

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



Dissertação

**USO DE AGROMINERAL SILICÁTICO, GESSO E CAL PARA ESTABILIZAÇÃO
DA ARGILA DE ÁREA DEGRADADA DA BARRAGEM SANTA BÁRBARA,
PELOTAS - RS**

Ricardo Luiz Nunes Arduin

Pelotas, 2018

Ricardo Luiz Nunes Arduin

**Uso de agromineral silicático, gesso e cal para estabilização da argila
de área degradada da Barragem Santa Bárbara, Pelotas - RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto
Coorientador: Pesq. Dr. Adilson Luis Bamberg

Pelotas, 2018

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

A111u Arduin, Ricardo Luiz Nunes

Uso de agromineral silicático, gesso e cal para estabilização da argila de área degradada da Barragem Santa Bárbara, Pelotas - RS / Ricardo Luiz Nunes Arduin ; Luiz Fernando Spinelli Pinto, orientador ; Adilson Luis Bamberg, coorientador. — Pelotas, 2018.

90 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. Solo. 2. Degradação. 3. Argilas. 4. Tratamentos. 5. Estabilização. I. Pinto, Luiz Fernando Spinelli, orient. II. Bamberg, Adilson Luis, coorient. III. Título.

CDD : 631.4

**Uso de agromineral silicático, gesso e cal para estabilização da argila
de área degradada da Barragem Santa Bárbara, Pelotas - RS**

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Manejo e Conservação do Solo e da Água, 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: 04 de abril de 2018.

Banca examinadora:

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

Prof. Dr. Luis Eduardo Silveira da Mota Novaes
Doutor em Geociências pela Universidade de Aveiro, UA.

Pesq. Dra. Rosane Martinazzo
Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
UFRGS.

Agradecimentos

À minha esposa e meus filhos, pelo incentivo e colaboração.

À mestrandia Juliana Bicca e à acadêmica Raissa Piedras, pelo apoio.

Ao professor orientador Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto, pela dedicação.

À Embrapa, através do pesquisador Dr. Adilson Luis Bamberg, pela parceria.

E a Deus, por ter me concedido o privilégio de concretizar este desafio.

Obrigado.

Resumo

ARDUIN, Ricardo Luiz Nunes. **Uso de agromineral silicático, gesso e cal para estabilização da argila de área degradada da Barragem Santa Bárbara, Pelotas – RS**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Os constantes problemas relacionados à instalação de processos erosivos e de degradação dos solos na porção sul da Planície Costeira do RS, particularmente associados a obras de engenharia, tais como: barragens, canais de irrigação e drenagem, áreas de empréstimo inativas, entre outros, motivaram a proposição deste estudo. Este tipo de situação está bem evidenciada junto a uma área de empréstimo no entorno da barragem Santa Bárbara, principal responsável pelo abastecimento de água da cidade de Pelotas (RS), onde se constata a ausência absoluta de regeneração natural da vegetação, condição agravada pela ocorrência das chamadas argilas dispersivas no solo. Com o propósito de investigar estratégias para estabilização do solo, esse foi submetido a vários tratamentos envolvendo a adição de pó de rocha, gesso agrícola e cal hidratada, sendo após sujeito a processos de incubação e lixiviação. O ensaio de incubação teve como objetivo a determinação da reatividade e da velocidade de liberação dos elementos que constituem os materiais adicionados ao solo, enquanto o experimento em colunas de lixiviação visou simular o efeito que a percolação da água da chuva pode promover na solubilização e liberação dos elementos químicos do solo e dos materiais incorporados, bem como a sua interação. A partir dos resultados obtidos, podemos assinalar que ambos os métodos produziram efeitos em relação aos tratamentos propostos, porém a lixiviação apresentou um conjunto de repercussões positivas mais abrangente em relação aos diversos parâmetros avaliados. Por outro lado, devemos mencionar que todos os materiais utilizados mostraram utilidade para a recuperação da qualidade do solo da área degradada, recomendando-se: a) a utilização da cal no controle dos processos retroerosivos do subsolo por conta da sua maior eficiência e menor liberação de íons para a solução, b) o emprego do gesso como a opção mais adequada para aplicação no solo superficial, pois ao mesmo tempo em que floccula a argila, mantém o pH em valores em torno da neutralidade, c) a aplicação do pó de rocha associado a doses menores de gesso, aproveitando o efeito interativo entre eles, de modo a combinar o resultado da flocculação completa da argila com uma melhora na capacidade de retenção dos nutrientes no solo. Por fim, ressaltamos que neste trabalho foi dedicada ênfase a utilização do pó de rocha, no sentido de avaliar a utilização de agrominerais como alternativa viável para ajudar na revitalização daquele ambiente, tendo como fonte de insumo os basaltos (brechas) da Fronteira Oeste do RS.

Palavras-chave: solo; degradação; argilas; tratamentos; estabilização.

Abstract

ARDUIN, Ricardo Luiz Nunes. **Use of silicate agromineral, gypsum and lime for clay stabilization of degraded area from the Santa Bárbara Dam, Pelotas – RS.** 2018. 90 p. Dissertation (Master in Soil and Water Management and Conservation) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

The constant problems related to erosive processes and soil degradation in the southern portion of the Coastal Plain of RS, particularly associated to engineering works such as dams, irrigation and drainage canals, inactive borrow areas, among others, motivated the proposition of this study. This type of situation is well evidenced by a borrow area around the Santa Bárbara dam, which is the main source of water supply in the city of Pelotas (RS), where there is an absolute absence of natural regeneration of the vegetation, a condition aggravated by the occurrence of so-called dispersive clays in the soil. In order to investigate strategies for soil stabilization / revitalization, the soil was submitted to several treatments involving the addition of rock powder, agricultural gypsum and hydrated lime, after being subjected to incubation and leaching processes. The objective of the incubation test was to determine the reactivity and the release rate of the elements that constitute the materials added to the soil, while the experiment in leaching columns was designed to simulate the effect that the percolation of the rainwater can promote in the solubilization and release of chemical elements from the soil and incorporated materials, as well as their interaction. From the results obtained, we can point out that both methods produced effects in relation to the proposed treatments, but the leaching presented a more positive set of repercussions in relation to the evaluated parameters. On the other hand, it should be mentioned that all the materials used were useful for recovering the soil quality of the degraded area, recommending: a) the use of hydrated lime in the control of the retro-erosion processes of the subsoil due to its greater efficiency and lower release (b) the use of gypsum as the most suitable option for application to the surface soil, because it both flocculates the clay, and maintains the pH in values around the neutrality, c) the application of the rock powder associated with lower doses of gypsum, taking advantage of the interactive effect between them, in order to combine the result of the complete flocculation of the clay with an improvement in the capacity of retention of the nutrients in the soil. Finally, we emphasize that in this work the emphasis was on the use of rock powder, in order to evaluate the use of agrominerals as a viable alternative to help in the revitalization of that environment, having as input source the basalts (breccias) from the Rio Grande do Sul State West Border.

Keywords: soil; degradation; clays; treatments; stabilization.

Sumário

1	Introdução	8
2	Revisão da literatura.....	10
2.1	Áreas degradadas.....	10
2.1.1	Conceitos e definições.....	10
2.1.2	Degradação em reservatórios.....	11
2.2	Agrominerais.....	12
2.2.1	Síntese histórica.....	15
2.2.2	Evolução do tema.....	15
2.2.3	Rochas silicáticas.....	18
2.2.4	Decomposição das rochas.....	19
2.2.5	Solubilidade mineral.....	19
2.2.6	Basaltos da Fronteira Oeste do RS.....	20
3	Material e métodos.....	24
3.1	Área de estudo.....	24
3.1.1	Caracterização.....	24
3.1.2	Geologia.....	25
3.1.3	Solo.....	26
3.1.4	Aspectos ambientais.....	28
3.2	Material	30
3.2.1	Regolito.....	30
3.2.2	Pó de rocha.....	30
3.2.3	Condicionadores químicos.....	31
3.3	Métodos.....	31
3.3.1	Procedimentos analíticos.....	31
3.3.1.1	Padronização.....	31
3.3.1.2	Análises físicas.....	31
3.3.1.3	Análises químicas.....	32
3.3.1.4	Difração de raios-X.....	32
3.3.1.5	Análise de rocha total.....	32
3.3.2	Procedimentos experimentais.....	33
3.3.2.1	Incubação.....	33
3.3.2.2	Lixiviação.....	34
4	Resultados e discussão.....	37
4.1	Difratometria.....	37
4.2	Litoquímica.....	37
4.3	Teste de incubação.....	38
4.4	Teste de lixiviação.....	47
5	Conclusões.....	68
	Referências.....	70
	Apêndices.....	78

1 Introdução

De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo é removida ou enterrada; e a qualidade do regime de vazão do sistema hídrico, alterada (IBAMA, 1990). Obras de engenharia podem promover a degradação ao retirar os horizontes superficiais do solo, particularmente para empréstimo em aterros e barragens, expondo horizontes inferiores onde o material não apresenta agregação e os processos erosivos se acentuam. A ausência de matéria orgânica e a baixa disponibilidade de nutrientes, nessas situações, dificultam o estabelecimento de vegetação, facilitando a ação dos agentes erosivos (DIAS; GRIFFITH, 1998).

As "áreas de empréstimo" apresentam subsolo desnudo e, portanto, sujeito aos processos erosivos, além de conter um conjunto de problemas edáficos, como compactação, baixa capacidade de armazenamento e de infiltração de água, alta resistência à penetração de raízes, elevada densidade do solo, falta de matéria orgânica, entre outros (CORRÊA et al., 1998). As dificuldades de regeneração natural nessas áreas estão relacionadas à profundidade do corte promovido, bem como às condições desfavoráveis do material exposto que, por ser quimicamente pobre e fisicamente pouco estruturado, prejudicam o processo de revegetação.

No caso da área de empréstimo que serviu para a construção da Barragem Santa Bárbara, em Pelotas (RS), a situação é agravada pela presença das chamadas argilas dispersivas (alto teor de sódio), que tornam o solo instável e altamente suscetível à erosão. O local encontra-se em processo erosional ativo e a abordagem para a resolução do problema não é simples, devendo ter como ponto de partida a estabilização do solo, sem a qual as chances de recomposição vegetal se tornam muito escassas.

A grande meta a ser alcançada em qualquer plano de recuperação de áreas com essas condições consiste no estabelecimento de um horizonte A, de modo que, a partir desse ponto, o processo seja catalisado pela biosfera, podendo, assim, surgir outros horizontes do solo (ABRAHÃO e MELLO, 1998).

Uma das possibilidades de melhorar as condições do substrato é por meio do suprimento de agrominerais, através da técnica de rochagem, o que pode devolver ao solo uma fração de minerais intemperizáveis, para atuar como se fosse a fração silte de um solo jovem, isto é, como uma reserva de nutrientes minerais (AMPARO, 2003). O aporte assim induzido, tem se revelado uma alternativa positiva para restituir os nutrientes perdidos pelos processos de intemperismo e lixiviação do solo a que estão submetidas essas áreas, e que levam a perdas irreparáveis de K, Ca, Mg, etc, transformando argilas reativas, com alta capacidade de troca catiônica (CTC), em grupos cada vez menos reativos (baixa CTC), praticamente inibindo o desenvolvimento vegetal. Nesta pesquisa, essa tecnologia está expressa pela aplicação “in natura” de pó de rocha ao solo, proveniente de litologia basáltica (rica em calcita) originária da Fronteira Oeste do RS.

Concomitantemente, outras opções representadas pelo emprego de formulações à base de gesso agrícola e de cal hidratada também foram testadas, com o objetivo de agregar resultados que proporcionem a reabilitação daquele solo, particularmente quanto à questão da sodicidade. A utilização de tais corretivos químicos é amplamente difundida no nordeste do Brasil e em outros países do mundo (Austrália, Índia, etc.), no sentido de promover o condicionamento de solos com caráter solódico (>6% Na) e sódico (>15% Na). No caso da Barragem Santa Bárbara a aplicação destes tratamentos, combinados ou não, resultou numa redução expressiva da concentração de sódio existente no complexo trocável, viabilizando a flocculação das argilas dispersivas e, por conseguinte, elevando o potencial de formação de agregados do solo.

2 Revisão da literatura

2.1 Áreas degradadas

2.1.1 Conceitos e definições

A concepção de degradação tem sido geralmente associada aos efeitos ambientais considerados negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades ou intervenções humanas. Raramente o termo se aplica às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais. O conceito tem variado segundo a atividade em que esses efeitos são gerados, bem como em função do campo do conhecimento humano em que são identificados e avaliados. No tocante ao uso atribuído ao solo, a noção de degradação pode, então, assumir diversos entendimentos, conforme segue:

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) define degradação do solo como a deterioração ou perda total da capacidade deste para uso atual e futuro (FAO, 1980, apud ARAUJO et al., 2005).

Para Rodrigues et al. (2001), área degradada é aquela que sofreu, em algum grau, perturbações em sua integridade, sejam elas de natureza física, química ou biológica. Recuperação, por sua vez, é a reversão de uma condição degradada para uma condição não degradada, independente de seu estado original e de sua destinação futura.

Segundo Crestana et al. (2006), área degradada é aquela que sofreu alteração de suas características originais, em decorrência de causas naturais ou oriundas de ação antrópica. Em algumas dessas áreas ocorre a eliminação dos meios bióticos, e estas apresentam baixa resiliência.

Deteriorar as propriedades de um solo pode ser considerado degradação ou perturbação, conforme os diferentes graus de intensidade dos danos. Assim, se o ambiente não se recupera naturalmente em um tempo razoável, está degradado, e a intervenção antrópica é necessária, pois houve perda da resiliência. No entanto,

caso o ambiente mantenha sua capacidade de regeneração ou depuração, está perturbado, e a intervenção humana apenas promove a aceleração do processo de recuperação (CORRÊA, 2007).

Empreendimentos que envolvem a remoção do solo e deixam o substrato litólico exposto, promovem profundas modificações no equilíbrio ambiental dos ecossistemas, podendo demandar várias dezenas de anos para adquirir níveis de equilíbrio homeostático incipiente. Os substratos remanescentes, além de estarem desprovidos de atributos físicos e químicos, que permitam a colonização vegetal espontânea, apresentam-se suscetíveis a ação dos processos erosivos (VALCARCEL; D'ALTERIO, 1998).

2.1.2 Degradação em reservatórios

No caso de reservatórios de água a degradação ambiental está associada às ações humanas, devido à própria técnica aplicada em suas construções. A extração das jazidas minerais em “áreas de empréstimo” é uma delas, porém, é essencial, uma vez que possibilita a execução da obra hídrica e o desenvolvimento da região.

De acordo com Lopes e Queiroz (1994), as áreas de empréstimo são lugares dos quais foram retirados materiais para completar os volumes de solos necessários à execução de terraplenagens e fundações das barragens.

A degradação assim imposta consiste na remoção da vegetação original e na retirada da camada superficial do solo, expondo o horizonte C e causando compactação, perda de matéria orgânica e baixa disponibilidade de nutrientes, de forma que o substrato resultante não permite o desenvolvimento da regeneração natural da vegetação (FERREIRA et al., 2007).

Segundo Chada et al. (2004), tais áreas se constituem em um ecossistema degradado visto que tiveram eliminados, juntamente com a vegetação, seus meios de regeneração bióticos como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes e rebrota. Portanto, apresentam baixa resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento.

Como exemplo típico desta situação, cita-se a área de empréstimo no entorno da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (MS) que, conforme descrito por Alves e Souza (2008), após 30 anos de abandono do local apenas uma rala vegetação herbácea pôde se estabelecer.

Sabe-se da importância da construção e operação de reservatórios, bem como das alterações provocadas em sua área de influência, o que requer cautela quanto a uma série de repercussões negativas (Figura 1) que podem ser causadas aos meios físico, biótico e antrópico.

	IMPACTOS	MEDIDAS MITIGADORAS
Exploração de áreas de empréstimo	<ul style="list-style-type: none"> - Retirada da vegetação. - Danos à fauna. - Alterações na topografia. - Mudanças no escoamento das águas. - Incremento da erosão do solo. - Emissão de poeiras e ruídos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plano de Recuperação das Áreas Degradadas. - Desmatamento gradual, à medida que for necessário (proteção das árvores de grande porte). - Acumulação do material orgânico: primeira camada de solo e restos vegetais. - Acerto topográfico do terreno e do escoamento superficial das águas. - Reaterro com material não utilizado. - Fornecimento de agrominerais.

Figura 1. Quadro indicativo de impactos e medidas mitigadoras em áreas de empréstimo, referentes a projetos de reservatórios de água (adaptado de MOTA, 2008).

2.2 Agrominerais

Diversas pesquisas têm sido realizadas sobre a incorporação de rochas cominuídas aos solos agrícolas e/ou na recuperação de áreas degradadas. Rochagem é a designação dada à prática de aplicação direta de *pós de rocha* (Figura 2), ou de materiais finos resultantes da simples moagem de rochas, como fonte de nutrientes aos solos. A expressão surgiu por analogia aos termos calagem, fosfatagem e gessagem que se referem à aplicação, em área total no solo, de calcário, fertilizantes fosfatados e gesso agrícola, respectivamente. Apesar destes materiais também se constituírem em rochas aplicadas “in natura”, o termo rochagem é mais empregado quando se trata da utilização de rochas silicáticas moídas. Mais recentemente, o termo “pó de rocha” passou a ser enquadrado no conceito amplo de agrominerais, podendo vir a constituir-se em remineralizador conforme suas especificações.

A legislação (Lei nº 12.890/2013) define como remineralizador o “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” (BRASIL, 2013).



Figura 2. Fotografia de tipos de pós de rocha. Foto: MARTINS, Eder (2013).

A rochagem tem como característica principal a composição multielementar, bem como a capacidade de solubilização gradual dos nutrientes, o que oportuniza as condições favoráveis à lixiviação dos minerais, principalmente em solos tropicais degradados (VAN STRAATEN, 2006).

Na rochagem ocorre o rejuvenescimento do solo, possibilitando equilibrar os nutrientes sem afetar o meio ambiente (THEODORO et al., 2006). De acordo com Melamed et al. (2007), a utilização de rochas moídas apresenta os seguintes benefícios: fornece macro e micronutrientes para absorção pelas plantas; aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo, a produção, a atividade de micro-organismos e minhocas, a quantidade e qualidade do húmus; controla a erosão devido ao maior desenvolvimento das culturas; aumenta a reserva nutricional do solo e a resistência das culturas em relação a pragas, doenças, secas e geadas devido à melhoria nas condições nutricionais; e diminui a dependência de fertilizantes, pesticidas e herbicidas. Outros benefícios são: economia de mão-de-obra, pois o pó de rocha é pouco solúvel e a frequência de adubação é menor, com maior efeito residual; não acidifica o solo, pois o fornecimento de bases pode auxiliar na correção do solo; impede que a planta absorva mais do que necessita, o que ocorre quando se utiliza fertilizantes muito solúveis; é um material local/regional, facilmente explorado e encontrado em todo território nacional (FERREIRA et al., 2009).

Para compreender melhor o emprego dos agrominerais, é necessário conhecer quais são os macro e micronutrientes essenciais para a sustentação da vida vegetal (Figura 3). Os macronutrientes são os mais importantes para o bom desenvolvimento das plantas e são consumidos em grandes quantidades, enquanto os micronutrientes ou microelementos são elementos-chave para o seu crescimento, embora não sejam consumidos em grande escala (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009).

Macronutrientes	Metais	K, Ca, Mg
	Não metais	C, H,O, N, P, S
Micronutrientes	Metais	Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Co, Ni
	Não metais	B, Cl, Se

Figura 3. Quadro relativo aos macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta (MALAVOLTA, 1980, 1999, 2008).

Há uma grande variedade de rochas susceptíveis de aplicação nos solos sob a forma de agrominerais (Tabela 1). A seguir, estão relacionados alguns tipos de minerais e materiais rochosos fontes de nutrientes e suas respectivas funções.

Tabela 1. Minerais e materiais rochosos como fontes de agrominerais.

