido alteração hidrotermal (Niebes et al., 1993; Mohammed et al., 2014; Martins et al., 2014; Manning et al., 2017).

É importante notar também que o regime hídrico adotado neste estudo é intenso, cinco vezes maior que o regime hídrico normal. Isso significa uma situação extrema, de lavagem e arraste dos elementos solúveis e parte daqueles presentes no complexo de troca do solo. Este estudo mostrou que a metodologia das colunas de lixiviação, mesmo simulando uma relação alta de água-solo, fornece sensibilidade limitada para se correlacionar com a relação água-solo-mineral-plantas. De fato, metodologias que envolvam plantas extratoras de K e Si, provavelmente mostrarão

melhores resultados para compreender a dinâmica de liberação de potássio a partir de fontes de baixa solubilidade.

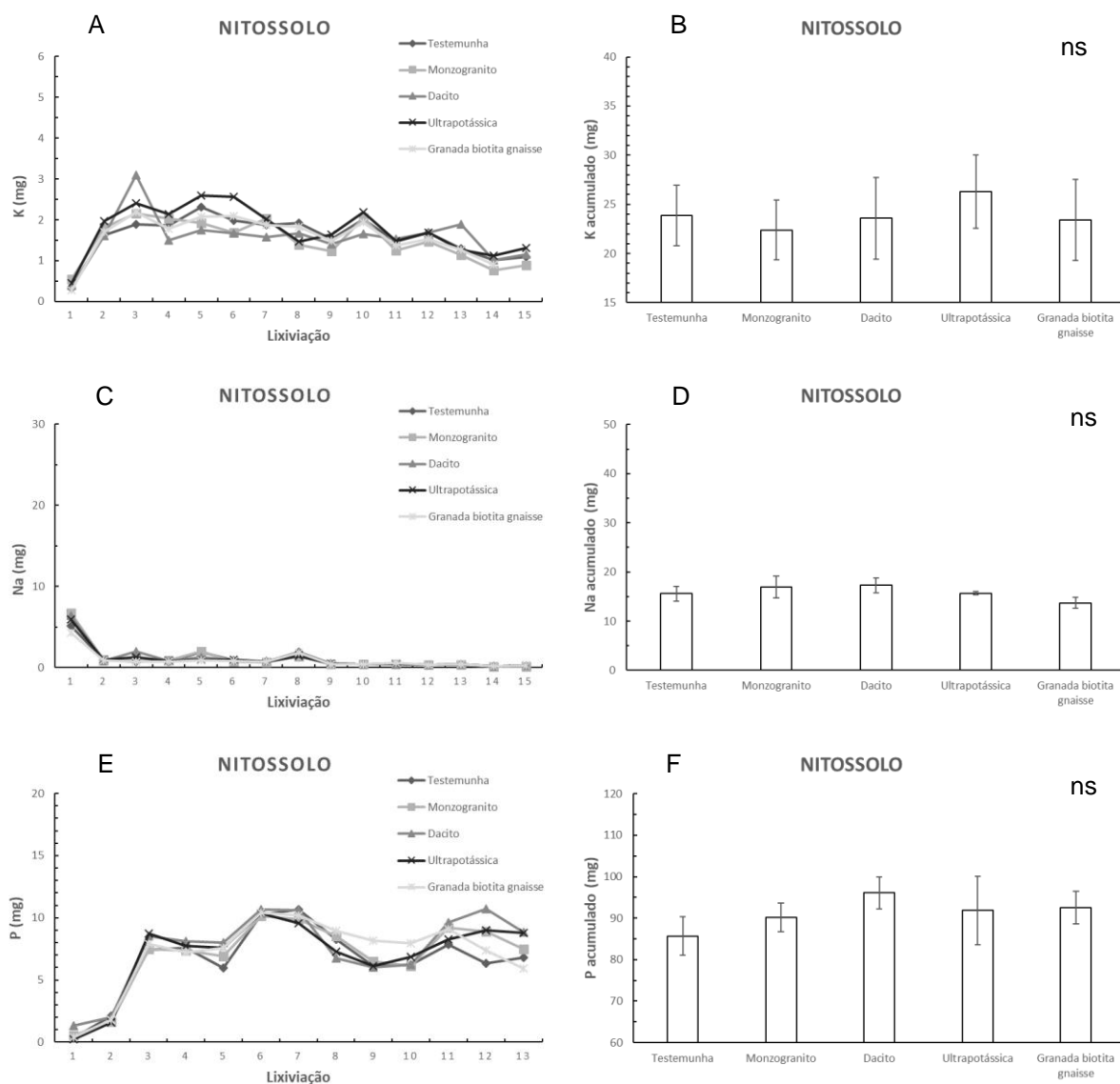


Figura 8. Variações de K, Na e P ao longo das lixiviações e acumulados de K, Na e P num Nitossolo Vermelho. A. Leituras de K; B. Acumulados de K; C. Leituras de Na; D. Acumulados de Na. E. leituras de P; F. acumulados de P. ns: diferença mínima não significativa pelo teste F a 5% de probabilidade de erro. Letras iguais indicam diferença mínima não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios dos atributos químicos do Planossolo Háplico e do Nitossolo Vermelho, analisados após as 12 lixiviações. De modo geral, os resultados se assemelham aos obtidos no estudo de incubação, ou seja, em geral a rocha Ultrapotássica apresentou efeitos positivos sobre o pH, a Sat.

Bases, o teor de Al, a Sat. Al e a Relação Ca/Mg para o Planossolo, e sobre H+Al e o Cu para o Nitossolo.

A rocha Ultrapotássica foi avaliada também em lâmina petrográfica delgada (Grecco et al., 2016). Neste caso, apresentou textura porfirítica com fenocristais de grão médio a fino (inferiores a 4,0 mm), intensamente argilizados (sericita), mergulhados em matriz microcristalina rica em cristálitos de plagioclásio fortemente oxidada. Estão presentes amígdalas complexas, de formas intersticiais, muitas vezes interligadas, preenchidas por sílica microcristalina e fragmentos da própria rocha, porém, em algumas cavidades há a possibilidade de ocorrerem sedimentos muito finos e imaturos (Figura 9).



Figura 9. Petrografia da BHRF, a sericitização é observada nas manchas cinza-amareladas acima dos plagioclásios.

Considerando os teores de K_2O das rochas estudadas e os resultados encontrados quanto à liberação de nutrientes e alteração dos atributos químicos dos dois tipos de solo, a rocha Ultrapotássica foi a mais promissora, apesar de não ter sido observado disponibilização de K nas condições estudadas. A argilização com sericita é responsável pelo alto teor de K_2O para rochas básicas, entretanto, esse argilomineral é conhecido pela baixa liberação de K de sua estrutura.

Tabela 12. Valores médios de macro e micronutrientes e atributos químicos do solo avaliados após 12 lixiviações (médias de 3 repetições).

SOLO	Tratamento	pH H ₂ O	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H + Al	CTC ef	CTC pH7	Sat. bases	de Sat. de Al	Relação Ca/Mg	Relação (Ca+Mg)/K	Zn	Cu	S	B	Mn
		----- mg L ⁻¹ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----		----- mg dm ⁻³ -----						
Planossolo	Testemunha	4,30 b	6,33 ^{ns}	51,17 ^{ns}	30,67 ^{ns}	0,53 a	1,43 ^{ns}	0,28 ^{ns}	3,00 ^{ns}	2,30 ^{ns}	4,77 ^{ns}	37,10 b	23,60 a	4,97 b	22,10 ^{ns}	1,73 ^{ns}	1,36 ^{ns}	14,03 ^{ns}	0,13 ^{ns}	22,94 ^{ns}
	Monzogranito	4,30 b	6,30	56,70	37,33	0,47 a	1,55	0,31	3,17	2,43	5,13	38,10 b	19,63 a	5,03 b	19,50	1,76	1,37	14,00	0,13	22,73
	Dacito	4,40 b	6,47	54,37	30,67	0,47 a	1,47	0,28	2,60	2,30	4,43	40,73 b	20,70 a	5,27 b	22,57	1,72	1,29	12,97	0,13	21,98
	Ultrapotássica	4,97 a	6,63	61,93	37,33	0,20 b	2,39	0,32	2,17	3,00	4,97	56,67 a	7,03 b	7,33 a	29,67	1,73	1,31	13,23	0,17	19,82
	Granada biotita gnaisse	4,33 b	6,43	53,17	32,00	0,47 a	1,47	0,29	2,77	2,30	4,60	40,30 b	20,57 a	5,07 b	21,37	1,62	1,27	13,30	0,10	23,74
Nitossolo	Testemunha	4,80 ^{ns}	5,77 ^{ns}	7,33 ^{ns}	82,67 ^{ns}	0,50 ^{ns}	5,82 ^{ns}	1,53 ^{ns}	5,77 bc	8,07 ^{ns}	13,33 ^{ns}	56,63 ^{ns}	6,17 ^{ns}	3,83 ^{ns}	34,80 ^{ns}	1,62 ^{ns}	7,75 ab	15,10 ^{ns}	0,10 ^{ns}	46,92 ^{ns}
	Monzogranito	4,70	5,70	7,97	84,00	0,60	5,54	1,53	6,23 abc	7,90	13,53	53,83	7,70	3,60	32,83	1,80	7,11 b	14,90	0,10	44,55
	Dacito	4,73	5,57	7,77	84,00	0,60	5,55	1,56	7,17 ab	7,93	14,50	50,40	7,67	3,53	33,07	1,68	6,93 b	14,80	0,10	43,52
	Ultrapotássica	4,80	5,83	8,97	86,67	0,47	6,01	1,37	5,50 c	8,03	13,07	58,40	6,43	4,33	33,07	1,85	9,37 a	15,13	0,13	48,06
	Granada biotita gnaisse	4,60	5,47	6,33	85,33	0,63	5,24	1,45	8,03 a	7,53	14,93	46,13	8,50	3,63	30,57	1,56	7,84 ab	14,63	0,13	49,79

ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

8. CONCLUSÕES

Dentre as litologias avaliadas através de experimento de incubação e em colunas de lixiviação, a rocha Ultrapotássica (Bagé, RS) apresentou desempenho superior às demais rochas no que diz respeito ao incremento de atributos químicos de um Planossolo Háplico e um Nitossolo Vermelho. A rocha ultrapotássica disponibilizou Ca, Mg, sobretudo nas primeiras coletas de lixiviados, alterando os índices de acidez e de saturação por bases dos solos estudados.

Os teores de P foram alterados positivamente por pelo menos alguma das rochas em experimento de incubação, porém, é improvável que a rochas estudadas tenham a capacidade de fornecer esse elemento diretamente da sua composição, dado que ele se apresenta em baixos teores verificados na análise geoquímica. O mais provável é que, pelo fato de todas as rochas avaliadas serem compostas majoritariamente por silício, poderá haver liberação de ácido monossilícico (H_4SiO_4), que poderá deslocar íons PO_4^- para a fase disponível, pois os dois competem pelos mesmos sítios de adsorção do solo.

Considerando o efeito das litologias avaliadas sobre o teor de K, objeto principal desse estudo, tanto nos solos incubados, nos lixiviados e nos solos após as lixiviações, as rochas pouco ou nada alteraram os valores médios do K extraível dos solos e as quantidades acumuladas. Isso provavelmente ocorreu porque as rochas silicáticas não apresentam teores significativos de K solúvel em água e, dessa forma, as metodologias utilizadas, em especial a incubação rocha:solo demonstrou ser apropriadas para avaliar a dinâmica de liberação da maioria dos nutrientes, com exceção do K. Em estudos futuros, a utilização de experimentos com plantas com alta capacidade de extração poderá apresentar resultados mais condizentes com a real capacidade de fornecimento de K para as plantas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas** por J.C. Alcarde. São Paulo, ANDA, 2005 24p. (ANDA, Boletim Técnico, 6) Disponível em: <http://www.anda.org.br/boletins/boletim_06.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2012.
- AMPARO, A. **Farinha de rocha e biomassa**. Revista Agroecologia Hoje, 20:11, 2003.
- APTUKOV, V.N., MITIN, V.Y.U., MOLOSHTANOVA, N.E., MOROZOV, I.A. **Mechanical characteristics of carnallite, sparry halite, and sylvinite in nanometer scale**. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh, № 3, 2013. P. 49-56.
- BALIGAR V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. 2001. **Nutrient use efficiency in plants**. Comm Soil Sci Plant Anal 32: 921–950.
- BAMBERG, A. L. Atributos físicos, hídricos e químicos de solos em sistemas de produção de morango em Turuçu-RS. 2010. 100 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- BLATT, H. Sedimentary Petrology (2nd Ed.), W. H. Freeman and Co., San Francisco, USA, (1992).
- BRADY, N. C.; WEIL, R.R. 2013. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 3ª ed. 686 p.
- BRITZKE, D. 2010. **Mineralogia e liberação de potássio em solos de várzea do rio grande do sul**. Dissertação de mestrado, centro de ciências Rurais. Universidade de Santa Maria. 76f. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
- BROWN, C. A 1942. "Justus von Liebig--Man and teacher." and "Liebig and the Law of the Minimum" *in: Liebig and After Liebig: A century of progress in agricultural chemistry*. Am. Assoc. Adv. Sci. The Science Press Printing Co., Lancaster, PA.
- CLARKE, F. W.; WASHINGTON, H. S., 1924. **The composition of the earth's crust**: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 127, 117 p.
- DANA, J. D.; HURLBUT, C. S. **Manual de Mineralogia**. Volumes I e II Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1969.

- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. 1992. **An introduction to the rock-forming minerals**. Pearson Educ. Limited, Harlow, England.
- DUARTE, I. N.; SOUSA, R. T. X.; KORNDORFER, G. H.; FONTOURA, P. R.; SOARES, R. A. B. **Biotita: fonte de potássio para agricultura**. Revista Biosci. J., Uberlândia, Brasil. v. 28, Supplement 1, p. 98-103. 2012
- DUTRA, L. G. (1980). **Minerais potássicos, acidificados ou não, utilizados como fontes de nutrientes para o milho (Zeamays L.) em casa de vegetação**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 83p.
- EICHLER, V.; LOPES, A. S. (1983). **Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho (Zeamays L.), em solo de textura argilosa**. Ciência e Prática, 7:136-146.
- FAQUIN, V. (1982). **Efeito do tratamento térmico do sienito nefelínico adicionado de calcário dolomítico, na disponibilidade de potássio ao milho (Zeamays L.), em casa de vegetação**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 115p.
- FYFE, W.S. 1981. **The environmental crisis: quantifying geosphere interactions**. Science 213: 105–110.
- FYFE, W.S. 1987. **Sustainable food production and agogeology**. In: PRIDE C AND VAN STRAATEN PFYFE, W.S. 2000. **The life support system – toward earth sense**. In: ERNST WG (Ed), Earth systems: processes and issues. Cambridge University Press, p. 506–515.
- GIANELLO, C.; MIELNICZUK, J. **Características químicas e físicas do solo que afetam a absorção do potássio por plantas de milho**. R. Bras. Ci. Solo, 5:109-114, 1981.
- GILLMAN, G.P.; BUEKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. 2000. **A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects ion soil cation chemistry**. Austr J Soil Res 39: 799–811.
- GILLMAN, G.P.; BURKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. 2002. **Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock**. Applied Geochem 17: 987–1001.
- GRECCO, M. F.; BERGMANN, M.; BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R. **Potencial de uma rocha dacítica para remineralização de**

- solos**. Workshop Insumos para Agricultura Sustentável. Resumos Expandidos, 6p. Embrapa Clima Temperado. Pelotas. 2012.
- GRECCO, M. F.; BAMBERG, A. L.; POTES, M.L.; LOUZADA, R.; SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M. Efeito de rochas moídas e torta de tungue sobre a concentração e acumulação de nutrientes na parte aérea de plantas de milho (*Zea mays*). **In:** Anais do Congresso Brasileiro de Rochagem, Poços de Caldas, MG. 2013.
- HENSEL, J. **Pães de Pedra**. Pesquisa e tradução: LANDGRAF, H.; RIVERA, J. R.; PINHEIRO, S. São Paulo, 2003. 79 p. Tradução de “Brot aus Steinen, durch mineralische Bündigung de Felder”.
- HODGES, S.C. (2010). **Soil Fertility Basics**. Soil Science Extension, North Carolina State University.
- ILCHENKO, W.; GUIMARÃES, D. **Sobre a possibilidade de utilização agrícola dos sienitos nefelínicos do Planalto de Poços de Caldas**. MG., Inst. Tecn. Avulso.15, 16p.1953.
- KALINOWSKI, B. E. **Dissolution kinetics and alteration products of mica and epidoto in acidic solutions at room temperature**.1997. 62 p. Doctoral (Thesis) – Stockholm University, Stockholm.
- KELLER, W.D. 1948. **Native rocks and minerals as fertilizers**. Sci Monthly 66: 122–130.
- KELLER, W.D.; BALGORD, W.D.; REESMAN, A.L.1963.Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks. J Sediment Petrol 33:191–204.
- KELLEY, W. P. 1948. **Cation exchange in soils**. New York: Reinhold, 144p (ACS. Monograph, 109).
- KIRKMAN, J. H. et al. **Potassium in the soils of New Zeland - a review**. New Zealand Journal of Agricultural Research, v. 37, p. 207-227, 1994.
- KLEIN, C.; HURLBUT, C.S. 1999. **Manual of Mineralogy**. New York, John Wiley & Sons, 21st edition, 596p.
- KRAUSS A. 2000. Potassium, integral part for sustained soil fertility. Potassium and phosphorus: fertilization effect on soil and crops: proceedings of the Regional IPI Workshop. Lithuanian Institute of Agriculture, p. 7-19.

