



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA - FAV

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E DENSIDADE DE CARGAS ELÉTRICAS EM UM
LATOSSOLO SOB ADIÇÃO DE SIENITO NEFELÍNICO**

Lucas Melo Silva Rodrigues

Brasília – DF

Julho de 2015

LUCAS MELO SILVA RODRIGUES

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E DENSIDADE DE CARGAS ELÉTRICAS EM UM
LATOSSOLO SOB ADIÇÃO DE SIENITO NEFELÍNICO**

Projeto final de Estágio Supervisionado, submetido à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Professor Jader Galba Busato

Brasília – DF

Julho de 2015

LUCAS MELO SILVA RODRIGUES

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E DENSIDADE DE CARGAS ELÉTRICAS EM UM
LATOSSOLO SOB ADIÇÃO DE SIENITO NEFELÍNICO**

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Jader Galba Busato

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Cícero Célio de Figueiredo

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Eiyti Kato

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

Brasília – DF

Julho de 2015

*Ao meu irmão João Batista Melo, que tem me ensinado o verdadeiro valor de viver,
dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, Incondicionalmente.

A minha mãe Viviani Aparecida Melo, por toda a dedicação, companheirismo e amor sempre. Ao meu pai Giuliano Rodrigues, por todo apoio e incentivo.

Ao meu orientador Jader Galba, pelo conhecimento transmitido, ajuda e conselhos valiosos. Aos professores da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

A Natália Romano, pelo incentivo, ensinamentos, parceria e cumplicidade sempre.

Ao meu tio Júlio Cesar, pelo incentivo e ensinamentos.

Aos companheiros Alan Mól, Luiz Fernando, Lucas Machado, Eduardo Barros, João Paulo Fernandes, por toda ajuda e paciência.

Aos colegas da República 307, que estão e que estiveram, pela amizade e companheirismo.

“O maior presente que podemos oferecer a humanidade é a manifestação do caráter de Cristo em nossa personalidade”...

SUMÁRIO

| | Página |
|---|--------|
| RESUMO | |
| ABSTRACT | |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1. Origem da fertilização dos solos agrícolas..... | 3 |
| 2.2. A rochagem como prática agrícola..... | 7 |
| 2.3. Sienito nefelínico: potencial de uso agrícola..... | 8 |
| 2.4. Cargas elétricas na fertilidade do solo..... | 10 |
| 2.4.1. Origem das cargas no solo..... | 10 |
| 2.4.2. Cargas estruturais/permanentes..... | 11 |
| 2.4.3. Cargas variáveis..... | 12 |
| 2.5. Método de determinação do quantitativo de cargas elétricas permanentes e variáveis no solo por adsorção de céσιο (Cs ⁺)..... | 14 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 16 |
| 3.1. Solo utilizado e localização..... | 16 |
| 3.2. Obtenção da rocha de sienito nefelínico..... | 16 |
| 3.3. Análise da constituição química da rocha de sienito nefelínico..... | 17 |
| 3.4. Montagem do experimento e amostragem para determinações analíticas..... | 18 |
| 3.4.1. Indicadores de fertilidade do solo..... | 18 |
| 3.4.2. Determinação do quantitativo de cargas variáveis e permanentes..... | 19 |
| 4. ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 21 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 22 |
| 5.1. Caracterização química do sienito nefelínico e do solo empregado no experimento..... | 22 |

| | | |
|------|---|----|
| 5.2. | Caracterização química das amostras do solo incubadas com o sienito nefelínico..... | 25 |
| 6. | CONCLUSÕES..... | 28 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 30 |

Rodrigues, Lucas Melo Silva, **Atributos químicos de fertilidade e densidade de cargas elétricas em um Latossolo sob adição de sienito nefelínico**. 2015. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

Apesar da liderança na produção de alimentos, o Brasil não possui parque tecnológico ou reservas minerais suficientes para suprir a demanda de nutrientes exigida pela agricultura. Para amenizar isto, o país importa grandes quantidades de fertilizantes solúveis. Associado a esta dependência externa, grande parte dos solos brasileiros encontra-se em avançado estágio de intemperismo, com características químicas desfavoráveis como elevados teores de alumínio, baixa disponibilidade de nutrientes catiônicos e densidade de cargas elétricas negativas. A rochagem é uma prática que visa substituir parte da importação de fertilizantes e melhorar o ambiente químico do solo pela adição de minerais primários e secundários contidos nas rochas moídas. Neste trabalho, os indicadores de fertilidade e a densidade de cargas elétricas permanentes e variáveis num Latossolo Vermelho Amarelo distrófico sob adição de diferentes doses do sienito nefelínico foram avaliados. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, onde amostras do solo receberam doses equivalentes a 0, 600, 1200, 1800 e 2400 kg ha⁻¹ do sienito nefelínico finamente moído. Não se observaram alterações no pH, H+Al³⁺, Al³⁺ e nos teores de Ca²⁺+Mg²⁺. Entretanto, houve incremento linear para o K⁺ trocável e quadrático para o fósforo disponível. O quantitativo de cargas variáveis não foi alterado com a adição da dose equivalente a 2400 kg ha⁻¹ do sienito nefelínico, enquanto as cargas permanentes foram significativamente aumentadas (166,7%).

Palavras-chaves: Remineralizadores, Potássio, Fontes alternativas.

ABSTRACT

Despite the leadership in food production, Brazil has no technology field and enough mineral reserves to meet the nutrient demand required for agriculture. In order to improve this situation, the country imports large amounts of soluble fertilizer. Associated with the external dependency, there is a great part of Brazilian soil which is in advanced stage of weathering, with unfavorable chemical characteristics such as high aluminum content, low availability of cationic nutrients and negative electric charges density. The stonemeal is useful to replace fertilizer imports and also to improve the soil's chemical environment by adding primary and secondary minerals presented in crushed rocks. At this work, we evaluated the fertility indicators, the permanent and variable electric charges density in a Yellow-Red Latossol when adding different doses of nepheline syenite. The experiment was conducted in a greenhouse, where the samples received dosages of 0, 600, 1200, 1800 and 2400 kg ha⁻¹ of milled syenite. There were no changes in pH values, nor in H+Al³⁺, Al³⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ levels. However, there was a linear increase of exchangeable K⁺ and quadratic progression of P-PO₄³⁻. The amount of variable electric charges did not change with the addition of a dosage of 2400 kg ha⁻¹ of nepheline syenite, nevertheless the same didn't happen with the permanent electric charges, which suffered a significant increase (166.7%).

Keywords: Remineralizing, Potassium, Alternative Sources.

1. INTRODUÇÃO

Uma das características inerentes à espécie humana é a sua capacidade de se adaptar ao meio ou moldá-lo de forma a obter os produtos necessários à sua existência. Neste sentido, talvez a agricultura represente o exemplo mais significativo. Com o seu advento, os pequenos grupos nômades até então existentes puderam evoluir para sociedades estacionárias muito mais organizadas. Surgiram então os chamados “centros de irradiação da agricultura” (para uma revisão mais aprofundada sugere-se o livro *História das agriculturas do mundo*, de Marcel Mazoyer), que fomentaram estudos visando a maior compreensão dos fatores que interferem no desenvolvimento vegetal e no rendimento das lavouras.

A maior exploração do solo realizada pelas populações estacionárias exigiu que práticas de fertilização fossem desenvolvidas para dar suporte à crescente demanda de produtos vegetais. Cinzas, ossos, compostos orgânicos, sedimentos trazidos por cursos d’água, excrementos animais e humanos passaram então a compor o conjunto de insumos responsáveis pela nutrição vegetal. Passados muitos séculos, a agricultura continua sendo condição fundamental para as sociedades, embora os modos de cultivo de plantas tenham sido abruptamente alterados pelas denominadas “revoluções agrícolas”. No que se refere ao uso de fertilizantes, uma das principais modificações foi a substituição de compostos de baixa concentração e solubilidade por compostos industriais mais concentrados e solúveis. Esses fertilizantes favoreceram o aumento da produtividade agrícola, mas problemas associados à contaminação de compartimentos ambientais e ao custo desses produtos são ainda críticas importantes.

Apesar de sua liderança mundial na produção de muitos produtos de origem agrícola, o Brasil não possui parque tecnológico ou reservas minerais suficientes para garantir a oferta de fertilizantes. Para resolver esse problema, o país importa grandes quantidades de fertilizantes. Somente em 2014, foram importadas aproximadamente 24.035.600 Mg de fertilizantes intermediários (ANDA, 2015), colocando o país numa posição de dependência extrema dos mercados internacionais. Associado à esta dependência externa, o Brasil possui, majoritariamente, solos em estágio de intemperismo bastante elevados, cujas características químicas são desfavoráveis à agricultura. Predominam no país solos classificados como Latossolos (SANTOS et al., 2006), os quais apresentam

mineralogia dominada por óxidos, elevados teores de alumínio (Al^{3+}), baixa disponibilidade de cátions de caráter básico como o cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+) (KER, 2003). A baixa densidade de cargas elétricas negativas nos Latossolos também é uma característica indesejável, pois favorece as perdas de nutrientes aplicados na fertilização por lixiviação.

Apesar destas características desfavoráveis, existe um grande interesse agrônomo em relação ao uso agrícola dos Latossolos devido às suas características físicas propícias, como a boa profundidade e porosidade, textura homogênea em perfil e drenagem acentuada, sendo geralmente associados a relevo plano e suave, com clima favorável a prática da agricultura (KRONBERG et al., 1987; REATTO et al., 2004). Isto faz com que técnicas para reduzir e amenizar a manifestação de características químicas indesejáveis sejam testadas ao longo das últimas décadas. Neste sentido, a rochagem, ou aplicação direta de pó-de-rocha, é um exemplo desta tentativa, por representar possibilidades viáveis sob perspectiva econômica e ambiental. Uma vez que o país possui um volume considerável de reservas minerais que apresentam em sua constituição minerais capazes de fornecer nutrientes, além de ser um dos líderes mundiais na produção de rochas ornamentais, matérias passíveis de serem utilizadas como remineralizadores.

A rochagem tem sido apontada como método eficiente de rejuvenescimento de solos de baixa fertilidade, sendo capaz de contribuir para a recomposição do perfil de nutrientes por meio da adição de minerais primários e secundários vindos de rochas. Grande parte dos materiais minerais aplicados sob a forma de pó-de-rocha na agricultura são subprodutos oriundos do setor minerador, mas a sua eficiência agrônoma em termos de disponibilização de nutrientes e geração de cargas elétricas carece ainda de investigações.

O uso agrícola de pó-de-rocha encontra respaldo na legislação brasileira. Recentemente aprovada, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305 de 2010) determina a consolidação da prática de hábitos de consumo sustentável, vinculados a uma gama de ferramentas que visam proporcionar o aumento da prática da reciclagem e da reutilização de resíduos sólidos, principalmente os que apresentam valor econômico. Os resíduos oriundos da atividade mineradora são descritos, conforme o artigo 13, item I, subitem k, da referida Lei como aqueles

gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. Atualmente, a destinação mais comum destes resíduos tem sido disposição em barragens ou diques próprios, conhecidos como tanques de efluentes.