<i>Função</i>	<i>Tipo de Material</i>	<i>Nutrientes</i>
Calagem e Nutrição	Calcários calcíticos	Ca
	Calcários dolomíticos	Ca–Mg
	Carbonatitos (geoquímica e mineralogia muito variáveis)	Ca, Mg, K
	Gesso (CaSO ₄) natural	Ca, S
Condicionamento do solo	Gesso natural	S, Ca
	Rochas fosfáticas	P, Ca
	Carbonatitos	Ca, Mg, K
	Rochas silicáticas vulcânicas: <u>basalto</u> , ugandito, fonolitos, traquitos etc	Mg, Ca, Fe
	Rochas silicáticas granulares: granitos, sienitos, nefelina, sienitos, arenitos etc	K e outros
	Minerais:feldspatos, argilominerais, piroxênios, anfibólios, vermiculita, biotita, zeólitas e outros	K e outros
	Rejeitos e resíduos de minas, de minerais não metálicos e de pedreiras	Variados

Fonte: LEVINSON, 1974, apud LUZ et al., 2010 (modificado).

2.2.1 Síntese histórica

O acréscimo de pó de rocha ao solo com finalidade agrícola já era conhecido na mais remota antiguidade. Experimentos e pesquisas foram realizados em nível

mundial no século XVIII por James Hutton (BAILEY, 1967). Considerado o fundador das ciências geológicas, Hutton não só recomendava como ele próprio utilizava margas e rochas similares em sua fazenda na Escócia para que a fertilidade do solo fosse aumentada.

Outros relatos interessantes datam desta época, quando Benjamin Franklin demonstrou o valor do gesso agrícola. Por meio de experimentos ele verificou o crescimento da pastagem na área onde o gesso havia sido aplicado (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009). No século XIX, segundo Van Straaten (2006), destacam-se os trabalhos de Missoux (1853, 1854) e Julius Hensel (1890, 1894) sobre a utilização de rocha total como fonte de nutrientes, tendo este último publicado em 1898 o livro “Pães de Pedra”.

No Brasil, o uso de pós de rocha foi primeiramente sugerido por Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko, na década de 1950. Mais tarde, o professor Othon Leonardos da Universidade de Brasília realizou relevantes estudos relacionados ao tema, sendo considerado como o grande precursor da rochagem no país. Finalmente, no século XXI os estudos focaram especialmente em fontes de K e P, sendo realizados importantes eventos como o I, II e III Congressos Brasileiros de Rochagem nos anos 2009, 2013 e 2016, respectivamente.

2.2.2 Evolução do tema

Conforme Silveira (2016), estudos com maior rigor acadêmico iniciaram-se nos anos 60, quando Keller et al. (1963) desenvolveram um importante trabalho sobre o intemperismo de minerais silicáticos, utilizando minerais pulverizados e analisando a dissolução de elementos em solução. Neste experimento, alguns minerais destacaram-se na liberação de determinados elementos como olivina (Mg), enstatita (Mg), nefelina (Na, Al), microclínio (K), biotita (K, Fe), diopsídio (Si), e augita (Ca). Observaram também que a solução enriquecida em CO₂, semelhante às condições do ambiente natural, aumentou significativamente a quantidade de elementos disponibilizados em relação à água destilada.

Nas décadas de 70 e 80, além dos trabalhos de Leonardos et al. (1976, 1987), destaca-se também o estudo de Fyfe (1981), no qual alerta para uma maneira mais sustentável do uso da terra, sendo enfatizado a necessidade de um melhor controle químico das relações de transporte, mobilização e fixação dos elementos em novas rochas e minerais. Fyfe et al. (1983) relacionam ambientes tectônicos

globais com a fertilidade do solo, afirmando que ambientes convergentes são mais férteis, pois estão ligados à renovação ocasionada pelo vulcanismo.

Nesta mesma época Chesworth (1982) faz importantes considerações sobre o balanço nutricional no solo, e sintetiza dizendo que a agricultura atual é insustentável pelo ponto de vista geoquímico, pois as colheitas anuais removem os nutrientes das plantas muito mais rapidamente que a reposição natural por intemperismo. Chesworth et al. (1983) utilizaram pós de rochas ígneas (ácidas e básicas) e determinaram que em solução, já nas primeiras horas eram disponibilizados importantes quantidades de potássio relacionado a partículas muito pequenas. Ainda, afirmam que rochas básicas são mais eficientes na disponibilidade de nutrientes que rochas graníticas. Chesworth et al. (1985) relacionam o aumento da umidade do solo com o uso de pós de rocha e a maior facilidade de disponibilidade de nutrientes da apatita em pH mais ácido.

Barak et al. (1983), utilizaram pós de basalto e tufos para aumentar a quantidade de ferro disponível. Importantes inferências estão relacionadas com a rápida disponibilização do ferro nas bordas dos minerais para as plantas, entretanto devido à oxidação e ou interação com carbonatos, a efetividade é diminuída, sendo necessária aplicação de maiores proporções do material.

Nos anos 90, Hinsinger et al. (1996) e Coroneos et al. (1996), realizaram estudos empíricos em condições controladas com pós de rochas graníticas. Nestes trabalhos sugere-se que uma porção minoritária do pó de rocha é dissolvida, sendo que a quantidade de K trocável não ultrapassa 5%, além disso, o aumento do pH é pouco relevante se comparado com o uso da calagem convencional. Por fim, os autores afirmam que o uso deste material não é economicamente viável se comparado com a fertilização convencional e que elementos como Ca, Mg e Na não foram encontrados na forma trocável devido a dissolução incongruente. Seguindo essa tendência, Bolland e Baker (2000) enfatizam a ineficiência de rochas graníticas como fertilizantes, especialmente como fonte de potássio.

Gillman (1980) e Gillman et al. (2002), realizaram importantes estudos com rochas basálticas em clima tropical e concluíram que os efeitos no aumento do pH só eram apreciáveis em altas tonelagens, entretanto, se medido por meio de KCl, notou-se uma importante redução em sua acidez. No que diz respeito aos elementos liberados, houve a presença de Ca, Mg, K e Na, e com o aumento da taxa de aplicação ocorreu uma leve elevação da CTC. Entretanto, se comparado com a

porcentagem inicial das rochas, uma pequena proporção de íons são liberados, sendo seus efeitos mais significativos a um prazo relativamente longo.

Por sua vez, Van Straaten (2002), destaca o papel do material de origem do solo na disponibilidade de nutrientes, e os efeitos da aplicação de materiais geológicos na produtividade de culturas agrícolas. Esta abordagem *agrogeológica* tem contribuído para o melhor entendimento dos processos geológicos envolvidos na formação dos solos, na manutenção dos agroecossistemas, e na utilização de rochas e minerais como fonte de nutrientes para as plantas.

Mais recentemente, estudos feitos no Brasil apontam de forma positiva para a utilização de pó de rocha, especialmente ligadas a rochas máficas. Melo et al. (2012), afirmam que doses de basalto atuam na neutralização da acidez potencial bem como aumenta teores de Zn, Fe e Cu com o tempo de incubação, sendo o aumento relativamente baixo de Ca e Mg. Resultados semelhantes são obtidos por Beneduzzi (2011) para basaltos e peridotitos; enquanto o trabalho de Souza (2014), com rochas vulcânicas máficas e ultramáficas, indica que o potencial econômico deste mineral é muito significativo, sendo equivalente ao uso do fertilizante comum quando aplicado uma dose de 6 t/ha, além de aumentar o pH e apresentar efeito residual.

Experimentos que focalizaram no aspecto mais social, também tiveram importantes conclusões. Almeida et al. (2007) em um experimentação com rochagem de basalto com duração superior a 10 anos abrangendo 400 famílias mostram que a combinação do aporte de pós de rochas com o manejo de biomassa em solos biologicamente ativos resultam em efeitos positivos sobre o desempenho produtivo de cultivos anuais já no curto prazo, a custos baixos, sem que para isso o ambiente seja degradado.

Entretanto, existem estudos realizados no Brasil com indicação negativa para o uso do pó de rocha como Erhart (2009) onde afirma que, de modo geral, os tratamentos com pó de basalto associado à calagem, independentemente da dose do pó de basalto aplicado, afetam pouco as características químicas do solo após um ano de avaliação do experimento, em relação ao tratamento com calagem associada à adubação com NPK. Silva (2007) indica que o pH do solo não sofre mudanças significativas com a aplicação de basalto e que o emprego dessa técnica não aumentou o rendimento das plantas, todavia, houve incremento nos teores foliares de N, P, Ca, Mg e Zn.

Apesar de escassos, existem dados relacionados com a evolução mineralógica em ambientes tropicais. Lopes et al. (2014) afirmam que devido à um balanço dos teores de íons em experimentos envolvendo pós de rochas basálticas houve a ocorrência de fenômenos de sorção com fases minerais neoformadas ou com ácidos orgânicos.

2.2.3 Rochas silicáticas

As rochas silicáticas perfazem cerca de 90% da cobertura de todos os continentes. Além de abundantes, apresentam diferentes composições químicas e mineralógicas, sendo compostas por minerais onde o silício é o elemento central, acompanhado de outros elementos que ocorrem em concentrações percentuais significativas, tais como: alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio, sódio, manganês, fósforo e titânio.

Os pós de rochas silicáticas são, essencialmente, fontes multinutrientes de liberação lenta. Dessa forma, a tendência geral é que estas fontes sejam menos responsivas, em curto prazo, que os fertilizantes de alta solubilidade ou que os termofertilizantes em condições de solos altamente deficientes em nutrientes. Isto se deve, evidentemente, ao fato das rochas possuírem seus elementos dentro das estruturas cristalinas de seus minerais, cuja taxa de degradação depende de reações do intemperismo químico (HARLEY; GILKES, 2000).

Algumas rochas, no entanto, podem apresentar frações significativas de elementos em materiais amorfos (vítreos) ou em cristais especialmente pequenos, mal formados ou pré-intemperizados, o que acelera a disponibilização dos elementos, como é o caso de alguns basaltos e do fonolito (TEIXEIRA et al., 2012). A velocidade do intemperismo de um pó de rocha é, portanto, dependente principalmente da composição mineralógica da rocha, da granulometria do pó, do tamanho, qualidade e grau de alteração dos cristais dos minerais presentes, da intensidade de remoção dos produtos solúveis das reações do intemperismo e das condições químicas do solo em que for aplicado (MARTINS et al., 2010).

2.2.4 Decomposição das rochas

A dissociação das rochas e conseqüente liberação dos nutrientes para o solo se deve a processos de dissolução, hidratação, ataque com ácidos, oxidação e complexação. Estes processos são ocasionados por agentes como o oxigênio livre,

que é responsável pela formação de óxidos, particularmente de enxofre e ferro, gás carbônico e água, que penetra nos poros, clivagens e fissuras das rochas, dissolve os constituintes mais solúveis da rocha e os transfere para o meio, originando novas fases minerais com os constituintes menos solúveis que permanecem na rocha (KÄMPF et al., 2009).

A água, com o oxigênio nela incorporado, acelera as reações de oxidação dos minerais, pois dissolve pequenas quantidades dos mesmos. O dióxido de carbono dissolvido em água forma ácido carbônico, outro agente responsável pela decomposição das rochas. Esta leve acidez faz da água um solvente que auxilia na dissolução dos minerais presentes nas rochas. Outros materiais também aumentam a acidez da água como, por exemplo, os ácidos húmicos provenientes da decomposição do húmus do solo e os ácidos nítrico e nitroso, originados na decomposição de materiais orgânicos e por ações bacterianas em solos. A água, além de proporcionar a dissolução dos minerais solúveis da rocha, pode participar diretamente de reações, como na formação de hidratos. Como pode ser observado, o intemperismo químico é essencialmente controlado pela presença de água, seja como agente, como solvente ou como meio de transporte. Desse modo, sem água as reações químicas de decomposição e liberação dos minerais das rochas são pouco intensas, como ocorre em regiões áridas (KÄMPF et al., 2009). Outrossim, também é preciso salientar que os processos de decomposição não ocorrem somente na superfície, eles podem acontecer em qualquer profundidade, desde que haja a penetração de ar e água.

2.2.5 Solubilidade mineral

O nexos entre os produtos e processos de alteração dos minerais com o solo, depende de fatores como pH, reações de redox (no caso de minerais ferro magnesianos), soluções do solo e temperatura (HARLEY; GILKES 2000).

O pH tem uma importante influência na liberação dos cátions da estrutura cristalina da rocha para o sistema, sendo mais rápida em ambientes básicos e ácidos, e lenta em porções neutras (CASEY; BUNKER 1990).

Entretanto, ainda que a liberação dos elementos da rocha possa ser maior em pH ácidos ou básicos, a disponibilidade para as plantas pode ser menor. Ketterings et al. (2005) afirmam que elementos como N, P, K, S, Ca ficam disponíveis em pH neutro, enquanto elementos como alumínio, o qual é tóxico para a maioria das

plantas, se torna disponível em pH mais ácidos, resultando numa diminuição de produtividade.

Em minerais ricos em Fe(II) e Mn(II) as reações de oxiredução são fundamentais no processo de rompimento das estruturas (HERING; STUMM 1990). Além disso, a partir de rigorosa experimentação, White e Blum (1994), afirmam que além da composição da solução presente no solo, outro fator que aumenta a taxa de dissolução mineral é o aumento da temperatura ambiente.

Por outro lado, é consenso que quanto menor a granulometria do pó de rocha, mais rápida será a liberação dos nutrientes devido ao aumento exponencial da superfície de contato. Segundo Martins (2013), no estudo da rochagem é indicada a classificação da granulometria do pó de rocha em *filler*, pó, farelado e farelo fino. Vale salientar ainda que além da granulometria, a densidade dos defeitos cristalinos do mineral influencia amplamente no processo intempérico (HARLEY; GILKES 2000).

Também processos da rizosfera e outros tipos de atividades biológicas podem acelerar a dissolução pela liberação de íons H^+ e complexação de compostos orgânicos que reagem com a superfície mineral (HARLEY; GILKES 2000). Darrah (1993) explica que, embora exista uma ampla evidência nas mudanças físicas, químicas e biológicas da ação da rizosfera no solo, sua quantificação em relação à nutrição mineral é complexa.

Segundo Harley e Gilkes (2000), estudos que indicam a ineficiência do uso de pó de rocha desprezam que o desequilíbrio entre as soluções do solo e os minerais podem acelerar drasticamente os processos de liberação de nutrientes, principalmente em solos empobrecidos, onde as soluções não estão em equilíbrio com os minerais primários frescos.

2.2.6 Basaltos da Fronteira Oeste do RS

A área que aporta o material para este estudo, insere-se no domínio geológico da Bacia do Paraná e está assentada sobre a Formação Serra Geral. Esta unidade litoestratigráfica estende-se do sul até o centro leste do país, sendo constituída por um espesso pacote de rochas ígneas que cobre mais de 1,2 milhão de km^2 e cuja espessura atinge cerca de 1.500 m no centro da bacia. Sua origem está ligada a um vulcanismo de natureza básica (Figura 4), de idade Juro-

Cretácea, produzido quando a crosta terrestre foi submetida a uma acentuada distensão por ocasião do rompimento do megacontinente Gondwana.



Figura 4. Mapa destacando a cobertura basáltica no RS (adaptado de Pessoa et al., 2017).

Na região da Fronteira Oeste do RS, estas rochas estão representadas pela *fácies* Alegrete, constituída por um conjunto de efusões de composição andesítica a basáltica (dentre as quais os derrames Catalán e Cordillera), que englobam espessas brechas de topo cimentadas por calcita (Figuras 6 e 7), observáveis nas regiões de Quaraí, Rosário do Sul e Santana do Livramento (Figura 5).

Segundo Fischer (1960), esse tipo de brecha (vulcânica) caracteriza-se como uma rocha de origem ígnea composta predominantemente por fragmentos angulosos maiores do que 2 mm, colocados em matriz subordinada, de qualquer composição ou textura, ou até sem matriz. No contexto original, sua formação resultou de processos internos atuantes durante a movimentação da lava, tais como: autobrechamento por resfriamento, fluxo ou vesiculação. Quanto a matriz calcítica, sua gênese provavelmente tenha origem em manifestações hidrotermais de caráter tardimagmático, comuns neste tipo de ambiente.

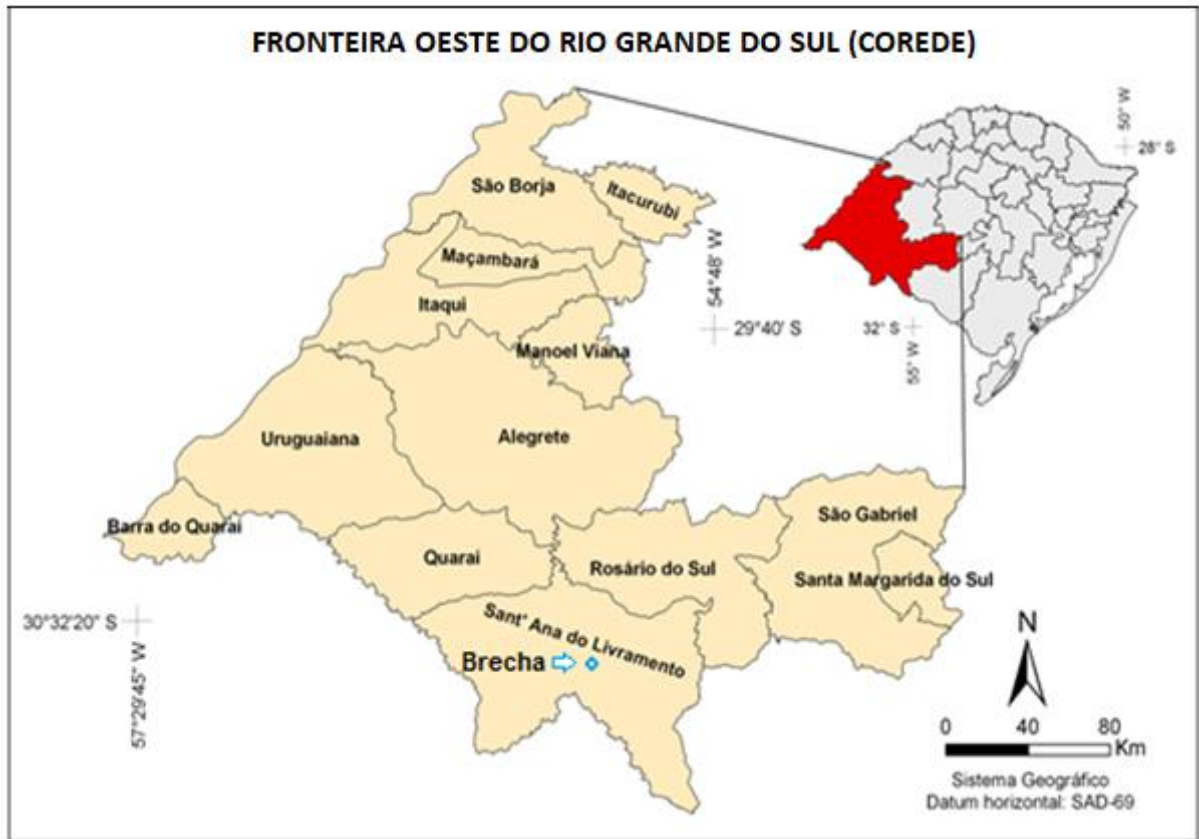


Figura 5. Mapa com a localização da brecha basáltica usada no estudo (adaptado de RS/FEE, 2009).

A maioria dessas litologias não apresenta restrição quanto aos elementos potencialmente tóxicos (EPT) e, não raras vezes, cumprem requisito para comercialização como remineralizadores de solos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), apresentando soma de bases ($K_2O+CaO+MgO$) entre 14 e 17% e sendo fontes de Ca e Mg. Estas brechas podem atingir vários metros de espessura e seu conteúdo de calcita é usualmente elevado, traduzindo-se em teores da ordem de 12 a 19% de CaO e de 3 a 6,4% de MgO, além de serem também portadoras de Cu e Zn, este último em quantidades superiores à média dos basaltos (BERGMANN et al., 2014).

Os clastos de basalto amigdalóide, que constituem a fábrica das brechas, são ricos em materiais devitrificados, o que favorece a sua reatividade em solos e assegura a presença de argilominerais (esmectitas) com elevada CTC. Embora as brechas não estejam disponíveis enquanto subprodutos ou descartes de mineração, estas apresentam uma notável continuidade lateral (dezenas de quilômetros), sendo eventualmente subflorantes em patamares de relevo que devem ser investigados enquanto áreas com potencial para utilização em rochagem, particularmente como insumo para recuperação de áreas degradadas (HOFF et al., 2016).



Figura 6. Fotografia de brecha de topo com matriz a calcita (derrame Cordillera), Santana do Livramento/RS (HOFF et al., 2016).



Figura 7. Fotografia de brecha de topo com matriz a calcita (derrame Cordillera), Quaraí/RS (BERGMANN et al., 2013).