- LEITE, P. C. (1985). Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 146p.
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. **In:** Anais 29 Congr. Brasil. Geol., Belo Horizonte, pp.: 137 - 145, 1976.
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. 1987. **The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers?** Chem. Geol. 60:361-370.
- LEONARDOS, O.H.; ULBRICH, M.N. Lamprofitos de Presidente Olegário. **In:** 32a Reunião Anual SBPC, Resumos, pp.: 643, 1987.
- LEONARDOS, O. H.; ULBRICH, M. N. C.; GASPAR, J. C. The Mata da Corda Volcanic rocks. **In:** 5th Intern. Kimberlite Conf., Field Guidebook, CPRM, Spec. Publ.,3/91, pp.: 65 - 72, 1991.
- LEONARDOS, O.H.; MARTINS, E. S.; SANTOS, R. V. Lithospheric Constraints of Cerrado and Rainforest Ecological Systems. **In:** Acad. Bras. Cienc. 66 (supl.1), pp.:167 - 172, 1994.
- LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. C. H. Fertilizer tropical soils for sustainable development. **In:** Proceedings. International workshop on Science for Sustainable development in Latin America and Caribe. Rio de Janeiro. Acad. Bras. Cienc. pp.: 143- 153, 1999.
- LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. C. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian view point. **IN:** Nutrient Cycling in Agroecosystems - Formerly Fertilizer Research. No 56 pp.: 3 - 9, 2000.
- LEVINSON, A.A. (1974) – **Introduction to exploration geochemistry**. Applied Publ. Ltd. Wilmette, Illinois, USA, 614p.
- LIMA, M.C.A. **Emprego das rochas trituradas como fertilizante potássico na lavoura canavieira, Secr. Agricultura**. Inst. Pesq. Agropec. Pernambuco. Bol. Tec. n.40, pp.:37.1969.

- LUZ, A. B.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; SAMPAIO, J. A.; CASTILHOS, Z.C. e BEZERRA, M. S. **Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos**. In: Agrominerais para o Brasil (Eds. Fernandes, F.R.C., Luz, A.B. e Castilhos, Z.C.), CETEM/MCT, p.61-89, 2010.
- LOPES, A. **Contribuição ao estudo da rocha potássica (verdete) de Cedro do Abaeté. MG para fins agrícolas**. Anais XIII Cong. Brasil. Cienc. do Solo. Vitória, 1971.
- LOPES, A. S.; FREIRE, J. C.; AQUINO, L. H. e FELIPE, M. P. (1972). **Contribuição ao estudo da rocha potássica - Verdete de Abaeté (Glaucônita) para fins agrícolas**. Agros, 2:32-42
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. 2007. **Fertilidade do solo e produtividade agrícola**. In: Novais et al. (Eds). Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, p. 1-64.
- MACHADO, C. T. T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; SOBRINHO, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L.; CORAZZA, E.J. (2005). **Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: II. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, *Anais*. Recife: UFRPE/SBCS.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional**. In: MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, p. 115-230, 1997.
- MARTIN, H.W.; SPARKS, D.L., 1985. **Kinetics of nonexchangeable potassium release from two Coastal Plain soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:883-887
- MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. (2008). **Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para Agricultura**. In: Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações, p.205-221, Editores: Adão B. Luz e Fernando Lins.
- MARTINS, J. C.; MARTINS, E. S.; REATTO, A. (2004). **Revisão sobre intemperismo de micas**. Planaltina, DF: Cerrados, Série Documentos Embrapa, 164:1-42.

- MARTINS, E. de S.; SILVEIRA, C.A.P.; BAMBERG, A.L.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M.; ANGÉLICA, R.S. Silicate agrominerals as nutrient sources and as soil conditioners for tropical agriculture. In: WORLD FERTILIZER CONGRESS OF CIEC, 16., 2014, Rio de Janeiro. Technological innovation for a sustainable tropical agriculture: proceedings. Rio de Janeiro: International Scientific Centre of Fertilizers, 2014.
- MELAMED, R.; GASPAR, J.C. (2005). **Eficiência de pó de rocha na bio-disponibilidade de potássio em sistemas de produção agrícola sustentáveis.** XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa – Natal-RN vol.2, p.546-552.
- MELO, V. F.; ALLEONI, L.R.F.(Eds) **Química e mineralogia de solos.** volume 1 - arte I - conceitos básicos. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2009, 695p
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Potassium. In: PRINCIPLES of Plant Nutrition. Bern: **International Potash Institute**, 687. p. 1987.
- MIELNICZUK, J. **Formas de potássio em solos do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 1, n. 2-3, p. 55-61, 1977.
- MIELNICZUK, J.; SELBACH, P.A. **Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul.** R. Bra. Ci. Solo, 2:115-120, 1978.
- MOHAMMED, S.M.O.; BRANDT, K.; GRAY, N.D.; WHITE, M.L.; MANNING, D.A.C. **Comparison of silicate minerals as sources of potassium for plant nutrition in sandy soil.** European Journal of Soil Science, 65: 653-662, 2014.
- NACHTIGALL, G. R. **Formas de potássio nos solos da região sul do Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para as plantas.** 1996. 81 f. Dissertação (Mestrado Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. (2004). **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 66 p. (Série Estudos e Documentos, 61).
- NASCIMENTO, M.; MONTE, M.B. M.; LOUREIRO, F.E.L. (2008) Agrominerais – Potássio. In: LUZ, A.B, LINS, F.A.F. (Eds). **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações.** 2.ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2008, p.175-178

- NIEBES, J. F. J.; DUFEY, E.; JAILLARD, B.; HINSINGER, P. 1993. **Release of nonexchangeable potassium from different size fractions of two highly K-fertilized soils in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* cv. 'Drakkar')**. *Plant and Soil*, 155/156: 403–406.
- OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A.E. & BEATTY, M.T. **Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extractions methods**. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 35:763-767, 1971.
- REITEMEIER, R. F. (1951) **The chemistry of soil potassium**: *Advan. Agron.* 3, 113-164.
- RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; NASCIMENTO, M.T.; SOBRINHO, D.A.S.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L. & CORAZZA, E.J. (2005) **Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I. Respostas da soja e do milho**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, *Anais*. Recife: UFRPE/SBCS. (CD-rom).
- ROBERTS, T. L. (2005). **World reserves and production of potash**. In: Yamada, T. e Roberts, T.L. (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 1-20.
- ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; SOBRINHO, F. de S.; BRIGHENTI, A. M.; MIGUEL, P. S. B.; ARAUJO, J. P. M.; OLIVEIRA, A. V.; SOUZA, F. A. M.; BORGES, R. A.; SOUZA, R. C. V. **Produtividade de brachiaria decumbens, na entressafra, em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes rochas silicáticas como fonte de potássio**. In: I Congresso Brasileiro de Rochagem, 2009, Brasília. *Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem*, 2009.
- ROSSI, G. 1978. Potassium recovery through leucite bioleaching: possibilities and limitations. In: Murr LE, Torma A. E. and JA Brierley (eds.) *Metallurgical applications of bacterial leaching and related microbiological phenomena*, Academic Press, New York USA, pp. 297-317.
- SANZ-SCOVINO, J.I.; ROWELL, D.L. 1988. **The use of feldspars as potassium fertilizers in the savannah of Colombia**. *Fert. Res.* 17:71-83.
- SERRATOSA, J. M.; BRADLEY, W. F. Determination of the orientation of OH Bond axes in layer silicates.

- SPARKS, D.L., 1980. **Chemistry of soil potassium in Atlantic Coastal Plain soils: A review.** Commun. Soil Sci. Plant Anal., 11:435-449.
- SPARKS, D.L., 1989. **Kinetics of soil chemical process.** Academic Press, San Diego, CA.
- SILVA, M. A. M.; SCHREIBER, B. C.; SANTOS, C. L. 2001. **Evaporitos como recursos minerais.** Revista Brasileira de Geofísica. V. 18(3), p. 337-350.
- SOIL SURVEY STAFF, 1999. **Soil Taxonomy.** Second Edition. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook Nº 436. Washington D.C.
- SOSBAI, Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5.; XXVII REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., Anais...Pelotas, 2007. cap. 4, p. 49-68.
- SPOSITO, G. (1984). **The Surface Chemistry of Soils.** Oxford Univ. Press, New York.
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **Decifrando a terra.** São Paulo: Oficina de textos, 2003. 558p.
- THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural.** Brasília: UNB, 2000. p. 225. Tese Doutorado. 2000
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. **Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes.** Rev. Espaço & Geografia, v.9, n. 2, p. 263-292. 2006.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers.** Upper Saddle River: Prentice Hall, 1993. 634p.
- TRUFFI, S.A.; CLEMENTE, C.A. **Alteração de plagioclásios dos riodacitos da Formação Serra Geral (jksG) da região de Piraju - SP.** Scientia Agricola, v.59, n.2, p.383-388, 2002.
- VAN STRAATEN, P. (2002). **Rocks for crops: Agrominerals of sub-Saharan Africa.** ICRAF, Nairobi, Kenya, 338p.
- VAN STRAATEN, P. (2006). **Farming with rocks and minerals: Challenges and opportunities.** Ann. Acad. Bras. Ciênc. 78:731-747.

VAN STRAATEN, P. (2007). **Agrogeology – the use of rocks for crops**. Enviroquest, Cambridge, Canada, 440p.

WADA, K.; KAKUTO, Y. **Nonexchangeable potassium in a 1.4- nanometer mineral and mica in a Korean Ultisol**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.57, p. 552-557, 1993.

WECK P. F.; KIM E.; JOVE-COLON C. F.; SASSANI D. C., **First-Principles Study of Anhydrite, Polyhalite and Carnallite**, Chem. Phys. Lett. 594, 1-5, 2014.

www.anda.org.br/estatisticas.aspx. Acesso em 10 jul.2015.

www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1326901512.doc. Acesso em 23 fev. 2015.

www.soils.wisc.edu/~barak/soilscience326/lawofmin.htm Acesso em 02 mai. 2015

Apêndices

Apêndice A - Coeficientes de correlação de Pearson para atributos químicos de dois solos incubados com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio.

Tabela 13. Valores médios de totais liberados de Ca, Mg, Na, K e P após 12 lixiviações em dois tipos de solo submetido à diferentes tipos de rochas silicáticas ricas em K (médias de 3 repetições).

Solo	Tratamento	Ca	Mg	Al	Na	K	P
		mg					
Planossolo	Testemunha	161,58 ^{ns}	29,17 ^{ns}	569,46 ^{ns}	41,22 ^{ns}	29,09 ^{ns}	94,16 ^{ns}
	Monzogranito	173,07	29,88	600,72	32,37	29,30	93,64
	Dacito	122,42	21,94	658,85	36,32	28,22	93,80
	Ultrapotássica	254,63	27,38	617,00	35,09	27,96	90,26
	Granada b. gnaisse	152,95	28,98	634,63	38,06	30,98	96,44
Nitossolo	Testemunha	270,13 ab	47,47 ^{ns}	636,48 ^{ns}	15,59 ^{ns}	23,88 ^{ns}	85,67 ^{ns}
	Monzogranito	220,68 b	36,06	590,83	16,66	22,88	91,49
	Dacito	221,26 b	34,81	611,59	16,92	22,37	90,23
	Ultrapotássica	380,77 a	62,42	618,17	15,69	26,28	91,85
	Granada b. gnaisse	241,07 b	45,12	633,36	13,71	23,39	92,53

ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Letras iguais na coluna indicam diferença não significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Apêndice B - Coeficientes de correlação de Pearson do Estudo I - Experimento de incubação com um Planossolo Háplico e um Nitossolo Vermelho.

Tabela 14. Coeficientes de correlação de Pearson para atributos químicos de dois solos incubados com diferentes tipos e doses de rochas do RS ricas em potássio.

	pH H ₂ O	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC Ef	CTC pH7	Sat. Bases	Sat. Al	Rel. Ca/Mg	Rel. (Ca+Mg)/ K	Zn	Cu	S	B	Mn
pH H ₂ O	1																		
SMP	0,11	1																	
P	0,13	0,91	1																
K	0,11	-0,82	-0,80	1															
Al	-0,26	-0,74	-0,73	0,40	1														
Ca	0,42	-0,72	-0,71	0,91	0,27	1													
Mg	0,11	-0,88	-0,87	0,94	0,48	0,92	1												
H+Al	-0,06	-0,98	-0,87	0,81	0,72	0,72	0,87	1											
CTC Ef	0,30	-0,82	-0,80	0,94	0,41	0,99	0,97	0,81	1										
CTC pH7	0,15	-0,93	-0,87	0,92	0,56	0,91	0,97	0,94	0,96	1									
Sat. Bases	0,63	0,38	0,28	0,13	-0,63	0,35	0,08	-0,35	0,21	-0,03	1								
Sat. Al	-0,30	-0,12	-0,15	-0,32	0,68	-0,42	-0,25	0,09	-0,31	-0,16	-0,78	1							
Rel Ca/Mg	0,79	0,50	0,56	-0,21	-0,59	0,06	-0,29	-0,43	-0,09	-0,24	0,70	-0,46	1						
Rel. (Ca+Mg)/K	0,63	-0,48	-0,46	0,63	0,10	0,89	0,74	0,51	0,84	0,73	0,52	-0,46	0,32	1					
Zn	-0,02	-0,16	-0,11	0,32	-0,15	0,26	0,28	0,18	0,25	0,24	0,18	-0,36	-0,03	0,17	1				
Cu	0,10	-0,82	-0,80	0,89	0,48	0,85	0,89	0,80	0,89	0,89	0,04	-0,22	-0,22	0,64	0,20	1			
S	-0,10	0,20	0,17	-0,28	0,10	-0,30	-0,27	-0,20	-0,28	-0,27	-0,10	0,25	0,01	-0,24	-0,16	-0,21	1		
B	0,04	-0,09	-0,11	0,05	0,14	0,08	0,11	0,09	0,10	0,10	-0,01	0,10	-0,04	0,11	0,28	-0,02	-0,15	1	
Mn	-0,20	-0,82	-0,81	0,88	0,46	0,75	0,91	0,80	0,82	0,85	-0,03	-0,27	-0,46	0,52	0,21	0,85	-0,22	0,03	1

Anexos

Tabela 15. Quadros da análise da variação dos fatores de tratamento “fonte”, “dose” e da interação “fonte.dose” de atributos químicos do solo do experimento de incubação.