Numa perspectiva de avaliar o potencial de uso de pó-de-rocha como agente rejuvenescedor de solo, os objetivos do presente trabalho foram: a) avaliar alterações nas características químicas associadas à fertilidade e na densidade de cargas elétricas variáveis e permanentes em um Latossolo Vermelho Amarelo que recebeu diferentes doses do pó-de-rocha (sienito nefelínico) finamente moído.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origem da fertilização dos solos agrícolas

Desconhece-se o exato ponto histórico da concepção da agricultura pela espécie humana, mas se nota sua essência na ocorrência da mudança de hábitos nômades, aonde se alimentavam basicamente da caça e coleta, para um modelo sedentário e baseado na capacidade de cultivar os solos de uma determinada área geográfica. Desta maneira, a habilidade de produção foi aprimorada e por consequência acontece o surgimento da agricultura (TISDALE et al., 1990).

A partir disso, a maior interação do homem com solo, e conseqüentemente com a condição natural de fertilidade, passou a ser ponto de importância central. Os primeiros relatos documentados sobre as propriedades do solo, sua fertilidade e a relação destes com a produtividade são datados de 2500 anos antes de Cristo (aC), quando agricultores da região da Mesopotâmia (atual Iraque), correlacionavam a produção obtida por unidade de semente de cevada cultivada (MAZOYER & ROUDART, 2010). Entre 900 e 700 aC, período em que se acredita ter vivido o poeta grego Homero, observa-se menção no épico poema *A Odisseia* sobre a utilização de esterco em videiras, pelo pai do protagonista Odisseu, sugerindo a utilização desta prática para a fertilização dos solos gregos.

Também há referências de enriquecimento de solos sob cultivo de hortaliças nas proximidades de Atenas, a partir da utilização do esgoto oriundo da cidade, reconhecendo assim à viabilidade da adubação com diferentes tipos de resíduos orgânicos. Relatos do uso de adubos verdes a partir da utilização de uma variedade de feijão (*Vicia fava*) foram realizados por Teofrasto (372–287 aC), um filósofo grego

sucessor de Aristóteles, que é considerado por muitos como o único botânico da antiguidade, nas regiões da Macedônia e Tessália. Ele também faz referência à mistura de tipos de solos diferentes a fim de “*corrigir defeitos e adicionar força ao solo*”, prática esta que se aproxima do que hoje conhecemos por correção ou fertilização mineral (TISDALE et al., 1990; MAZOYER & ROUDART, 2010).

Há menções do emprego de margas (misturas de argila e calcários) pelo povo que habitava a Aegina, e sua aplicação como fertilizante, sendo este conhecimento passado aos Romanos. Moradores da antiga Gália, região que compreendia majoritariamente o atual território francês, chegaram a classificar tipos diferentes de rochas de calcário e recomendá-las em diferentes formas de aplicação, a fim de aumentar a produção agrícola. Entre 62–113 (dC), Plínio, o Jovem, dizia que se deveria espalhar calcário até a formação de uma fina camada, sendo este manejo “*suficiente por vários anos, mas não por 50*”. Nitrato de potássio, ou Salitre, como é conhecido (Salitre também é usado para referir-se a nitrato de sódio), foi referido no livro do evangelho de Lucas, também por Plínio e Teofrasto, como sendo um eficiente fertilizante (TISDALE et al., 1990; MAZOYER & ROUDART, 2010). Caracterizando estes fatos como as primeiras referências históricas a respeito do estudo do solo, com citações sobre processos de alterações das características de fertilidade por meio de adubação orgânica e da aplicação de rochas, pode-se indicar que se enquadram como as primeiras alusões ao procedimento da rochagem.

Atualmente, os nutrientes mais aplicados na agricultura são o nitrogênio, fósforo e potássio. Apesar de a nutrição vegetal solicitar outros, estes referidos são exigidos em quantidades significativamente maiores (LAPIDO-LOUREIRO, 2009). O relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO Tendências e Panorama Mundial sobre o Uso de Fertilizantes, lançado dia 19 de fevereiro de 2015, calcula que a utilização global de fertilizantes chegará ao valor de 200,5 milhões de toneladas em 2018. Dentre todos utilizados, o nitrogênio é o nutriente mais empregado na produção agrícola, com a Ásia se destacando como consumidor de 60% da produção mundial. Um dos fatores determinantes para este índice é a síntese industrial de amônia pelo Ciclo de Haber-Bosch (CHAGAS, 2007), que permite a produção comercial em larga escala. Entre os nitrogenados mais comumente utilizados estão o sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, nitrato de amônio

(NH_4NO_3), ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$], fosfato monoamônico (MAP, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) e fosfato diamônico [DAP, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$] (MORAES NETO, 2010).

Quanto ao potássio, aproximadamente 95% da exploração das jazidas contendo este elemento destina-se à produção de fertilizantes, sendo 90% deste total utilizado na obtenção do fertilizante mineral simples cloreto de potássio (KCl) e 5% para a produção sulfato de potássio (K_2SO_4). Observa-se grande restrição na escala produtiva de fertilizantes potássicos, uma vez que 74% do volume total comercializado estão concentrados em apenas quatro países, estando eles em ordem de produção: Canadá, Rússia, Belarus e Alemanha (OLIVEIRA, 2008; IBRAM, 2012).

A produção de rocha fosfática é concentrada em sete países principais (China, Estados Unidos, Marrocos, Rússia, Tunísia, Brasil e Jordânia), sendo a China líder de produção, com 72 milhões de Mg. Os fertilizantes fosfatados utilizados são majoritariamente o superfosfato simples [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4$], superfosfato triplo [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$], escória básica [$(\text{CaO})_5 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$], farinha de ossos cozida [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$], mineral fosfático *in natura* (fluorapatita e cloroapatita), MAP e DAP (MORAES NETO, 2010; IBRAM, 2012).

No Brasil, os fertilizantes utilizados são em sua maior parte importados. O volume de fertilizantes intermediários importados no ano de 2014 alcançou 24.035.600 Mg, dentre os 32.209.066 Mg entregues ao consumidor final (ANDA, 2015). Índices que consolidam a extrema dependência nacional de produtos importados são apresentados na Figura 1:

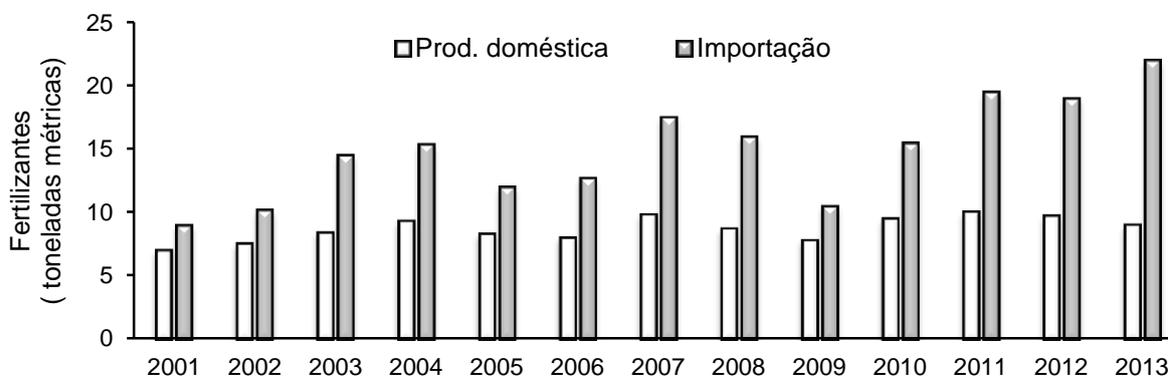


Figura 1 - Importações e produção doméstica de fertilizantes pelo Brasil entre os anos de 2001 a 2013, adaptado de ANDA (2015).

Quanto à utilização destes fertilizantes no contexto nacional, podemos destacar o menor consumo de nitrogênio, sendo este fato associado à tecnologia de fixação biológica deste nutriente na cultura de soja (LAPIDO-LOUREIRO, 2009). O potássio exibiu maior crescimento de demanda até o ano de 2010, sendo por conseguinte, o que apresenta maior dependência de importação. A produção nacional de fertilizantes agrícolas contendo este nutriente corresponde apenas a cerca de 8% do total consumido (IBGE, 2012). A Figura 2 representa a quantidade em quilogramas de fertilizantes comercializados no Brasil, por área plantada, entre os anos de 1992 a 2010:

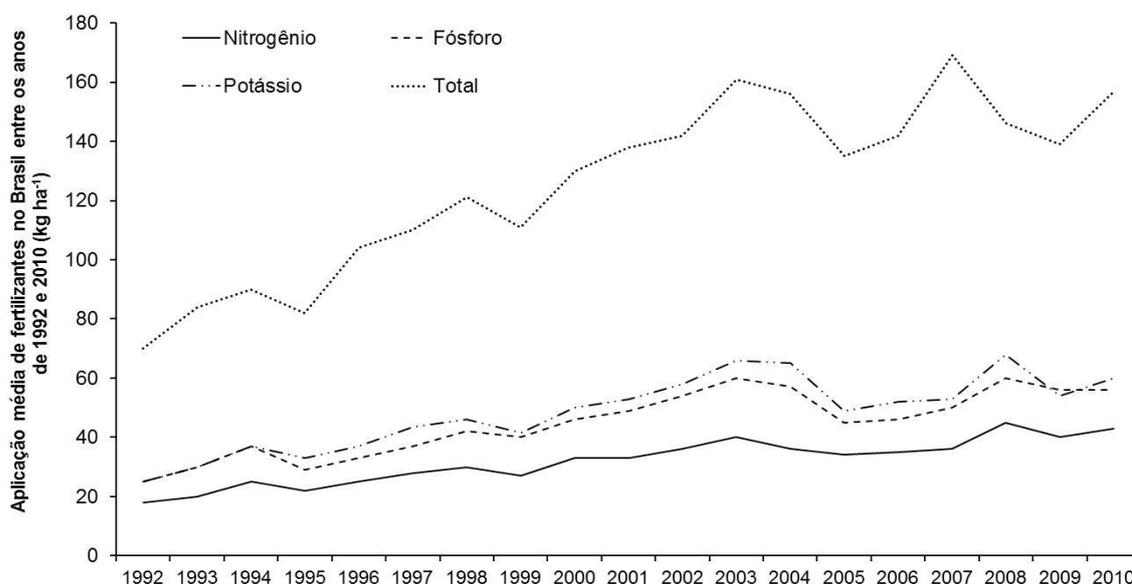


Figura 2 – Quantidade por área de fertilizantes utilizados no Brasil entre os anos de 1992 a 2010, adaptado de IBGE (2012).