3 Material e métodos

As atividades compreenderam trabalhos de campo e análises laboratoriais físicas, químicas e de difração de Raios X. As pesquisas foram desenvolvidas nos Laboratórios de Física e de Química do Solo da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas, UFPel - RS, no Laboratório de Difractometria de Raios X da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS – RS e na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) - CPACT, Pelotas - RS.

3.1 Área de estudo

3.1.1 Caracterização

A área de estudo está inserida no âmbito da Barragem Santa Bárbara (Pelotas/RS) (Figura 8), inaugurada em 1968. Apresenta um cenário similar ao de Ilha Solteira (MS), resultante de sua construção aproveitando a topografia da planície baixa fluvial do Arroio Santa Bárbara, com o material de empréstimo tendo sido retirado da planície alta adjacente.

Esta represa (Figura 9) possui duas finalidades preponderantes: disciplinar as descargas do manancial hídrico acima referido, principalmente por ocasião das grandes e intensas precipitações em sua bacia de contribuição, evitando danos às áreas que lhe ficam a jusante, bem como dar suporte ao abastecimento de água para a cidade de Pelotas (RS). A estrutura é composta de um maciço (corpo da barragem, constituído dos aterros compactados, filtros de transição, filtro zonados, enrocamentos, etc.), um vertedor e um canal de expurgo.

O empreendimento localiza-se a cerca 3 km do perímetro central do município, possuindo 352 ha inundados e 359 ha de área protegida, sendo que a profundidade média de sua bacia de acumulação situa-se na faixa de 3 a 4 metros.

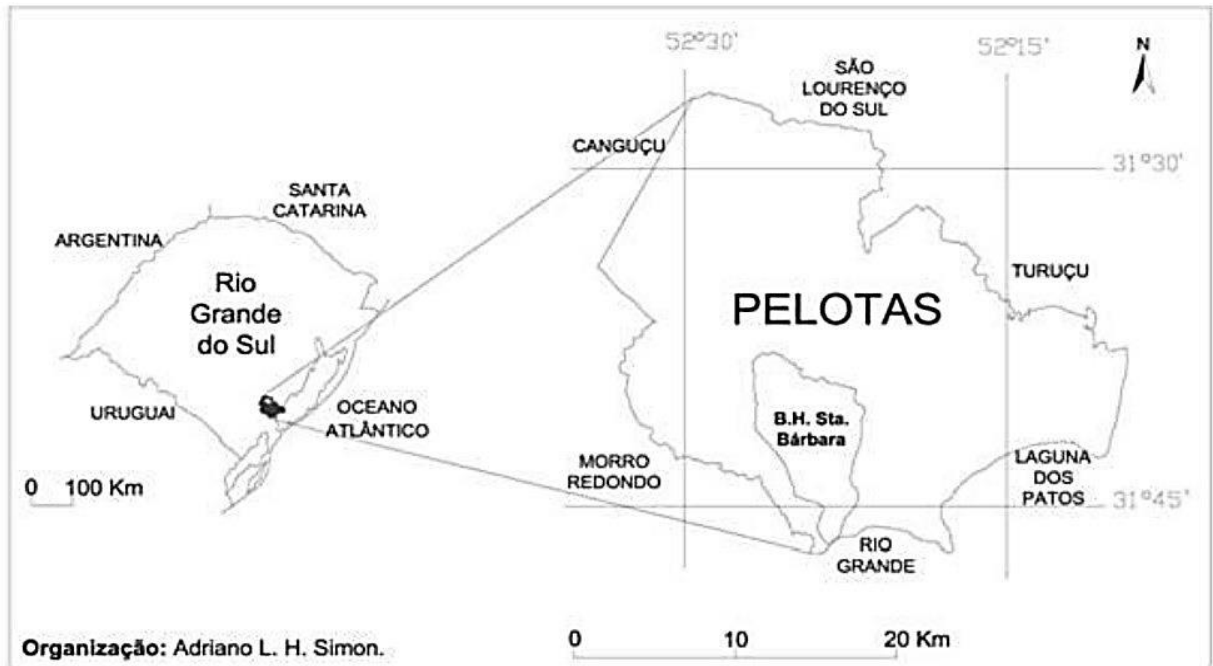


Figura 8. Mapa de localização da Barragem Santa Bárbara, Pelotas/RS (DISCONZI et al., 2016).

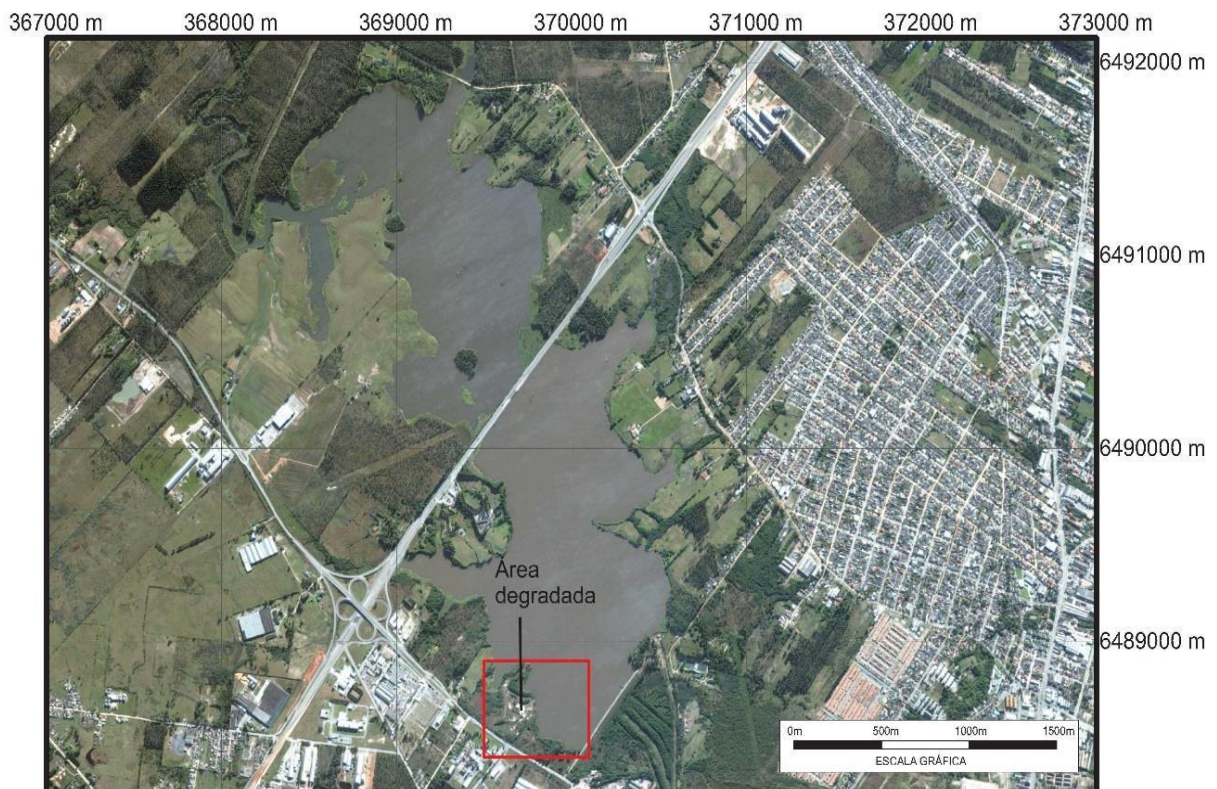


Figura 9. Imagem identificando a área degradada. Imagem: Google Earth™ (6/10/2016).

3.1.2 Geologia

Os sedimentos pertencentes à Planície Costeira constituem a porção emersa da Bacia de Pelotas e estão representados por clásticos terrígenos provenientes da dissecação das terras altas que, sob a ação dos processos costeiros, ventos, ondas,

correntes e variações do nível do mar, acumularam--se numa ampla variedade de ambientes deposicionais transicionais e marinhos (VILLWOCK; TOMAZELLI, 1995).

O local pesquisado integra esta província geológica e encontra-se assentado sobre a Formação Graxaim, cuja cronologia remonta a época pleistocênica, tendo sido modelada a partir da deposição de material carreado das áreas elevadas por torrentes de canal e/ou enxurradas. Esta dinâmica deu origem a leques aluviais nas áreas adjacentes ao Escudo Sul-Riograndense, os quais se interdigitam no espaço e se sobrepõem no tempo, produzindo uma variação constante e repetitiva, tanto vertical como horizontalmente. Podem ser identificadas duas *fácies* litológicas, uma de natureza conglomerática e outra de composição areno-síltica e/ou areno-argilosa (absoluta no perfil), sendo que a mineralogia encontrada é composta essencialmente por quartzo, feldspato e pelos argilominerais caulinita e montmorilonita (AYALA, 1980).

Em afloramentos artificiais como cortes em estradas, canais de irrigação e barragens, em pouco tempo observam-se feições erosionais de ravinamento devido ao caráter friável destes sedimentos. A cor das litologias varia de cinza a branca, com tons ferruginosos relativos ao ferro laterítico (Figura 10).



Figura 10. Fotografia de afloramento da Formação Graxaim. Foto: ARDUIN, Ricardo (2017).

3.1.3 Solo

O solo na área de empréstimo (degradada) foi classificado como Planossolo Háplico Eutrófico solódico, exibindo um pH de médio a alto e elevados teores de Na

no perfil, principalmente a partir do horizonte B, além de um caráter sódico no C, encontrado a partir de 60 cm de profundidade (MÜLLER, 2001).

Embora mais comuns em regiões áridas e semiáridas, solos solódicos e sódicos também podem se desenvolver em regiões úmidas, devido à interferência da água do mar na constituição das litologias existentes (Formação Graxaim), aliada a um manejo ambiental inadequado (desmatamento, decapeamento, etc).

Como característica marcante observa-se o baixo grau de flocculação do material fino, o que está associado a presença das chamadas “argilas dispersivas”, termo largamente utilizado no campo da geotecnia e que refere-se a argilas cuja dispersão é causada por uma alta percentagem de sódio trocável na superfície dos argilominerais.

A susceptibilidade ou potencial de dispersibilidade é a propriedade associada à capacidade de um solo argiloso entrar em suspensão em presença da água, mesmo sob gradientes hidráulicos muito baixos ou até na ausência de fluxo (SHERARD et al., 1976). Tal fenômeno resulta quando as forças de repulsão, devido às cargas superficiais dos argilominerais, tornam-se maiores que as forças de atração.

O fenômeno de dispersão depende essencialmente da composição mineralógica e química da argila e da presença de sais na água percolante. A própria natureza do argilomineral presente influencia a magnitude dos efeitos de dispersão nos solos, sendo esta influência diretamente proporcional à sua capacidade de troca catiônica (CTC), ou seja, argilominerais com maior CTC tendem a apresentar maior potencial de dispersibilidade. Assim, por exemplo, a presença de montmorilonita é mais crítica para a ocorrência do fenômeno do que a da illita ou caulinita.

Em relação ao fluido percolante, a razão entre a concentração dos íons de sódio presentes e o total de sais dissolvidos constitui o principal fator que influi no fenômeno da dispersão dos solos.

Se esta relação for suficientemente elevada haverá um acúmulo no quantitativo de sódio adsorvido nas partículas de argila, acompanhado pela formação de complexo de superfície altamente hidratado, de modo que as distâncias entre as mesmas tenderão a aumentar e conseqüentemente as forças de repulsão passarão a ser predominantes na estrutura do solo (MEURER et al., 2012).

Numa condição de fluxo subterrâneo, as partículas dispersas tendem a serem carregadas, ensejando a ocorrência de fenômenos hidráulicos de colapso estrutural da massa de solo, conhecidos como erosão interna (*piping*) por dispersão (CRUZ, 2008) (Figura 11).



Figura 11 Fotografia da feição produzida pela erosão interna do solo. Foto: ARDUIN, Ricardo (2017).

O condicionamento desse tipo de solo requer que o excesso de sódio trocável seja substituído pelo cálcio, sobretudo através da aplicação de corretivos químicos, de forma que o produto dessa reação seja removido para a solução do solo, para posterior lixiviação.

A fonte de cálcio mais comumente empregada é o gesso por apresentar baixo custo e solubilidade moderada, entretanto a utilização da cal também constitui uma alternativa para recuperação de solos com problemas de sodicidade, quando estes apresentam $\text{pH} < 7,5$ e não contêm carbonatos (BARROS, 2001).

De acordo com McKenzie et al. (1995), as vantagens da combinação de gesso e cal para correção desses solos são: a) garantir um imediato efeito sobre a concentração de eletrólitos e percentagem de sódio trocável (PST) (efeito do gesso); e b) manter uma concentração eletrolítica necessária por um longo período de tempo (efeito da cal).

Para potencializar resultados, práticas auxiliares simultâneas também podem ser utilizadas, tais como: drenagem, aração, aplicação de resíduos orgânicos, etc.

3.1.4 Aspectos ambientais

A área em foco está inserida na Área de Preservação Permanente (APP) da Barragem Santa Bárbara. Conforme a Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (Código

Florestal), considera-se APP em zonas rurais ou urbanas, as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento. Por outro lado, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através de sua Resolução 302/2002 estabelece que, em zona rural, constitui APP a área com largura mínima de cem metros, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do seu nível máximo normal.

Por sua vez, a Lei Municipal Nº 5.502, de 11 de setembro de 2008, ao instituir o Plano Diretor de Pelotas, estabeleceu diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial, sendo definidas Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) em face de suas características e interesse público, destacando-se aquela no âmbito do Arroio Santa Bárbara. Definiu ainda como Áreas Ambientalmente Degradadas (AAD) aquelas áreas públicas ou particulares, que já sofreram ou estejam em processo de degradação ambiental (Figura 12), seja pela ação antrópica ou natural, necessitando de programa específico de mitigação ou compensação estabelecido pelo Poder Público, com vistas a estabelecer a recuperação de seus danos ambientais.



Figura 12 Imagem panorâmica da área degradada. Imagem: Google Earth™ (6/10/2016).

Neste contexto o Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP), órgão responsável pela gestão do empreendimento, vem sendo cobrado judicialmente para promover ações no sentido de recuperar a extensão degradada,

cuja origem decorre de sua utilização como área de empréstimo para construção do maciço da barragem. O passivo ambiental gerado pelo desmatamento, erosão e pela extração irregular de areia destaca-se na paisagem, sendo caracterizado por uma extensa área de solo exposto, junto à margem esquerda do reservatório (Figura 13).



Figura 13. Fotografia do cenário encontrado na área de empréstimo. Foto: ARDUIN, Ricardo (2017).

3.2 Material

3.2.1 Regolito

Foram coletadas amostras de uma área que serviu de origem para o fornecimento de material de empréstimo relativo à construção da Barragem Santa Bárbara e que, posteriormente, desenvolveu intenso processo retroerosivo (Figuras 11 e 13). O material (Figura 14a) foi colhido através de uma amostragem composta do solo superficial (0-20 cm), sendo caracterizado física e quimicamente (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização física e química do material coletado.

pH	Ca	Mg	K	Na	S	Al	H	CTC	Saturação		Argila
									Bases	Na	
									-----% -----		g kg ⁻¹
7,20	2,56	2,19	0,06	0,80	5,61	0,00	0,38	5,99	93,66	13,36	90,7

3.2.2 Pó de rocha

O material rochoso disponibilizado (Figura 14b) está representado por uma litologia de natureza basáltica cominuída (< 0,3 mm), rica em calcita (carbonato de

cálcio), coletada a partir de afloramento existente na região da Fronteira Oeste do RS (Santana do Livramento - 30° 42' 47"S, 55° 31' 09"W) (Figura 11), no âmbito do projeto Agrominerais da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, conduzido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em parceria com a Embrapa.

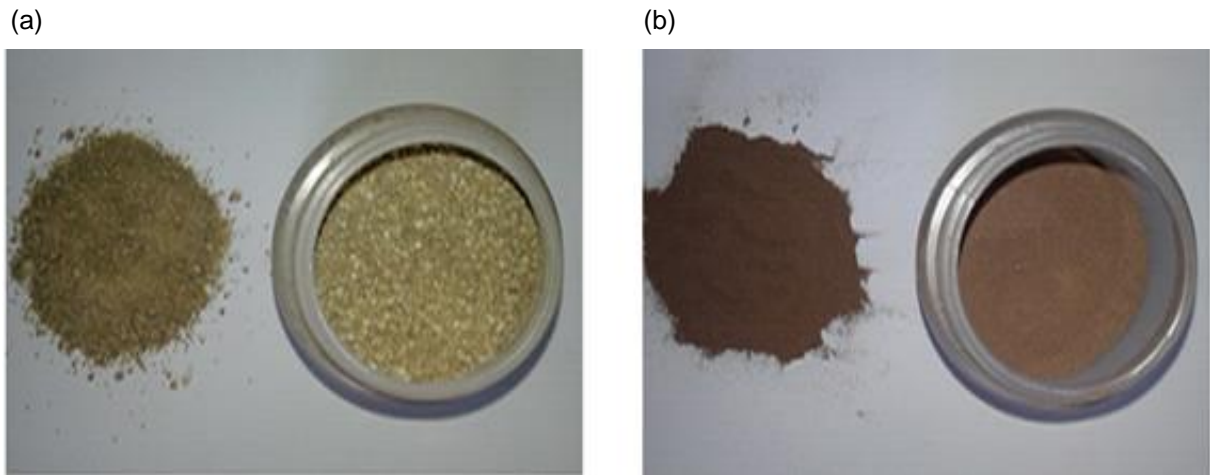


Figura 14. Fotografias de amostras do solo da área degradada (a) e do pó de rocha em estudo (b). Fotos: BICCA, Juliana (2017).

3.2.3 Condicionadores químicos

Os condicionadores químicos empregados foram o gesso agrícola e a cal hidratada, ambos na modalidade para análise (PA), adquiridos no comércio local e disponíveis para uso nos laboratórios da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

3.3 Métodos

3.3.1 Procedimentos analíticos

3.3.1.1 Padronização

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2,00 mm. As análises laboratoriais físicas e químicas da fração terra fina (menor que 2,00 mm - TFSA), tanto do solo incubado quanto do não incubado, foram realizadas de acordo com a metodologia do Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 2011), atendendo recomendação preconizada pelos Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos (EMBRAPA, 1995).

3.3.1.2 Análises físicas

A composição granulométrica foi determinada pelo método da pipeta, descrito por Gee e Bauder (1986), utilizando-se um agitador mecânico do tipo vai e vem de baixa rotação durante 16 h.

A determinação da densidade das partículas foi feita através do método do picnômetro (EMBRAPA, 2011).

3.3.1.3 Análises químicas

As análises químicas seguiram os procedimentos adotados pela Embrapa (2011). A determinação do pH em H₂O foi feita potenciométricamente na suspensão solo-líquido na proporção 1:1 em peso.

Potássio e sódio trocáveis foram extraídos com solução HCl+H₂SO₄, sendo determinados por espectrofotometria de chama. Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução de KCl, sendo que Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al por titulação com NaOH.

A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de Ca tamponado a pH 7 e medida por titulação com NaOH.

3.3.1.4 Difração de raios-X

A análise de difração de raios-X foi realizada visando à identificação das principais fases cristalinas que compõem as partículas das amostras de solo. Esta análise foi realizada no Laboratório de Difractometria da Universidade Federal do Rio Grande do Sul utilizando um difratômetro modelo Bruker D2 Phaser, equipado com um banco de dados de padrões de difração para tratamento dos resultados. A interpretação foi feita com base no espaçamento interplanar, por meio das chaves de Brindley e Brown (1980).

3.3.1.5 Análise de rocha total

A litoquímica para óxidos maiores e elementos traços do material basáltico foi realizada pelo ACME Labs, Canadá, com emprego de análises por espectrometria de massas (ICP/ICP-MS), permitindo a determinação dos macroelementos (Al, Ca, Fe, P, Mg, Na, K) e dos microelementos (B, Co, Cu, S, Mn, Mo, Ni, Zn), além dos teores de elementos potencialmente tóxicos (EPT). Estes dados também integram o projeto Agrominerais da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, executado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), com a participação da Embrapa.