Experimento de incubação
pH

Solo: Planossolo Háplico

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	2,693125	0,8977083	121,38	0
DOSE	3	0,898125	0,299375	40,479	0
FORTE.DOSE	9	2,718125	0,3020139	40,836	0
RESIDUO	48	0,355	0,007395833	-	-
TOTAL	63	6,664375	-	-	-

SMP

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	0,860625	0,286875	7,7143	0,0002637
DOSE	3	0,221875	0,07395833	1,9888	0,1282
FORTE.DOSE	9	1,031875	0,1146528	3,0831	0,005347
RESIDUO	48	1,785	0,0371875	-	-
TOTAL	63	3899375	-	-	-

P

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	7127,2519	2375,751	17,977	0,00005874
DOSE	3	1689,2056	563,0685	4,2607	0,009537
FORTE.DOSE	9	4058,9569	450,9952	3,4127	0,002587
RESIDUO	48	6343,35	132,1531	-	-
TOTAL	63	19218764	-	-	-

K

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	182,75	60,91667	1,0398	0,3835
DOSE	3	1334,75	444,9167	7,5946	0,0002963
FORTE.DOSE	9	560,25	62,25	1,0626	0,4069
RESIDUO	48	2812	58,58333	-	-
TOTAL	63	4889,75	-	-	-

Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	1,010075	0,3366917	8,2878	0,0001518
DOSE	3	0,169075	0,05635833	1,3873	0,258
FORTE.DOSE	9	0,740225	0,08224722	2,0245	0,05675
RESIDUO	48	1,95	0,040625	-	-
TOTAL	63	3,869375	-	-	-

Ca

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	18,337306	6,112435	37,453	0
DOSE	3	5,1326813	1,710894	10,483	0,02034
FORTE.DOSE	9	16,040856	1,782317	10,921	0,000005135
RESIDUO	48	7,83365	0,163201	-	-
TOTAL	63	47,344494	-	-	-

Mg

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	0,0243875	0,008129167	0,72676	0,541
DOSE	3	0,0096875	0,003229167	0,28869	0,8333
FORTE.DOSE	9	0,219525	0,02439167	2,1807	0,04013
RESIDUO	48	0,5369	0,01118542	-	-
TOTAL	63	0,7905	-	-	-

H+Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	11,523125	3,841042	5,4596	0,002603
DOSE	3	4,293125	1,431042	2,0341	0,1216
FORTE.DOSE	9	14,488125	1,609792	2,2881	0,03158
RESIDUO	48	33,77	0,7035417	-	-
TOTAL	63	64,074375	-	-	-

CTC ef

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	13,567969	4,522656	28,517	0
DOSE	3	5,6367187	1,878906	11,847	0,000006296
FORTE.DOSE	9	15,232656	1,692517	10,672	7,254E-09
RESIDUO	48	7,6125	0,1585937	-	-
TOTAL	63	42,049844	-	-	-

CTC pH 7

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	9,45875	3,152917	6,8791	0,000602
DOSE	3	11,84125	3,947083	8,6118	0,0001117
FORTE.DOSE	9	13,3775	1,486389	3,243	0,003755
RESIDUO	48	22	0,4583333	-	-
TOTAL	63	56,6775	-	-	-

Sat_base

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	2367,1355	789,0452	11,271	1,03E-05
DOSE	3	237,89672	79,29891	1,1327	0,3453
FORTE.DOSE	9	2340,4014	260,0446	3,7145	0,001343
RESIDUO	48	3360,4225	70,0088	-	-
TOTAL	63	8305,8561	-	-	-

Sat Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	1097,8144	365,9381	6,8041	0,000649
DOSE	3	169,82642	56,60881	1,0526	0,378
FORTE.DOSE	9	929,34301	103,2603	1,92	0,07143
RESIDUO	48	2581,5225	53,78172	-	-
TOTAL	63	4778,5063	-	-	-

Rel Ca/Mg

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	42,96375	14,32125	108,77	0
DOSE	3	9,21125	3,070417	23,32	1,86E-09
FORTE.DOSE	9	27,905	3,100556	23,549	0
RESIDUO	48	6,32	0,1316667	-	-
TOTAL	63	86,4	-	-	-

Rel Ca+Mg/K

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	962,83297	320,9443	26,223	3,44E-10
DOSE	3	61,792969	20,59766	1,6829	0,1831
FORTE.DOSE	9	927,55141	103,0613	8,4206	2,09E-07
RESIDUO	48	587,4775	12,23911	-	-
TOTAL	63	2539,6548	-	-	-

Zn

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	1,7383188	0,5794396	1,8012	0,1596
DOSE	3	5,8841187	1,961373	6,0968	0,001336
FORTE.DOSE	9	4,6987562	0,522084	1,6229	0,1356
RESIDUO	48	15,4418	0,3217042	-	-
TOTAL	63	27,762994	-	-	-

Cu

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	0,4598375	0,1532792	6,9874	0,000054
DOSE	3	0,4842375	0,1614125	7,3582	0,000374
FORTE.DOSE	9	1,236475	0,1373861	6,2629	8,34E-06
RESIDUO	48	1,05295	0,02193646	-	-
TOTAL	63	3,2335	-	-	-

S

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	10,257969	3,419323	3,3679	0,026
DOSE	3	5,7579688	1,919323	1,8905	0,1438
FORTE.DOSE	9	6,2239062	0,6915451	0,68115	0,722
RESIDUO	48	48,7325	1,01526	-	-
TOTAL	63	70,972344	-	-	-

B

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	0,01671875	0,00557292	0,57838	0,632
DOSE	3	0,02046875	0,00682292	0,70811	0,5519
FORTE.DOSE	9	0,05265625	0,00585069	0,60721	0,7847
RESIDUO	48	0,4625	0,00963542	-	-
TOTAL	63	0,55234375	-	-	-

Mn

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORTE	3	1012,6247	337,5416	16,769	1,38E-07
DOSE	3	297,04737	99,01579	4,9191	0,004642
FORTE.DOSE	9	957,01253	106,3347	5,2827	5,34E-05
RESIDUO	48	966,19242	20,12901	-	-
TOTAL	63	3232,877	-	-	-

Tabela 16. Quadros da análise da variação dos fatores de tratamento “fonte”, “dose” e da interação “fonte.dose” de atributos químicos do solo do experimento de incubação.

Experimento de incubação
pH

Solo: Nitossolo Vermelho

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	0,65625	0,21875	41,176	0
DOSE	3	0,13625	0,04541667	8,549	0,0001185
FORNTE.DOSE	9	0,4125	0,04583333	8,6275	1,50E-07
RESIDUO	48	0,255	0,0053125	-	-
TOTAL	63	1,46	-	-	-

SMP

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	0,21171875	0,07057292	3,5195	0,02188
DOSE	3	0,45796875	0,1526563	7,613	0,000291
FORNTE.DOSE	9	0,53765625	0,05973958	2,9792	0,006734
RESIDUO	48	0,9625	0,02005208	-	-
TOTAL	63	2,1698437	-	-	-

P

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	43,970469	14,65682	22,343	3,38E-09
DOSE	3	47,504219	15,83474	24,139	1,14E-09
FORNTE.DOSE	9	29,151406	3,239045	4,9376	0,0001056
RESIDUO	48	31,4875	0,6559896	-	-
TOTAL	63	152,11359	-	-	-

K

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	161	53,66667	2,3165	0,08746
DOSE	3	269	89,66667	3,8705	0,01473
FORNTE.DOSE	9	753	83,66667	3,6115	0,001678
RESIDUO	48	1112	23,16667	-	-
TOTAL	63	2295	-	-	-

Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	0,72796875	0,2426563	52,348	0
DOSE	3	0,07046875	0,02348958	5,0674	0,003956
FORNTE.DOSE	9	0,32890625	0,03654514	7,8839	4,98E-07
RESIDUO	48	0,2225	0,004635417	-	-
TOTAL	63	1,3498437	-	-	-

Ca

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	9,5984063	3,199469	20,452	1,12E-08
DOSE	3	1,4597187	0,4865729	3,1103	0,0349
FORNTE.DOSE	9	4,3520187	0,4835576	3,091	0,005253
RESIDUO	48	7,50905	0,1564385	-	-
TOTAL	63	22,919194	-	-	-

Mg

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	0,29267969	0,0975599	7,579	0,0003009
DOSE	3	0,21747969	0,07249323	5,6317	0,002171
FORNTE.DOSE	9	0,46911406	0,05212378	4,0493	0,0006573
RESIDUO	48	0,617875	0,0128724	-	-
TOTAL	63	1,5971484	-	-	-

H+Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	9,57625	3,192083	2,6582	0,05879
DOSE	3	27,66375	9,22125	7,679	0,0002729
FORNTE.DOSE	9	30,24	3,36	2,7981	0,01008
RESIDUO	48	57,64	1,200833	-	-
TOTAL	63	125,12	-	-	-

CTC ef

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	5,7617187	1,920573	8,7777	9,56E-05
DOSE	3	0,36046875	0,1201562	0,54915	0,6511
FORNTE.DOSE	9	3,9489062	0,4387674	2,0053	0,05921
RESIDUO	48	10,5025	0,2188021	-	-
TOTAL	63	20,573594	-	-	-

CTC pH 7

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	1,075625	0,3585417	0,25593	0,8567
DOSE	3	20,028125	6,676042	4,7654	0,005483
FORNTE.DOSE	9	36,500625	4,055625	2,8949	0,008124
RESIDUO	48	67,245	1,400937	-	-
TOTAL	63	124,84937	-	-	-

Sat base

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	464,53812	154,846	8,9014	8,52E-05
DOSE	3	447,15313	149,051	8,5683	0,0001164
FORNTE.DOSE	9	464,79812	51,64424	2,9688	0,006892
RESIDUO	48	834,995	17,39573	-	-
TOTAL	63	2211,4844	-	-	-

Sat Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	124,65922	41,55307	56,724	0
DOSE	3	10,131719	3,37724	4,6102	0,006494
FORNTE.DOSE	9	53,261406	5,917934	8,0785	3,62E-07
RESIDUO	48	35,1625	0,7325521	-	-
TOTAL	63	223,21484	-	-	-

Rel Ca/Mg

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	3,21125	1,070417	29,36	0
DOSE	3	1,855	0,6183333	16,96	1,20E-07
FORNTE.DOSE	9	1,90375	0,2115278	5,8019	1,97E-05
RESIDUO	48	1,75	0,03645833	-	-
TOTAL	63	8,72	-	-	-

Rel (Ca+Mg)/K

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	148,69625	49,56542	11,031	1,26E-05
DOSE	3	30,20875	10,06958	2,241	0,09551
FORNTE.DOSE	9	167,77	18,64111	4,1485	0,0005332
RESIDUO	48	215,685	4,493438	-	-
TOTAL	63	562,36	-	-	-

Zn

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	9,3498875	3,116629	18,6	3,83E-08
DOSE	3	7,15775	2,385917	14,239	9,13E-07
FORNTE.DOSE	9	10,311363	1,145707	6,8374	2,97E-06
RESIDUO	48	8,0431	0,1675646	-	-
TOTAL	63	34,8621	-	-	-

Cu

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	10,490912	3,496971	7,063	0,0005008
DOSE	3	1,6411625	0,5470542	1,1049	0,3563
FORNTE.DOSE	9	27,5372	3,059689	6,1798	9,71E-06
RESIDUO	48	23,7653	0,4951104	-	-
TOTAL	63	63,434575	-	-	-

S

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	35,285469	11,76182	5,6489	0,002132
DOSE	3	3,5992188	1,19974	0,57621	0,6334
FORNTE.DOSE	9	29,443906	3,271545	1,5712	0,1511
RESIDUO	48	99,9425	2,082135	-	-
TOTAL	63	168,27109	-	-	-

B

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	0,16087969	0,05362656	4,7794	0,005401
DOSE	3	0,061629687	0,02054323	1,8309	0,1541
FORNTE.DOSE	9	0,21138906	0,02348767	2,0933	0,04873
RESIDUO	48	0,538575	0,01122031	-	-
TOTAL	63	0,97247344	-	-	-

Mn

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
FORNTE	3	958,57995	319,5267	31,658	0
DOSE	3	142,8857	47,62857	4,7189	0,005768
FORNTE.DOSE	9	510,69955	56,74439	5,622	2,77E-05
RESIDUO	48	484,47528	10,09323	-	-
TOTAL	63	2096,6405	-	-	-

Tabela 17. Quadros da análise da variação e parâmetros dos modelos das regressões polinomiais do fator “dose”, realizada quando houve interação entre os fatores “fonte” e “dose”, de atributos químicos do solo do experimento de incubação.

Experimento de incubação		Solo: Planossolo Háplico							
pH	Monzogranito								
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2			
	DOSE	3	0,001875	-	-	-			
	Linear	1	0,000125	0,01690141	0,8971	6,667	Não significativo		
	Quadr	1	0,000625	0,08450704	0,7725	40			
	Desvio	1	0,001125	0,1521127	0,6982	60			
	Resíduo	48	0,355	-	-	-			
	Dacito								
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2			
	DOSE	3	0,0125	-	-	-			
	Linear	1	0,002	0,2704225	0,6054	16	Não significativo		
	Quadr	1	0,0025	0,3380282	0,5637	36			
	Desvio	1	0,008	1,08169	0,3035	64			
	Resíduo	48	0,355	-	-	-			
	Ultrapotássica								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1	X_2
DOSE	3	3,576875	-	-	-	Média	5,01875		
Linear	1	3,081125	416,6028	2,64E-25	86,14	Linear	4,43	0,3925	
Quadr	1	0,390625	52,8169	2,86E-09	97,06	Quadrático	4,58625	-0,07625	0,15625
Desvio	1	0,105125	14,21408	0,0004472	2,939				
Resíduo	48	0,355	-	-	-				
Granada-Biotita-Gnaisse									
Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
DOSE	3	0,025	-	-	-				
Linear	1	0,0005	0,06760563	0,796	2	Não significativo			
Quadr	1	3,65E-30	4,93E-28	1	2				
Desvio	1	0,0245	3,312676	0,07499	98				
Resíduo	48	0,355	-	-	-				
Monzogranito									
Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
DOSE	3	0,0525	-	-	-				
Linear	1	0,0405	1,089076	0,3019	77,14	Não significativo			
Quadr	1	0,01	0,2689076	0,6064	96,19				
Cúbico	1	0,002	0,05378151	0,8176	100				
Resíduo	48	1,785	-	-	-				
Dacito									
Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
DOSE	3	0,1475	-	-	-				
Linear	1	0,1125	3,02521	0,08839	76,27	Não significativo			
Quadr	1	0,0225	0,605042	0,4405	91,53				
Cúbico	1	0,0125	0,3361345	0,5648	100				
Resíduo	48	1,785	-	-	-				
Ultrapotássica									
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1	
DOSE	3	0,386875	-	-	-	Média	6,63125		
Linear	1	0,253125	6,806723	0,01207	65,43	Linear	6,4625	0,1125	
Quadr	1	0,105625	2,840336	0,09842	92,73				
Cúbico	1	0,028125	0,7563025	0,3888	100				
Resíduo	48	1,785	-	-	-				
Granada-Biotita-Gnaisse									
Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
DOSE	3	0,666875	-	-	-				
Linear	1	0,006125	0,1647059	0,6867	0,9185	Não significativo			
Quadr	1	0,225625	6,067227	0,01741	34,75				
Cúbico	1	0,435125	11,70084	0,001285	100				
Resíduo	48	1,785	-	-	-				
Monzogranito									
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1	X_2
DOSE	3	1362,9119	-	-	-	Média	56,81875		
Linear	1	774,39012	5,859794	0,01932	56,82	Linear	47,485	6,2225	
Monzogranito									
Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
DOSE	3	1362,9119	-	-	-				
Linear	1	774,39012	5,859794	0,01932	56,82				

Quadr	1	558,14063	4,223439	0,04533	97,77	Quadrático	53,39125	-11,4963	5,90625
Desvio	1	30,381125	0,2298934	0,6338	2,229				
Resíduo	48	6343,35	-	-	-				

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	327,30687	-	-	-
Linear	1	89,676125	0,6785774	0,4142	27,4
Quadr	1	80,550625	0,6095249	0,4388	52,01
Desvio	1	157,08012	1,188622	0,2811	47,99
Resíduo	48	6343,35	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	2529,1269	-	-	-
Linear	1	2463,0901	18,63815	7,87E-05	97,39
Quadr	1	30,525625	0,2309868	0,633	98,6
Desvio	1	35,511125	0,268712	0,6066	1,404
Resíduo	48	6343,35	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	68,70625		
Linear	52,06	11,0975	

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1528,8169	-	-	-
Linear	1	138,07513	1,044812	0,3118	9,032
Quadr	1	461,17563	3,489707	0,06786	39,2
Desvio	1	929,56612	7,034008	0,01081	60,8
Resíduo	48	6343,35	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	300	-	-	-
Linear	1	180	3,072546	0,08601	60
Quadr	1	100	1,70697	0,1976	93,33
Desvio	1	20	0,341394	0,5618	6,667
Resíduo	48	2812	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	132	-	-	-
Linear	1	64,8	1,106117	0,2982	49,09
Quadr	1	64	1,092461	0,3012	97,58
Desvio	1	3,2	0,05462304	0,8162	2,424
Resíduo	48	2812	-	-	-

Não significativo

K

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	236	-	-	-
Linear	1	180	3,072546	0,08601	76,27
Quadr	1	36	0,6145092	0,4369	91,53
Desvio	1	20	0,341394	0,5618	8,475
Resíduo	48	2812	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1227	-	-	-
Linear	1	1008,2	17,20967	0,0001358	82,17
Quadr	1	1	0,0170697	0,8966	82,25
Desvio	1	217,8	3,717781	0,05976	17,75
Resíduo	48	2812	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,006875	-	-	-
Linear	1	0,000125	0,00307692	0,956	1,818
Quadr	1	0,000625	0,01538462	0,9018	10,91
Desvio	1	0,006125	0,1507692	0,6995	89,09
Resíduo	48	1,95	-	-	-