Podemos destacar o custo de alguns fertilizantes utilizados no Brasil, segundo dados do Instituto de Economia Agrícola, referente ao mês de março de 2015. Entre eles o superfosfato simples custando R\$ 1119,83/Mg, R\$ 1807,42/Mg o termofosfato, R\$ 1798,53/Mg o cloreto de potássio, e R\$ 1754,46/Mg o formulado 20-05-20 (IEA, 2015). Devido principalmente ao custo elevado destes insumos e a grande necessidade de importação, fontes e técnicas alternativas tem sido estudadas para diminuir o impacto destes fatores nos índices de produtividade e lucro, sendo a rochagem uma técnica promissora para obtenção destes benefícios.

2.2. A rochagem como prática agrícola

A rochagem é uma prática agrícola tida como de baixo custo, sendo seu principal benefício a fertilização e a remineralização do solo a partir de produtos naturais, de baixo impacto ambiental e com liberação (ou solubilização) lenta e gradual dos nutrientes contidos nos minerais presentes na rocha moída. É uma prática milenar, com indício de surgimento centenas de anos antes de Cristo (TISDALE et al., 1990; VAN STRAATEN, 2006).

No cenário agrícola brasileiro é um manejo já difundido e extremamente essencial, sendo o uso de rochas moídas observado na prática da calagem. Esta técnica utiliza calcários para promover a correção do pH dos solos, aumentar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e reduzir a ação tóxica do Al^{3+} . Este manejo possibilitou a partir da metade da década de 1970 o avanço da agricultura brasileira a novas fronteiras dentro do território nacional, principalmente em direção ao Cerrado. Entretanto, outros exemplos da utilização de rochas com finalidade agrícola tem se multiplicado no país (CORONEOS et al., 1996; ESCOSTEGUY & KLAMT, 1998; MARTINS et al., 2010). A utilização de apatitas e fonolitos como fonte de fósforo, de basaltos como rocha fornecedora de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e de sienitos como fonte de K^+ são exemplos do emprego de rochas finamente moídas visando não à correção da acidez, mas o fornecimento de nutrientes e a melhora de outras características químicas do solo (MANNING, 2010; PRATES et al., 2010; DUARTE et al., 2013).

A legislação brasileira de fertilizantes e corretivos de acidez define materiais minerais finamente moídos como *mineralizadores*, tendo estes a seguinte definição: *materiais de origem mineral que tenham 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 essenciais para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo*” (Lei Nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013, que atualiza a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980). Em relação aos fertilizantes solúveis, uma das principais desvantagens dos remineralizadores está relacionada à sua baixa solubilidade e concentração de nutrientes, o que exige que grandes volumes sejam

aplicados, especialmente em culturas de ciclo curto (HARLEY & GILKES, 2000; VAN STRAATEN, 2006).

2.3. Sienito nefelínico: potencial de uso agrícola

O sienito nefelínico é uma rocha ígnea com alta concentração de feldspatos sódicos, praticamente sem a presença de quartzo e caracterizada pela presença de nefelina (20 a 30%). Pode possuir satisfatória quantidade de minerais ferromagnesianos, porém encontram-se também segregações preferencialmente puras em nefelina. É comercialmente essencial à indústria de vidro e cerâmica pois permite o processo de vitrificação em temperaturas mais baixas. O território nacional contém vários depósitos de grande porte de sienito nefelínico, sendo distribuídos principalmente nas regiões que compreendem os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Bahia e Minas Gerais (SAMPAIO & FRANÇA, 2005).

O feldspato, mineral primário presente em grandes quantidades no sienito nefelínico, se enquadra, em geral, à classe de minerais constituídos por aluminossilicatos de potássio, sódio, cálcio e raramente o bário. São extremamente abundantes, sendo constituinte de rochas que formam cerca de 60% da crosta terrestre, estando presente em vários tipos de rochas, principalmente as de origem ígnea (DA LUZ & COELHO, 2005). A nefelina em si é um aluminossilicato de sódio, com composição $(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$, sendo que pode ocorrer a substituição do sódio pelo potássio em vias naturais, principalmente pelo excesso de K^+ durante formação do mineral. Pode-se caracterizar sua principal formação a partir de material magmático alcalino e subsaturado em sílica, que por não conter sílica suficiente para interagir com o sódio e gerar o feldspato, favorece a formação da nefelina (SAMPAIO & FRANÇA, 2005). Na Tabela 1 compararam-se as composições teóricas da nefelina perante os principais minerais pertencentes ao grupo dos feldspatos, apresentando a composição da nefelina, albita e microclínio, oriundos do Canadá, e também de material originalmente brasileiro.

Tabela 1 – Composições teóricas (%) da nefelina e dos minerais que compõem as séries dos feldspatos, bem como a nefelina, a albita e o microclínio da província de Ontário, Canadá, adaptado de SAMPAIO & FRANÇA (2005).

| Composições da nefelina e dos principais membros das séries dos feldspatos | | | | | |
|--|-------------------|------------------|------|--------------------------------|------------------|
| Feldspatos | Na ₂ O | K ₂ O | CaO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ |
| Nefelina | 21,8 | | | 35,9 | 42,3 |
| Microclínio | - | 16,9 | - | 18,4 | 64,7 |
| Ortoclásio | | 16,9 | - | 18,4 | 64,7 |
| Albita | 11,8 | - | - | 19,5 | 68,7 |
| Anortita | | | 20,1 | 36,6 | 43,3 |

| Composições químicas da nefelina, albita e microclínio da província de Ontário | | | | |
|--|----------|------------------------------|--------|-------------|
| Óxidos | Brasil | ----- Ontário – Canadá ----- | | |
| | Nefelina | Nefelina | Albita | Microclínio |
| SiO ₂ | 58,40 | 43,01 | 67,90 | 64,50 |
| Al ₂ O ₃ | 23,80 | 34,01 | 20,60 | 19,31 |
| MgO | 0,60 | 0,04 | 0,06 | 0,42 |
| CaO | 2,60 | 0,36 | 0,24 | 0,07 |
| Na ₂ O | 7,24 | 15,42 | 10,78 | 2,03 |
| K ₂ O | 5,57 | 6,15 | 0,15 | 13,59 |
| H ₂ O | - | 0,99 | 0,22 | 0,28 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,30 | 0,14 | ND | ND |
| FeO | - | ND | ND | ND |
| Densidade | - | 2,62 | 2,59 | 2,55 |

O rejeito da indústria mineradora de sienito nefelínico tem sido estudado para várias aplicações, sendo verificada viabilidade principalmente para a fabricação de lâ mineral, produção de cerâmica, assim como utilização agrícola. Devido à concentração de minerais contendo potássio, ampla abrangência no território nacional e grande produção de rejeito pela indústria mineradora e ornamental, o

sienito nefelínico é apresentado como uma provável fonte alternativa fornecedora de K^+ para culturas agrícolas (SIQUEIRA & GUEDES, 1986; SAMPAIO & FRANÇA, 2005).

Estudos já foram realizados para determinação da potencialidade desta rocha como fertilizante, apresentando significativa relevância, principalmente quando realizado o processo conhecido por calcinação (mistura $\frac{1}{2}$ sienito nefelínico + $\frac{1}{2}$ calcário dolomítico, passando por tratamento térmico). O resultado foi um material final com característica corretiva e fertilizante, apresentando 3-4% de K_2O solúvel, 18-20% de CaO e 10-12% de MgO . Desta forma, o uso deste material pode substituir parte do cloreto de potássio empregado na agricultura brasileira, além de poder atuar como fornecedor de outros nutrientes como Ca^{2+} e Mg^{2+} (SIQUEIRA & GUEDES., 1986).

2.4. Cargas elétricas na fertilidade do solo

2.4.1. Origem das cargas no solo

A concepção quanto à origem das cargas nos solos é de fundamental importância, pois a natureza da carga elétrica gerada determinará diferentes as propriedades químico-físicas do solo, principalmente em mecanismos associados às trocas e adsorções iônicas e interação entre partículas (BARRETO, 1986). Sendo as propriedades químicas e eletroquímicas do solo características intrínsecas, estas são determinadas principalmente pela particularidade dos minerais de composição e seu estágio de intemperismo, ocorrendo especialmente na fração argila (ALVES, 2002).

As cargas surgem no solo principalmente a partir de falhas estruturais físicas nos minerais, sendo o resultado de imperfeições internas, porém, também podem ter origem a partir da adsorção de íons na superfície das partículas coloidais. São causadas respectivamente pelo processo de substituição isomórfica estrutural e por processos de dissociação de íons H^+ ou grupos OH^- na superfície destas partículas do solo (VAN OLPHEN, 1963; FONTES & ALLEONI, 2004; GATIBONI, 2009). Desta maneira, são de fundamental importância para a retenção de íons como bases nutrientes essenciais, sendo que a interação ocorre pelo excesso ou déficit de

elétrons, mantendo assim essas bases nutrientes em meio passível de utilização pelo vegetal (VAN OLPHEN, 1963; BARRETO, 1986).

Dois grupos fundamentais de cargas elétricas podem ser distinguidos nos solos. Primeiro, as provenientes do processo de substituição isomórfica, denominadas cargas permanentes ou estruturais por se tratar de um processo estrutural de ocorrência no interior do mineral, onde íons constituintes não são capazes de completar arranjo padrão da estrutura do cristal, resultando em ligações deficientes ou incompletas e tendem a permanecer viáveis enquanto o material mantiver estruturalmente constante (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2009). Segundo, há as cargas geradas a partir de adsorções iônicas, denominadas variáveis ou dependentes de pH por serem mutáveis conforme concentração de H^+ e OH^- . Estas podem também ser dependentes potencialmente de íons fosfatos, silicatos e outros metais pesados (VAN OLPHEN, 1963; FONTES & ALLEONI, 2004; LAPIDO-LOUREIRO et al., 2009).

2.4.2. Cargas Estruturais/Permanentes

A formação de cargas permanentes estruturais derivadas de substituições iônicas isomórficas de ocorrência na estrutura do mineral é um processo que sucede em minerais primários na sua diferenciação magmática, basicamente pelo excesso ou escassez de certos íons no meio, ou por preferência de tamanho. Nos minerais secundários, ocorre principalmente pela herança de minerais primários, sendo os principais que apresentam este tipo de característica a illita, a montmorilonita e a vermiculita. Porém, mesmo havendo a formação de carga nestes minerais, estas estarão viáveis ou terão efeito significativo apenas se os minerais estiverem na fração argila, principalmente em argilosos silicatados do tipo 2:1 (FONTES et al., 2001).

A formação deste tipo de carga ocorre pela substituição de Si^{4+} dos tetraedros estruturais básicos por Al^{3+} , assim como o Al^{3+} por outros cátions, principalmente por Mg^{2+} e Fe^{2+} . Desta forma, a troca de cátions de maior valência por outros de menor valência irá proporcionar o excedente de carga negativa. Em teoria, as cargas permanentes geradas poderão ser de caráter negativo como positivo, porém normalmente a substituição ocorre entre o íon estrutural de maior valência por um de

menor geralmente ocasiona excesso de carga negativa na estrutura na superfície do coloide. O número de sítios proporcionados por esse processo não é variável conforme o pH do meio, sendo esses sítios viáveis enquanto o mineral encontrar-se viável estruturalmente (GATIBONI, 2009). A Figura 3 ilustra o processo de substituição isomórfica no mineral com conseqüente formação de carga permanente ou estrutural.