3.3.2 Procedimentos experimentais

3.3.2.1 Incubação

O ensaio de incubação (Figura 15) teve como objetivo a determinação da reatividade e da velocidade de liberação dos elementos que constituem os materiais adicionados ao solo. Os tratamentos utilizados foram os seguintes: (a) solo - testemunha, (b) solo + pó de rocha 0,25%, 0,50% e 0,75%, (c) solo + gesso 0,25%, 0,50% e 0,75%, (d) solo + cal 0,25%, 0,50% e 0,75%, e (e) solo + gesso 0,75% + pó de rocha 0,25%, 0,50% e 0,75%. Esses percentuais (0,25%, 0,50% e 0,75%) correspondem a doses de 7, 14 e 21 Mg por hectare, considerando a incorporação do material em uma camada de 20 cm de solo com densidade de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. O solo (400 g base seca + tratamento) foi acondicionado em recipientes plásticos (500 mL), aos quais se acrescentou água destilada até atingir 80% de sua capacidade de retenção, sendo assim mantido por todo o período do experimento.



Figura 15 Fotografia do experimento de incubação. Foto: ARDUIN, Ricardo, (2017).

Este procedimento foi executado ao longo de um semestre, com processamento em quatro repetições, englobando a coleta e análise de substratos parciais (retirada de 70 g de solo) aos 45, 90 e 180 dias, respectivamente. O solo incubado foi seco ao ar e analisado quanto ao pH e teores de Ca, Mg, Na, K e Al

trocáveis e acidez potencial (H+Al), conforme (EMBRAPA, 2011). Para a estimativa da argila dispersa utilizou-se o procedimento utilizado para determinação do teor de argila pelo método da pipeta, descrito por Gee e Bauder (1986), utilizando-se um agitador mecânico do tipo vai e vem de baixa rotação durante 16 h. Em função da concentração de sais, o sólido resultante da evaporação em estufa a 110°C corresponde ao teor de sólidos totais (sais + argila dispersa). A argila dispersa, então, foi estimada através da diferença entre a quantidade de sólidos totais e a concentração de sais estimada pela condutividade elétrica (CE) (Apêndice A).

3.3.2.2 Lixiviação

O experimento em colunas de lixiviação visou simular o efeito que a percolação da água da chuva pode promover na solubilização e liberação dos elementos químicos do solo e dos materiais adicionados, bem como a sua interação. No presente estudo, foram utilizados os mesmos tratamentos da incubação, em três repetições. Foram confeccionadas 39 colunas de PVC (Figura 17), de acordo com o esquema apresentado na figura 16.

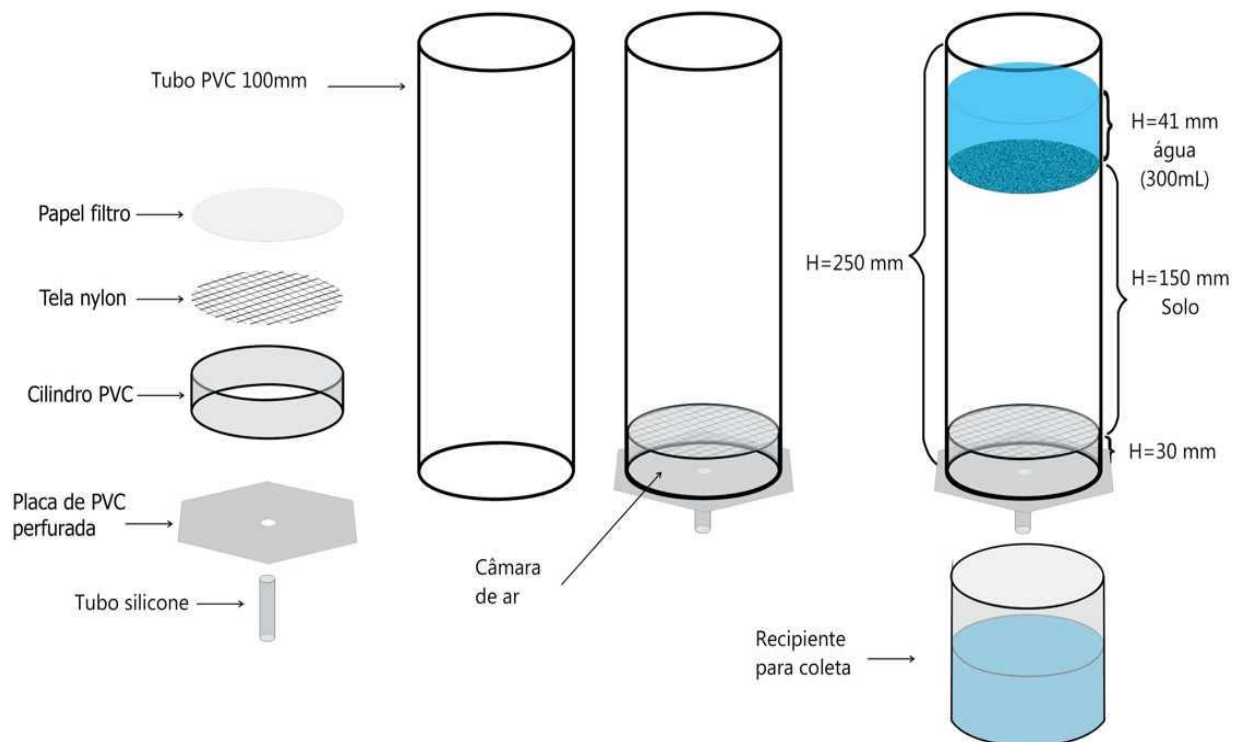


Figura 16. Ilustração referente a confecção das colunas de lixiviação. Autor: PINTO, L.F.S. (2017).

Essas colunas foram preenchidas com aproximadamente 1100 cm³ de solo (em média 1500 g) e de mistura de solo com pó de rocha, pó de rocha + gesso, gesso e cal hidratada, conforme os tratamentos propostos (Figura 18). Em intervalos de 7 dias, ao longo de 20 semanas, foram adicionados 300 mL de água destilada nas colunas. Em todas as águas coletadas (lixiviados) foram determinados a condutividade elétrica e o pH, sendo que em onze lixiviados selecionados (1^a a 5^a, 7^a, 9^a, 11^a, 14^a, 17^a e 20^a lixiviações) foram determinados os principais cátions (Ca, Mg, K e Na) e ânions (sulfato, carbonato e bicarbonato), bem como a quantidade de sólidos totais (por evaporação em estufa a 110 °C). Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, Na e K por espectrofotometria de chama, o sulfato pela determinação do teor de S por turbidimetria com BaCl₂-gelatina, sem fazer digestão da solução (modificado de TEDESCO et al., 1985) e o carbonato e o bicarbonato por titulação com H₂SO₄ 0,0025 N, utilizando como indicadores fenolftaleína (carbonato) e metilorange (bicarbonato), conforme Tedesco et al., 1985. A argila dispersa foi estimada através da diferença entre a quantidade de sólidos totais e a concentração de sais, essa calculada pela soma dos cátions e ânions determinada na análise química (Apêndice B).



Figura 17. Fotografia das colunas de lixiviação. Foto: ARDUIN, Ricardo (2017).

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
Colunas 1,2,3	Colunas 4,5,6	Colunas 7,8,9	Colunas 10,11,12	Colunas 13,14,15	Colunas 16,17,18	Colunas 19,20,21	Colunas 22,23,24	Colunas 25,26,27	Colunas 28,29,30	Colunas 31,32,33	Colunas 34,35,36	Colunas 37,38,39
PÓ (0,25%)	PÓ (0,50%)	PÓ (0,75%)	PÓ (0,25%) + GESSO (0,75%)	PÓ (0,50%) + GESSO (0,75%)	PÓ (0,75%) + GESSO (0,75%)	GESSO (0,25%)	GESSO (0,50%)	GESSO (0,75%)	CAL (0,25%)	CAL (0,50%)	CAL (0,75%)	TESTE- MUNHA

Figura 18. Quadro demonstrativo do esquema de tratamentos (lixiviação), com os respectivos tipos e quantidades de insumos aplicados (idem a incubação).



Figura 19. Fotografia do experimento em colunas de lixiviação. Foto: ARDUIN, Ricardo (2017).

4 Resultados e discussão

4.1 Difratometria

Na análise do pó de rocha por difratometria de raios X (Figura 20), foram identificados os picos maiores referentes a calcita e esmectita, seguido de outros picos relativos a piroxênios e plagioclásios, mineralogia condizente com uma brecha basáltica preenchida com matriz calcítica, segundo descrito no item 2.2.6. A presença de esmectitas pode ser explicada pela argilização da matriz vítrea do basalto, conforme observado por Hoff et al. (2016).

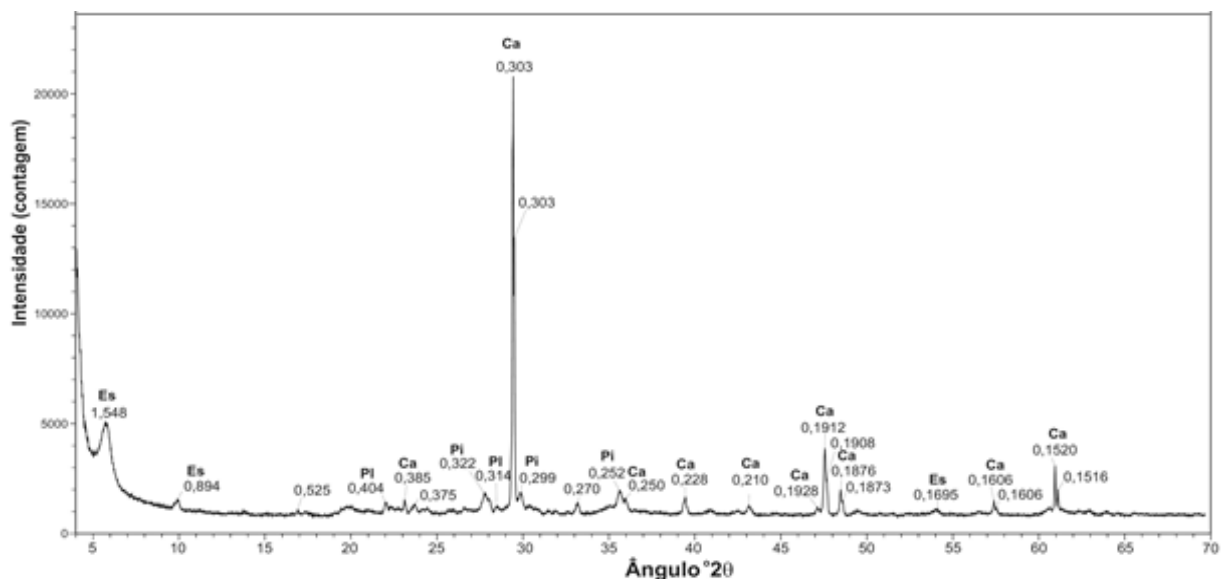


Figura 20. Difratograma de raios X do pó de rocha (brecha de basalto). (Ca = calcita, Es = esmectita, Pl = plagioclásio e Pi = piroxênio).

4.2 Litoquímica

Na análise do pó de rocha por espectrometria de massas (Figura 21), foram detectados percentuais para óxidos maiores compatíveis com os valores requeridos para o uso em condicionamento/estabilização de solos.

SiO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	MnO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
36,58	0,99	16,43	6,45	0,14	1,10	0,28	8,97	7,98

Figura 21. Quadro com o resultado (parcial) da análise química total do pó de rocha (%).

4.3 Teste de incubação

As tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados de pH, cátions trocáveis, saturação por Na e argila dispersa do solo tratado com pó de rocha, pó de rocha + gesso, gesso e cal aos 45, 90 e 180 dias de incubação, respectivamente.

O solo incubado (Tabelas 3 a 5) apresentou pH em água superior ao do solo não incubado (0,9 a 1,4 unidades a mais - Tabela 2), com variações, sendo maior aos 90 e 180 dias de incubação (Tabelas 4 e 5) do que aos 45 dias (Tabela 3). Tal resultado indica que, no solo incubado, pode ter ocorrido reações que, em última análise, levaram ao consumo de íons H^+ e/ou produção de íons OH^- com o tempo de incubação. A reação (1) (FAO, 1988) mostra a inativação do íon H^+ hidrolisado no lugar do Na^+ no complexo trocável, resultando no aumento da concentração de íons OH^- na solução e conseqüente aumento do pH. O Na^+ , assim como o K^+ , por ser mais fracamente adsorvido, tende a ser mais facilmente trocado pelo H^+ do que os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , produzindo variações de pH mais elevadas (FAO, 1988). Isso pode significar que o tempo de espera utilizado para determinação do pH em água (30 minutos) na TFSA não seja suficiente para atingir o equilíbrio do sistema ácido-base nesse tipo de solo.



O pH, em relação aos tratamentos, levando em conta as doses, apresentou a seguinte tendência: cal > pó de rocha > solo testemunha > pó de rocha + gesso > gesso (Tabelas 3 a 5). O pH relativamente alto do solo testemunha pode ser explicado pelos 100% de saturação por bases aliado ao relativamente alto percentual de Na no complexo trocável (14-18%, Tabelas 3 a 5), sendo que esse gera uma reação alcalina (FAO, 1988; BUI, 2017), conforme mostrado na reação (1). A tendência do pH gerado pela adição dos materiais dos tratamentos é explicada pela natureza química desses, cal (base forte) – pó de rocha (carbonato de cálcio – sal básico) – gesso (sal neutro).

Os tratamentos com pó de rocha exibiram, em média, um pH superior ao do solo testemunha incubado ao longo do processo, sendo proporcionalmente maior, conforme a dose, aos 45 dias (Tabela 3) e aos 180 dias (Tabela 5), mas não aos 90 dias (Tabela 4), com tendência de elevação ao final do experimento.

Tabela 3. Valores de pH, cátions trocáveis, saturação por Na e argila dispersa aos 45 dias de incubação (média de 4 repetições).

Material	Dose	pH	Ca	Mg	K	Na	Soma de Bases	H+Al	CTC	Saturação por Na	Argila dispersa
										%	g kg ⁻¹
----- cmolc kg ⁻¹ -----											
Pó de rocha	0,0	8,11Ac	2,91Ab	2,26Aa	0,12Aa	1,16Aa	6,45Ab	0,00	6,45	18,04Aa	101,3
	0,25	8,17Bbc	3,49Cab	2,25ABa	0,10Aa	1,15Aa	7,00Dab	0,00	7,00	16,48Ab	108,9
	0,50	8,34Bb	3,67Dab	2,03Ba	0,11Aa	1,11Aa	6,92Dab	0,00	6,92	15,99Ab	106,6
	0,75	8,64Ba	4,33Da	2,17Ba	0,10Ba	1,08Aa	7,67Da	0,00	7,67	14,06Ac	101,3
Pó de rocha + Gesso 0,75%	0,0	8,11Aa	2,91Ac	2,26Ab	0,12Aa	1,16Aa	6,45Ac	0,00	6,45	18,04Aa	101,3
	0,25	7,58Cb	15,14Ab	2,55Aab	0,13Aa	0,80Bb	18,61Ab	0,00	18,61	4,29Cb	-0,65
	0,50	7,36Cbc	16,57Ab	2,22Bb	0,09Aa	0,76Bb	19,64Ab	0,00	19,64	3,88Bb	-0,37
	0,75	7,46Cc	17,63Aa	2,69Aa	0,10Ba	0,77Bb	21,19Aa	0,00	21,19	3,65Cb	-0,96
Gesso	0,0	8,11Aa	2,91Ad	2,26Ab	0,12Aab	1,16Aa	6,45Ad	0,00	6,45	18,04Aa	101,3
	0,25	6,86Db	7,33Bc	2,22Bb	0,10Aab	0,71BCb	10,37Bc	0,00	10,37	6,85Bb	96,8
	0,50	6,65Db	12,56Bb	2,80Aa	0,10Ab	0,78Bb	16,24Bb	0,00	16,24	4,79Bc	19,7
	0,75	6,41Dc	16,27Ba	2,83Aa	0,15Aa	0,72Bb	19,98Ba	0,00	19,98	3,62Cc	-3,1
Cal	0,0	8,11Ac	2,91Ac	2,26Aa	0,12Aa	1,16Aa	6,45Ac	0,00	6,45	18,04Aa	101,3
	0,25	9,04Ab	7,10Bb	0,72Cb	0,11Aa	0,64Cb	8,57Cb	0,00	8,57	7,49Bb	97,3
	0,50	9,32Aa	8,90Ca	0,71Cb	0,12Aa	0,52Cc	10,25Ca	0,00	10,25	5,07Bc	78,6
	0,75	9,27Aa	9,32Ca	0,64Cb	0,11ABa	0,58Cbc	10,65Ca	0,00	10,65	5,46Bc	76,3

Letras maiúsculas iguais na coluna, para uma mesma dose, indicam diferença não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Letras minúsculas iguais na coluna, para um mesmo material, indicam diferença não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4. Valores de pH, cátions trocáveis, saturação por Na e argila dispersa aos 90 dias de incubação (média de 4 repetições).

Material	Dose	pH	----- cmolc kg ⁻¹ -----					Soma de Bases	H+Al	CTC	Saturação por Na	Argila dispersa
			Ca	Mg	K	Na	%				g kg ⁻¹	
Pó de rocha	0,0	8,58Aa	2,95Ab	2,74Aa	0,09Aa	0,96Aab	6,74Ab	0,00	6,95	14,25Aa	134,8	
	0,25	8,59Aa	3,69Cab	2,50Aa	0,09ABa	0,87Bb	7,14Cab	0,00	7,43	12,12Ac	114,3	
	0,50	8,49Ba	4,06Dab	2,18Bb	0,09Aa	1,00Bab	7,32Dab	0,00	7,43	13,66Aab	130,4	
	0,75	8,54Ba	4,87Ca	2,55Aa	0,10Aa	1,10ABa	8,62Ba	0,00	8,59	12,76Abc	117,7	
Pó de rocha + Gesso 0,75%	0,0	8,58Aa	2,95Ac	2,74Aa	0,09Aab	0,96Ab	6,74Ac	0,00	6,95	14,25Aa	14,1	
	0,25	7,46Bb	13,00Ab	2,54Ab	0,10Aa	1,06Aab	16,70Ab	0,00	16,43	6,36Bb	-4,3	
	0,50	7,34Cb	16,44Aa	2,94Aab	0,09Aab	1,18Aa	20,66Aa	0,00	20,24	5,73Db	-4,1	
	0,75	7,30Cb	15,17Aa	2,51Ab	0,08ABb	1,21Aa	18,97Aa	0,00	18,53	6,37Cb	114,2	
Gesso	0,0	8,58Aa	2,95Ad	2,74Aa	0,09Aa	0,96Ab	6,74Ad	0,00	6,95	14,25Aa	16,7	
	0,25	7,33Bb	5,61Bc	2,46Aa	0,07Ba	1,14Aa	9,28Bc	0,00	8,85	12,29Ab	4,3	
	0,50	6,92Dc	10,29Bb	2,75Aa	0,08Aa	1,06ABab	14,18Bb	0,00	13,90	7,45Cc	91,2	
	0,75	6,91Dc	13,88Aa	2,58Aa	0,08Ba	1,03Bab	17,57Aa	0,00	17,26	5,87Cd	107,7	
Cal	0,0	8,58Ac	2,95Ac	2,74Aa	0,09Aa	0,96Aa	6,74Ac	0,00	6,95	14,25Aa	89,1	
	0,25	8,68Abc	6,01Bb	0,83Bb	0,08Ba	1,01ABa	7,92BCbc	0,00	7,56	12,73Ab	134,8	
	0,50	8,98Aab	7,77Ca	0,61Cb	0,09Aa	0,99Ba	9,46Cab	0,00	8,99	10,46Bc	114,3	
	0,75	9,11Aa	8,09Ba	0,60Bb	0,09ABa	1,01Ba	9,79Ba	0,00	9,79	10,31Bc	130,4	

Letras maiúsculas iguais na coluna, para uma mesma dose, indicam diferença não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Letras minúsculas iguais na coluna, para um mesmo material, indicam diferença não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 5. Valores de pH, cátions trocáveis, saturação por Na e argila dispersa aos 180 dias de incubação (média de 4 repetições).