Não significativo

AI

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,021875	-	-	-
Linear	1	0,000125	0,00307692	0,956	0,5714
Quadr	1	0,015625	0,3846154	0,5381	72
Desvio	1	0,006125	0,1507692	0,6995	28
Resíduo	48	1,95	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,093675	-	-	-
Linear	1	0,083205	2,048123	0,1589	88,82
Quadr	1	0,001225	0,03015385	0,8629	90,13
Desvio	1	0,009245	0,2275692	0,6355	9,869
Resíduo	48	1,95	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,786875	-	-	-
Linear	1	0,045125	1,110769	0,2972	5,735
Quadr	1	0,075625	1,861538	0,1788	15,35
Desvio	1	0,666125	16,39692	0,0001864	84,65
Resíduo	48	1,95	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,48375	-	-	-
Linear	1	0,136125	0,8340939	0,3657	28,14
Quadr	1	0,3025	1,853542	0,1797	90,67
Desvio	1	0,045125	0,2764995	0,6014	9,328
Resíduo	48	7,83365	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,177	-	-	-
Linear	1	0,00018	0,00110293	0,9736	0,1017
Quadr	1	0,0001	0,00061274	0,9804	0,1582
Desvio	1	0,17672	1,082836	0,3033	99,84
Resíduo	48	7,83365	-	-	-

Não significativo

Ca

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	19,761869	-	-	-
Linear	1	19,159031	117,3953	1,72E-14	96,95
Quadr	1	0,58905625	3,60939	0,06347	99,93
Desvio	1	0,01378125	0,08444339	0,7726	0,0697
Resíduo	48	7,83365	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	3,174375	0
Linear	1,70625	0,97875

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,75091875	-	-	-
Linear	1	0,27730125	1,699139	0,1986	36,93
Quadr	1	0,00390625	0,0239352	0,8777	37,45
Desvio	1	0,46971125	2,878114	0,09627	62,55
Resíduo	48	7,83365	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,09906875	-	-	-
Linear	1	0,03003125	2,684858	0,1078	30,31
Quadr	1	0,04950625	4,425964	0,04066	80,29
Desvio	1	0,01953125	1,746135	0,1926	19,71
Resíduo	48	0,5369	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,03665	-	-	-
Linear	1	0,001805	0,1613708	0,6897	4,925
Quadr	1	0,001225	0,1095176	0,7421	8,267
Desvio	1	0,03362	3,005699	0,08939	91,73
Resíduo	48	0,5369	-	-	-

Não significativo

Mg

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,016625	-	-	-
Linear	1	0,009245	0,8265226	0,3678	55,61
Quadr	1	0,0016	0,1430434	0,7069	65,23
Desvio	1	0,00578	0,5167443	0,4757	34,77
Resíduo	48	0,5369	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,07686875	-	-	-
Linear	1	0,05886125	5,262321	0,02621	76,57

Modelo	X_0	X_1
Média	0,688125	0
Linear	0,60675	0,05425

Quadr	1	0,00525625	0,4699199	0,4963	83,41
Desvio	1	0,01275125	1,139989	0,291	16,59
Resíduo	48	0,5369	-	-	-

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,511875	-	-	-
Linear	1	0,378125	0,5374593	0,4671	73,87
Quadr	1	0,105625	0,1501333	0,7001	94,51
Desvio	1	0,028125	0,03997631	0,8424	5,495
Resíduo	48	33,77	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1,405	-	-	-
Linear	1	1,058	1,50382	0,2261	75,3
Quadr	1	0,2025	0,2878294	0,5941	89,72
Desvio	1	0,1445	0,2053894	0,6524	10,28
Resíduo	48	33,77	-	-	-

Não significativo

H + Al

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	2,0075	-	-	-
Linear	1	1,3005	1,848505	0,1803	64,78
Quadr	1	0,5625	0,7995262	0,3757	92,8
Desvio	1	0,1445	0,2053894	0,6524	7,198
Resíduo	48	33,77	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	14,856875	-	-	-
Linear	1	0,078125	0,1110453	0,7404	0,5259
Quadr	1	3,900625	5,54427	0,02268	26,78
Desvio	1	10,878125	15,46195	0,00027	73,22
Resíduo	48	33,77	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1	-	-	-
Linear	1	0,288	1,815961	0,1841	28,8
Quadr	1	0,64	4,035468	0,0502	92,8
Desvio	1	0,072	0,4539901	0,5037	7,2
Resíduo	48	7,6125	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,4925	-	-	-
Linear	1	0,002	0,01261084	0,9111	0,4061
Quadr	1	0,01	0,06305419	0,8028	2,437
Desvio	1	0,4805	3,029754	0,08816	97,56
Resíduo	48	7,6125	-	-	-

Não significativo

CTC_ef

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	18,261875	-	-	-
Linear	1	17,578125	110,8374	4,58E-14	96,26
Quadr	1	0,680625	4,291626	0,0437	99,98
Desvio	1	0,003125	0,01970443	0,889	0,0171
Resíduo	48	7,6125	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	4,06875	0	0
Linear	2,6625	0,9375	0
Quadrático	2,86875	0,31875	0,20625

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1,115	-	-	-
Linear	1	1,1045	6,964335	0,01118	99,06
Quadr	1	0,01	0,06305419	0,8028	99,96
Desvio	1	0,0005	0,00315271	0,9555	0,0448
Resíduo	48	7,6125	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	3,25	0
Linear	2,8975	0,235

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1,25	-	-	-
Linear	1	0,008	0,01745455	0,8954	0,64
Quadr	1	1,21	2,64	0,1108	97,44
Desvio	1	0,032	0,06981818	0,7927	2,56
Resíduo	48	22	-	-	-

Não significativo

CTC_pH7

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	2,161875	-	-	-
Linear	1	0,946125	2,064273	0,1573	43,76
Quadr	1	0,225625	0,4922727	0,4863	54,2
Desvio	1	0,990125	2,160273	0,1481	45,8
Resíduo	48	22	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	11,266875	-	-	-
Linear	1	11,175125	24,38209	9,96E-06	99,19
Quadr	1	0,000625	0,00136364	0,9707	99,19
Desvio	1	0,091125	0,1988182	0,6577	0,8088
Resíduo	48	22	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	6,15625	0
Linear	5,035	0,7475

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	10,54	-	-	-
Linear	1	1,25	2,727273	0,1052	11,86
Quadr	1	3,24	7,069091	0,01062	42,6
Desvio	1	6,05	13,2	0,00068	57,4
Resíduo	48	22	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	139,85687	-	-	-
Linear	1	103,28513	1,475316	0,2305	73,85
Quadr	1	17,850625	0,2549769	0,6159	86,61
Desvio	1	18,721125	0,267411	0,6074	13,39
Resíduo	48	3360,4225	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	105,99687	-	-	-
Linear	1	87,153125	1,244888	0,2701	82,22
Quadr	1	15,015625	0,214482	0,6454	96,39
Desvio	1	3,828125	0,05468062	0,8161	3,612
Resíduo	48	3360,4225	-	-	-

Não significativo

Sat_base

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1533,3625	-	-	-
Linear	1	1455,218	20,78621	3,55E-05	94,9
Quadr	1	68,0625	0,9721992	0,3291	99,34
Desvio	1	10,082	0,1440105	0,706	0,6575
Resíduo	48	3360,4225	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	63,0375	0
Linear	50,2425	8,53

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	799,08187	-	-	-
Linear	1	22,366125	0,3194759	0,5746	2,799
Quadr	1	172,26563	2,460628	0,1233	24,36
Desvio	1	604,45012	8,633916	0,005058	75,64
Resíduo	48	3360,4225	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	12,671875	-	-	-
Linear	1	0,528125	0,00981979	0,9215	4,168
Quadr	1	1,265625	0,02353262	0,8787	14,16
Cúbico	1	10,878125	0,2022644	0,6549	100
Resíduo	48	2581,5225	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	15,361875	-	-	-
Linear	1	0,325125	0,00604527	0,9383	2,116
Quadr	1	14,630625	0,2720371	0,6044	97,36
Cúbico	1	0,406125	0,00755136	0,9311	100
Resíduo	48	2581,5225	-	-	-

Não significativo

Sat_AI

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	138,97068	-	-	-
Linear	1	123,45481	2,295479	0,1363	88,84

Não significativo

Quadr	1	8,037225	0,1494416	0,7008	94,62
Cúbico	1	7,478645	0,1390555	0,7109	100
Resíduo	48	2581,5225	-	-	-

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	932,165	-	-	-
Linear	1	11,4005	0,2119772	0,6473	1,223
Quadr	1	99,0025	1,840821	0,1812	11,84
Cúbico	1	821,762	15,27958	0,0002904	100
Resíduo	48	2581,5225	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,106875	-	-	-
Linear	1	0,036125	0,2743671	0,6028	33,8
Quadr	1	0,015625	0,1186709	0,732	48,42
Desvio	1	0,055125	0,4186709	0,5207	51,58
Resíduo	48	6,32	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,09	-	-	-
Linear	1	0,018	0,1367089	0,7132	20
Quadr	1	0,04	0,3037975	0,5841	64,44
Desvio	1	0,032	0,243038	0,6243	35,56
Resíduo	48	6,32	-	-	-

Não significativo

Rel Ca/Mg

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	36,3825	-	-	-
Linear	1	35,378	268,6937	2,68E-21	97,24
Quadr	1	0,64	4,860759	0,0323	99
Desvio	1	0,3645	2,768354	0,1027	1,002
Resíduo	48	6,32	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	4,8375	0	0
Linear	2,8425	1,33	0
Quadrático	3,0425	0,73	0,2

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,536875	-	-	-
Linear	1	0,066125	0,5022152	0,482	12,32
Quadr	1	0,005625	0,04272152	0,8371	13,36
Desvio	1	0,465125	3,532595	0,06625	86,64
Resíduo	48	6,32	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	96,486875	-	-	-
Linear	1	77,028125	6,293603	0,01555	79,83
Quadr	1	3,705625	0,302769	0,5847	83,67
Desvio	1	15,753125	1,287113	0,2622	16,33
Resíduo	48	587,4775	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	18,88125	0
Linear	21,825	-1,9625

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	48,255	-	-	-
Linear	1	12,6405	1,032795	0,3146	26,2
Quadr	1	8,7025	0,71104	0,4033	44,23
Desvio	1	26,912	2,198852	0,1447	55,77
Resíduo	48	587,4775	-	-	-

Não significativo

Rel
(Ca+Mg)/K

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	812,0225	-	-	-
Linear	1	746,642	61,00458	4,26E-10	91,95
Quadr	1	63,2025	5,163976	0,02758	99,73
Desvio	1	2,178	0,177954	0,675	0,2682
Resíduo	48	587,4775	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	27,9125	0	0
Linear	18,7475	6,11	0
Quadrático	20,735	0,1475	1,9875

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	32,58	-	-	-
Linear	1	27,378	2,236927	0,1413	84,03
Quadr	1	2,89	0,2361282	0,6292	92,9
Desvio	1	2,312	0,1889026	0,6658	7,096
Resíduo	48	587,4775	-	-	-

Não significativo

Zn

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,14515	-	-	-
Linear	1	0,063845	0,1984587	0,658	43,99
Quadr	1	0,0081	0,02517841	0,8746	49,57
Desvio	1	0,073205	0,2275538	0,6355	50,43
Resíduo	48	15,4418	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	2,97225	-	-	-
Linear	1	2,72322	8,464982	0,005472	91,62
Quadr	1	0,030625	0,09519616	0,759	92,65
Desvio	1	0,218405	0,6789001	0,414	7,348
Resíduo	48	15,4418	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	2,6025	0
Linear	2,049	0,369

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,558025	-	-	-
Linear	1	0,231125	0,7184396	0,4009	41,42
Quadr	1	0,3249	1,009934	0,32	99,64
Desvio	1	0,002	0,00621689	0,9375	0,3584
Resíduo	48	15,4418	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	6,90745	-	-	-
Linear	1	5,713805	17,76105	0,0001099	82,72
Quadr	1	0,81	2,517841	0,1191	94,45
Desvio	1	0,383645	1,19254	0,2803	5,554
Resíduo	48	15,4418	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	2,565	0
Linear	1,76325	0,5345

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,02845	-	-	-
Linear	1	0,019845	0,9046583	0,3463	69,75
Quadr	1	0,0064	0,2917517	0,5916	92,25
Desvio	1	0,002205	0,1005176	0,7526	7,75
Resíduo	48	1,05295	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,44146875	-	-	-
Linear	1	0,41041125	18,70909	7,66E-05	92,96
Quadr	1	0,00330625	0,1507194	0,6996	93,71
Desvio	1	0,02775125	1,265074	0,2663	6,286
Resíduo	48	1,05295	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	1,496875	0
Linear	1,282	0,14325

Cu

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,28206875	-	-	-
Linear	1	0,20910125	9,532134	0,00335	74,13
Quadr	1	0,06630625	3,022651	0,08852	97,64
Desvio	1	0,00666125	0,3036611	0,5842	2,362
Resíduo	48	1,05295	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	1,541875	0
Linear	1,3885	0,10225

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,968725	-	-	-
Linear	1	0,206045	9,392811	0,003569	21,27
Quadr	1	0,6561	29,90911	1,61E-06	89
Desvio	1	0,10658	4,858578	0,03234	11
Resíduo	48	1,05295	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	1,32875	0	0
Linear	1,481	-0,1015	0
Quadrático	1,2785	0,506	-0,2025

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	2,03	-	-	-
Linear	1	0,882	0,8687426	0,356	43,45
Quadr	1	0,09	0,08864721	0,7672	47,88
Desvio	1	1,058	1,042097	0,3125	52,12
Resíduo	48	48,7325	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1,1	-	-	-
Linear	1	0,722	0,7111476	0,4032	65,64

Não significativo

S

Quadr	1	0,09	0,08864721	0,7672	73,82
Desvio	1	0,288	0,2836711	0,5968	26,18
Resíduo	48	48,7325	-	-	-

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,355	-	-	-
Linear	1	0,0005	0,00049248	0,9824	0,1408
Quadr	1	0,09	0,08864721	0,7672	25,49
Desvio	1	0,2645	0,2605243	0,6121	74,51
Resíduo	48	48,7325	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	8,496875	-	-	-
Linear	1	0,015125	0,01489766	0,9034	0,178
Quadr	1	7,155625	7,048069	0,01073	84,39
Desvio	1	1,326125	1,306192	0,2588	15,61
Resíduo	48	48,7325	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,0125	-	-	-
Linear	1	9,24E-33	9,59E-31	1	#####
Quadr	1	3,36E-32	3,48E-30	1	#####
Desvio	1	0,0125	1,297297	0,2604	100
Resíduo	48	0,4625	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,006875	-	-	-
Linear	1	0,000125	0,01297297	0,9098	1,818
Quadr	1	0,000625	0,06486486	0,8001	10,91
Desvio	1	0,006125	0,6356757	0,4292	89,09
Resíduo	48	0,4625	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,006875	-	-	-
Linear	1	0,006125	0,6356757	0,4292	89,09
Quadr	1	0,000625	0,06486486	0,8001	98,18
Desvio	1	0,000125	0,01297297	0,9098	1,818
Resíduo	48	0,4625	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,046875	-	-	-
Linear	1	0,028125	2,918919	0,09401	60
Quadr	1	0,015625	1,621622	0,209	93,33
Desvio	1	0,003125	0,3243243	0,5717	6,667
Resíduo	48	0,4625	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	55,996619	-	-	-
Linear	1	8,7186013	0,4331361	0,5136	15,57
Quadr	1	46,070156	2,288744	0,1369	97,84
Desvio	1	1,2078613	0,060006	0,8075	2,157
Resíduo	48	966,19243	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	37,053125	-	-	-
Linear	1	0,149645	0,0074343	0,9316	0,4039
Quadr	1	6,0025	0,2982015	0,5875	16,6
Desvio	1	30,90098	1,535147	0,2214	83,4
Resíduo	48	966,19243	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	822,89562	-	-	-
Linear	1	778,25288	38,66325	1,16E-07	94,57
Quadr	1	44,023225	2,187054	0,1457	99,92
Desvio	1	0,61952	0,03077747	0,8615	0,0753
Resíduo	48	966,19243	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	18,22875	0
Linear	27,58575	-6,238

Granada-Biotita-Gnaiss

B

Mn

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	338,11453	-	-	-
Linear	1	9,32978	0,4634992	0,4993	2,759
Quadr	1	155,5009	7,725214	0,007752	48,75
Desvio	1	173,28384	8,608663	0,005118	51,25
Resíduo	48	966,19243	-	-	-

Não significativo

Tabela 18. Quadros da análise da variação e parâmetros dos modelos das regressões polinomiais do fator “dose”, realizada quando houve interação entre os fatores “fonte” e “dose”, de atributos químicos do solo do experimento de incubação.