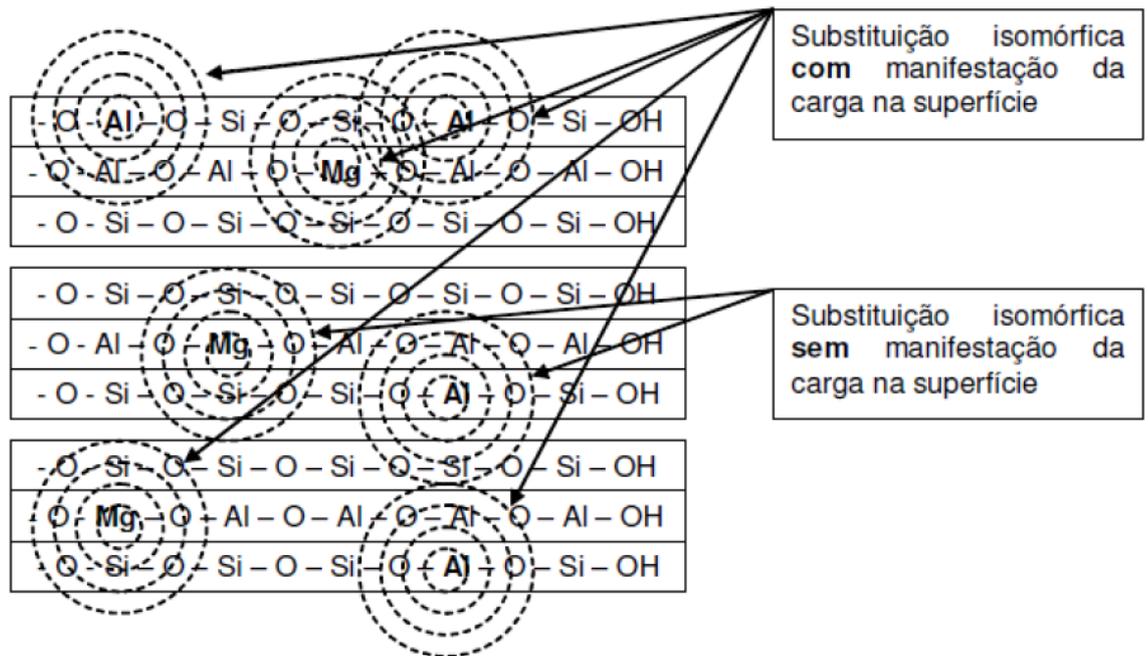


Figura 3 - Substituição Isomórfica e manifestação de carga elétrica na superfície do mineral (GATIBONI, 2009).

2.4.3. Cargas Variáveis

Cargas variáveis são oriundas da adsorção de certos íons na superfície das partículas orgânicas e inorgânicas do solo, estando sua viabilidade sujeita principalmente à quantidade de íons que se encontram em excesso. Estes são classificados como íons determinantes de potencial, sendo os mais significantes o hidrogênio e a hidroxila. Óxidos de ferro e alumínio, argilominerais 1:1 assim como a matéria orgânica são os principais grupos formadores deste tipo de carga. Elas podem ter valor positivo ou negativo, e correlacionam-se com o valor de pH do meio, ou seja, ocorre proporção direta entre adsorção ou dissociação de H^+ dos grupos funcionais dos argilominerais, matéria orgânica e dos óxidos com o número de

cargas viáveis disponíveis pra troca (BARRETO, 1986; FONTES et al., 2001; GATIBONI, 2009).

Os grupos funcionais de maior disponibilidade são, para a superfície orgânica do solo, os agrupamentos carboxil (-COOH), provenientes principalmente da dissociação de hidroxilas de grupos fenólicos, enólicos e carboxílicos. Enquanto para a superfície mineral (oxi-hidróxidos de ferro e alumínio e argilominerais 1:1) é o agrupamento hidroxil (-OH). Este último apresenta maior energia de ligação com os íons H^+ do que a matéria orgânica, sendo assim para disponibilizarem o H^+ no meio necessitam de maior energia. Desta forma a matéria orgânica caracteriza-se pela possibilidade de geração de cargas negativas em pH mais baixo (devido menor energia requerida para a liberação do H^+), sendo tida, devido a esta propriedade, como o principal fator gerados de cargas elétricas negativas em regiões tropicais e subtropicais, aonde predominam nos solos minerais 1:1 e óxidos (RAIJ, 1973; BARRETO, 1986).

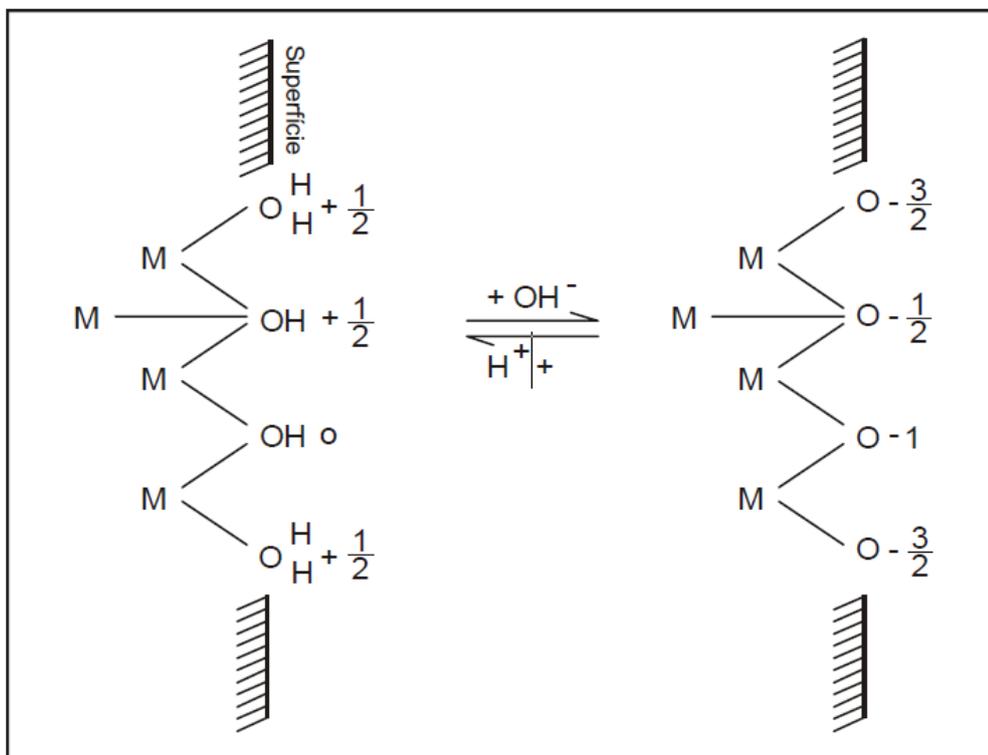


Figura 4 - Distribuição das cargas de grupamentos superficiais típicos de óxidos em configuração octaédrica e metal trivalente (FONTES et al., 2001).

2.5. Método de determinação do quantitativo de cargas elétricas permanentes e variáveis no solo por adsorção de céσιο (Cs^+)

Por longo período de tempo, o principal método utilizado para a determinação de cargas elétricas no solo baseou-se em titulação potenciométrica. Durante a década de 1990, outro modelo de determinação foi proposto baseando-se na adsorção de Césio (Cs^+), passando assim a ser uma alternativa à utilização da titulação potenciométrica na determinação de cargas elétricas em solos (ANDERSON & SPOSITO, 1991; ALLEONI & CAMARGO, 1994; FONTES & SPOSITO, 1995; WEBER et al., 2005).

O método de adsorção de Cs^+ permite a determinação da carga estrutural permanente com medição simultânea da carga protônica, ou variável, em conjunto com a adsorção de cátions e ânions. A medição da carga permanente baseia-se na seletividade que o íon Cs^+ tem com as argilas 2:1, em função da formação de complexos de esfera interna nos poros ditrigonais das superfícies siloxanas desses minerais (ANDERSON & SPOSITO, 1991). A determinação consiste numa inicial saturação do solo com uma solução de concentração conhecida de CsCl , com posterior secagem das amostras em estufa para aumentar a seletividade do Cs^+ no sistema. É então promovida a troca iônica do Cs^+ retido com o Li^+ (LiCl) para remoção do Cs^+ nos grupos funcionais de superfície, como as hidroxilas, uma vez que o Li^+ só possui capacidade de remover o Cs^+ dos sítios de carga variável. Por último, remove-se o Cs^+ adsorvido por troca com NH_4^+ , que possui elevada capacidade de penetrar nos poros ditrigonais das superfícies siloxanas (ANDERSON & SPOSITO, 1991).

Apesar da possibilidade de determinação conjunta das cargas permanentes e variáveis no solo, o método de adsorção de Cs^+ tem sido pouco utilizado. Assim, há poucos relatos a respeito do uso desta técnica em solos brasileiros. Dentre as poucas publicações existentes, é possível observar, por exemplo, a quantificação das cargas permanentes realizada por WEBER et al. (2005). Eles determinaram um quantitativo de $5,8 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na camada superficial em um Latossolo Amarelo Ácrico, $11,7 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em um Latossolo Vermelho Acriférrico textura argilosa, $10,4 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para um Latossolo Vermelho Acriférrico textura média e para um Latossolo Amarelo Acriférrico o valor de $10,6 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. BUSATO et al. (2012) também empregaram o método de adsorção de Cs^+ , obtendo o valor de $5,0 \text{ mmol}_c$

kg⁻¹, pra o quantitativo de cargas permanentes em um Latossolo Amarelo Eutrófico típico. Estes valores foram muito baixos quando comparados a um Nitossolo Vermelho Eutroférico (WEBER et al., 2005), que determinou 51,1 mmol_c kg⁻¹ para cargas permanentes. ANDERSON & SPOSITO (1991) determinaram também 698 mmol_c kg⁻¹ no quantitativo de cargas permanentes para o mineral montmorilonita.

Por conter diferentes tipos de minerais primários em sua composição, é possível que a adição de pó-de-rocha, como o sienito nefelínico, altere o quantitativo de cargas elétricas em solos altamente intemperizados por promover a introdução de materiais com maior densidade de cargas. A CTC de minerais como a vermiculita, illita, e da matéria orgânica são demonstradas na Tabela 2, enquanto a CTC dos Latossolos do Cerrado usualmente variam de 3,2 a 5,2 cmol_c dm³ (DOBBSS et al., 2008). Baseado no exposto, o presente trabalho possui como objetivos: a) Determinar a capacidade de fornecimento de nutrientes do sienito nefelínico finamente moído; Verificar se o uso deste material mineral altera o quantitativo de cargas elétricas permanentes e variáveis utilizando-se o método de adsorção de Cs⁺.