Material	Dose	pH	Ca	Mg	K	Na	Soma de Bases	H+Al	CTC	Saturação	Argila
										por Na	dispersa
		----- cmolc kg ⁻¹ -----								%	g kg ⁻¹
Pó de rocha	0,0	8,49Ab	2,91Ab	2,65Aa	0,09Aa	1,02Aa	6,67Aa	0,00	6,67	15,37Aa	119,3
	0,25	8,63Ab	3,49Cab	1,93Ab	0,09Aa	0,92Aa	6,43Da	0,00	6,43	14,27Aab	100,8
	0,50	8,89Aa	3,67Dab	2,19Ab	0,10Aa	0,92Aa	6,88Da	0,00	6,88	13,31Abc	102,4
	0,75	8,94Aa	4,33Da	2,17Ab	0,09Aa	0,94Aa	7,53Ca	0,00	7,53	12,49Ac	108,5
Pó de rocha + Gesso 0,75%	0,0	8,49Aa	2,91Ac	2,65Aa	0,09Aa	1,02Aa	6,67Ac	0,00	6,67	15,37Aa	13,4
	0,25	7,40Bb	16,29Ab	1,90Ab	0,09Aa	0,72Bb	18,99Ab	0,00	18,99	3,78Db	-5,3
	0,50	7,19Bb	16,57Ab	2,02Ab	0,10Aa	0,77Bb	19,45Aab	0,00	19,45	3,93Cb	-8,5
	0,75	7,22Bb	17,63Aa	2,00Ab	0,08Aa	0,75Cb	20,46Aa	0,00	20,46	3,65Cb	97,8
Gesso	0,0	8,49Aa	2,91Ad	2,65Aa	0,09Aa	1,02Aa	6,67Ad	0,00	6,67	15,37Aa	60,6
	0,25	7,14Bb	7,33Bc	2,10Ab	0,08Aa	0,79Bb	10,30Bc	0,00	10,30	7,65Cb	5,7
	0,50	7,08Bb	12,56b	2,18Ab	0,09Aa	0,75Bb	15,58Bb	0,00	15,58	4,84Cc	107,8
	0,75	6,91Cb	16,27Ba	2,28Ab	0,09Aa	0,80BCb	19,44Aa	0,00	19,44	4,11Cc	93,6
Cal	0,0	8,49Ab	2,91Ac	2,65Aa	0,09Aa	1,02Aa	6,67Ac	0,00	6,67	15,37Aa	84,4
	0,25	8,62Ab	7,10Bb	0,89Bb	0,09Aa	0,92Aab	8,99Cb	0,00	8,99	10,26Bb	119,3
	0,50	8,99Aa	8,90Ca	0,56Bbc	0,09Aa	0,89Ab	10,45Ca	0,00	10,45	8,49Bc	100,8
	0,75	9,05Aa	9,32Ca	0,49Bc	0,09Aa	0,89ABb	10,79Ba	0,00	10,79	8,24Bc	102,4

Letras maiúsculas iguais na coluna, para uma mesma dose, indicam diferença não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.
 Letras minúsculas iguais na coluna, para um mesmo material, indicam diferença não significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Essa tendência pode estar indicando que o carbonato de cálcio (calcita) do pó de rocha seguiu reagindo ao longo da incubação, talvez ainda sem atingir o equilíbrio.

O comportamento do pH com as doses do gesso e da cal foram inversos. Com o aumento da dose a cal apresentou uma elevação do pH, atingindo valores em torno de 9, com leve diminuição de 0,2-0,3 unidades dos 45 dias para os 180 dias. No tratamento somente com gesso o pH diminuiu com a dose e aumentou dos 45 dias para os 90 dias, tendendo a estabilizar dos 90 para os 180 dias, com valores em torno da neutralidade (entre 6,9-7,1, Tabela 5). Com a mistura de pó de rocha e gesso, o comportamento de diminuição do pH com o tempo de incubação foi semelhante ao tratamento somente com gesso, mas com pouca diferença entre a dose de 0,50% e de 0,75% de pó de rocha, com os pHs atingindo valores 0,2-0,4 unidades acima da neutralidade. Esses dados indicam que com a cal (hidróxido forte) ocorreu um efeito de somatório com o comportamento alcalino do solo enquanto que o gesso (sal neutro) diminui a reação alcalina do solo.

Como esperado, sendo os compostos químicos adicionados portadores de cálcio, os tratamentos promoveram uma elevação no teor de Ca das amostras incubadas, proporcionais às doses aplicadas, na seguinte ordem: pó de rocha + gesso > gesso > cal > pó de rocha (Tabelas 3 a 5). Em relação ao tempo de incubação (Tabela 6), observa-se um aumento no teor de Ca trocável com o tempo de incubação no solo testemunha, um aumento seguido de diminuição com o pó de rocha e uma diminuição com gesso, gesso + pó de rocha e cal. Uma explicação para a elevação dos teores de Ca, especialmente nos materiais mais solúveis (gesso e cal), sem uma correspondente diminuição dos outros cátions da troca, reside na possibilidade de que parte do Ca "extraído" com KCl não tenha vindo propriamente do complexo trocável e sim do Ca liberado diretamente para a solução do solo pela dissolução dos materiais. Considerando que a incubação do solo realizada constitui um sistema fechado, a diminuição do Ca pode ter se dado em função da reprecipitação do Ca em função da modificação do pH e da retirada do solo para as análises parciais (70 g).

O Mg trocável mostrou diferenças em relação à testemunha com os tratamentos e com as doses, principalmente com a cal, onde diminuiu substancialmente (Tabelas 3 a 5). A figura 22 mostra que para os tratamentos com cal e gesso (incluindo o gesso + pó de rocha) existe uma forte correlação negativa

com o pH ($r^2 = 0,8792$). Se incluirmos o pó de rocha e o solo testemunha, porém, a correlação geral diminui bastante ($r^2 = 0,5393$). Levando em conta o fato de que a incubação mantém um sistema fechado, uma hipótese para explicar tal comportamento pode ser o deslocamento do complexo trocável do Mg pelo Ca para a solução e nesta a precipitação do Mg em um composto insolúvel com o aumento do pH. Para explorar melhor essa questão uma ideia seria avaliar o sistema do ponto de vista termodinâmico em diagramas de estabilidade mineral.

Tabela 6. Valores de Ca trocável ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) ao longo do teste de incubação.

Tratamento	45 dias	90 dias	180 dias
Solo	2,91	2,95	3,20
Pó Rocha 0,25%	3,49	3,69	3,26
Pó Rocha 0,50%	3,67	4,06	3,86
Pó Rocha 0,75%	4,33	4,87	4,56
Pó Rocha 0,25% + Gesso 0,75%	15,14	13,00	13,11
Pó Rocha 0,50% + Gesso 0,75%	16,57	16,44	13,06
Pó Rocha 0,75% + Gesso 0,75%	17,63	15,17	14,16
Gesso 0,25%	7,33	5,61	5,66
Gesso 0,50%	12,56	10,29	8,72
Gesso 0,75%	16,27	13,88	12,54
Cal 0,25%	7,10	6,01	6,05
Cal 0,50%	8,90	7,77	7,15
Cal 0,75%	9,32	8,09	8,00

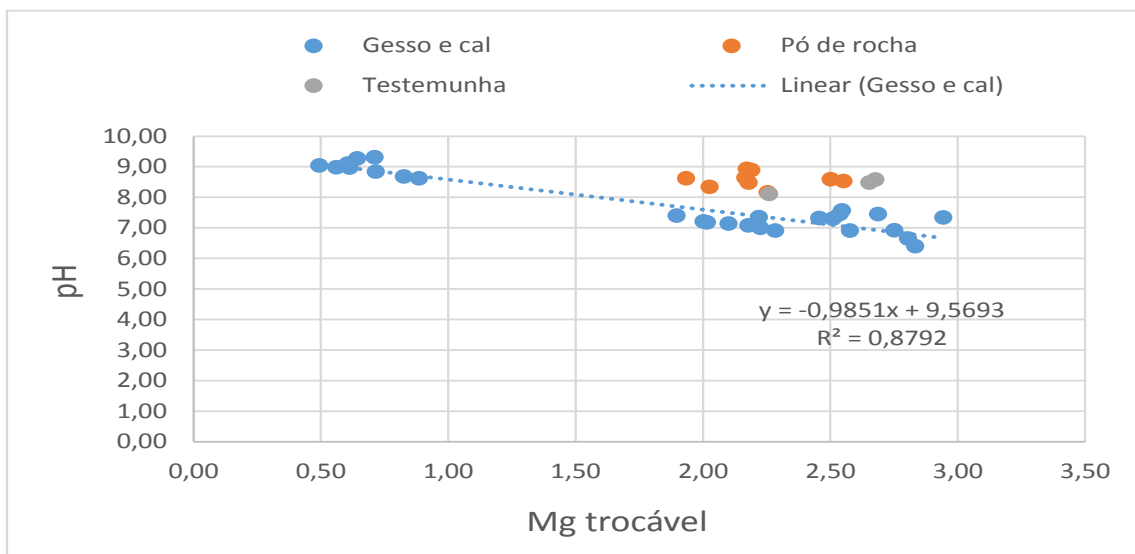


Figura 22. Gráfico da relação entre o Mg trocável e o pH no solo incubado testemunha e tratado com pó de rocha, gesso e cal.

Os valores de K mantiveram-se estáveis (baixos) no decorrer do estudo, sem diferenças entre os tratamentos (Tabelas 3 a 5). Já no caso do Na observou-se diferenças entre os tratamentos e variações consideráveis ao longo do tempo de incubação (Tabela 7), sobretudo no caso da cal. Aos 45 dias de incubação os teores de Na trocável foram: solo testemunha e pó de rocha > gesso (61 a 69% da testemunha) > cal (45 a 55% da testemunha). Aos 90 dias o sódio nos tratamentos com o gesso e com a cal subiu, especialmente na cal, aproximando-se dos valores da testemunha. Aos 180 dias o Na trocável voltou a baixar no gesso (72 a 80% da testemunha) e na cal (89 a 92% da testemunha), mostrando comportamento inverso em relação aos 45 dias. Tal variação de dados do Na podem ser o resultado do deslocamento deste na troca pelo Ca, de forma instável ao longo da incubação, com possível interferência por fenômenos de precipitação/dissolução, também de forma instável. A observação feita em relação ao Mg (análise em diagramas de estabilidade), também serviria neste caso.

Tabela 7. Valores de Na trocável e % deste em relação à testemunha ao longo do teste de incubação.

Tratamento	Na trocável (cmolc kg-1)			% relação à testemunha		
	45 dias	90 dias	180 dias	45 dias	90 dias	180 dias
Solo	1,16	0,96	1,00	100,00	100,00	100,00
Pó Rocha 0,25%	1,15	0,87	0,92	99,18	90,28	91,89
Pó Rocha 0,50%	1,11	1,00	0,92	95,16	104,27	91,68
Pó Rocha 0,75%	1,08	1,10	0,97	92,75	114,64	96,80
Pó Rocha 0,25% + Gesso 0,75%	0,80	1,06	0,72	68,63	110,74	71,80
Pó Rocha 0,50% + Gesso 0,75%	0,76	1,18	0,77	65,58	123,46	76,68
Pó Rocha 0,75% + Gesso 0,75%	0,77	1,21	0,75	66,48	125,91	74,65
Gesso 0,25%	0,71	1,14	0,79	61,11	118,89	78,80
Gesso 0,50%	0,78	1,06	0,75	66,96	110,10	75,40
Gesso 0,75%	0,72	1,03	0,80	62,28	107,56	80,00
Cal 0,25%	0,64	1,01	0,92	55,22	105,18	91,68
Cal 0,50%	0,52	0,99	0,89	44,68	103,15	89,11
Cal 0,75%	0,58	1,01	0,89	50,04	105,22	89,00

A combinação da variação dos teores de Ca e Mg com os de Na (Tabelas 3 a 5) levaram a uma variação na saturação por Na (Tabela 8). Essa se mostrou mais

elevada no solo testemunha e nos tratamentos com pó de rocha em relação aos tratamentos com gesso, gesso + pó de rocha e cal, com a diferença diminuindo aos 90 e 180 dias de incubação. Em relação às doses, a saturação por Na diminuiu com a dose nos tratamentos com gesso e em menor proporção com a cal. Levando em conta os critérios de classificação (solódico - entre 6 e 15% e sódico - > 15%), a testemunha apresentou-se como sódico aos 45 dias e solódico, muito próximo do sódico, aos 90 e 180 dias. O tratamento com pó de rocha mostrou-se semelhante à testemunha. O pó de rocha + gesso apresentou-se em níveis abaixo do solódico aos 45 dias e aos 180 dias e no limite para o solódico aos 90 dias. Já no caso do gesso houve diferenças em relação às doses: solódico com 0,25% e com 0,50% (com exceção de 0,50% aos 45 dias) e abaixo do solódico com 0,75% (apesar de próximo do limite aos 90 e 180 dias). A cal apresentou-se como solódico na maior parte das vezes, à exceção das doses 0,50% e 0,75% aos 45 dias.

Tabela 8. Valores de saturação por Na (%) ao longo do teste de incubação.

Tratamento	45 dias	90 dias	180 dias
Solo	18,04	14,36	14,39
Pó Rocha 0,25%	16,48	12,12	14,80
Pó Rocha 0,50%	15,99	13,66	12,96
Pó Rocha 0,75%	14,06	12,76	12,40
Pó Rocha 0,75% + Gesso 0,75%	3,65	6,37	4,38
Gesso 0,25%	6,85	12,29	9,11
Gesso 0,50%	4,79	7,45	6,41
Gesso 0,75%	3,62	5,87	5,08
Cal 0,25%	7,49	12,73	11,54
Cal 0,50%	5,07	10,46	10,23
Cal 0,75%	5,46	10,31	9,38

A estimativa da argila dispersa (Tabelas 3 a 5), realizada através da determinação do teor de sólidos totais descontando os sais dissolvidos (por sua vez estimados pela condutividade elétrica) (ver seção 3.2.5), mostrou-se coerente na sua relação esperada com a saturação por Na, conforme a literatura; isto é, a dispersão praticamente total da argila ocorrendo em torno dos 6% de saturação por Na (limite mínimo do caráter solódico) (Figura 23). As duas amostras com menos de

6% com alta argila dispersa aos 45 dias (Figura 23, Tabela 3 – cal 0,50% e 0,75%) e as três com mais de 6% e baixa argila dispersa aos 90 dias (Figura 23, Tabela 5 – pó de rocha 0,25% e 0,75% + gesso 0,75% e gesso 0,50%), em um universo de 39 amostras, não invalidam a assertiva uma vez que pode ser o resultado de erros da estimativa. Acrescente--se a isso problemas com a determinação dos “trocáveis” (inclusão de elementos dissolvidos na solução), conforme relatado anteriormente. De qualquer maneira, a observação visual do material disperso após agitação mecânica sempre confirmou empiricamente os resultados da argila dispersa estimada, conforme exemplificado na figura 24.

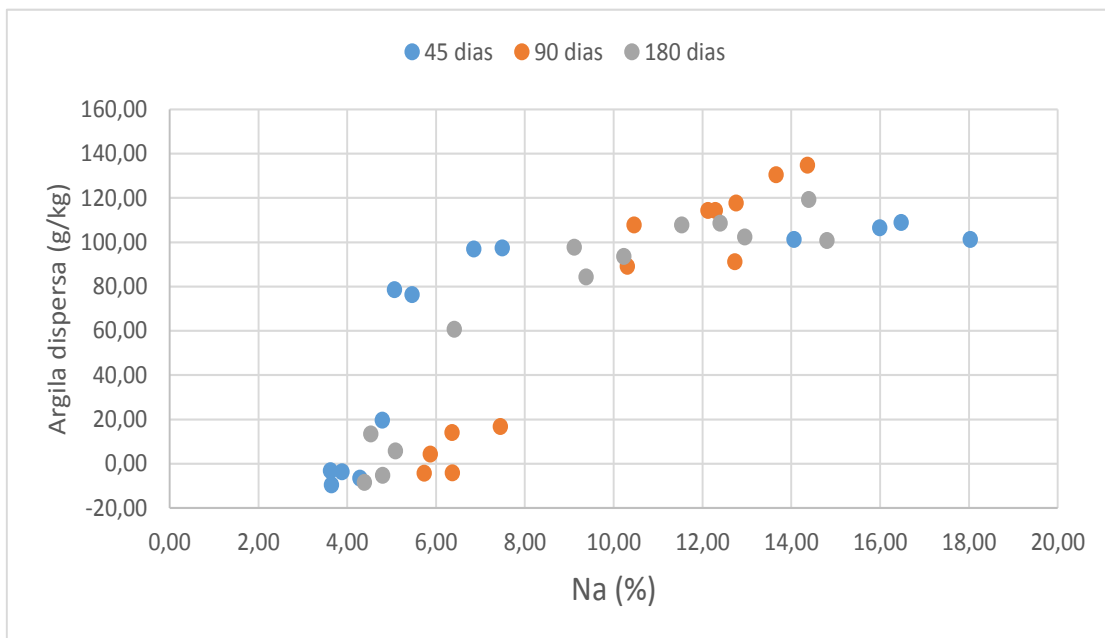


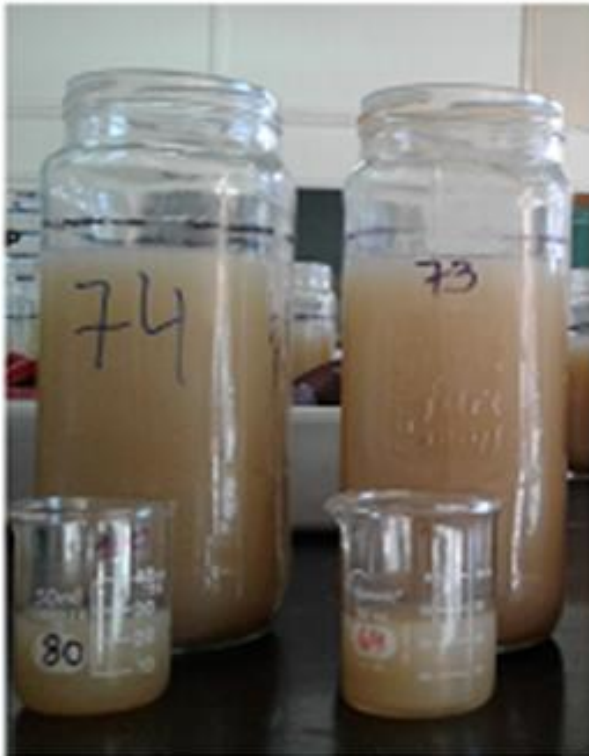
Figura 23. Gráfico da relação entre a argila dispersa e a saturação por Na no solo incubado testemunha e tratado com pó de rocha, gesso e cal.

Em relação aos tratamentos, por conseguinte, o padrão desse seguiu o observado com a saturação por Na: solo testemunha e tratamentos com pó de rocha > cal > gesso > gesso + pó de rocha. Os tratamentos com pó de rocha e cal não mostraram relação forte com as doses, o que em parte seria esperado (saturação por Na > 6%), ao contrário do tratamento com gesso, onde as doses de 0,25% e de 0,50%, com caráter solódico, apresentaram argila dispersa proporcionalmente mais alta, enquanto que a dose de 0,75%, com % de Na abaixo do solódico, mostrou baixa argila dispersa (Tabelas 3 a 5). Nos tratamentos com pó de rocha + gesso, principalmente por conta da dose de gesso de 0,75%, com % de Na abaixo do

solúcido na maioria das vezes, a argila apresentou-se sempre floculada, indicando um efeito interativo dos dois tratamentos.

Dessa maneira, o experimento de incubação mostrou efeito de todos os tratamentos em relação ao pH e teores de Ca trocável. Com relação à saturação por Na apenas o pó de rocha não apresentou um efeito mais significativo, esse efeito, porém, foi suficiente para flocular a argila de forma mais eficiente apenas nos tratamentos com adição de 0,75% de gesso.

(a)



(b)

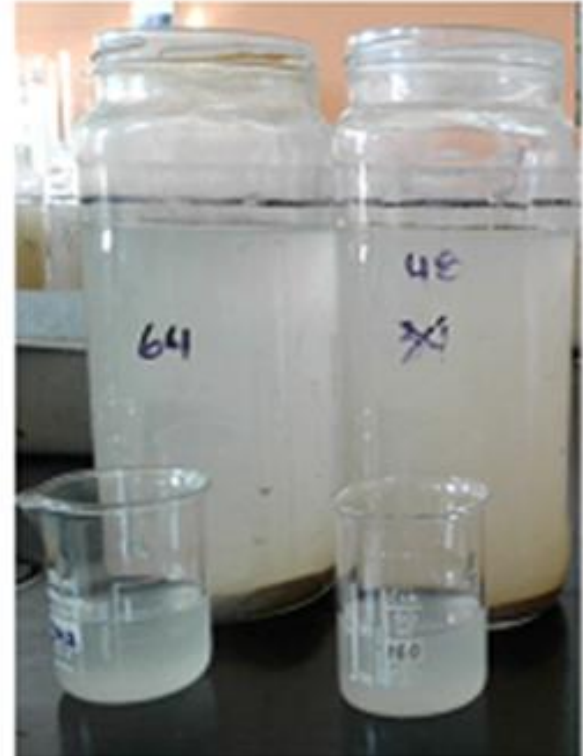


Figura 24. Fotografias de ensaio de granulometria evidenciando a dispersão (a) e a floculação (b) da argila do solo incubado (testemunha e tratamento com pó+gesso, respectivamente). Fotos: BICCA, Juliana (2017).