Experimento de incubação		Solo: Nitossolo Vermelho				
pH	Monzogranito					
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2
	DOSE	3	0,005	-	-	-
	Linear	1	0,0005	0,094118	0,7603	10
	Quadr	1	0,0025	0,470588	0,496	60
	Cúbico	1	0,002	0,376471	0,5424	100
	Resíduo	48	0,255	-	-	-
	Dacito					
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2
	DOSE	3	0,02688	-	-	-
	Linear	1	0,00013	0,023529	0,8787	0,47
	Quadr	1	0,00563	1,058824	0,3086	21,4
	Cúbico	1	0,02113	3,976471	0,05184	100
	Resíduo	48	0,255	-	-	-
	Ultrapotássica					
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
DOSE	3	0,515	-	-	-	
Linear	1	0,512	96,37647	4,62E-13	99,4	
Quadr	1	0,0025	0,470588	0,496	99,9	
Cúbico	1	0,0005	0,094118	0,7603	100	
Resíduo	48	0,255	-	-	-	
		Modelo	X_0	X_1		
		Média	4,9	0		
		Linear	4,66	0,16		
Granada-Biotita-Gnaiss						
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
DOSE	3	0,00188	-	-	-	
Linear	1	0,00113	0,211765	0,6475	60	
Quadr	1	0,00063	0,117647	0,7331	93,3	
Cúbico	1	0,00013	0,023529	0,8787	100	
Resíduo	48	0,255	-	-	-	
Monzogranito						
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
DOSE	3	0,05188	-	-	-	
Linear	1	0,02113	1,053506	0,3098	40,7	
Quadr	1	0,01563	0,779221	0,3818	70,8	
Cúbico	1	0,01513	0,754286	0,3894	100	
Resíduo	48	0,9625	-	-	-	
Dacito						
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
DOSE	3	0,27188	-	-	-	
Linear	1	0,00313	0,155844	0,6948	1,15	
Quadr	1	0,01563	0,779221	0,3818	6,9	
Cúbico	1	0,25313	12,62338	0,0008665	100	
Resíduo	48	0,9625	-	-	-	
Ultrapotássica						
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
DOSE	3	0,53	-	-	-	
Linear	1	0,512	25,53351	6,73E-06	96,6	
Quadr	1	0,01	0,498701	0,4835	98,5	
Cúbico	1	0,008	0,398961	0,5306	100	
Resíduo	48	0,9625	-	-	-	
		Modelo	X_0	X_1		
		Média	5,7	0		
		Linear	5,46	0,16		
Granada-Biotita-Gnaiss						
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
DOSE	3	0,14188	-	-	-	
Linear	1	0,10513	5,242597	0,02648	74,1	
Quadr	1	0,00063	0,031169	0,8606	74,5	
Cúbico	1	0,03613	1,801558	0,1858	100	
Resíduo	48	0,9625	-	-	-	
		Modelo	X_0	X_1		
		Média	5,55625	0		
		Linear	5,4475	0,0725		
SMP	Monzogranito					
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2
	DOSE	3	0,05188	-	-	-
	Linear	1	0,02113	1,053506	0,3098	40,7
	Quadr	1	0,01563	0,779221	0,3818	70,8
P	Monzogranito					
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2
	DOSE	3	8,215	-	-	-
	Linear	1	6,8445	10,43385	0,002236	83,3
			Modelo	X_0	X_1	
		Média	6,4	0		
		Linear	5,5225	0,585		

Quadr	1	0,7225	1,101389	0,2992	92,1
Cúbico	1	0,648	0,987821	0,3253	100
Resíduo	48	31,4875	-	-	-

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	4,08688	-	-	-
Linear	1	0,90313	1,376737	0,2464	22,1
Quadr	1	2,80563	4,276935	0,04404	90,8
Cúbico	1	0,37813	0,576419	0,4514	100
Resíduo	48	31,4875	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	28,4119	-	-	-
Linear	1	21,7361	33,13486	5,90E-07	76,5
Quadr	1	6,63063	10,10782	0,002585	99,8
Cúbico	1	0,04513	0,068789	0,7942	100
Resíduo	48	31,4875	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	8,05625	0	0
Linear	6,4925	1,0425	0
Quadrático	5,84875	2,97375	-0,6438

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	35,9419	-	-	-
Linear	1	27,7301	42,2722	4,28E-08	77,2
Quadr	1	7,98063	12,16578	0,001052	99,4
Cúbico	1	0,23113	0,35233	0,5556	100
Resíduo	48	31,4875	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	6,83125	0	0
Linear	5,065	1,1775	0
Quadrático	5,77125	-0,9413	0,7063

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	184	-	-	-
Linear	1	0	0	1	0
Quadr	1	4	0,172662	0,6796	2,17
Cúbico	1	180	7,769784	0,00759	100
Resíduo	48	1112	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	344	-	-	-
Linear	1	135,2	5,835971	0,01956	39,3
Quadr	1	144	6,215827	0,01616	81,2
Cúbico	1	64,8	2,797122	0,1009	100
Resíduo	48	1112	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	96	0	0
Linear	92,1	2,6	0
Quadrático	95,1	-6,4	3

K

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	83	-	-	-
Linear	1	9,8	0,423022	0,5185	11,8
Quadr	1	49	2,115108	0,1524	70,8
Cúbico	1	24,2	1,044604	0,3119	100
Resíduo	48	1112	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	411	-	-	-
Linear	1	217,8	9,401439	0,003555	53
Quadr	1	169	7,294964	0,009526	94,1
Cúbico	1	24,2	1,044604	0,3119	100
Resíduo	48	1112	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	98,25	0	0
Linear	93,3	3,3	0
Quadrático	96,55	-6,45	3,25

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,005	-	-	-
Linear	1	0,002	0,431461	0,5144	40
Quadr	1	0,0025	0,539326	0,4663	90
Cúbico	1	0,0005	0,107865	0,744	100
Resíduo	48	0,2225	-	-	-

Não significativo

Al

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,005	-	-	-
Linear	1	0,0005	0,107865	0,744	10
Quadr	1	0,0025	0,539326	0,4663	60
Cúbico	1	0,002	0,431461	0,5144	100
Resíduo	48	0,2225	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1
DOSE	3	0,36688	-	-	-	Média	0,31875	0
Linear	1	0,35113	75,74831	1,95E-11	95,7	Linear	0,5175	-0,1325
Quadr	1	0,01563	3,370787	0,07256	100			
Cúbico	1	0,00013	0,026966	0,8703	100			
Resíduo	48	0,2225	-	-	-			
Granada-Biotita-Gnaiss								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Não significativo		
DOSE	3	0,0225	-	-	-			
Linear	1	0,0045	0,970787	0,3294	20			
Quadr	1	0,01	2,157303	0,1484	64,4			
Cúbico	1	0,008	1,725843	0,1952	100			
Resíduo	48	0,2225	-	-	-			
Monzogranito								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Não significativo		
DOSE	3	0,19392	-	-	-			
Linear	1	1,13E-05	7,19E-05	0,9933	0,01			
Quadr	1	0,17851	1,141063	0,2908	92,1			
Cúbico	1	0,0154	0,098449	0,7551	100			
Resíduo	48	7,50905	-	-	-			
Dacito								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Não significativo		
DOSE	3	1,04202	-	-	-			
Linear	1	0,06216	0,397353	0,5314	5,97			
Quadr	1	0,69306	4,430214	0,04057	72,5			
Cúbico	1	0,2868	1,833316	0,1821	100			
Resíduo	48	7,50905	-	-	-			
Ultrapotássica								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1
DOSE	3	4,48088	-	-	-	Média	6,35625	0
Linear	1	3,65513	23,36461	1,42E-05	81,6	Linear	5,715	0,4275
Quadr	1	0,52563	3,359946	0,07301	93,3			
Cúbico	1	0,30013	1,918485	0,1724	100			
Resíduo	48	7,50905	-	-	-			
Granada-Biotita-Gnaiss								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Não significativo		
DOSE	3	0,09493	-	-	-			
Linear	1	0,00841	0,053727	0,8177	8,85			
Quadr	1	0,0841	0,537591	0,467	97,5			
Cúbico	1	0,00242	0,015469	0,9015	100			
Resíduo	48	7,50905	-	-	-			
Monzogranito								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Não significativo		
DOSE	3	0,01255	-	-	-			
Linear	1	0,01152	0,894938	0,3489	91,8			
Quadr	1	0,00063	0,048554	0,8265	96,8			
Cúbico	1	0,00041	0,031463	0,86	100			
Resíduo	48	0,61788	-	-	-			
Dacito								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Não significativo		
DOSE	3	0,1002	-	-	-			
Linear	1	0,00018	0,013983	0,9064	0,18			
Quadr	1	0,0256	1,988752	0,1649	25,7			
Cúbico	1	0,07442	5,781364	0,0201	100			
Resíduo	48	0,61788	-	-	-			
Ultrapotássica								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1
DOSE	3	0,08123	-	-	-	Média	1,94625	0
Linear	1	0,08065	6,264957	0,01577	99,3	Linear	2,0415	-0,0635
Quadr	1	0,0004	0,031074	0,8608	99,8			
Cúbico	1	0,00018	0,013983	0,9064	100			
Resíduo	48	0,61788	-	-	-			
Granada-Biotita-Gnaiss								
Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1
DOSE	3	0,49262	-	-	-	Média	1,86938	0
Linear	1	0,24976	19,40286	5,91E-05	50,7	Linear	2,037	-0,1118

	Quadr	1	0,05176	4,020716	0,0506	61,2	
	Cúbico	1	0,1911	14,84582	0,0003458	100	
	Resíduo	48	0,61788	-	-	-	
	Monzogranito						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	3,8725	-	-	-	
	Linear	1	1,3005	1,082998	0,3032	33,6	Não significativo
	Quadr	1	1,69	1,407356	0,2413	77,2	
	Cúbico	1	0,882	0,73449	0,3957	100	
	Resíduo	48	57,64	-	-	-	
	Dacito						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	17,2819	-	-	-	
	Linear	1	0,40613	0,338203	0,5636	2,35	Não significativo
	Quadr	1	0,76563	0,637578	0,4285	6,78	
	Cúbico	1	16,1101	13,41579	0,0006215	100	
	Resíduo	48	57,64	-	-	-	
H+Al	Ultrapotássica						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	26,9475	-	-	-	
	Linear	1	26,6805	22,21832	0,02122	99	
	Quadr	1	0,1225	0,102013	0,7508	99,5	
	Cúbico	1	0,1445	0,120333	0,7302	100	
	Resíduo	48	57,64	-	-	-	
			Modelo		X_0	X_1	
			Média		6,3875	0	
			Linear		8,12	-1,155	
	Granada-Biotita-Gnaiss						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	9,80188	-	-	-	
	Linear	1	7,38113	6,146669	0,01673	75,3	
	Quadr	1	0,00563	0,004684	0,9457	75,4	
	Cúbico	1	2,41513	2,011207	0,1626	100	
	Resíduo	48	57,64	-	-	-	
			Modelo		X_0	X_1	
			Média		7,35625	0	
			Linear		8,2675	-0,6075	
	Monzogranito						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	0,2625	-	-	-	
	Linear	1	0,0045	0,020567	0,8866	1,71	Não significativo
	Quadr	1	0,25	1,142585	0,2905	97	
	Cúbico	1	0,008	0,036563	0,8492	100	
	Resíduo	48	10,5025	-	-	-	
	Dacito						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	1,83188	-	-	-	
	Linear	1	0,07813	0,357058	0,553	4,27	Não significativo
	Quadr	1	1,05063	4,801714	0,03332	61,6	
	Cúbico	1	0,70313	3,213521	0,07934	100	
	Resíduo	48	10,5025	-	-	-	
CTC_ef	Ultrapotássica						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	1,7475	-	-	-	
	Linear	1	1,0125	4,62747	0,03653	57,9	
	Quadr	1	0,4225	1,930969	0,1711	82,1	
	Cúbico	1	0,3125	1,428231	0,2379	100	
	Resíduo	48	105025	-	-	-	
			Modelo		X_0	X_1	
			Média		8,8625	0	
			Linear		8,525	0,225	
	Granada-Biotita-Gnaiss						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	0,4675	-	-	-	
	Linear	1	0,0845	0,386194	0,5372	18,1	Não significativo
	Quadr	1	0,2025	0,925494	0,3409	61,4	
	Cúbico	1	0,1805	0,824946	0,3683	100	
	Resíduo	48	105025	-	-	-	
	Monzogranito						
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	
	DOSE	3	5,315	-	-	-	
	Linear	1	1,568	1,119251	0,2954	29,5	Não significativo
	Quadr	1	3,0625	2,186036	0,1458	87,1	
	Cúbico	1	0,6845	0,488601	0,4879	100	
	Resíduo	48	67245	-	-	-	
	Dacito						
CTC_pH7							

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	23,235	-	-	-
Linear	1	0,1125	0,080303	0,7781	0,48
Quadr	1	0,01	0,007138	0,933	0,53
Cúbico	1	23,1125	16,49788	0,0001792	100
Resíduo	48	67245	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	14,0219	-	-	-
Linear	1	12,7201	9,079723	0,004118	90,7
Quadr	1	1,26563	0,903413	0,3466	99,7
Cúbico	1	0,03613	0,025786	0,8731	100
Resíduo	48	67,245	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	14,9313	0
Linear	16,1275	-0,7975

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	13,9569	-	-	-
Linear	1	9,45313	6,747714	0,01243	67,7
Quadr	1	0,22563	0,161053	0,69	69,4
Cúbico	1	4,27813	3,053759	0,08695	100
Resíduo	48	67,245	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	14,9063	0
Linear	15,9375	-0,6875

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	34,1719	-	-	-
Linear	1	16,2901	0,936444	0,338	47,7
Quadr	1	4,51563	0,259582	0,6127	60,9
Cúbico	1	13,3661	0,768357	0,3851	100
Resíduo	48	834,995	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	181,912	-	-	-
Linear	1	5,56513	0,319913	0,5743	3059
Quadr	1	41,9256	2,41011	0,1271	26,1
Cúbico	1	13,4421	7,727249	0,007745	100
Resíduo	48	834,995	-	-	-

Não significativo

Sat_base

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	609,995	-	-	-
Linear	1	595,141	34,21187	0,0004259	97,6
Quadr	1	0,0625	0,003593	0,9525	97,6
Cúbico	1	14,792	0,850324	0,3611	100
Resíduo	48	834,995	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	57,825	0
Linear	49,6425	5,455

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	85,8725	-	-	-
Linear	1	66,248	3,808291	0,05685	77,2
Quadr	1	6,5025	0,373799	0,5438	84,7
Cúbico	1	13,122	0,754323	0,3894	100
Resíduo	48	834,995	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,48688	-	-	-
Linear	1	0,37813	0,516175	0,476	77,7
Quadr	1	0,03063	0,041806	0,8389	84
Cúbico	1	0,07813	0,106648	0,7454	100
Resíduo	48	351625	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,22688	-	-	-
Linear	1	0,19013	0,259538	0,6128	83,8
Quadr	1	0,03063	0,041806	0,8389	97,3
Cúbico	1	0,00613	0,008361	0,9275	100
Resíduo	48	35,1625	-	-	-

Não significativo

Sat_AI

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	56,2569	-	-	-
Linear	1	52,0031	70,98898	5,048E-08	92,4

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	3,65625	0	0
Linear	6,075	-1,6125	0

	Quadr	1	4,10063	5,597725	0,02207	99,7	Quadrático	6,58125	-3,1313	0,5063
	Cúbico	1	0,15313	0,20903	0,6496	100				
	Resíduo	48	351625	-	-	-				
	Granada-Biotita-Gnaiss									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
	DOSE	3	6,4225	-	-	-				
	Linear	1	1,152	1,72584	0,2159	17,9	Não significativo			
	Quadr	1	2,89	3,945112	0,05273	62,9				
	Cúbico	1	2,3805	3,249598	0,07772	100				
	Resíduo	48	35,1625	-	-	-				
	Monzogranito									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
	DOSE	3	0,0725	-	-	-				
	Linear	1	0,032	0,877714	0,3535	44,1	Não significativo			
	Quadr	1	0,04	1,097143	0,3001	99,3				
	Cúbico	1	0,0005	0,013714	0,9073	100				
	Resíduo	48	1,75	-	-	-				
	Dacito									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
	DOSE	3	0,08688	-	-	-				
	Linear	1	0,02113	0,579429	0,4503	24,3	Não significativo			
	Quadr	1	0,05063	1,388571	0,2445	82,6				
	Cúbico	1	0,01513	0,414857	0,5226	100				
	Resíduo	48	1,75	-	-	-				
Rel Ca/Mg	Ultrapotássica									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1	
	DOSE	3	2,37188	-	-	-	Média	3,28125	0	
	Linear	1	2,21113	60,648	4,616E-07	93,2	Linear	2,7825	0,3325	
	Quadr	1	0,10563	2,897143	0,09521	97,7				
	Cúbico	1	0,05513	1,512	0,2248	100				
	Resíduo	48	1,75	-	-	-				
	Granada-Biotita-Gnaiss									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1	
	DOSE	3	1,2275	-	-	-	Média	2,9375	0	
	Linear	1	0,6845	18,77486	0,07476	55,8	Linear	2,66	0,185	
	Quadr	1	0,0625	1,714286	0,1967	60,9				
	Cúbico	1	0,4805	13,17943	0,0006859	100				
	Resíduo	48	1,75	-	-	-				
	Monzogranito									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
	DOSE	3	27,1519	-	-	-				
	Linear	1	0,12013	0,026733	0,8708	0,44	Não significativo			
	Quadr	1	1,38063	0,307254	0,5819	5527				
	Cúbico	1	25,6511	5,708575	0,02086	100				
	Resíduo	48	215,685	-	-	-				
	Dacito									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2				
	DOSE	3	72,375	-	-	-				
	Linear	1	7,5645	1,683455	0,2007	10,5	Não significativo			
	Quadr	1	64,8025	14,42159	0,0004108	100				
	Cúbico	1	0,008	0,00178	0,9665	100				
	Resíduo	48	215685	-	-	-				
Rel (Ca+Mg)/K	Ultrapotássica									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1	
	DOSE	3	61,965	-	-	-	Média	33,375	0	
	Linear	1	61,6005	13,70899	0,0005504	99,4	Linear	30,7425	1,755	
	Quadr	1	0,1225	0,027262	0,8695	99,6				
	Cúbico	1	0,242	0,053856	0,8175	100				
	Resíduo	48	215,685	-	-	-				
	Granada-Biotita-Gnaiss									
	Fontes	GL	SQ	F	p	R2	Modelo	X_0	X_1	
	DOSE	3	36,4869	-	-	-	Média	29,1688	0	
	Linear	1	33,1531	7,378121	0,009152	90,9	Linear	31,1	-1,2875	
	Quadr	1	2,80563	0,624383	0,4333	98,6				
	Cúbico	1	0,52813	0,117533	0,7332	100				
	Resíduo	48	215,685	-	-	-				
Zn	Monzogranito									