Tabela 2 – Determinação dos valores da CTC e superfície específica de minerais e da matéria orgânica, adaptado de BAILEY & WHITE (1964).

| Constituinte | CTC cmol _c /kg ⁻¹ | Superfície específica m ² /g ⁻¹ |
|-------------------------|--|--|
| Matéria Orgânica | 200 – 400 | 500 – 800 |
| Vermiculita | 100 – 150 | 600 – 800 |
| Esmectita | 80 – 150 | 600 – 800 |
| Vermiculita Dioctaedral | 10 – 150 | 50 – 800 |
| Illita | 10 – 40 | 65 – 100 |
| Clorita | 10 – 40 | 25 – 40 |
| Caulinita | 3 – 15 | 7 – 30 |
| Óxidos e Hidróxidos | 2 – 6 | 100 – 800 |

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Solo empregado e sua localização

Amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVA (EMBRAPA, 2013) foram recolhidas da região do alto da chapada de Sobradinho, localizada no município de Planaltina, especificamente entre os paralelos; 15°36'25,80"S e 15°36'28,14"S; e os meridianos; 47°44'49,63"O e 47°44'47,76"O. O solo foi retirado de um quadrante com 2,0 x 2,0 m, sendo utilizada apenas a camada subsuperficial, que corresponde a uma profundidade de 0,4 e 0,6 m. O material apresentou textura muito argilosa ($668,0 \pm 1,6 \text{ g kg}^{-1}$ de argila; $39,5 \pm 0,59$ de areia e $292,5 \pm 1,1 \text{ g kg}^{-1}$ de silte) (EMBRAPA, 2009). O local trata-se de um ambiente de pastagem natural com relevo plano-ondulado, típicos de altos de chapada.

3.2. Obtenção da rocha de Sienito Nefelínico

A rocha utilizada no experimento foi obtida do projeto Ceraíma, localizado no município de Guanambi, distante 796 quilômetros a sudoeste de Salvador, no estado da Bahia (Figura 5).

De acordo com a difração de raios-X e análise petrográfica, a rocha é constituída por feldspato alcalino (microclina - 77,0%), biotita (11%) e clinopiroxênio (11%). Anfibólio, titanita, magnetita e apatita ocorrem como minerais acessórios (<1% cada um). A textura é fanerítica, inequigranular. A principal característica desta unidade é o intercrescimento granofírico entre os cristais de feldspatos alcalinos microscópicos, como uma "impressão digital", o que sugere uma condição de rápido resfriamento do magma (Figura 6). A unidade mapeada apresenta um conteúdo elevado de K_2O (predominantemente superior a 11%) e elevada proporção de $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (maior do que 6), que permite classificá-la como ultrapotássica (FOLEY et al., 1987).

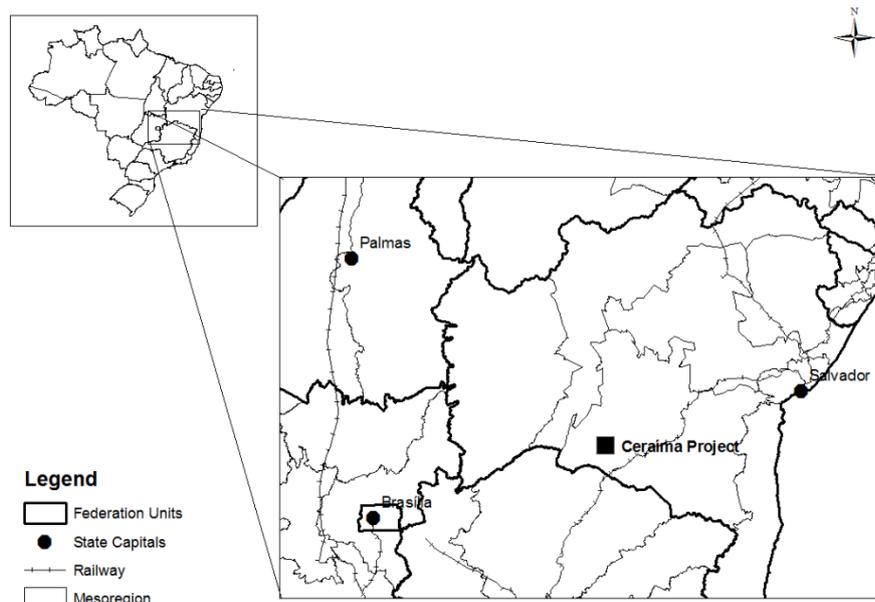


Figura 5 - Localização geográfica da origem da rocha sienito nefelínico empregada como remineralizador do solo.



Figura 6 - Imagens do álcali-feldspato sienito do projeto Ceráima. (A) Afloramento, (B) Detalhe em uma amostra de furo, (C) Fotomicrografia mostrando Intercrescimento granofirico de cristais de feldspato alcalino (BRAGA et al., 2014).

3.3. Análise e constituição química da rocha de sienito nefelínico

Para utilização no experimento, foram coletados cerca de 10 kg de rocha de sienito nefelínico, sendo estes triturados em moinho. O material resultante do processo de trituração foi passado em peneira de 0,1 mm de malha, e posteriormente estocado em vasilhames plásticos. Para realização das análises químicas da rocha utilizaram-se 0,05 g do material no processo de fusão alcalina

(JANASI et al., 1995). Os elementos Si, Al, Fe, Ti, Ca, e Mg, Ba e Mn nas soluções de ataque foram determinados por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma de Acoplamento Induzido (Thermo Jarrell ASH modelo Iris/AP). Os teores de K^+ e Na^+ foram determinados por fotometria de chama e o P_2O_5 utilizando-se espectrômetro UV-Vis, em 660 nm de comprimento de onda, após formação do complexo fósforo-molibdênio na presença de ácido ascórbico como redutor.

3.4. Montagem do experimento e amostragem para determinações analíticas

Após coleta, o solo foi peneirado em peneira de construção civil convencional, sendo e em seguida acondicionado em vasos plásticos de capacidade de 14 dm^3 . Diferentes frações do pó de sienito nefelínico foram então aplicadas aos vasos contendo o solo, sendo o teor de K_2O total da rocha (Tabela 3) utilizado como balizador. Desta forma, as amostras de solo receberam frações equivalentes a 0, 600, 1200, 1800 e 2400 kg de sienito nefelítico ha^{-1} , correspondendo a 0, 75, 150, 225 e 300 kg $K_2O \text{ ha}^{-1}$. O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

O material permaneceu em casa de vegetação por aproximadamente 60 dias, com irrigações em dias alternados utilizando-se $0,5 \text{ dm}^3$ de água. Posteriormente, foram retiradas as amostras para a determinação dos indicadores de fertilidade e para quantificação de cargas elétricas negativas permanentes e variáveis.

3.4.1. Indicadores de fertilidade do solo

As avaliações químicas para fins de fertilidade do solo foram realizadas conforme procedimento descrito em EMBRAPA (2009). Foram determinados: pH (H_2O , 1:2,5); P e K^+ (H_2SO_4 $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$, 1:10); $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ e Al^{3+} trocáveis (KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, 1:10) e $H+Al^{3+}$ (CaOAc $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, em pH 7, 1:7,5). O teor de carbono foi determinado pelo método do dicromato de potássio. Brevemente, o pH foi determinado por meio da leitura em potenciômetro, na suspensão de solo e água. Os teores de P foram obtidos por colorimetria, após a formação do complexo fósforo-molibdênio na presença de ácido ascórbico como redutor, em 660 nm de comprimento de onda. A determinação do K^+ foi realizada no mesmo extrato

utilizado na determinação do P (Mehlich 1) empregando-se fotometria de chama. Os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ foram determinados após extração com solução KCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e titulação com Na_2EDTA na presença de negro de eriocromo. O teor de Al^{3+} foi obtido após extração com a mesma solução seguida de titulação com solução de $\text{NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1}$, em presença de azul de bromotimol.

3.4.2. Determinação do quantitativo de cargas variáveis e permanentes

Para a determinação das cargas elétricas negativas permanentes e variáveis utilizou-se uma adaptação da metodologia de adsorção de Cs^+ proposta por ANDERSON & SPOSITO (1991). Para isto, 2,0 g de cada amostra de solo foram transferidos para tubo de centrífuga tipo Falcon, com capacidade para 50 mL. Foram adicionados aos tubos 20 mL de solução de $\text{CsCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$, com posterior agitação por 30 min e centrifugação. As soluções sobrenadantes foram descartadas e o procedimento repetido outras 14 vezes, com o intuito de garantir a completa saturação dos sítios de cargas pelo íon Cs^+ . Ao final de 15 repetições, aos tubos com o solo remanescente, foram adicionados 20 mL de etanol (EtOH) a 95% (v/v), para a remoção do Cs^+ não adsorvido às cargas permanentes ou variáveis. Para isto, os tubos contendo solo e etanol foram agitados por aproximadamente 1 minuto e posteriormente centrifugados, descartando-se as soluções sobrenadantes. Esta operação foi repetida outras 3 vezes. Em seguida, as amostras permaneceram em estufa, à temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$, por um período de 48 h visando garantir a completa retenção do íon Cs^+ pelas cargas do solo.

Após, o material seco foi triturado utilizando-se almofariz, transferindo-se 1 g do produto macerado para novos tubos de centrífuga de 50 mL. Para deslocar os íons Cs^+ dos grupamentos funcionais de carga variável, as amostras foram suspensas em 25 mL de solução de $\text{LiCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$, agitadas por 30 min e o extrato filtrado utilizando-se papel faixa azul (filtração lenta) previamente embebido com a mesma solução ($\text{LiCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$). Ao volume presente nos tubos foram adicionados 20 mL de $\text{LiCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$, totalizando 45 mL. Todos foram acondicionados em câmara fria para posterior leitura.

Na sequência, foi extraído o íon Cs^+ dos sítios de carga permanente adicionando-se ao solo remanescente 15 mL da solução de NH_4OAc $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. As suspensões foram agitadas por 20 min e centrifugadas. Este procedimento foi repetido duas vezes, totalizando um volume de 45 mL de extrato final das soluções extraídas com NH_4OAc $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. O volume dos tubos foi completado adicionando-se 5 ml de solução KCl ($3000 \text{ } \mu\text{g K mL}^{-1}$) como supressor de ionização, desta maneira desfavorecendo a formação de outros cátions, totalizando um volume final de 50 mL.

A determinação do teor de Cs^+ nos extratos de LiCl e NH_4OAc foi realizada por meio de espectroscopia de emissão atômica em plasma induzido por micro-ondas, utilizando-se um equipamento MP-4700 (Agilent Technologies) no comprimento de onda de 697 nm. As curvas analíticas foram preparadas a partir da solução de $1000 \text{ } \mu\text{g Cs mL}^{-1}$ (Sigma Aldrich). A partir desta solução, preparou-se a curva analítica nas concentrações de 0, 5, 10, 15 e $20 \text{ } \mu\text{g Cs mL}^{-1}$.