4.4 Teste de lixiviação

A figura 25 apresenta a variação do pH nos tratamentos com pó de rocha e no solo testemunha ao longo das 20 lixiviações. Nota-se que até a oitava lixiviação há muita semelhança de pH entre o solo e os tratamentos com pó de rocha, com valores variando entre 7,5 e 8,1. A partir dessa começa a haver uma leve distinção, com valores levemente inferiores dos tratamentos com pó 0,50% e 0,75% ($\text{pH} < 8,0$) e com o solo testemunha passando a apresentar pH mais elevado ($\text{pH} > 8,4$) e o tratamento com pó 0,25% valores de pH intermediários ao final do processo. O teste de lixiviação, dessa forma, mostra para esses materiais um comportamento diverso

do verificado no teste de incubação (Tabelas 3 a 5), onde os tratamentos com pó de rocha tenderam a apresentar pHs superiores ao do solo testemunha.

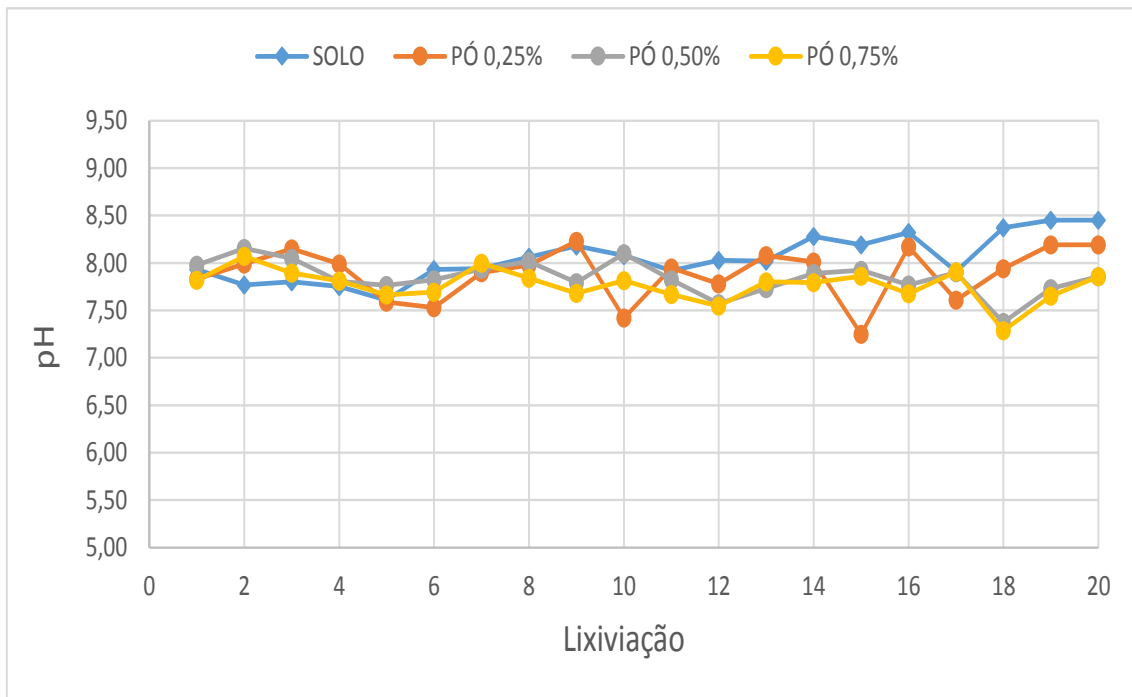


Figura 25. Gráfico da variação dos valores de pH nos tratamentos com pó de rocha em relação ao solo testemunha.

A figura 26 compara os valores de pH mostrado pelos diversos tratamentos em doses equivalentes (a – 0,25%, b – 0,50% e c – 0,75%), tendo com referência o solo testemunha.

Comparando-se os tratamentos de mesma dose até a décima lixiviação, verifica-se uma diferenciação do pH, sendo gesso < solo testemunha e pó de rocha < cal (Figura 26). A partir da décima lixiviação observa-se uma tendência de elevação do pH do solo testemunha e uma diminuição dos tratamentos com cal para pHs abaixo do solo testemunha (Figura 26). A sequência até a décima lixiviação (gesso < solo testemunha e pó de rocha < cal) mostrou-se semelhante a do teste de incubação (Tabelas 3 a 5), podendo ser explicada pelas mesmas razões, a natureza química dos materiais (cal - base forte, pó de rocha (carbonato de cálcio) – sal básico e gesso - sal neutro). Após, em função do sistema aberto estabelecido nas colunas de lixiviação pode estar ocorrendo uma perda do tamponamento exercido pelos materiais mais solúveis, com uma diminuição do pH nos tratamentos com cal (mais nítido na dose maior) e maior variação e tendência de elevação de pH no tratamento com gesso (mais nítido na dose menor).

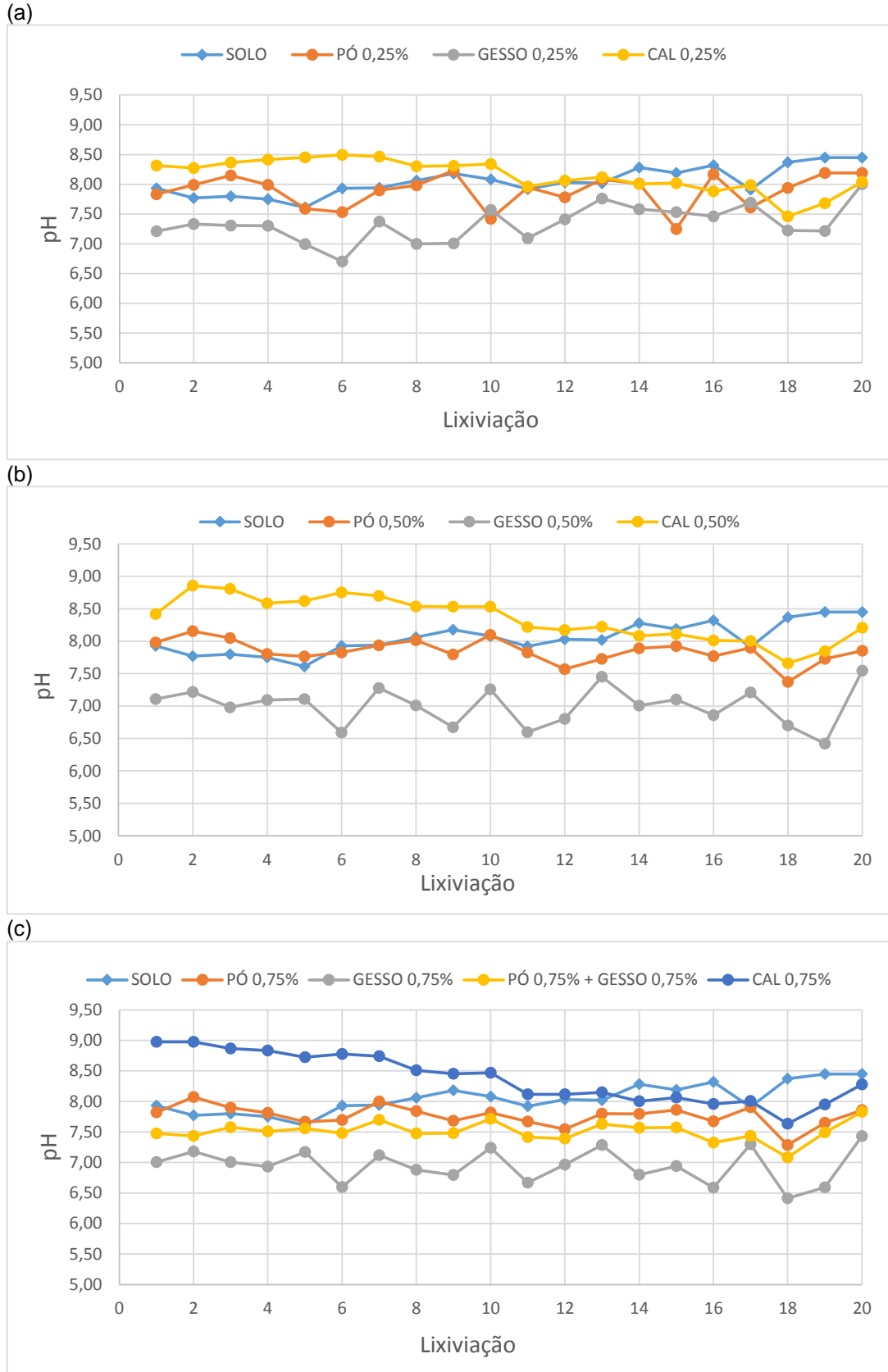


Figura 26. Gráficos da variação dos valores de pH entre os tratamentos propostos, comparando as doses de 0,25% (a), 0,50% (b) e 0,75 (c).

A figura 27 apresenta a variação da condutividade elétrica (CE) nos tratamentos com pó de rocha e no solo testemunha ao longo das 20 lixiviações. Nota-se que até a décima lixiviação ocorreu uma diminuição significativa nos valores de CE, passando depois a uma diminuição mais lenta e gradativa, com o tratamento de 0,75% mostrando-se levemente superior aos demais.

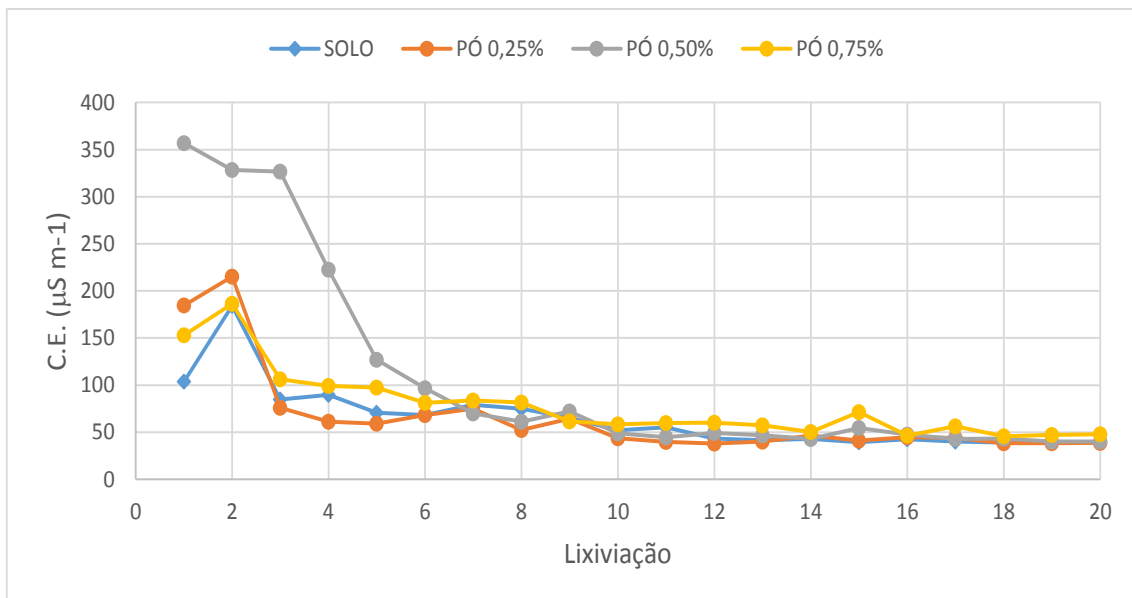


Figura 27. Gráfico da variação dos valores de condutividade elétrica (CE) nos tratamentos com pó de rocha em relação ao solo testemunha.

A figura 28 compara os valores de condutividade elétrica (CE) mostrado pelos diversos tratamentos em doses equivalentes (a – 0,25%, b – 0,50% e c – 0,75%), tendo como referência o solo testemunha. Nesta observa-se a CE muito maior do gesso em relação à cal e dessa em relação ao pó de rocha e solo testemunha, resultado do grau de solubilidade desses. Também é nítida a diminuição maior da CE até a décima lixiviação, de forma mais acentuada no gesso, passando a patamares proporcionais às doses e à solubilidade dos materiais, sendo que na dose de 0,25% se observa uma CE semelhante entre o gesso e a cal. Essa diminuição da CE até a décima lixiviação, indicando uma menor concentração de íons na solução, confirma a hipótese da perda do tamponamento que a variação do pH após sugeriu.

A figura 29 mostra a variação na concentração de Ca nos lixiviados conforme a dose nos tratamentos. Com o pó de rocha (Figura 29a) se observa, a partir da quinta lixiviação, uma concentração maior de Ca no solo testemunha do que com 0,25% de pó de rocha e neste maior do que com 0,50% e 0,75% de pó de rocha.

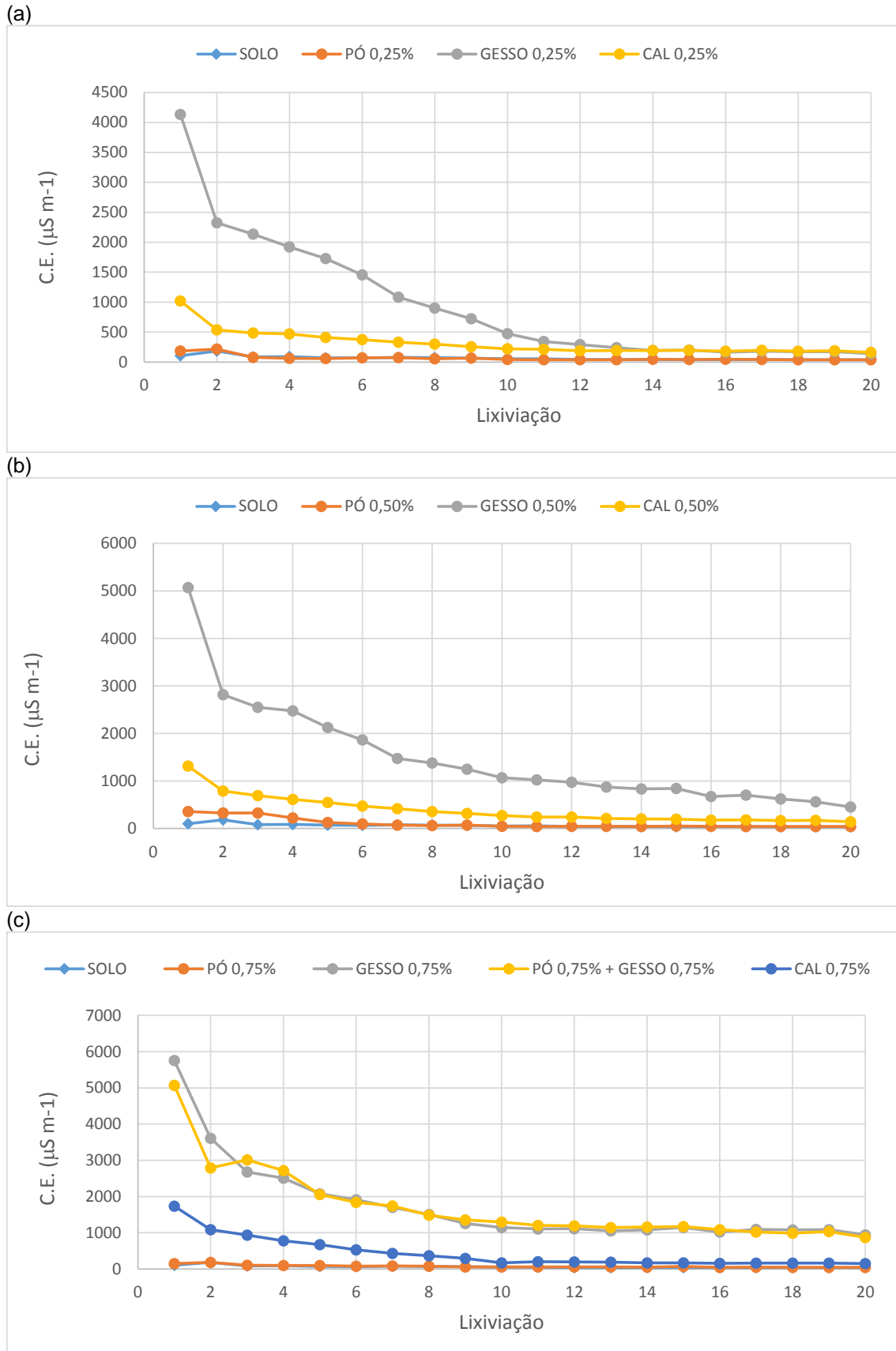


Figura 28. Gráficos da variação dos valores de condutividade elétrica (CE) entre os tratamentos propostos, comparando as doses de 0,25 (a), 0,50 (b) e 0,75 (c).

Considerando que o material mais solúvel no pó de rocha seria o carbonato de Ca (calcita) e que a condutividade elétrica mostrou-se maior na dose de 0,75%, esse resultado é aparentemente contraditório. No caso do gesso (Figura 29b) a concentração de Ca se comportou como o esperado, proporcional às doses, à exceção dos valores semelhantes entre as doses 0,50% e 0,75% entre a terceira e a nona lixiviações. Já no caso da cal (Figura 29c), por outro lado, inicialmente, a concentração de Ca apresentou-se inversamente proporcional às doses, sendo até menor do que a do solo testemunha, passando após a sétima lixiviação a tornar-se proporcional, ultrapassando o solo testemunha nas doses de 0,50% e 0,75%. Nesse caso, a inversão coincide com o rebaixamento do pH.

As figuras 30 e 31 apresentam a variação da concentração de Ca em função das doses. Nestas se observa que os teores de Ca com o gesso são várias ordens de magnitude maiores do que com a cal e com o pó de rocha, se aproximando somente na dose de 0,25% após a décima quarta lixiviação. Chama a atenção de que essas diferenças são maiores do que as diferenças de condutividade elétrica podem sugerir (Figura 27). Chama também a atenção de que na dose de 0,25% a concentração de Ca na cal é menor do que no pó de rocha (Figura 30b).

A figura 32 mostra a variação na concentração de Mg nos lixiviados conforme a dose nos tratamentos. No tratamento com pó de rocha (Figura 32a) se observa um comportamento semelhante ao do Ca (Figura 29a), ou seja, uma diminuição com o aumento da dose e valores liberados menores do que no solo testemunha, dessa vez praticamente desde o início da lixiviação. As concentrações diminuíram bastante da primeira lixiviação para a quarta lixiviação, aumentando após e mantendo-se aproximadamente estável até o final. No caso do gesso (Figura 32b), assim como no Ca, as concentrações de Mg são proporcionais as doses, diminuindo progressivamente com as lixiviações, sendo essa mais acentuada na dose de 0,25%, de tal forma que, com o aumento da liberação do solo, esta acabou sendo ultrapassada por esse após a décima primeira lixiviação. No caso da cal (Figura 32c), os valores da concentração de Mg foram mais baixos do que no solo testemunha, apresentando uma liberação maior na dose de 0,75% e menor na de 0,50%. Os valores muito baixos no tratamento com a cal também foram observados no teste de incubação e aparentemente estão relacionados a mesma causa, ou seja, fenômenos de troca iônica e precipitação/dissolução relacionados ao pH.