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,77092	-	-	-
Linear	1	0,0324	0,193366	0,6621	4,2
Quadr	1	0,72676	4,337171	0,04264	98,5
Cúbico	1	0,01176	0,070189	0,7922	100
Resíduo	48	8,0431	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1,55202	-	-	-
Linear	1	0,15225	0,908612	0,3453	9,81
Quadr	1	1,38651	8,274459	0,005982	99,2
Cúbico	1	0,01326	0,079141	0,7797	100
Resíduo	48	8,0431	-	-	-

Não significativo

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	6,90133	-	-	-
Linear	1	3,02642	18,06122	0,09796	43,9
Quadr	1	2,5281	15,08732	0,0003138	80,5
Cúbico	1	1,34681	8,037528	0,006686	100
Resíduo	48	8,0431	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	3,14125	0	0
Linear	3,72475	-0,389	0
Quadrático	3,32725	0,8035	-0,3975

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	8,24485	-	-	-
Linear	1	6,73961	40,22094	7,514E-05	81,7
Quadr	1	1,21	7,221096	0,009871	96,4
Cúbico	1	0,29525	1,761977	0,1907	100
Resíduo	48	8,0431	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	2,1125	0	0
Linear	2,98325	-0,5805	0
Quadrático	3,25825	-1,4055	0,275

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	1,61525	-	-	-
Linear	1	0,43513	0,878844	0,3532	26,9
Quadr	1	0,36	0,727111	0,3981	49,2
Cúbico	1	0,82013	1,656449	0,2043	100
Resíduo	48	23,7653	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	7,95312	-	-	-
Linear	1	6,46953	13,06685	0,000719	81,4
Quadr	1	0,19581	0,39548	0,5324	83,8
Cúbico	1	1,28778	2,600998	0,1134	100
Resíduo	48	23,7653	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	4,56313	0
Linear	5,41625	-0,5688

Cu

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	4,33363	-	-	-
Linear	1	3,18402	6,430929	0,01452	73,5
Quadr	1	0,6084	1,228817	0,2732	87,5
Cúbico	1	0,54121	1,0931	0,301	100
Resíduo	48	23,7653	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	5,07875	0
Linear	5,67725	-0,399

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	15,2764	-	-	-
Linear	1	7,98216	16,12198	0,0002078	52,3
Quadr	1	2,68141	5,415774	0,02422	69,8
Cúbico	1	4,6128	9,316712	0,003695	100
Resíduo	48	23,7653	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	5,69813	0	0
Linear	4,7505	0,63175	0
Quadrático	5,15988	-0,5964	0,4094

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	17,8025	-	-	-
Linear	1	10,5125	5,048903	0,02928	59,1
Quadr	1	3,24	1,556095	0,2183	77,3
Cúbico	1	4,05	1,945118	0,1695	100
Resíduo	48	99,9425	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	15,2125	0
Linear	14,125	0,725

S

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	3,00188	-	-	-
Linear	1	2,41513	1,159927	0,2869	80,5

Não significativo

Quadr	1	0,18063	0,08675	0,7696	86,5
Cúbico	1	0,40613	0,195052	0,6607	100
Resíduo	48	99,9425	-	-	-

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	7,80188	-	-	-
Linear	1	2,85013	1,368847	0,2478	36,5
Quadr	1	4,95063	2,377667	0,1296	100
Cúbico	1	0,00113	0,00054	0,9816	100
Resíduo	48	99,9425	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	4,43688	-	-	-
Linear	1	1,83013	0,878965	0,3532	41,3
Quadr	1	0,05063	0,024314	0,8767	42,4
Cúbico	1	2,55613	1,227646	0,2734	100
Resíduo	48	99,9425	-	-	-

Não significativo

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,015	-	-	-
Linear	1	6,6E-27	5,88E-25	1	0
Quadr	1	0,0025	0,22281	0,639	16,7
Cúbico	1	0,0125	1,114051	0,2965	100
Resíduo	48	0,53858	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,0425	-	-	-
Linear	1	0,0405	3,609525	0,06347	95,3
Quadr	1	3,8E-25	3,36E-24	1	95,3
Cúbico	1	0,002	0,178248	0,6748	100
Resíduo	48	0,53858	-	-	-

Não significativo

B

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,1525	-	-	-
Linear	1	0,0125	1,114051	0,2965	8,2
Quadr	1	0,09	8,021167	0,006738	67,2
Cúbico	1	0,05	4,456204	0,04001	100
Resíduo	48	0,53858	-	-	-

Não significativo

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	0,06302	-	-	-
Linear	1	0,04851	4,32352	0,04295	77
Quadr	1	0,00226	0,201086	0,6559	80,6
Cúbico	1	0,01225	1,091881	0,3013	100
Resíduo	48	0,53858	-	-	-

Modelo	X_0	X_1
Média	0,17563	0
Linear	0,2495	-0,0493

Monzogranito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	15,3705	-	-	-
Linear	1	13,4152	1,32913	0,2547	87,3
Quadr	1	1,38063	0,136787	0,7131	96,3
Cúbico	1	0,57461	0,05693	0,8124	100
Resíduo	48	4,8E+07	-	-	-

Não significativo

Dacito

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	88,9107	-	-	-
Linear	1	4,85605	0,481119	0,4913	5,46
Quadr	1	1,49451	0,14807	0,7021	7,14
Cúbico	1	82,5602	8,179752	0,006253	100
Resíduo	48	484,475	-	-	-

Não significativo

Mn

Ultrapotássica

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	497,379	-	-	-
Linear	1	453,676	44,9485	2,089E-05	91,2
Quadr	1	40,6725	4,02968	0,05035	99,4
Cúbico	1	3,03031	0,300232	0,5863	100
Resíduo	48	484,475	-	-	-

Modelo	X_0	X_1	X_2
Média	43,6719	0	0
Linear	50,816	-4,7628	0
Quadrático	52,4104	-9,5459	1,5944

Granada-Biotita-Gnaiss

Fontes	GL	SQ	F	p	R2
DOSE	3	51,9255	-	-	-
Linear	1	34,8084	3,448687	0,06944	67
Quadr	1	12,5139	1,239831	0,271	91,1
Cúbico	1	4,6032	0,456068	0,5027	100
Resíduo	48	484,475	-	-	-

Não significativo

Tabela 19. Quadros da análise da variação dos fatores “solo”, “fonte” e da interação “solo.fonte” de atributos químicos do solo de colunas de lixiviação após 12 lixiviações.

Experimento colunas de lixiviação
pH

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	0,5333333	0,5333333	33,333	0,01194
FONTE	4	0,6586667	0,1646667	10,292	0,00011
SOLO.FONTE	4	0,4066667	0,1016667	63,542	0,00181
RESIDUO	20	0,32	0,016	-	-
TOTAL	29	19186667	-	-	-

SMP

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	4,8803333	4,8803333	176,4	0
FONTE	4	0,358	0,0895	3,2349	0,03356
SOLO.FONTE	4	0,1713333	0,0428333	1,5482	0,2267
RESIDUO	20	0,5533333	0,0276667	-	-
TOTAL	29	5,963	-	-	-

P

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	17179,347	17179,35	327,46	0
FONTE	4	147,05133	36,76283	0,7007	0,6005
SOLO.FONTE	4	68,651333	17,16283	0,3271	0,8564
RESIDUO	20	1049,26	52,463	-	-
TOTAL	29	18444,31	-	-	-

K

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	18850,133	18850,13	364,37	0
FONTE	4	181,33333	45,33333	0,8763	0,4955
SOLO.FONTE	4	40,533333	10,13333	0,1959	0,9377
RESIDUO	20	1034,6667	51,73333	-	-
TOTAL	29	20106,667	-	-	-

Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	0,1203333	0,1203333	10,618	0,00393
FONTE	4	0,1886667	0,0471667	4,1618	0,01299
SOLO.FONTE	4	0,0713333	0,0178333	1,5735	0,22
RESIDUO	20	0,2266667	0,0113333	-	-
TOTAL	29	0,607	-	-	-

Ca

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	113,41296	113,413	179,7	0
FONTE	4	3,0983533	0,7745883	1,2273	0,3308
SOLO.FONTE	4	0,6187533	0,1546883	0,2451	0,9092
RESIDUO	20	12,622467	0,6311233	-	-
TOTAL	29	129,75254	-	-	-

Mg

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	10,173363	10,17336	287,93	0
FONTE	4	0,0441667	0,0110417	0,3125	0,8662
SOLO.FONTE	4	0,04902	0,012255	0,3468	0,8431
RESIDUO	20	0,7066667	0,0353333	-	-
TOTAL	29	10,973217	-	-	-

H+Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	126,48533	126,4853	174,62	0
FONTE	4	10,495333	2,623833	3,6224	0,02236
SOLO.FONTE	4	7,3113333	1,827833	2,5235	0,07318
RESIDUO	20	14,486667	0,7243333	-	-
TOTAL	29	158,77867	-	-	-

CTC ef

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	210,675	210,675	239,13	0
FONTE	4	1,92	0,48	0,5448	0,7048
SOLO.FONTE	4	0,6666667	0,1666667	0,1892	0,9413
RESIDUO	20	17,62	0,881	-	-
TOTAL	29	230,88167	-	-	-

CTC pH 7

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	645,888	645,888	335,24	0
FONTE	4	3,468	0,867	0,45	0,7712
SOLO.FONTE	4	5,3786667	1,344667	0,6979	0,6023
RESIDUO	20	38,533333	1,926667	-	-
TOTAL	29	693,268	-	-	-

Análise da variação de amostras de solo após as lixiviações
Sat_base

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	604,803	604,803	14,287	0,00118
FONTE	4	871,12467	217,7812	5,1446	0,00514
SOLO.FONTE	4	295,382	73,8455	1,7445	0,1798
RESIDUO	20	846,63333	42,33167	-	-
TOTAL	29	2617,943	-	-	-

Sat Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	895,44033	895,4403	79,841	2E-05
FONTE	4	284,85533	71,21383	6,3497	0,00182
SOLO.FONTE	4	231,07133	57,76783	5,1508	0,00511
RESIDUO	20	224,30667	11,21533	-	-
TOTAL	29	1635,6737	-	-	-

Rel Ca/Mg

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	22,360333	22,36033	96,798	4,2E-06
FONTE	4	10,278	2,5695	11,123	0,06497
SOLO.FONTE	4	3,2046667	0,801167	3,4683	0,02624
RESIDUO	20	4,62	0,231	-	-
TOTAL	29	40,463	-	-	-

Rel (Ca+Mg)/K

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	694,083	694,083	21,09	0,00018
FONTE	4	115,03667	28,75917	0,8739	0,4969
SOLO.FONTE	4	96,115333	24,02883	0,7301	0,5819
RESIDUO	20	658,2	32,91	-	-
TOTAL	29	1563,435	-	-	-

Zn

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	0,028213333	0,028213	0,3397	0,5665
FONTE	4	0,13671333	0,034178	0,4115	0,7982
SOLO.FONTE	4	0,076353333	0,019088	0,2298	0,9184
RESIDUO	20	1,6610667	0,083053	-	-
TOTAL	29	1,9023467	-	-	-

Cu

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	319,74145	319,7415	705,88	0
FONTE	4	4,98762	1,246905	2,7527	0,05665
SOLO.FONTE	4	5,2802467	1,320062	2,9142	0,04743
RESIDUO	20	9,0594	0,45297	-	-
TOTAL	29	339,06872	-	-	-

S

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	15,408333	15,40833	27,763	0,03715
FONTE	4	1,5986667	0,399667	0,7201	0,5882
SOLO.FONTE	4	1,7466667	0,436667	0,7868	0,5472
RESIDUO	20	11,1	0,555	-	-
TOTAL	29	29,853667	-	-	-

B

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	0,001333333	0,001333	0,5714	0,4585
FONTE	4	0,005333333	0,001333	0,5714	0,6864
SOLO.FONTE	4	0,005333333	0,001333	0,5714	0,6864
RESIDUO	20	0,046666667	0,002333	-	-
TOTAL	29	0,058666667	-	-	-

Mn

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	4804,7239	4804,724	103,67	2,3E-06
FONTE	4	49,497587	12,3744	0,267	0,8957
SOLO.FONTE	4	54,105547	13,52639	0,2919	0,8798
RESIDUO	20	926,8828	46,34414	-	-
TOTAL	29	5835,2098	-	-	-

Tabela 20. Quadros da análise da variação dos fatores “solo”, “fonte” e da interação “solo.fonte” de valores acumulados de atributos químicos de lixiviados coletados ao longo de 12 lixiviações.

Experimento colunas de lixiviação

Valores acumulados de atributos químicos dos lixiviados

Ca

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	70262,28	70262,28	12,296	0,00222
FONTE	4	73763,13	18440,78	3,227	0,03384
SOLO.FONTE	4	5547,108	1386,777	0,24268	0,9107
RESIDUO	20	114289	5714,452	-	-
TOTAL	29	263861,6	-	-	-

Mg

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	2673,974	2673,974	11,722	0,00269
FONTE	4	668,6379	167,1595	0,73279	0,5803
SOLO.FONTE	4	697,2864	174,3216	0,76418	0,5609
RESIDUO	20	4562,298	228,1149	-	-
TOTAL	29	8602,197	-	-	-

Al

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	1653,622	1653,622	0,72359	0,405
FONTE	4	11968,98	2992,244	1,3093	0,3004
SOLO.FONTE	4	5285,157	1321,289	0,57816	0,6818
RESIDUO	20	45706,32	2285,316	-	-
TOTAL	29	64614,08	-	-	-

Na

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	3235,447	3235,447	143,64	1,39E-10
FONTE	4	50,43331	12,60833	0,55977	0,6945
SOLO.FONTE	4	104,2435	26,06088	1,157	0,3591
RESIDUO	20	450,4841	22,52421	-	-
TOTAL	29	3840,608	-	-	-

K

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	203,3203	203,3203	6,9724	0,01569
FONTE	4	9,873067	2,468267	0,08464	0,9862
SOLO.FONTE	4	32,04827	8,012067	0,27475	0,8908
RESIDUO	20	583,217	29,16085	-	-
TOTAL	29	828,4587	-	-	-

P

Fontes	GL	SQ	QM	F	p
SOLO	1	42,81685	42,81685	0,51158	0,4827
FONTE	4	114,019	28,50475	0,34058	0,8473
SOLO.FONTE	4	117,1807	29,29518	0,35002	0,8409
RESIDUO	20	1673,917	83,69584	-	-
TOTAL	29	1947,933	-	-	-

Tabela 21. Dados brutos de atributos químicos de amostras do Planossolo submetido a doses crescentes de quatro rochas silicáticas em experimento de incubação.