A carga variável ($\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo) foi determinada por quantificação do Cs^+ extraído com LiCl :

$$\text{Carga variável} = K_{\text{Cs}(\text{LiCl})} \left[\frac{M_{\text{LiCl}(\text{adicionado})}}{M_{\text{SS}}} \right] \quad (1)$$

Sendo:

- $K_{\text{Cs}(\text{LiCl})}$ = Concentração Cs^+ no sobrenadante de LiCl .
- M_{LiCl} (adicionado) = Massa da solução que adicionou-se de LiCl (solução sobrenadante + solução incorporada).
- M_{SS} = Massa solo seco.

A carga permanente ($\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo) foi calculada a partir da determinação do Cs^+ deslocado com a solução de NH_4OAc :

$$Carga\ permanente = K_{Cs(NH_4OAc)} \left[\frac{M_{NH_4OAc(adicionado)}}{M_{SS}} \right] - \left[K_{Cs(LiCl)} M_{LiCl(embebido)} \right] \quad (2)$$

Sendo:

- $K_{Cs(NH_4OAc)}$ = concentração de Cs^+ na solução sobrenadante de NH_4OAc ;
- $M_{NH_4OAc(adicionado)}$ = é a massa da solução de NH_4OAc adicionado;
- M_{LiCl} (incorporado) é a massa de $LiCl$ incorporado por unidade de massa do adsorvente seco.
- M_{SS} = Massa solo seco.

A carga de superfície total foi calculada pela equação:

$$Carga\ de\ superfície\ total = Carga\ variável + Carga\ permanente \quad (3)$$

4. Análise estatística

A avaliação das cargas elétricas foi realizada utilizando-se o tratamento controle (solo sem adição do remineralizador) e o solo sob adição de dose relativa a 2400 kg ha^{-1} , em triplicata. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas utilizando-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). Na avaliação dos indicadores de fertilidade do solo, todas as doses de sienito nefelínico foram avaliadas por meio de análise de variância, com posterior teste de médias (Tukey, $p < 0,05$) para as variáveis significativas. Equações de regressão foram também ajustadas para as variáveis significativas.

5. Resultados e discussão

5.1. Caracterização química do sienito nefelínico e do solo empregado no experimento

A caracterização química do sienito nefelínico finamente moído empregado no experimento é apresentada Tabela 3. Os teores observados são próximos aos valores já observados para outros sienitos, existentes em diferentes partes do mundo (BARKER, 1983). As variações mais expressivas observadas foram referentes aos teores de Na₂O (80,50), Al₂O₃ (-30,60), Fe₂O₃ (+47,60), K₂O (+69,20).

Tabela 3: Análise química do pó de sienito, apresentada em valores médios, sendo os números ao lado dos resultados seus respectivos desvios padrões das médias.

| Óxidos | Sienito nefelínico do presente estudo | Valores médios de sienitos de diferentes partes do mundo ¹ | Diferença |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|---------------|
| |mg g ⁻¹ | | |
| SiO ₂ | 539,0 ±12,0 (53,9%) | 549,9 | -10,90 |
| Al ₂ O ₃ | 179,0 ± 3,0 (17,9%) | 209,6 | -30,60 |
| Fe ₂ O ₃ | 69,8 ± 0,6 (7,0%) | 22,5 | +47,60 |
| CaO | 33,8 ± 0,3 (3,4%) | 23,1 | +10,70 |
| MgO | 18,7 ± 0,2 (1,9%) | 7,70 | +11,00 |
| TiO ₂ | 7,6 ± 0,1 (0,8%) | 6,00 | + 1,60 |
| P ₂ O ₅ | 6,7 ± 0 (0,7%) | 1,30 | + 5,40 |
| K ₂ O | 125 ± 0,3 (12,5%) | 55,8 | +69,20 |
| Na ₂ O | 1,8 ± 0,4 (0,2%) | 82,3 | -80,50 |
| MnO | 0,6 ± 0,1 (0,06%) | 1,50 | - 0,90 |
| BaO | 6 ± 0 (0,6%) | - | - |

¹ Barker (1983)

Uma interpretação das características associadas à fertilidade do Latossolo sem a aplicação do sienito nefelínco (dose zero do experimento) é apresentada na Tabela 4. A interpretação dos resultados analíticos foi efetuada de acordo com os critérios propostos pelo manual de correção do solo e adubação no Cerrado (SOUSA, 2004). A avaliação agrônômica dos critérios químicos, para o solo em questão, qualificou o pH do solo como médio, sendo encontrado valor de 5,5. A textura foi determinada como muito argilosa ($668,0 \pm 1,6 \text{ g kg}^{-1}$ de argila; $39,5 \pm 0,59$ de areia e $292,5 \pm 1,1 \text{ g kg}^{-1}$ de silte), a quantidade de carbono foi classificada como média, assim como o teor de K^+ . O valor de P foi caracterizado como baixo para sistema em sequeiro e muito baixo para sistemas irrigados. $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e a CTC efetiva (t) foram definidos como baixos.

Tabela 4 - Características químicas de um Latossolo submetido à aplicação de diferentes doses de sienito nefelínico.

| Dose | C org. | K ⁺ | P- PO ₄ ³⁻ | pH | K ⁺ | Ca ²⁺ + Mg ²⁺ | H+ Al ³⁺ | Al ³⁺ | SB | CTC (pH 7,0) | CTC (t) | V | m |
|---------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----|--|-------------------------------------|---------------------|------------------|---------------|-----------------|------------|------|------|
| Kg ha ⁻¹ | mg g ⁻¹ | mg dm ³ | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | % | | | | |
| 0 | 17,0 ± 0,8 | 32,3±1,4a | 1,5 ± 0,1a | 5,5 | 0,08 | 0,9±0,1 | 2,6±0,3 | 0,1±0,01 | 0,98 | 3,58 | 1,08 | 27,3 | 9,2 |
| 600 | 18,3 ± 1,6 | 37,1±2,8a | 3,2 ± 0,8b | 5,8 | 0,10 | 0,7±0,1 | 2,6±0,1 | 0,1±0,03 | 0,8 | 3,4 | 0,9 | 23,5 | 11,1 |
| 1200 | 17,6 ± 1,3 | 44,5±1,9b | 4,3 ± 0,9bc | 5,6 | 0,11 | 0,8±0,1 | 2,4±0,1 | 0,1±0,01 | 0,91 | 3,31 | 1,01 | 27,4 | 9,9 |
| 1800 | 17,2 ± 0,9 | 58,6±0,2c | 5,4 ± 0,6c | 5,3 | 0,15 | 0,9±0,1 | 2,4±0,2 | 0,1±0,01 | 1,05 | 3,45 | 1,15 | 30,4 | 8,6 |
| 2400 | 17,1 ± 0,9 | 67,9±1,7d | 3,7 ± 0,5b | 5,5 | 0,17 | 0,9±0,2 | 2,4±0,1 | 0,1±0 | 1,07 | 3,47 | 1,17 | 30,8 | 8,5 |

Soma de bases (SB) = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺; capacidade efetiva de troca de cátions (t) = SB + Al³⁺; capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (CTC pH7,0) = SB + (H+Al³⁺); saturação de base (V) = 100xSB/T; saturação de alumínio (m) = 100xAl³⁺/t. Para os parâmetros que apresentaram diferença significativa, as médias são apresentadas seguidas pela letra que determina a comparação (teste de Tukey, p<0,05).

5.2. Caracterização química das amostras do solo incubadas com o sienito nefelínico

De maneira contrária ao observado em outros experimentos que envolveram a adição de diferentes pós-de-rocha (MOREIRA et al., 2006; SILVA et al., 2012; LOPES et al., 2014), a adição do sienito nefelínico não alterou os indicadores de acidez do solo (pH e $H+Al^{3+}$) (Tabela 4). O pH de várias rochas já estudadas é alcalino e contém quantidades consideráveis de cátions de caráter básico como o Ca^{2+} e Mg^{2+} , o que pode contribuir para a neutralização da acidez do solo. SILVA et al. (2012) avaliaram a adição de diferentes doses de rochas silicáticas como a brecha, ultramáfica, biotita xisto e flogopitito em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico após 100 dias de incubação e observaram aumento expressivo no pH do solo, especificamente quando uma rocha ultramáfica foi adicionada ao solo.

A inexistência de variação no pH, Al^{3+} e $H+Al^{3+}$ no presente estudo pode estar associada a baixos valores de carbonatos efetivos de Mg^{2+} e Ca^{2+} no sienito nefelínico. Isto sugere que o material não pode ser indicado para uso como corretivo de solo ou fornecedor de Ca^{2+} e Mg^{2+} , ao menos em curto período de incubação. De acordo com a instrução normativa nº 04/2004, para ser considerado corretivo de acidez do solo, um material deve apresentar teor mínimo de 380 mg g^{-1} para $CaO + MgO$ (MAPA, 2015). No sienito avaliado, a soma desses óxidos alcançou $58,8\text{ mg g}^{-1}$ (Tabela 3), bastante abaixo do exigido pela legislação brasileira, resultando na ausência de efeitos sobre o pH, $H+Al^{3+}$, Al^{3+} e teores de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ no Latossolo.

Por outro lado, após 60 dias, a incubação do solo com o pó-de-rocha resultou em efeito positivo e linear sobre o K^+ trocável do solo, ou seja, quanto maiores as doses aplicadas, maiores foram os teores do K^+ trocável no solo (Figura 7). No tratamento controle, o teor de K^+ foi de $32,3\text{ mg dm}^{-3}$, atingindo $67,9\text{ mg dm}^{-3}$ com a maior dose de sienito adicionada (Tabela 4). Isto representa um aumento de 116,4% no teor de K^+ trocável, constituindo um importante efeito do sienito no solo. Acréscimos de $41,94\text{ mg dm}^{-3}$ de K^+ a cada 100 kg do pó de sienito foram determinados por meio do modelo de regressão obtido ($\hat{y} = 29,565^{***}+0,124^{***}x$; $R^2 = 0,954^{***}$). RIBEIRO et al. (2010) e SILVA et al. (2012) também observaram que a incubação de solos com rochas ultramáficas e brechas piroclásticas resultaram em aumentos lineares nos teores de K^+ trocável.

O arranjo da estrutura mineral, o tipo de mineral existente na rocha, o

tamanho das partículas e associações com micro-organismos mineralizadores podem facilitar a liberação e K^+ do material mineral adicionado ao solo (WANG et al., 2000; MOREIRA et al., 2006; STANFORD et al., 2008). De acordo com a análise de difração de raios-X realizadas em amostra do mesmo sienito nefelínico utilizado no presente experimento (BRAGA et al., 2014), este material mineral é composto por feldspatos alcalinos (microclina – 77%), biotita (11%) e clinopiroxênio (11%). As reações entre minerais e a solução do solo incluem dissolução (congruente ou incongruente), oxidação, complexação, hidratação e hidrólise (LOPES et al., 2014).