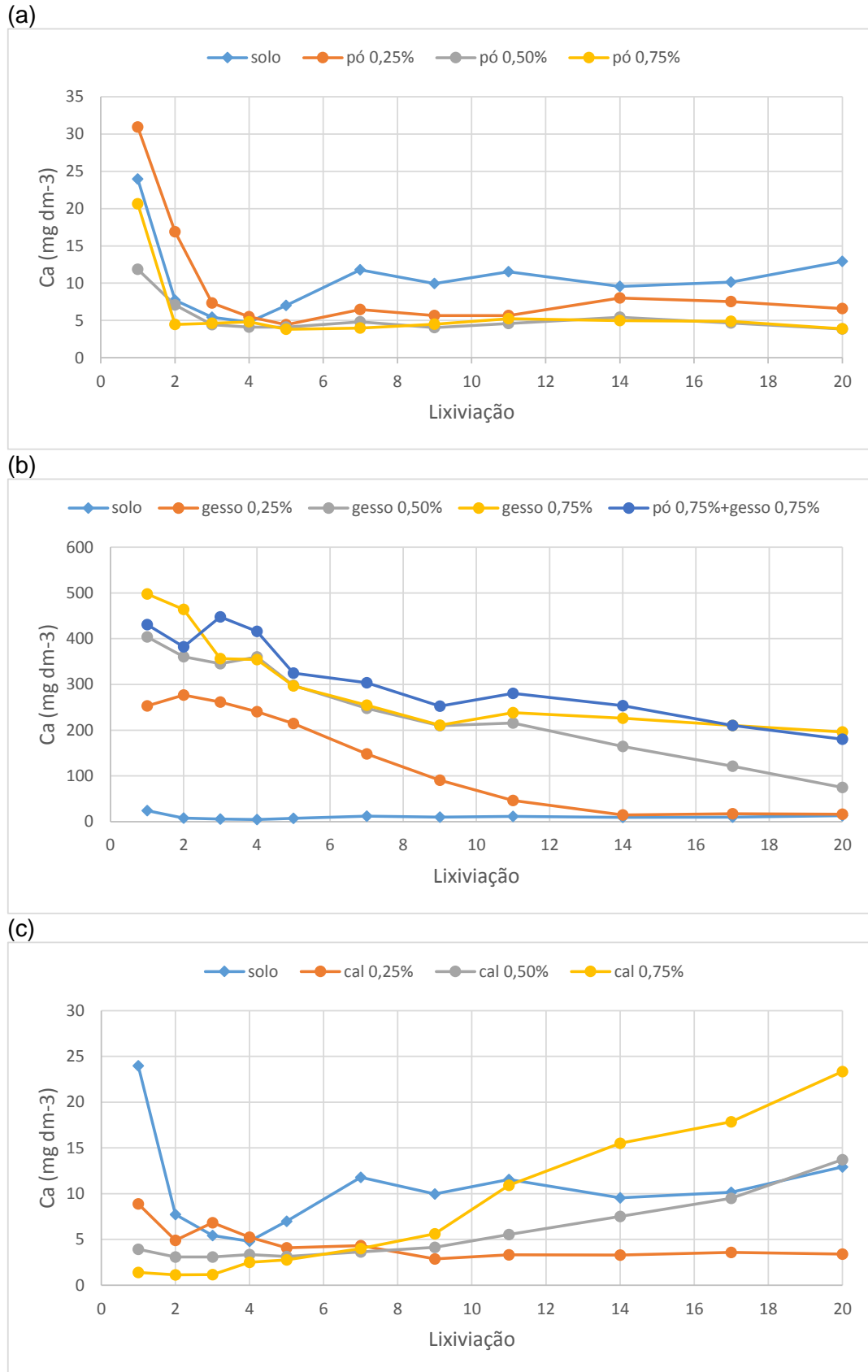


Figura 29. Gráficos da variação na concentração de cálcio nos lixiviados conforme a dose nos tratamentos: pó de rocha (a), gesso (b) e cal (c).

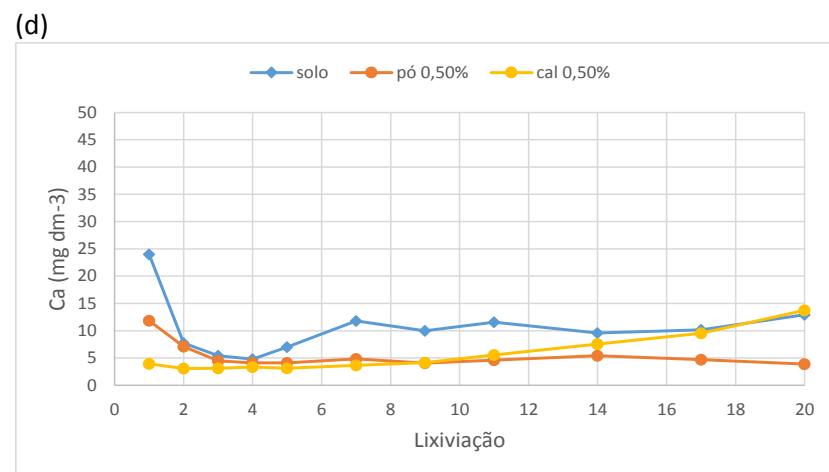
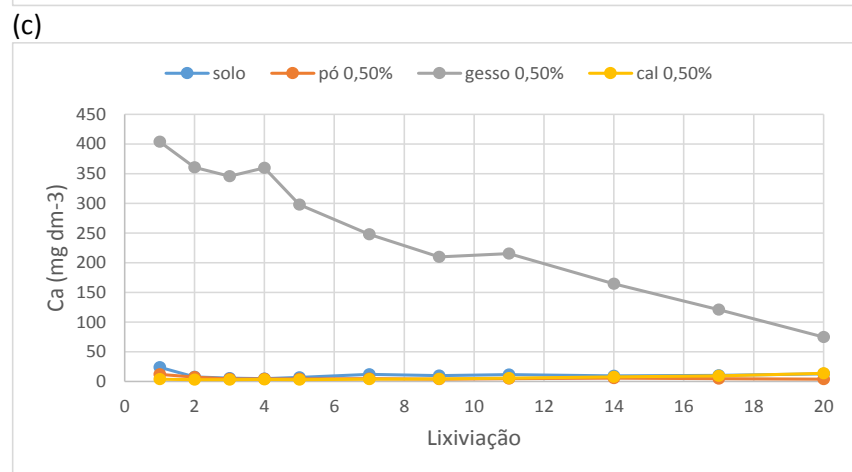
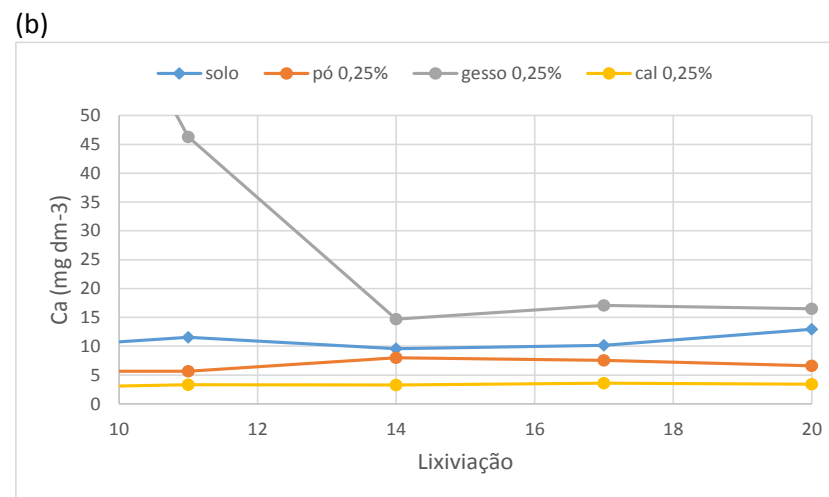
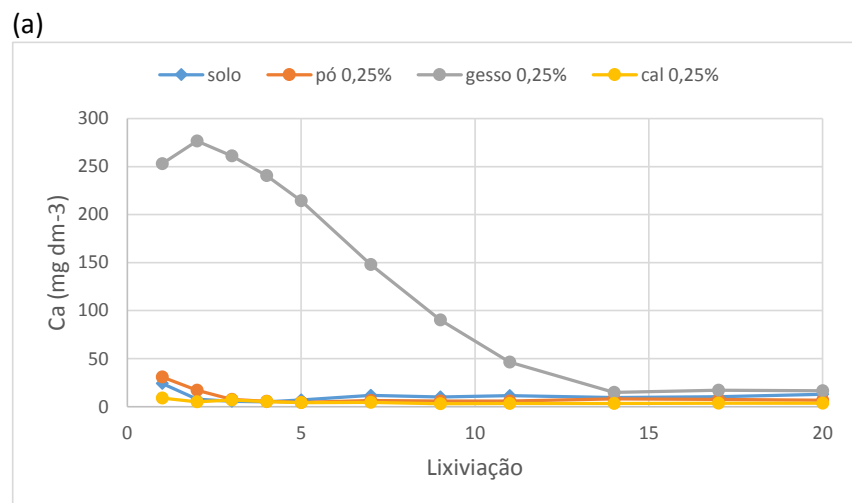
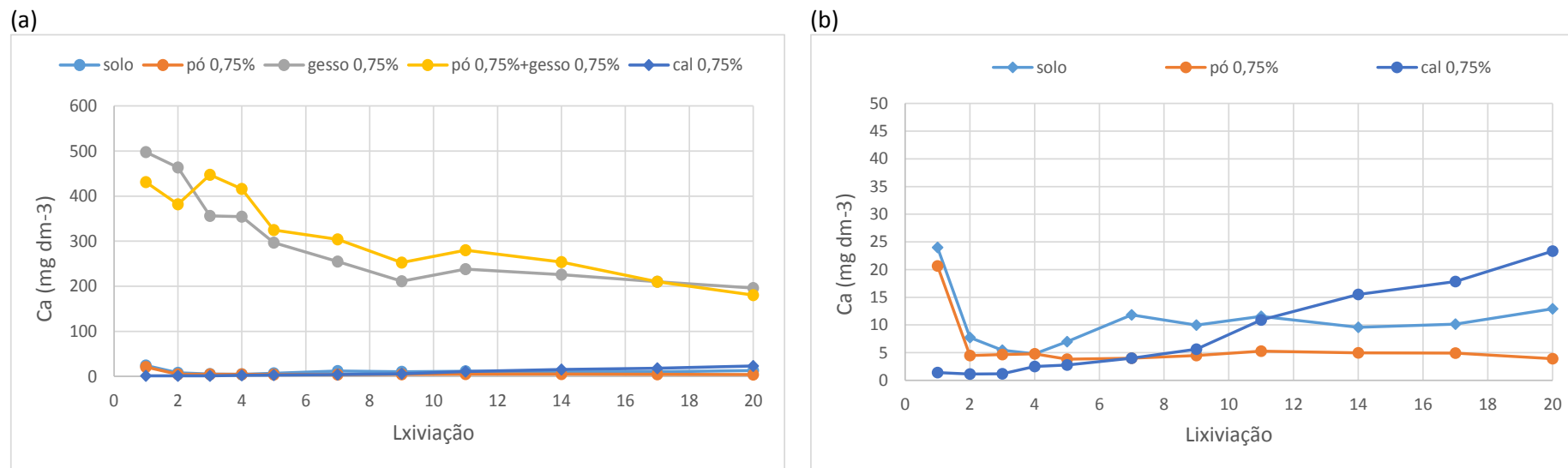


Figura 30. Gráficos da variação da concentração do cálcio em função dos tratamentos nas doses de 0,25% (a e b) e de 0,50% (c e d).



A variação da concentração de Mg em função dos tratamentos conforme a dose é mostrada na figura 33. A ordem de liberação foi gesso > solo testemunha > pó de rocha > cal. As liberações de Mg foram mais elevadas com o gesso ao longo de toda a lixiviação nas doses de 0,50% e 0,75% (Figura 32b e 32c, respectivamente), porém na dose de 0,25%, na décima lixiviação, esse foi ultrapassado pelo solo testemunha e pelo tratamento com pó de rocha (Figura 32a). A elevação do Mg no solo testemunha fez com que a concentração desse se aproximasse da do gesso nas doses de 0,50% e 0,75% ao final da lixiviação. Essas liberações de Mg no tratamento com gesso (não portador de Mg - produto PA), alta nas primeiras lixiviações e gradualmente decrescentes, acompanhando o Ca (Figura 29b) e a CE (Figura 28), indicam, a princípio, uma liberação em função do deslocamento do Mg da troca pelo Ca.

A figura 34 apresenta a variação na concentração de K nos lixiviados conforme a dose nos tratamentos. No tratamento com pó de rocha (Figura 34a) se observa um comportamento semelhante ao do Ca (Figura 29a) e ao do Mg (Figura 32a), ou seja, uma diminuição com o aumento da dose e valores liberados menores do que no solo testemunha, desde o início da lixiviação. Ao contrário do Ca e Mg, onde as concentrações diminuíram bastante da primeira lixiviação para a quarta lixiviação, as do K mantiveram-se num patamar semelhante ao longo de todo o processo. No caso do gesso (Figura 34b), assim como no Ca e no Mg, as concentrações de K são proporcionais as doses, diminuindo progressivamente com as lixiviações até a décima quarta lixiviação, a partir da qual aparenta estabilizar. No caso da cal (Figura 34c), as liberações foram maiores na dose mais alta (0,75%), mostrando uma inversão entre a dose intermediária (0,50%) e a menor (0,25%).

A variação da concentração de K em função dos tratamentos conforme a dose é mostrada na figura 35. A ordem de liberação foi solo testemunha > pó de rocha > gesso > cal. As liberações de K no solo testemunha, além de mais altas do que nos tratamentos, também mostraram tendência de elevação a partir da décima lixiviação. Os dados das liberações do K em função dos tratamentos indicam, portanto, que todos os tratamentos diminuem a lixiviação do K, ajudando a conservá-lo mais no solo. As concentrações de K no tratamento com gesso, alta nas primeiras lixiviações e gradualmente decrescentes, acompanhando o Ca (Figura 29b), o Mg (Figura 32b) e a CE (Figura 28), também indicam, a princípio, uma liberação pelo deslocamento do K da troca pelo Ca.

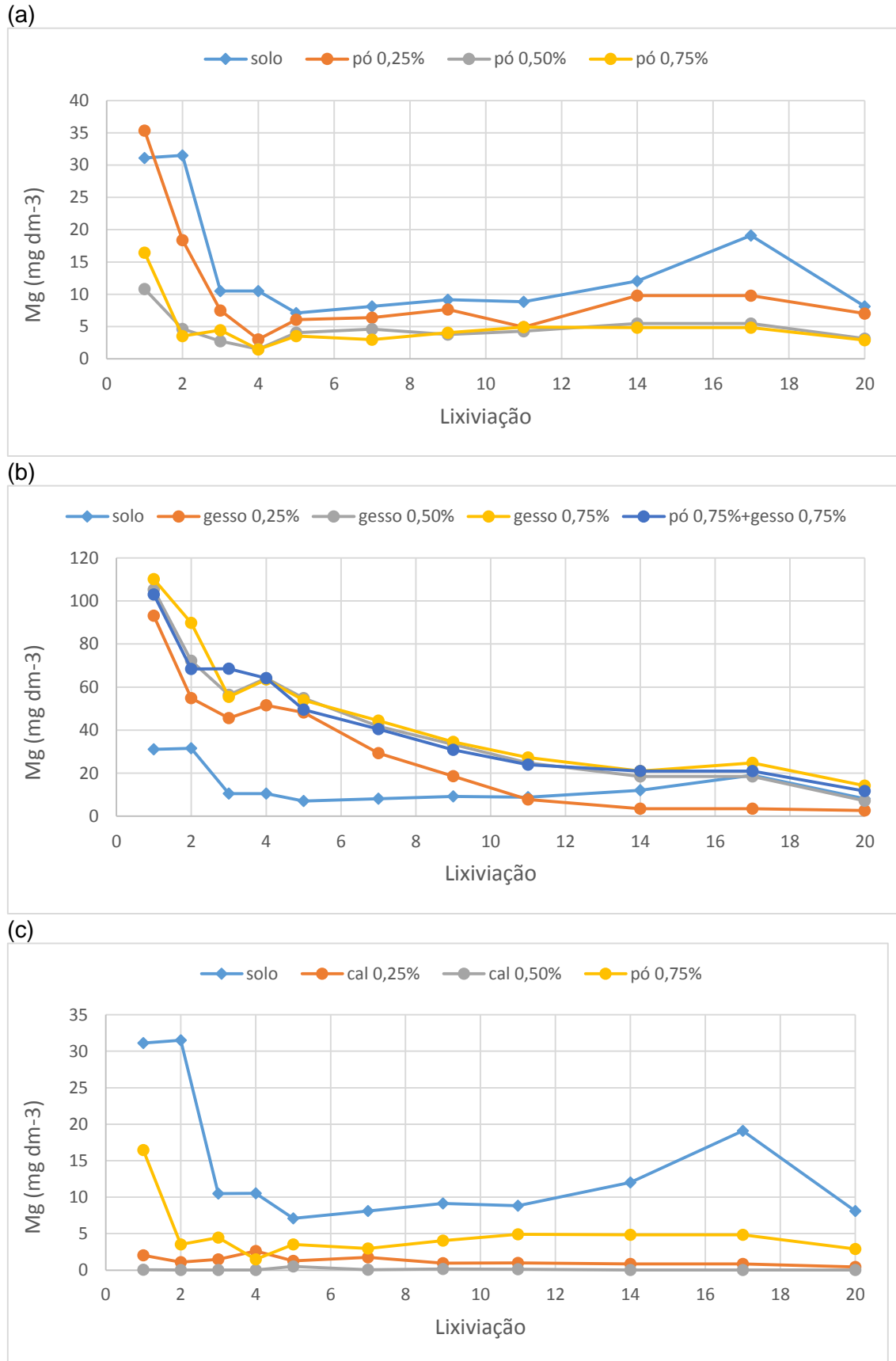


Figura 32. Gráficos da variação na concentração de magnésio nos lixiviados conforme a dose nos tratamentos: pó de rocha (a), gesso (b) e cal (c).

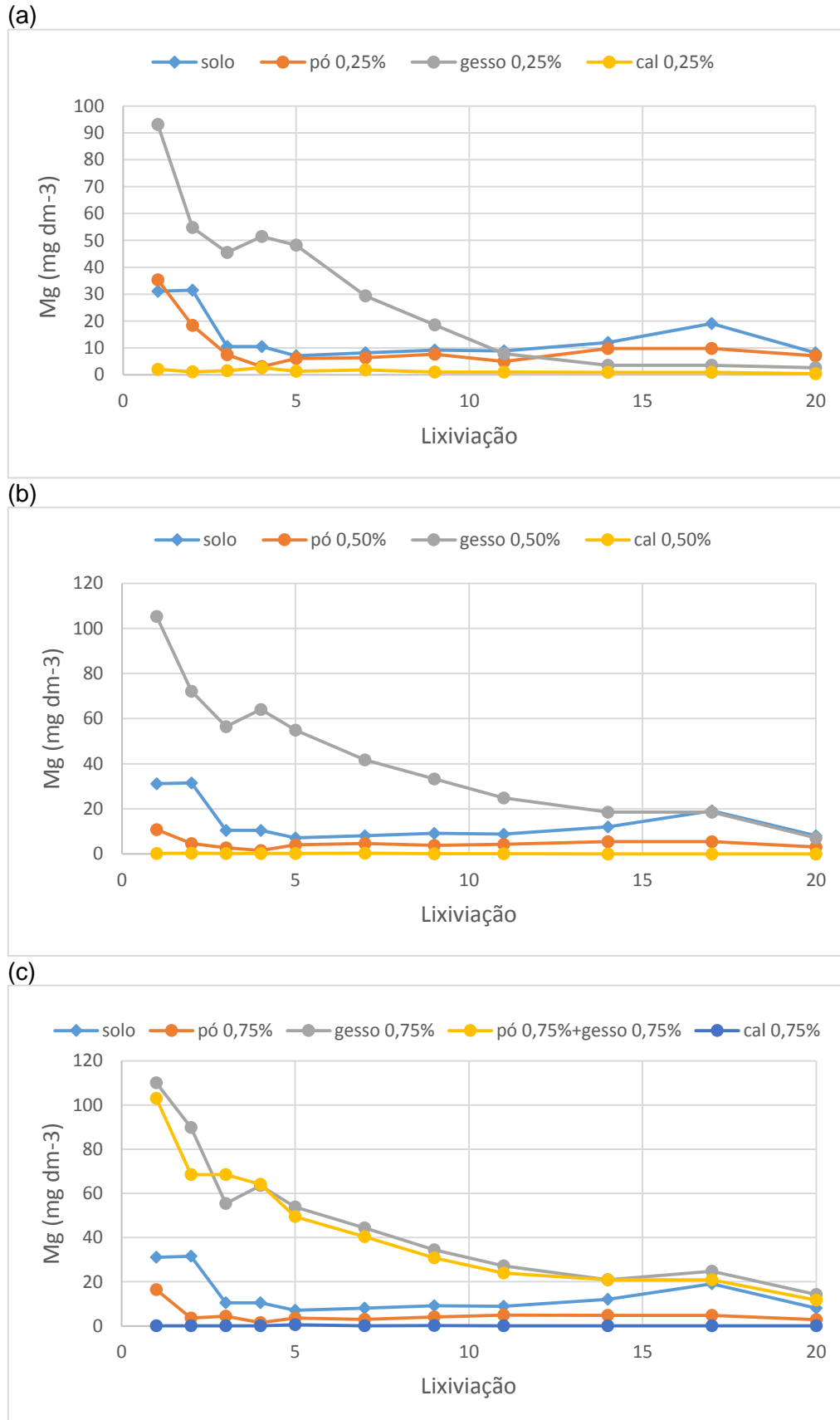


Figura 33. Gráficos da variação da concentração do magnésio em função dos tratamentos nas doses de 0,25% (a), 0,50% (b) e 0,75% (c).