Amostra	Fonte	Dose	pH	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H + Al	CTC ef	CTC pH7	Sat. Bases	Sat. Al	Rel Ca_Mg	Rel (Ca+Mg)/K	Zn	Cu	S	B	Mn
			----- -- mg dm ⁻³ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----		----- mg dm ⁻³ -----						
1	Monzo	0	4,6	6,40	54,00	48	0,20	1,90	0,66	2,80	2,90	5,50	48,80	6,90	2,90	20,80	1,89	1,41	15,0	0,10	28,04
2	Monzo	0	4,5	6,60	46,10	52	0,20	2,09	0,75	2,20	3,20	5,20	57,00	6,20	2,80	21,30	1,94	1,26	15,0	0,20	27,38
3	Monzo	0	4,5	6,50	52,10	44	0,30	1,50	0,48	2,50	2,40	4,60	45,50	12,50	3,10	17,50	1,74	1,31	15,0	0,20	23,13
4	Monzo	0	4,6	6,60	58,90	44	0,20	2,05	0,66	2,20	3,00	5,00	56,50	6,70	3,10	24,00	2,66	1,28	14,7	0,40	25,51
5	Monzo	5	4,6	6,50	53,00	52	0,20	2,43	0,82	2,50	3,60	5,90	57,30	5,60	3,00	24,40	2,58	1,28	14,8	0,10	28,02
6	Monzo	5	4,6	6,40	50,60	52	0,20	2,04	0,65	2,80	3,00	5,60	50,40	6,70	3,20	20,20	1,96	1,46	16,7	0,20	28,59
7	Monzo	5	4,5	6,30	45,70	56	0,20	2,54	0,86	3,10	3,70	6,60	53,70	5,40	3,00	23,80	1,98	1,48	14,9	0,20	29,91
8	Monzo	5	4,5	6,60	49,30	52	0,20	1,68	0,76	2,20	2,80	4,80	53,50	7,10	2,20	18,30	2,60	1,41	14,9	0,20	30,44
9	Monzo	10	4,6	6,30	65,40	68	0,20	2,34	0,77	3,10	3,50	6,40	51,30	5,70	3,10	17,90	1,94	1,49	14,7	0,20	29,15
10	Monzo	10	4,5	6,20	43,80	60	0,30	2,00	0,68	3,50	3,10	6,30	45,00	9,70	2,90	17,50	2,28	1,31	15,1	0,30	27,26
11	Monzo	10	4,6	6,40	45,00	56	0,30	2,12	0,67	2,80	3,20	5,70	51,40	9,40	3,20	19,50	2,08	1,39	14,3	0,30	30,01
12	Monzo	10	4,6	6,60	54,50	52	0,20	1,33	0,44	2,20	2,10	4,10	46,50	9,50	3,00	13,30	2,32	1,44	13,6	0,20	24,95
13	Monzo	20	4,6	6,40	81,10	60	0,20	1,93	0,63	2,80	2,90	5,50	49,30	6,90	3,10	16,70	2,33	1,50	14,6	0,10	25,66
14	Monzo	20	4,5	6,60	68,70	56	0,20	1,60	0,54	2,20	2,50	4,50	50,80	8,00	3,00	15,00	2,40	1,47	15,1	0,30	23,87
15	Monzo	20	4,5	6,30	73,10	52	0,20	1,45	0,49	3,10	2,30	5,20	40,00	8,70	2,90	14,60	2,36	1,26	15,4	0,20	21,98
16	Monzo	20	4,6	6,30	67,80	52	0,20	1,76	0,55	3,10	2,60	5,50	44,30	7,70	3,20	17,30	2,06	1,45	13,0	0,20	25,61
17	Dacito	0	4,6	6,40	54,00	48	0,20	1,90	0,66	2,80	2,90	5,50	48,80	6,90	2,90	20,80	1,89	1,41	15,0	0,10	28,04
18	Dacito	0	4,5	6,60	46,10	52	0,20	2,09	0,75	2,20	3,20	5,20	57,00	6,20	2,80	21,30	1,94	1,26	15,0	0,20	27,38
19	Dacito	0	4,5	6,50	52,10	44	0,30	1,50	0,48	2,50	2,40	4,60	45,50	12,50	3,10	17,50	1,74	1,31	15,0	0,20	23,13
20	Dacito	0	4,6	6,60	58,90	44	0,20	2,05	0,66	2,20	3,00	5,00	56,50	6,70	3,10	24,00	2,66	1,28	14,7	0,40	25,51
21	Dacito	5	4,5	6,30	67,10	48	0,30	2,26	0,78	3,10	3,50	6,30	50,30	8,60	2,90	24,80	2,32	1,29	14,9	0,20	31,33
22	Dacito	5	4,5	6,80	49,70	48	0,30	2,30	0,80	1,70	3,50	4,90	65,80	8,60	2,90	25,20	2,15	1,21	15,0	0,20	31,46
23	Dacito	5	4,5	6,50	49,20	60	0,40	2,32	0,78	2,50	3,70	5,80	56,10	10,80	3,00	20,30	2,17	1,42	15,7	0,30	32,93
24	Dacito	5	4,4	6,30	41,10	52	0,30	1,38	0,41	3,10	2,20	5,00	38,50	13,60	3,30	13,50	2,58	1,50	13,7	0,40	23,53
25	Dacito	10	4,5	6,50	39,90	56	0,30	1,68	0,52	2,50	2,60	4,80	48,90	11,50	3,20	15,40	2,62	1,67	14,3	0,10	24,56
26	Dacito	10	4,5	6,50	39,30	52	0,30	1,76	0,56	2,50	2,80	5,00	49,10	10,70	3,10	17,50	2,84	1,51	14,2	0,30	26,08
27	Dacito	10	4,5	6,30	40,40	60	0,20	2,01	0,65	3,10	3,00	5,90	47,70	6,70	3,10	17,40	3,53	1,70	14,2	0,20	27,21
28	Dacito	10	4,6	6,60	45,40	52	0,30	1,67	0,51	2,20	2,60	4,50	51,40	11,50	3,30	16,40	2,96	1,56	14,4	0,30	26,83
29	Dacito	20	4,5	6,20	47,30	52	0,30	1,72	0,56	3,50	2,70	5,90	40,90	11,10	3,10	17,10	3,33	1,69	14,7	0,20	24,19
30	Dacito	20	4,5	6,30	43,90	44	0,30	1,74	0,58	3,10	2,70	5,50	44,20	11,10	3,00	20,50	2,50	1,58	14,3	0,40	26,34
31	Dacito	20	4,5	6,30	53,90	56	0,20	2,07	0,68	3,10	3,10	6,00	48,20	6,50	3,00	19,20	3,53	1,87	15,4	0,10	28,36
32	Dacito	20	4,5	6,30	51,80	56	0,20	2,35	0,78	3,10	3,50	6,40	51,20	5,70	3,00	21,90	2,88	1,69	13,5	0,30	31,18

Tabela 21. Dados brutos de atributos químicos de amostras do Planossolo submetido a doses crescentes de quatro rochas silicáticas em experimento de incubação. Continua...

Amostra	Fonte	Dose	pH	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H + Al	CTC _ef	CTC pH7	Sat. Bases	Sat. Al	Rel Ca_Mg	Rel (Ca+Mg)/ K	Zn	Cu	S	B	Mn
			----- -- mg dm ⁻³ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- % -----		----- mg dm ⁻³ -----								
33	Ultrapo	0	4,6	6,40	54,00	48	0,20	1,90	0,66	2,80	2,90	5,50	48,80	6,90	2,90	20,80	1,89	1,41	15,0	0,10	28,04
34	Ultrapo	0	4,5	6,60	46,10	52	0,20	2,09	0,75	2,20	3,20	5,20	57,00	6,20	2,80	21,30	1,94	1,26	15,0	0,20	27,38
35	Ultrapo	0	4,5	6,50	52,10	44	0,30	1,50	0,48	2,50	2,40	4,60	45,50	12,50	3,10	17,50	1,74	1,31	15,0	0,20	23,13
36	Ultrapo	0	4,6	6,60	58,90	44	0,20	2,05	0,66	2,20	3,00	5,00	56,50	6,70	3,10	24,00	2,66	1,28	14,7	0,40	25,51
37	Ultrapo	5	4,9	6,70	59,30	56	0,10	2,58	0,63	2,00	3,40	5,40	62,00	2,90	4,10	22,40	2,36	1,51	13,4	0,10	24,23
38	Ultrapo	5	4,7	6,40	51,50	52	0,10	2,83	0,65	2,80	3,70	6,40	56,50	2,70	4,30	26,20	2,08	1,37	17,2	0,30	22,81
39	Ultrapo	5	4,8	6,60	59,30	56	0,10	2,26	0,57	2,20	3,10	5,20	57,00	3,20	4,00	19,70	2,55	1,59	15,9	0,30	22,37
40	Ultrapo	5	4,7	6,50	85,00	56	0,10	2,46	0,57	2,50	3,30	5,70	55,60	3,00	4,30	21,20	2,73	1,86	14,7	0,20	21,56
41	Ultrapo	10	5,0	6,60	77,90	52	0,10	3,24	0,60	2,20	4,10	6,20	64,20	2,40	5,40	28,90	2,46	1,59	15,8	0,30	20,05
42	Ultrapo	10	5,0	6,70	68,70	52	0,10	3,84	0,74	2,00	4,80	6,70	70,30	2,10	5,20	34,40	2,52	1,60	15,4	0,10	20,80
43	Ultrapo	10	5,0	6,50	58,40	52	0,10	3,40	0,66	2,50	4,30	6,70	62,60	2,30	5,20	30,50	2,31	1,53	14,6	0,30	10,50
44	Ultrapo	10	4,8	6,40	78,50	64	0,10	3,25	0,71	2,80	4,20	6,90	59,60	2,40	4,60	24,10	2,98	1,80	14,0	0,30	16,78
45	Ultrapo	20	6,0	6,90	100,1	44	0,01	5,01	0,67	1,60	5,80	7,40	78,30	0,01	7,50	50,30	2,30	1,61	13,9	0,30	6,86
46	Ultrapo	20	5,6	6,90	71,20	60	0,01	4,66	0,71	1,60	5,50	7,10	77,80	0,01	6,60	35,10	2,20	1,51	14,0	0,30	7,73
47	Ultrapo	20	5,9	7,00	92,10	60	0,01	5,25	0,73	1,40	6,10	7,50	81,70	0,01	7,20	39,10	2,23	1,64	15,2	0,30	6,33
48	Ultrapo	20	5,7	6,80	86,20	64	0,01	4,47	0,63	1,70	5,30	7,00	75,20	0,01	7,10	31,10	2,75	1,80	17,0	0,20	7,58
49	GrBiotGn	0	4,6	6,40	54,00	48	0,20	1,90	0,66	2,80	2,90	5,50	48,80	6,90	2,90	20,80	1,89	1,41	15,0	0,10	28,04
50	GrBiotGn	0	4,5	6,60	46,10	52	0,20	2,09	0,75	2,20	3,20	5,20	57,00	6,20	2,80	21,30	1,94	1,26	15,0	0,20	27,38
51	GrBiotGn	0	4,5	6,50	52,10	44	0,30	1,50	0,48	2,50	2,40	4,60	45,50	12,50	3,10	17,50	1,74	1,31	15,0	0,20	23,13
52	GrBiotGn	0	4,6	6,60	58,90	44	0,20	2,05	0,66	2,20	3,00	5,00	56,50	6,70	3,10	24,00	2,66	1,28	14,7	0,40	25,51
53	GrBiotGn	5	4,8	5,50	3,30	36	1,30	0,88	0,56	7,70	2,80	9,20	16,60	46,40	1,60	15,60	0,62	1,27	17,5	0,30	3,64
54	GrBiotGn	5	4,7	5,70	3,30	32	1,20	1,04	0,49	6,20	2,80	7,80	20,60	42,90	2,10	18,60	0,69	1,34	16,4	0,20	2,75
55	GrBiotGn	5	4,5	6,40	48,60	60	0,30	2,44	0,66	2,80	3,50	6,00	54,10	8,60	3,70	20,20	2,88	1,57	15,7	0,20	23,64
56	GrBiotGn	5	4,5	6,30	47,90	64	0,30	2,30	0,71	3,10	3,50	6,30	50,50	8,60	3,20	18,40	3,27	1,71	17,4	0,20	22,81
57	GrBiotGn	10	4,5	6,40	37,00	64	0,20	2,36	0,79	2,80	3,50	6,10	54,40	5,70	3,00	19,20	2,53	1,59	15,1	0,30	21,78
58	GrBiotGn	10	4,5	6,40	51,80	72	0,30	1,88	0,63	2,80	3,00	5,50	48,90	10,00	3,00	13,60	3,38	1,78	14,8	0,20	19,55
59	GrBiotGn	10	4,6	6,30	45,50	64	0,30	2,40	0,79	3,10	3,60	6,40	52,30	8,30	3,00	19,40	2,76	1,44	14,6	0,20	22,56
60	GrBiotGn	10	4,5	6,50	40,10	60	0,30	2,33	0,73	2,50	3,50	5,70	56,40	8,60	3,20	20,00	2,59	1,55	19,3	0,20	21,54
61	GrBiotGn	20	4,7	6,50	39,90	64	0,20	2,53	0,91	2,50	3,80	6,10	59,00	5,30	2,80	21,00	3,91	0,79	15,1	0,30	29,20
62	GrBiotGn	20	4,5	6,60	50,30	88	0,30	2,74	0,90	2,20	4,20	6,10	63,40	7,10	3,10	16,20	4,45	0,99	13,5	0,40	30,14
63	GrBiotGn	20	4,7	5,70	4,90	44	1,40	0,97	0,61	6,20	3,10	7,90	21,50	45,20	1,60	14,00	1,70	0,55	15,8	0,50	9,41
64	GrBiotGn	20	4,5	6,50	57,20	64	0,30	2,10	0,68	2,50	3,20	5,40	54,60	9,40	3,10	17,00	4,03	1,42	16,0	0,20	15,34

Tabela 22. Dados brutos de atributos químicos de amostras do Nitossolo submetido a doses crescentes de quatro rochas silicáticas em experimento de incubação.