O pH da solução é um dos principais fatores que podem afetar os eventos de hidrólise (ácida ou alcalina) e determinar as razões de intemperismo mineral no solo. O pH interfere na adsorção de íons H^+ e OH^- na superfície dos minerais, controlando as reações ácido-base e as ligações metal-oxigênio (RIBEIRO et al., 2010). A ausência de efeito de correção de acidez do material associado com o pH natural ligeiramente ácido do Latossolo pôde, portanto, devido a concentração de H^+ mais elevada, ter favorecido a dissolução ácida dos minerais contendo K^+ existente no pó-de-rocha, de acordo com a reação (CURI et al., 2005):



Outro efeito significativo observado com a incubação do sienito nefelínico relaciona-se aos teores aumentados de P disponível (Figura 8). Nesse caso, um efeito quadrático ($\hat{y} = 1,148^{**} + 0,030^{***}x - 6,180 \cdot 10^{-5}x^2$; $R^2 = 0,954^{***}$), foi determinado. Apesar disso, os resultados apresentam somente um ligeiro incremento nos teores de P com a adição do material mineral. No tratamento controle, o teor de P determinado foi de $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$, enquanto a dose que resultou maior teor de solo ($1800 \text{ kg sienito ha}^{-1}$) apresentou teor de $5,4 \text{ mg dm}^{-3}$, aumento de 260% (Tabela 4, Figura 8). O baixo teor de P no sienito pode explicar o incremento sútil nos teores deste nutriente no solo. Além disso, parte do P solubilizado pode ter sido imobilizado em formas inorgânicas ligadas à fração mineral, com alta energia, assim como em formas orgânicas estabilizadas química e fisicamente. Isto é resultado da forte interação que este mineral apresenta com os constituintes de solos ácidos altamente intemperizados (principalmente óxidos de Fe^{3+} e de Al^{3+}), como no Latossolo em questão.

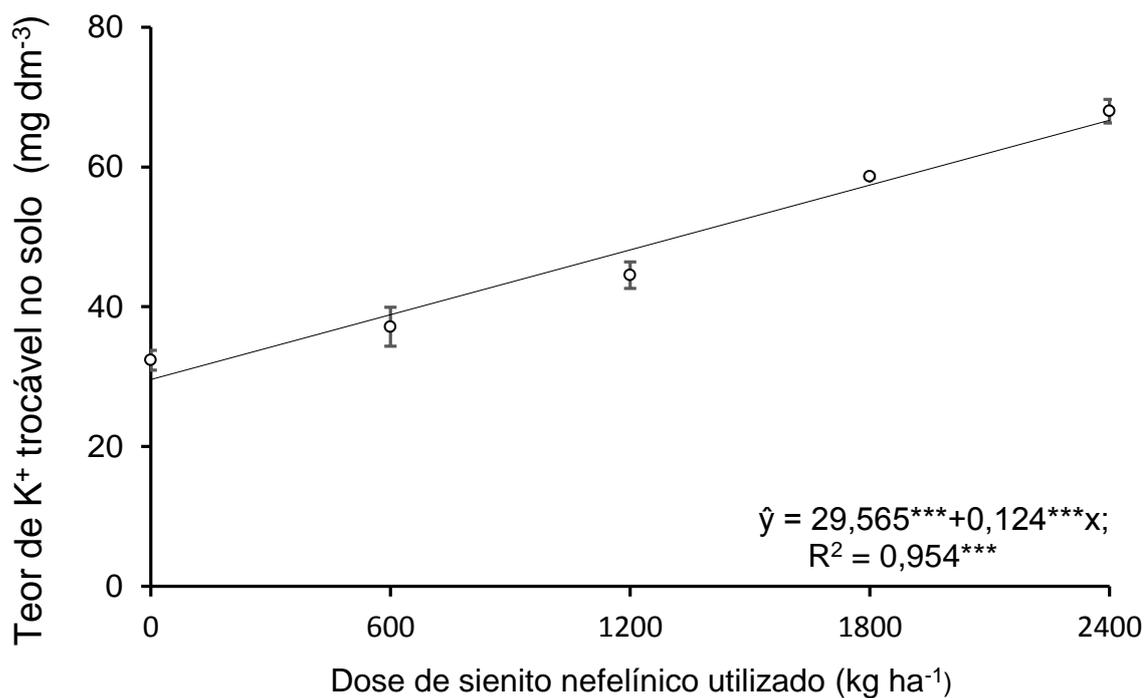


Figura 7- Representação do acréscimo linear de K⁺ no solo (mg dm⁻³), relacionado às distintas doses de sienito nefelínico utilizado.

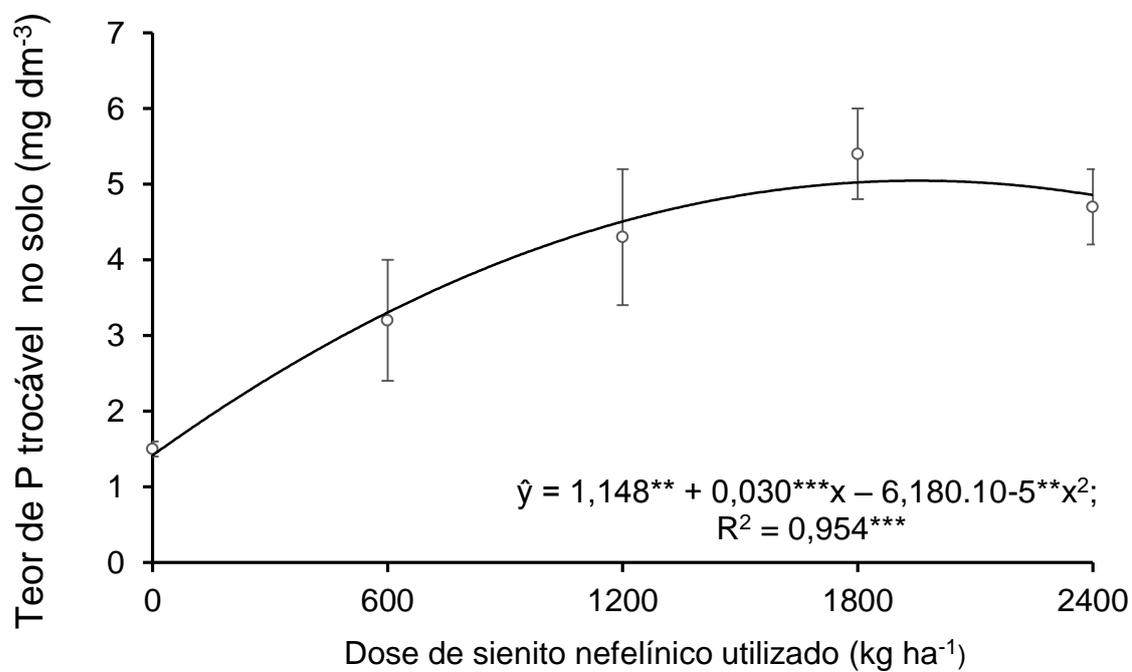


Figura 8 – Representação do acréscimo quadrático do teor de P disponível no solo no solo (mg dm⁻³), em resposta às distintas doses de sienito nefelínico utilizado.

5.3. Quantificação de cargas elétricas permanentes e variáveis

Devido à grande importância das propriedades geradas no solo a partir do fenômeno de cargas elétricas, este assunto vem sendo amplamente analisado nos últimos anos. RAIJ & PEECH (1972) realizaram um trabalho sobre o ponto de carga zero, ou efeito salino nulo, sendo um estudo que deu importância especialmente às cargas de origem variável. ANDERSON & SPOSITO (1991) indicaram um procedimento baseado na seletividade do íon Cs^+ que permite quantificar concomitantemente cargas permanentes e variáveis. Trabalhos posteriores verificaram a viabilidade do método quanto à quantificação de ambas as naturezas de cargas (FONTES & SPOSITO, 1995; WEBER et al. 2005; ALVES, 2002; BUSATO et al., 2012). No presente trabalho, a participação das cargas elétricas permanentes e variáveis foram determinadas nas amostras do Latossolo sem a incorporação do sienito nefelínico (dose zero ou controle) e após a incubação de dose equivalente a 2400 kg sienito nefelínico ha^{-1} .

O quantitativo de cargas variáveis (20,88 $mmolc\ kg^{-1}$) foi significativamente superior às cargas permanentes (5,60 $mmolc\ kg^{-1}$) na amostra do Latossolo sem adição do material mineral (Figura 9). As cargas variáveis representaram 78,86% da carga total, enquanto as permanentes somente 21,14%. Este resultado é esperado para um solo que apresenta predominantemente mineralogia dominada por óxidos e elevados teores de alumínio (Al^{3+}), caracterizado por elevado grau de intemperismo, uma vez que as cargas permanentes são oriundas principalmente de minerais argilosos silicatados do tipo 2:1, encontrados na fração argila em solos menos intemperizados. A quantificação de cargas elétricas permanentes pode estar relacionado ao método utilizado, que admite a detecção de pequenas quantidades de minerais com este tipo de carga, mesmo em solos altamente intemperizados, sendo que em muitas ocasiões não é detectável pela difração de raios X.

Resultados concordantes a esta proporção de superioridade de cargas variáveis perante cargas permanentes, em solos tropicais como o Latossolo utilizado no experimento, foram encontrados em distintos trabalhos (ANDERSON & SPOSITO 1991; WEBBER et al., 2005; BUSATO et al., 2012).

Apesar da diferença numérica entre o quantitativo de cargas variáveis nas amostras do Latossolo sem e com adição do sienito nefelínico (20,88 e 16,12 $mmolc$,

kg⁻¹, respectivamente), não se observou diferença estatística para esta variável (Figura 9). Estes valores são próximos aos observados por ANDERSON & SPOSITO (1991), WEBBER et al., (2005) e BUSATO et al. (2012), que avaliaram as cargas variáveis pelo método de adsorção de Cs⁺ em diferentes Latossolos e reportaram valores de 20,3 mmol_c kg⁻¹, 14,1 mmol_c kg⁻¹ e 12,0 mmol_c kg⁻¹, respectivamente.

A incorporação do sienito nefelínico resultou em aumento significativo na densidade de cargas permanentes (Figura 9). Na amostra controle, o quantitativo de cargas permanentes foi de 5,60 mmol_c kg⁻¹, passando para 14,94 mmol_c kg⁻¹ com a incubação do material mineral. Isto representa um aumento na ordem de 166,7% no quantitativo de cargas permanentes. O aumento das cargas permanentes no Latossolo após a incorporação do sienito pode ser explicado devido ao fato de que as cargas permanentes são oriundas principalmente de falhas nos componentes estruturais do mineral. Devido ao processo de moagem sofrido pelo sienito, estes componentes estruturais podem ter sofrido deformação, promovendo maior contato entre as superfícies dos minerais e a solução do solo, de tal modo facilitando a ocorrência de reações de dissolução e a consequente liberação de íons estruturais, promovendo, desta maneira, a formação de novas fases sólidas, que apresentam maior densidade de cargas permanentes que os minerais pré-existentes no solo.