Amostra	Fonte	Dose	pH	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H + Al	CTC _ef	CTC pH7	Sat. Bases	Sat. Al	Rel Ca_Mg	Rel (Ca+Mg)/K	Zn	Cu	S	B	Mn
			----- -- mg dm ⁻³ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- % -----		----- mg dm ⁻³ -----							
1	Monzo	0	4,7	5,4	6,4	92	0,50	5,39	1,91	8,70	8,0	16,2	46,50	6,20	2,80	31,1	3,27	5,48	15,1	0,10	46,96
2	Monzo	0	4,7	5,4	5,3	100	0,60	5,70	2,14	8,70	8,7	16,8	48,20	6,90	2,70	30,6	3,16	5,65	13,8	0,20	52,59
3	Monzo	0	4,6	5,4	5,9	96	0,60	5,25	2,02	8,70	8,1	16,2	46,40	7,40	2,60	29,6	3,14	5,20	13,9	0,30	54,53
4	Monzo	0	4,7	5,7	5,7	96	0,50	5,55	2,11	6,20	8,4	14,1	56,00	6,00	2,60	31,1	3,22	5,27	14,6	0,40	56,34
5	Monzo	5	4,6	5,7	5,7	92	0,50	5,46	2,15	6,20	8,3	14,0	56,00	6,00	2,50	32,3	3,49	4,17	17,2	0,30	57,74
6	Monzo	5	4,7	5,5	5,8	88	0,50	5,99	2,09	7,70	8,8	16,0	51,90	5,70	2,90	35,9	2,65	5,95	14,3	0,20	50,36
7	Monzo	5	4,7	5,7	5,3	88	0,50	4,99	1,96	6,20	7,7	13,4	53,50	6,50	2,50	30,9	2,24	5,29	14,5	0,40	50,48
8	Monzo	5	4,7	5,6	5,7	88	0,60	4,83	1,87	6,90	7,5	13,8	50,10	8,00	2,60	29,7	2,35	5,18	14,3	0,40	52,27
9	Monzo	10	4,6	5,5	5,3	100	0,60	5,08	2,02	7,70	8,0	15,1	48,70	7,50	2,50	27,7	2,51	5,43	15,0	0,20	55,05
10	Monzo	10	4,7	5,7	7,2	100	0,50	5,22	2,06	6,20	8,0	13,7	55,00	6,20	2,50	28,4	2,52	5,34	14,1	0,20	52,65
11	Monzo	10	4,7	5,6	7,9	96	0,50	5,53	1,86	6,90	8,1	14,5	52,70	6,20	3,00	30,0	2,79	6,04	11,6	0,40	47,68
12	Monzo	10	4,6	5,5	6,6	96	0,60	5,11	1,98	7,70	7,9	15,0	48,90	7,60	2,60	28,8	3,04	5,62	17,1	0,20	50,16
13	Monzo	20	4,6	5,3	7,0	100	0,60	5,14	1,94	9,70	7,9	17,0	43,10	7,60	2,70	27,6	3,18	5,23	14,9	0,30	53,19
14	Monzo	20	4,7	5,8	8,5	88	0,60	5,23	1,98	5,50	8,0	12,9	57,60	7,50	2,60	32,0	3,15	4,77	14,0	0,20	52,58
15	Monzo	20	4,8	5,8	9,0	96	0,50	6,01	2,02	5,50	8,8	13,8	60,00	5,70	3,00	32,6	3,84	5,26	23,7	0,30	49,38
16	Monzo	20	4,7	5,5	5,1	88	0,60	5,63	1,97	7,70	8,4	15,5	50,50	7,10	2,90	33,8	2,04	3,76	15,3	0,30	46,12
17	Dacito	0	4,7	5,4	6,4	92	0,50	5,39	1,91	8,70	8,0	16,2	46,50	6,20	2,80	31,1	3,27	5,48	15,1	0,10	46,96
18	Dacito	0	4,7	5,4	5,3	100	0,60	5,70	2,14	8,70	8,7	16,8	48,20	6,90	2,70	30,6	3,16	5,65	13,8	0,20	52,59
19	Dacito	0	4,6	5,4	5,9	96	0,60	5,25	2,02	8,70	8,1	16,2	46,40	7,40	2,60	29,6	3,14	5,20	13,9	0,30	54,53
20	Dacito	0	4,7	5,7	5,7	96	0,50	5,55	2,11	6,20	8,4	14,1	56,00	6,00	2,60	31,1	3,22	5,27	14,6	0,40	56,34
21	Dacito	5	4,7	5,8	5,3	96	0,60	5,50	1,84	5,50	8,2	13,1	57,80	7,30	3,00	29,8	2,65	5,83	15,2	0,30	46,26
22	Dacito	5	4,7	5,8	5,5	84	0,60	5,38	2,08	5,50	8,3	13,2	58,20	7,20	2,60	34,7	2,11	4,31	15,4	0,40	49,22
23	Dacito	5	4,6	5,6	5,6	96	0,50	5,73	2,12	6,90	8,6	15,0	54,00	5,80	2,70	31,9	2,41	4,71	13,2	0,20	53,86
24	Dacito	5	4,8	5,9	5,5	80	0,50	6,21	1,96	4,90	8,9	13,3	62,90	5,60	3,20	39,8	2,71	5,62	14,2	0,20	45,30
25	Dacito	10	4,6	5,4	4,6	96	0,60	6,29	2,25	8,70	9,4	17,5	50,20	6,40	2,80	34,7	2,09	3,77	13,7	0,40	57,81
26	Dacito	10	4,6	5,4	5,3	96	0,70	6,05	1,95	8,70	9,0	17,0	48,50	7,80	3,10	32,5	2,55	3,99	14,2	0,50	52,24
27	Dacito	10	4,5	5,4	5,6	100	0,50	6,40	2,36	8,70	9,5	17,7	50,90	5,30	2,70	34,2	2,52	3,83	13,4	0,30	54,15
28	Dacito	10	4,7	5,6	5,6	96	0,50	5,74	2,16	6,90	8,6	15,0	54,30	5,80	2,70	32,1	2,68	3,56	13,6	0,20	52,85
29	Dacito	20	4,7	5,7	6,0	104	0,50	5,81	2,13	6,20	8,7	14,4	57,00	5,70	2,70	29,9	2,93	3,03	13,8	0,40	52,34
30	Dacito	20	4,7	5,6	6,8	108	0,50	5,20	1,83	6,90	7,8	14,2	51,50	6,40	2,80	25,5	2,70	3,48	13,4	0,40	47,37
31	Dacito	20	4,7	5,7	7,3	96	0,60	5,07	1,84	6,20	7,8	13,4	53,40	7,70	2,80	28,1	2,80	4,71	13,1	0,30	47,20
32	Dacito	20	4,7	5,5	6,3	100	0,50	6,00	2,10	7,70	8,9	16,1	51,90	5,60	2,90	31,6	3,21	4,57	13,5	0,40	49,47

Tabela 22. Dados brutos de atributos químicos de amostras do Nitossolo submetido a doses crescentes de quatro rochas silicáticas em experimento de incubação. Continua...

Amostra	Fonte	Dose	pH	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H + Al	CTC ef	CTC pH7	Sat. Bases	Sat. Al	Rel Ca_Mg	Rel (Ca+Mg)/K	Zn	Cu	S	B	Mn
			----- -- mg dm ⁻³ -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----						----- % -----		----- mg dm ⁻³ -----						
33	Ultrapo	0	4,7	5,4	6,4	92	0,50	5,39	1,91	8,70	8,0	16,20	46,50	6,20	2,80	31,1	3,27	5,48	15,1	0,10	46,96
34	Ultrapo	0	4,7	5,4	5,3	100	0,60	5,70	2,14	8,70	8,7	16,80	48,20	6,90	2,70	30,6	3,16	5,65	13,8	0,20	52,59
35	Ultrapo	0	4,6	5,4	5,9	96	0,60	5,25	2,02	8,70	8,1	16,20	46,40	7,40	2,60	29,6	3,14	5,20	13,9	0,30	54,53
36	Ultrapo	0	4,7	5,7	5,7	96	0,50	5,55	2,11	6,20	8,4	14,10	56,00	6,00	2,60	31,1	3,22	5,27	14,6	0,40	56,34
37	Ultrapo	5	4,8	5,6	6,8	108	0,40	7,54	2,02	6,90	10,2	16,70	58,90	3,90	3,70	34,6	3,29	4,07	12,8	0,10	45,91
38	Ultrapo	5	4,9	6,0	8,7	96	0,30	6,20	1,91	4,40	8,7	12,80	65,20	3,40	3,20	32,9	3,58	7,88	13,3	0,20	39,30
39	Ultrapo	5	4,7	5,5	8,7	100	0,40	6,09	1,96	7,70	8,7	16,00	51,90	4,60	3,10	31,4	4,53	5,20	12,4	0,30	43,96
40	Ultrapo	5	4,8	5,4	8,8	100	0,30	6,20	2,02	8,70	8,8	17,20	49,30	3,40	3,10	32,1	5,09	5,73	13,0	0,50	46,33
41	Ultrapo	10	4,9	5,6	9,7	100	0,30	6,35	1,80	6,90	8,7	15,30	54,90	3,40	3,50	31,8	3,50	5,70	11,6	0,50	39,15
42	Ultrapo	10	4,9	5,7	9,7	96	0,30	7,04	2,13	6,20	9,7	15,60	60,40	3,10	3,30	37,3	3,34	5,18	10,8	0,50	39,50
43	Ultrapo	10	5,0	5,8	9,3	100	0,20	6,37	1,78	5,50	8,6	13,90	60,50	2,30	3,60	31,8	3,20	4,94	14,1	0,30	41,72
44	Ultrapo	10	5,1	5,8	7,9	92	0,10	6,51	1,91	5,50	8,8	14,20	61,00	1,10	3,40	35,8	1,78	3,49	13,4	0,30	40,75
45	Ultrapo	20	5,3	6,0	9,0	108	0,10	7,57	2,07	4,40	10,0	14,30	69,30	1,00	3,70	34,9	2,08	3,64	13,3	0,10	38,53
46	Ultrapo	20	5,1	6,0	8,4	92	0,10	6,27	1,83	4,40	8,4	12,70	65,60	1,20	3,40	34,4	2,58	4,21	12,7	0,20	37,98
47	Ultrapo	20	5,2	6,0	10,4	96	0,10	7,35	1,73	4,40	9,4	13,70	68,00	1,10	4,30	36,9	2,19	4,77	13,6	0,10	35,12
48	Ultrapo	20	5,0	5,9	8,2	84	0,30	6,32	1,80	4,90	8,6	13,20	63,10	3,50	3,50	37,7	2,31	4,85	13,3	0,10	40,08
49	GrBiotGn	0	4,7	5,4	6,4	92	0,50	5,39	1,91	8,70	8,0	16,20	46,50	6,20	2,80	31,1	3,27	5,48	15,1	0,10	46,96
50	GrBiotGn	0	4,7	5,4	5,3	100	0,60	5,70	2,14	8,70	8,7	16,80	48,20	6,90	2,70	30,6	3,16	5,65	13,8	0,20	52,59
51	GrBiotGn	0	4,6	5,4	5,9	96	0,60	5,25	2,02	8,70	8,1	16,20	46,40	7,40	2,60	29,6	3,14	5,20	13,9	0,30	54,53
52	GrBiotGn	0	4,7	5,7	5,7	96	0,50	5,55	2,11	6,20	8,4	14,10	56,00	6,00	2,60	31,1	3,22	5,27	14,6	0,40	56,34
53	GrBiotGn	5	4,7	5,4	4,6	92	0,50	5,23	1,95	8,70	7,9	16,10	46,10	6,30	2,70	30,6	1,83	2,77	14,0	0,20	49,65
54	GrBiotGn	5	4,6	5,4	6,0	96	0,60	5,27	2,00	8,70	8,1	16,20	46,40	7,40	2,60	29,5	2,25	4,31	14,1	0,20	53,50
55	GrBiotGn	5	4,6	5,5	5,6	100	0,60	4,85	1,96	7,70	7,7	14,80	47,70	7,80	2,50	26,6	2,41	4,92	13,7	0,10	55,46
56	GrBiotGn	5	4,7	5,5	5,3	92	0,60	6,13	2,15	7,70	9,1	16,20	52,60	6,60	2,90	35,2	2,75	5,01	14,4	0,20	53,85
57	GrBiotGn	10	4,6	5,7	6,5	92	0,70	5,31	1,60	6,20	7,8	13,30	53,70	9,00	3,30	29,4	1,28	6,34	15,8	0,30	56,51
58	GrBiotGn	10	4,6	5,6	6,6	100	0,60	5,50	1,68	6,90	8,0	14,30	52,00	7,50	3,30	28,1	1,50	6,74	15,6	0,10	53,77
59	GrBiotGn	10	4,7	5,6	6,3	92	0,60	5,26	1,58	6,90	7,7	14,00	50,50	7,80	3,30	29,1	1,25	6,19	15,3	0,10	49,88
60	GrBiotGn	10	4,7	5,7	8,1	96	0,70	5,36	1,58	6,20	7,9	13,40	53,60	8,90	3,40	28,2	1,43	6,03	15,0	0,30	51,82
61	GrBiotGn	20	4,6	5,5	7,8	104	0,70	5,63	1,76	7,70	8,4	15,40	49,70	8,30	3,20	27,8	1,48	6,40	14,5	0,01	53,70
62	GrBiotGn	20	4,6	5,6	10,2	108	0,60	5,92	1,89	6,90	8,7	15,00	53,90	6,90	3,10	28,3	1,64	7,80	14,7	0,10	58,66
63	GrBiotGn	20	4,6	5,6	9,3	112	0,50	5,49	1,84	6,90	8,1	14,50	52,50	6,20	3,00	25,6	1,55	6,73	15,1	0,10	58,97
64	GrBiotGn	20	4,8	5,9	9,7	104	0,50	5,14	1,74	4,90	7,6	12,00	59,60	6,60	3,00	25,9	1,64	6,33	15,3	0,10	56,84

Tabela 23. Dados brutos de atributos químicos de amostras de Planossolo e Nitossolo sob quatro rochas silicáticas em colunas de lixiviação, em 12 lixiviações.

Amostra	pH H ₂ O	SMP	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC ef	CTC pH7	Sat. bases	Sat. Al	Relação Ca/Mg	Relação (Ca+Mg)/K	Zn	Cu	S	B	Mn
	-- mg dm ⁻³ --				----- cmol _c dm ⁻³ -----							----- % -----		----- mg dm ⁻³ -----					
1	4,30	6,70	49,30	32,00	0,50	1,15	0,26	2,00	2,00	3,50	42,50	25,00	4,50	17,10	1,85	1,09	13,70	0,10	25,70
2	4,80	6,40	47,20	44,00	0,30	1,86	0,31	2,80	2,60	5,10	44,70	11,50	6,10	19,20	1,88	1,27	13,60	0,20	21,27
3	4,30	6,40	54,30	32,00	0,50	1,10	0,23	2,80	1,90	4,20	33,80	26,30	4,70	16,30	1,75	1,22	13,30	0,10	20,80
4	4,40	6,40	59,80	32,00	0,40	1,08	0,21	2,80	1,80	4,20	32,70	22,20	5,10	15,70	1,64	1,11	12,90	0,10	20,61
5	4,30	6,30	42,50	36,00	0,50	1,17	0,24	3,10	2,00	4,60	32,80	25,00	4,80	15,40	1,64	1,24	12,70	0,20	21,20
6	4,80	5,90	6,80	76,00	0,70	4,16	1,10	4,90	6,10	10,30	52,90	11,50	3,80	27,10	1,55	8,76	14,40	0,10	42,95
7	4,60	5,40	5,30	80,00	0,70	4,02	1,11	8,70	6,00	14,00	38,10	11,70	3,60	25,00	1,23	7,47	15,70	0,20	44,77
8	5,00	5,70	7,70	76,00	0,40	4,96	1,17	6,20	6,70	12,50	50,60	6,00	4,20	31,60	1,14	6,25	14,50	0,10	34,35
9	4,60	5,50	5,30	80,00	0,70	4,48	1,26	7,70	6,60	13,60	43,70	10,60	3,60	28,00	1,61	8,44	14,50	0,10	49,94
10	4,80	5,60	5,90	80,00	0,60	4,58	1,31	6,90	6,70	13,00	46,90	9,00	3,50	28,70	1,89	5,87	15,20	0,10	42,40
11	4,40	6,30	55,10	32,00	0,50	1,28	0,27	3,10	2,10	4,70	34,70	23,80	4,80	18,90	1,88	1,41	13,30	0,20	24,44
12	5,30	6,70	74,40	40,00	0,10	2,85	0,33	2,00	3,40	5,30	62,00	2,90	8,50	31,20	1,75	1,22	12,80	0,20	16,59
13	4,40	6,50	56,50	36,00	0,50	1,97	0,36	2,50	2,90	4,90	49,50	17,20	5,40	25,40	2,02	1,37	12,80	0,10	21,89
14	4,40	6,50	59,30	32,00	0,40	1,58	0,31	2,50	2,40	4,50	43,70	16,70	5,10	23,00	1,49	1,20	15,30	0,10	21,00
15	4,40	6,20	62,30	32,00	0,40	1,62	0,29	3,50	2,40	5,50	36,20	16,70	5,60	23,30	1,59	1,33	13,50	0,10	19,87
16	4,80	6,10	8,50	84,00	0,40	6,77	1,46	3,90	8,80	12,30	68,60	4,50	4,60	38,30	1,99	10,00	15,30	0,20	50,63
17	4,80	5,60	10,20	72,00	0,50	5,19	1,32	6,90	7,20	13,60	49,30	6,90	3,90	35,40	1,36	6,29	14,20	0,10	38,99
18	4,60	5,60	9,50	80,00	0,70	5,86	1,62	6,90	8,40	14,60	52,60	8,30	3,60	36,50	1,44	7,07	14,20	0,10	36,72
19	4,60	5,50	7,10	84,00	0,70	5,60	1,56	7,70	8,10	15,10	48,80	8,60	3,60	33,30	1,40	7,38	14,30	0,20	42,36
20	4,70	5,70	5,80	80,00	0,60	6,33	1,77	6,20	8,90	14,50	57,30	6,70	3,60	39,50	1,65	8,60	15,50	0,10	51,88
21	4,20	6,10	68,30	44,00	0,50	1,90	0,37	3,90	2,90	6,30	37,80	17,20	5,20	20,10	2,14	1,67	14,00	0,10	25,99
22	4,20	6,30	44,10	28,00	0,60	1,89	0,35	3,10	2,90	5,40	42,80	20,70	5,40	31,10	1,56	1,46	15,50	0,10	23,58
23	4,80	6,80	64,20	28,00	0,20	2,45	0,33	1,70	3,00	4,50	63,30	6,70	7,40	38,60	1,55	1,44	13,30	0,10	21,61
24	4,40	6,50	46,80	24,00	0,50	1,37	0,26	2,50	2,20	4,20	40,00	22,70	5,30	26,60	1,51	1,38	13,20	0,20	23,45
25	4,30	6,40	47,90	32,00	0,50	1,63	0,32	2,80	2,50	4,80	42,20	20,00	5,10	23,70	1,43	1,38	12,70	0,10	25,66
26	4,70	5,90	8,50	92,00	0,50	6,17	1,66	4,90	8,60	13,00	62,00	5,80	3,70	33,30	2,07	8,39	15,30	0,10	54,54
27	4,80	5,50	7,90	92,00	0,50	6,22	1,76	7,70	8,70	15,90	51,70	5,70	3,50	34,00	1,70	7,85	15,00	0,10	51,44
28	4,60	5,40	6,60	92,00	0,50	5,63	1,53	8,70	7,90	16,10	45,90	6,30	3,70	30,40	1,68	7,71	15,10	0,10	57,08
29	4,80	5,50	11,60	100,00	0,30	7,11	1,55	7,70	9,20	16,60	53,70	3,30	4,60	33,80	2,01	9,35	15,70	0,10	50,60
30	4,70	5,50	7,40	88,00	0,50	6,15	1,73	7,70	8,60	15,80	51,30	5,80	3,60	35,00	2,04	8,30	15,20	0,10	64,67