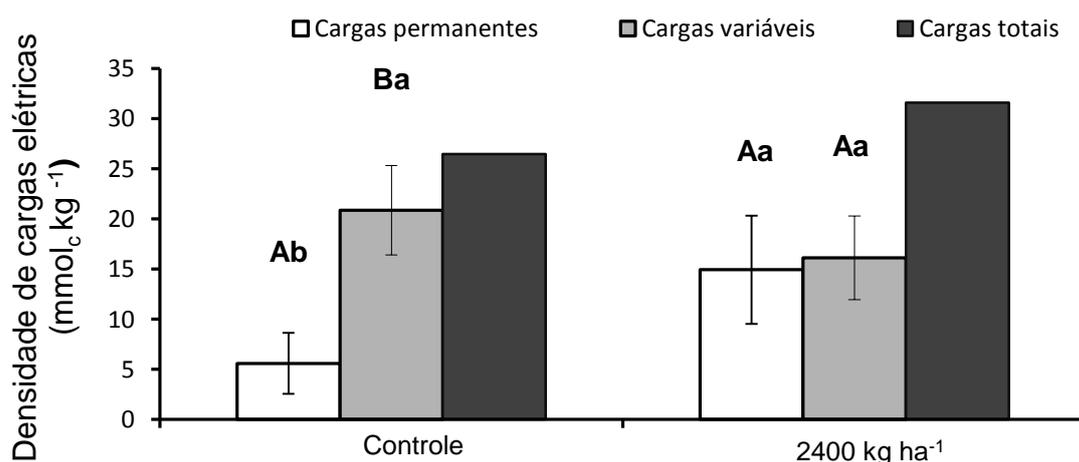


Figura 9 - Letras maiúsculas comparam as cargas permanentes e variáveis dentro dos mesmos tratamentos. Letras minúsculas comparam cargas permanentes ou variáveis entre si, nos tratamentos controle e com adição 2400 kg ha⁻¹. Barras verticais indica o respectivo desvio padrão da media.

6. CONCLUSÕES

- A adição de sienito nefelínico não alterou o pH e os teores de $H+Al^{3+}$, Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} no Latossolo em questão;
- Incrementos lineares para o teor de K^+ trocável e quadrático para P foram observados com as diferentes doses aplicadas;
- O quantitativo de cargas variáveis não foi alterado significativamente com a adição da dose equivalente a 2400 kg ha^{-1} do pó de sienito nefelínico, enquanto as cargas permanentes foram aumentadas em 166,7%.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. **Ponto de efeito salino nulo de latossolos ácidos**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.18, p.175-180, 1994.
- ALVES, M.E. **Atributos mineralógicos e eletroquímicos, adsorção e dessorção de sulfato em solos paulistas**. Piracicaba, 2002. (Tese de Doutorado)
- ANDA., **Associação Nacional para Difusão de Adubos**, 2015. Disponível em: <http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por> Acesso em: 03 Mai. 2015.
- ANDERSON, S.J.; SPOSITO, G., **Cesium adsorption methods for measuring accessible structural surface charge**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.55, p.1569-1576, 1991.
- BAILEY, G.W.; WHITE, J.L. **Review of adsorption and desorption of organic pesticides by soil colloids, with implications concerning pesticide bioactivity**. J. Agr. Food Chem. V. 12, 324-332 p. 1964.
- BARKER D.S., **Igneous Rocks**. Prentice-Hall, Inc., 417 p., 1983.
- BARRETO, W. **Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: capacidade da dupla camada elétrica**. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 273p.1986. (Tese de Doutorado)
- BRAGA, F.C.S.; LEITE, A.A. da S.; OLIVEIRA, M.A. de; MARTINS, E. de S.; GABOS, M.B.; ANGÉLICA, R.S. **K alternative fertilizer Project: biotite-bearing ultrapotassic deposit in Bahia State**. Word fertilize congress of CIEC.,Rio de Janeiro, 2014.
- BUSATO, J.G.; LEAO, T.P.; BALDOTTO, M.A.; CANELLAS, L.P. **Organic matter quality and dynamics in tropical soils amended with sugar industry residue**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 1179-1188, 2012.
- CHAGAS, A.P.; **A síntese de amônia: Alguns aspectos históricos**. Química Nova, v. 30, n.1, p. 240-247, 2007.
- CORONEOS, C.; HINSINGER, E.; GILKES, R.J. **Granite powder as a source of potassium for plants: a glasshouse bioassay comparing two pasture species**. Fertilizer Research, v.45, p.143-152. 1996.
- CURI, N.; KÄMPF, N. & MARQUES, J.J. **Mineralogia e formas de potássio em solos do Brasil**. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L., eds. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p.71-92.

DA LUZ, A.B.; COELHO, J.M. **Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais**. Usos e Especificações 19. Feldspato.. CT2005-121-00 Pág. 413 a 429., 2005.

DOBBSS, L.B. **Eletroquímica de latossolos brasileiros após a remoção da matéria orgânica humificada solúvel**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, vol.32, no.3, p.985-996., 2008.

DUARTE, W.M.; MAFRA, A.L.; FORESTI, M.M.; PICCOLA, C.D.; ALMEIDA, J.A. **Potencial de olivina melilitito, granito e sienito na disponibilização de potássio em solos**. Revista de Ciências Agroveterinárias, v.12, n.1, p. 68-77., 2013.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ªed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos... p. 353., 2013

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. 2ed. EMBRAPA Informação Tecnológica, Brasília, 2009.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLAMT, E. **Basalto moído como fonte de nutrientes**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1998.

FOLEY, S.F.; VENTURELLI, G.; GREEN, D.H.; TOSCANI, L. **The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models**. Earth Science Reviews, v. 24, p. 81-134, 1987.

FONTES, M.P.F.; ALLEONI, L.R.F. **Propriedades Eletroquímicas e a Disponibilidade de Nutrientes, Elementos Tóxicos e Metais Pesados no Sistema Solo-Planta**. FERTBIO. 2004.

FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A.; SPOSITO, G. **Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados**. Scientia Agricola, v.58, n. 3, p. 627-646, 2001.

FONTES, M.P.F.; SPOSITO, G. **Medição da densidade de carga estrutural acessível em Latossolos brasileiros com diferentes mineralogias**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995.

GATIBONI, L.C. **Propriedades químicas do solo**. Departamento de solos da UFSM, Santa Maria-RS,. 29p. 2009.

HARLEY, A.D.; GILKES, R.J. **Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.56, p.11-36. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Informações e análises da economia mineral Brasileira**. 7ª edição, 2012.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Preços Médios Mensais Pagos pela Agricultura** Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Precos_Medios.aspx?cod_sis=5
Acessado em: 15 Mai. 2015

JANASI, V.A.; ANDRADE, S.; ULBRICH, H.H.G. **A correção do drift instrumental em ICP-AES com espectrofotômetro sequencial e a análise de elementos maiores, menores e traços em rocha**. Departamento de mineralogia e petrologia, IG-USP, Sér-Ciente, 26: 45-48, 1995.

KER, J.C. **Latosolos do Brasil: Uma revisão**. Genomos, Minas Gerais, v.5, n.1, p. 17-40, 2003.

KRONBERG B. I.; LEONARDOS O. H.; FYFE W. S. **The chemistry of some Brazilian soils element mobility during intense weathering**. Chemical Geology, 60: 361-370, 1987.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. de V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. de. **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. 655 p.

Lei Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm Acesso em: 10 Jun. 2015

Lei Nº 12.890, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm Acesso em: 10 Jun. 2015

LOPES O.M.M; CARRILHO N.V.M; LOPES-ASSAD M.L.R.C. **Effect of rock powder and vinasse on two types of soils**. Revista Brasileira de Ciência do Solo., 2014.

MANNING, D.A.C. **Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review**. Agronomy Sustainable Develop n.30 p. 281–294, 2010.

MAPA – **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/sanidade-vegetal/legislacao> Acessado dia 24 Jun.2015

MARTINS, E.S.; THEODORO, S.H. (Eds.) **Anais I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2010.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Edunesp; DF: NEAD, 2010.

MORAES NETO, S. P. de. **Fertilizantes e algumas reações no solo junto com corretivo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; SALINET, L.H. & SFREDO, G.J. **Efeito residual de rochas brasileiras como fertilizantes e corretivos da acidez do solo**. Esp. Geog., 9:163-177, 2006.

OLIVEIRA, L.A.M. **Sumário Mineral: potássio**. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. 2008

PRATES, F.B.S.; VELOSO, H.S.; SAMPAIO, R.A.; ZUBA JÚNIOR, G.R.; LOPES, P.S.N.; FERNANDES, L.A.; MAIO, M.M. **Crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo em resposta à adubação com superfosfato simples e pó de rocha**. Revista Ceres, Viçosa, v. 57, n.2, p. 239-246, 2010

RAIJ, B. V. **Determinação do ponto de carga zero em solos**. Campinas-SP, Bragantia, v.31, n.18, p.337-347, 1973.

RAIJ, B.V ; PEECH, M. **Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics**. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, v.36, p.587-593, 1972.

REATTO, J.R.C.; SPERA, S.T.; SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. ed. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.47-86.

RIBEIRO, L.S.; SANTOS, A.R.; SOUZA, L.F.S. & SOUZA, J.S. **Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes donutriente para as plantas**. R. Bras. Ci. Solo, 34:891-897,2010.

SAMPAIO, J.A.; FRANÇA A., S. C. 2005. **Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações** Pág. 399 a 411.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306 p. 2006.

SILVA D.R.G; MARCHI G; SPEHAR C.R.; GUILHERME L.R.G.; REIN T.A.; SOARES D.A.; ÁVILA F.W. **Changes in Soil. Characterization and Nutrient Release from Silicate Rocks and Influence on Chemical** R. Bras. Ci. Solo, 36:951-962, 2012.

SIQUEIRA, J.O.; GUEDES, G.A.A. **Efeito do tratamento térmico na eficiência agrônômica do sienito nefelinico**. 1986 Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasília, v.21, n.5, p.481-488, maio. 1986.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, G. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica p.81-96., 2004.

STANFORD, R.A.; LIMA, R.A.; LIRA, M.A.; SANTOS, C.R.S. **Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and their effects on soil chemical properties**. World J. Microbiol. Biotechnol., 2008.

TISDALE, S. L., W. L. NELSON AND J. D. BEATON. **Soil fertility and fertilizer. Elements required in plant nutrition**. 4th Ed. Maxwell McMillan Publishing, Singapore, 1990, p 52-92.

VAN OLPHEN, E. **Introduction to clay colloid chemistry**. New York: Interscience, 1963, 301p.

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

WANG, J.G.; ZHANG, F.S.; CAO, Y.P. & ZHANG, X.L. **Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss**. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 65:115-127, 2000.

WEBER, O. L. S., CHITOLINA, J. C., CAMARGO, O. A., ALLEONI, L. R. F. **Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:867-873, 2005.