Os valores mais baixos com a cal em relação ao solo testemunha e aos outros tratamentos assim como no caso do Mg, também podem estar indicando fenômenos de troca iônica e precipitação/dissolução relacionados ao pH.

A variação na concentração de sódio nos lixiviados conforme a dose nos tratamentos é apresentada na figura 36, ao passo que a concentração em função dos tratamentos conforme a dose é mostrada nas figuras 37 e 38.

No tratamento com pó de rocha (Figura 36a) se observa até a quinta lixiviação várias liberações de Na maiores nos tratamentos do que no solo testemunha, passando depois a apresentar comportamento semelhante ao observado com o Ca (Figura 29a), Mg (Figura 32a) e K (Figura 34a), com os tratamentos com o pó de rocha liberando menos Na do que o solo testemunha, porém com a dose de 0,75% liberando mais que as outras. Essas liberações maiores de Na (e de Mg) no início, acompanhando o Ca (Figura 29a), pode ser o resultado do deslocamento desses pela Ca liberado da calcita, já a manutenção das liberações dos cátions básicos (Ca, Mg, K e Na) abaixo do solo testemunha pode ser resultado da ação das esmectitas contidas no pó de rocha (Figura 20), aumentando o poder de retenção do solo.

No gesso (Figura 36b), as liberações de Na até a quinta lixiviação foram muito altas e proporcionais às doses, diminuindo progressivamente até a décima primeira lixiviação, a partir da qual aparenta estabilizar. No caso da cal (Figura 36c), as liberações também foram muito altas no início e proporcionais às doses, porém com maiores diferenças entre as doses e tendência de estabilização posterior ao observado com o gesso e em concentração de Na mais elevada. A ordem de liberação relativa aos tratamentos (Figuras 37 e 38) até a quarta lixiviação foi: gesso > cal > pó de rocha > solo testemunha; invertendo após para: cal > gesso > solo testemunha > pó de rocha. A ordem de magnitude da liberação do Na até a quarta lixiviação (entre 100 e 500 mg dm⁻³ - entre 4,4 e 21,8 mmol_c dm⁻³), maior do que do Mg (entre 40 e 100 mg dm⁻³ - entre 3,3 e 8,2 mmol_c dm⁻³), é compatível com a do Ca (entre 300 e 500 mg dm⁻³ - entre 15 e 25 mmol_c dm⁻³), o que indica que o Ca está preferentemente deslocando o Na do complexo de troca. O fato da cal liberar mais Na do que o gesso (Figuras 37 e 38) com menor liberação de Ca (Figuras 29 e 30) indica uma maior eficiência da cal em retirar da troca e lixiviar o Na.

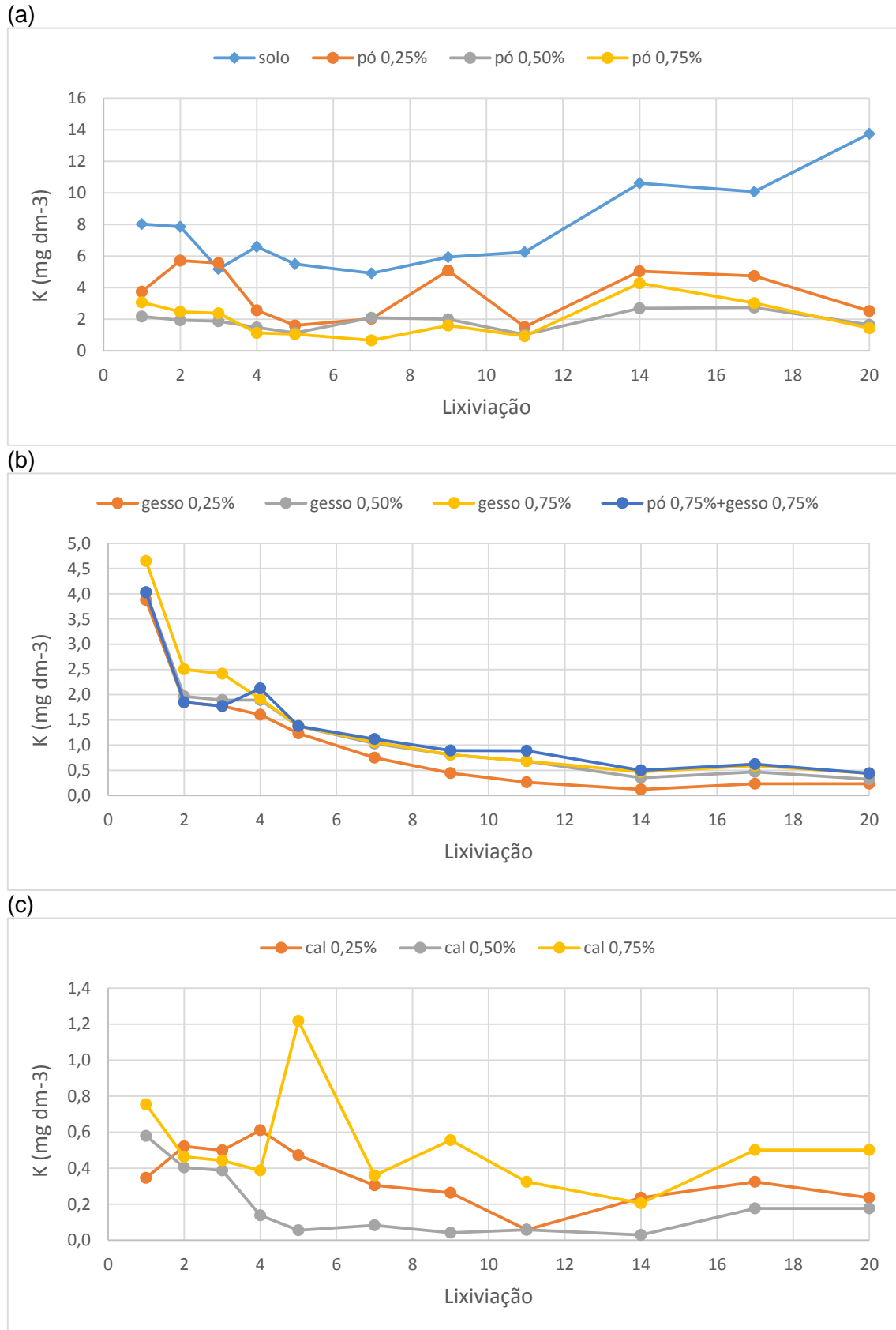


Figura 34. Gráficos da variação na concentração de potássio nos lixiviados conforme a dose nos tratamentos: pó de rocha (a), gesso (b) e cal (c).

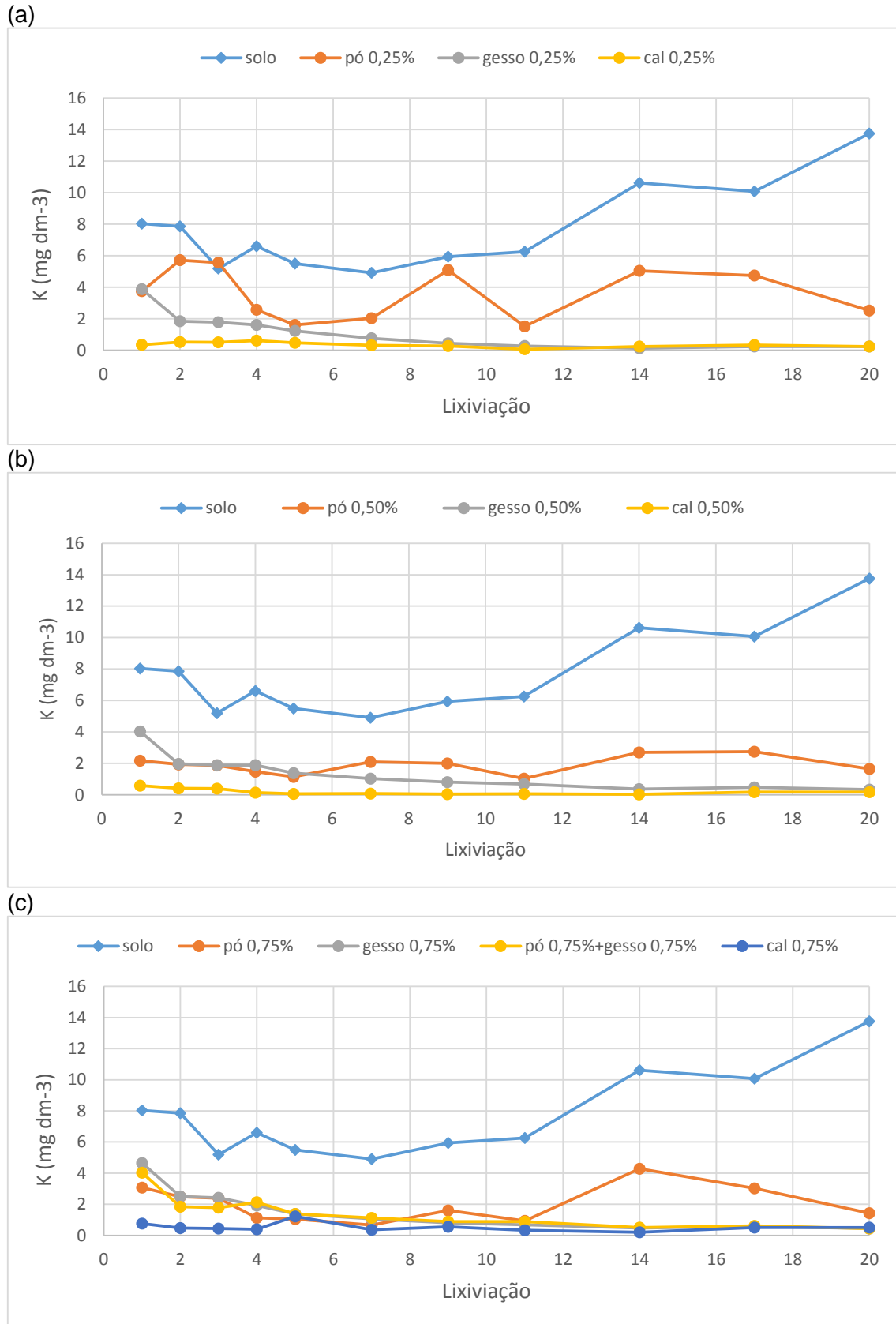


Figura 35. Gráficos da variação na concentração do potássio em função dos tratamentos nas doses de 0,25% (a), 0,50% (b) e 0,75% (c).

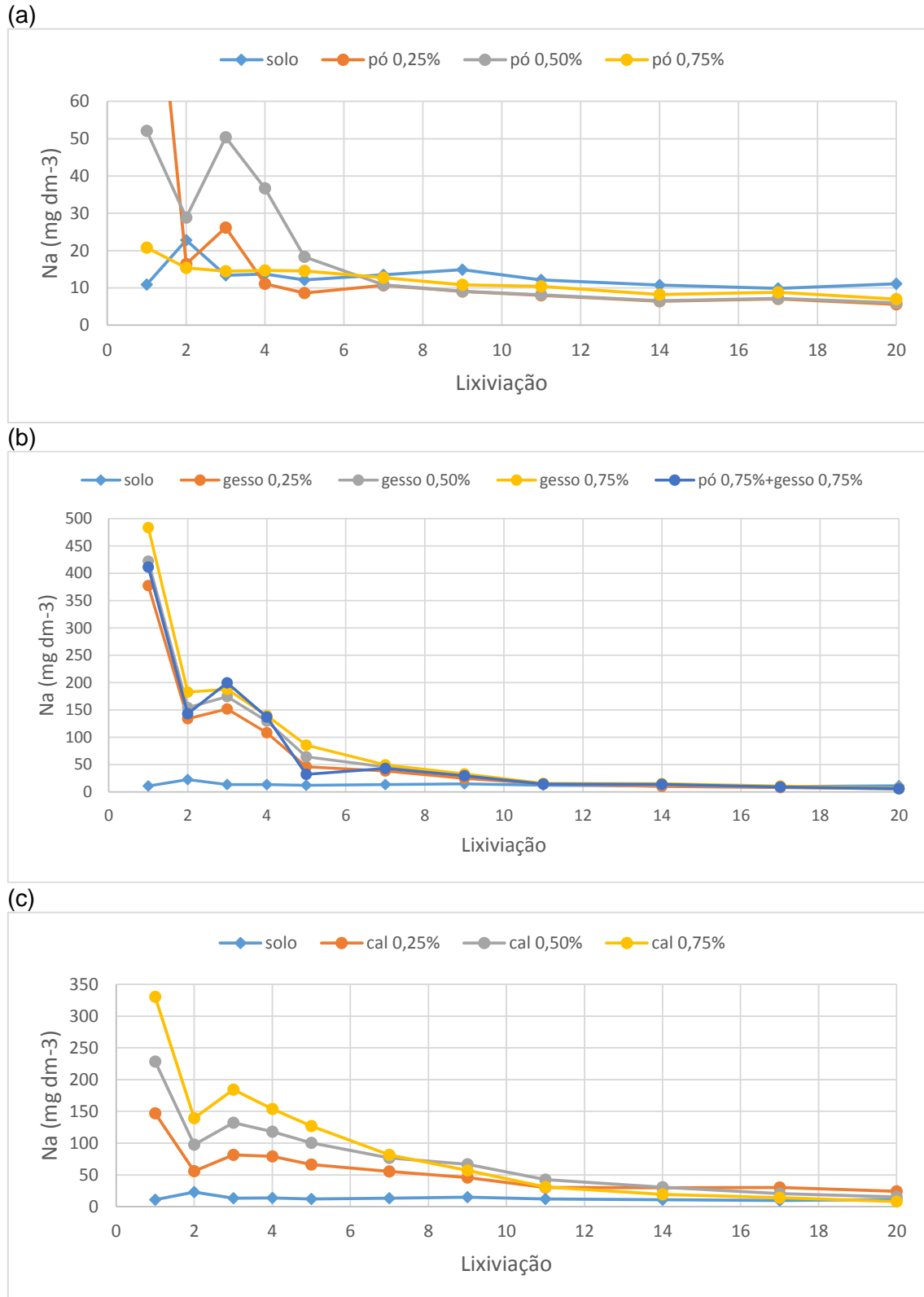


Figura 36. Gráficos da variação na concentração de sódio nos lixiviados conforme a dose nos tratamentos: pó de rocha (a), gesso (b) e cal (c).

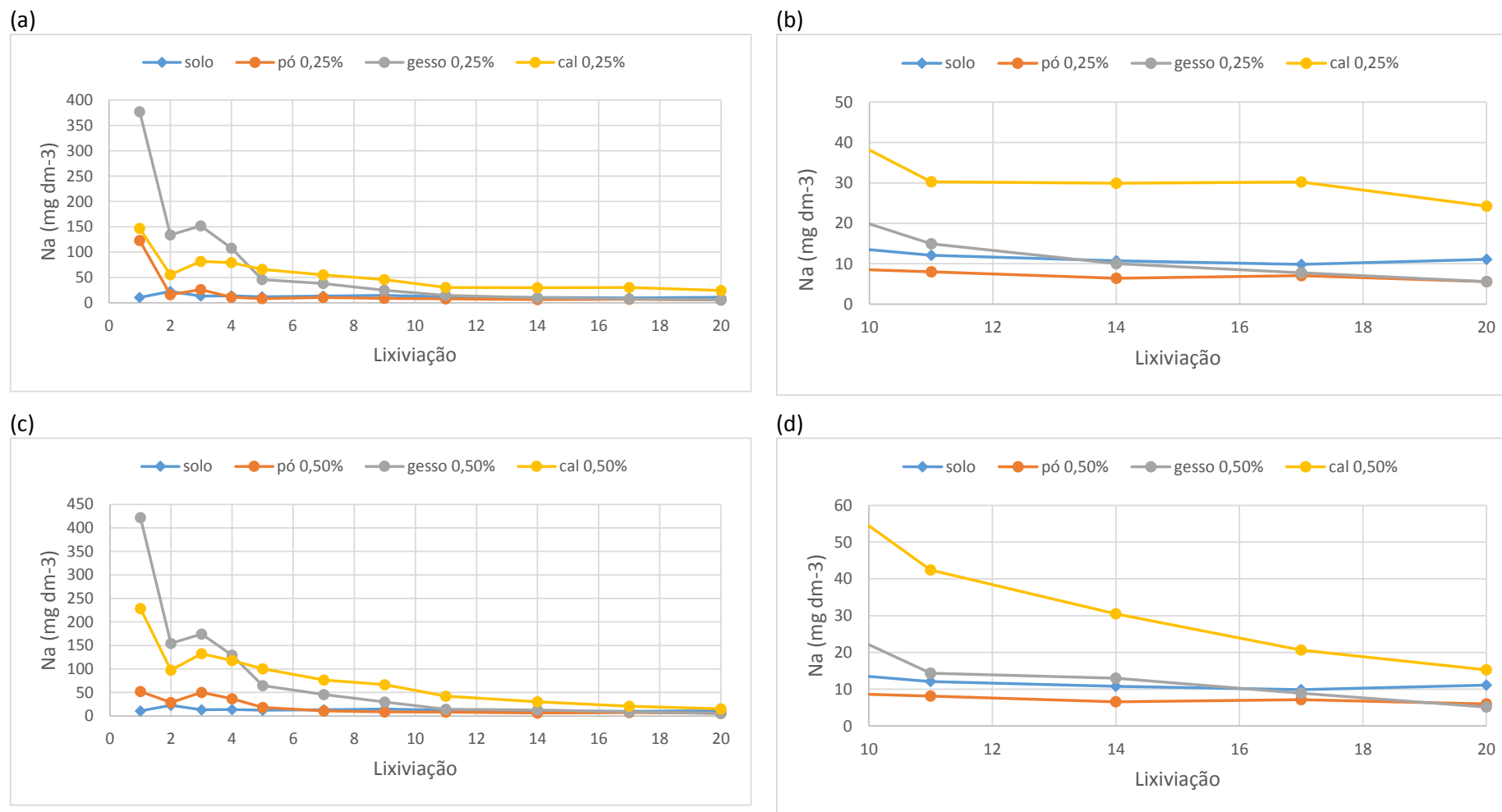


Figura 37. Gráficos da variação na concentração do sódio em função dos tratamentos nas doses de 0,25% (a e b) e de 0,50% (c e d).

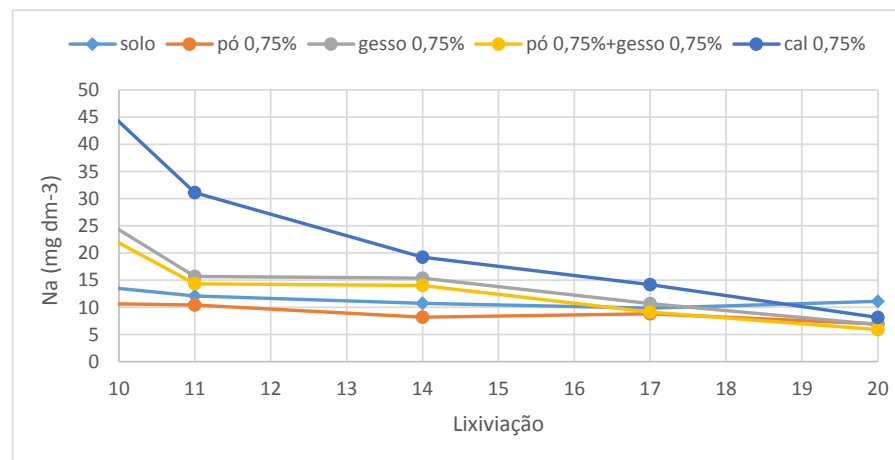
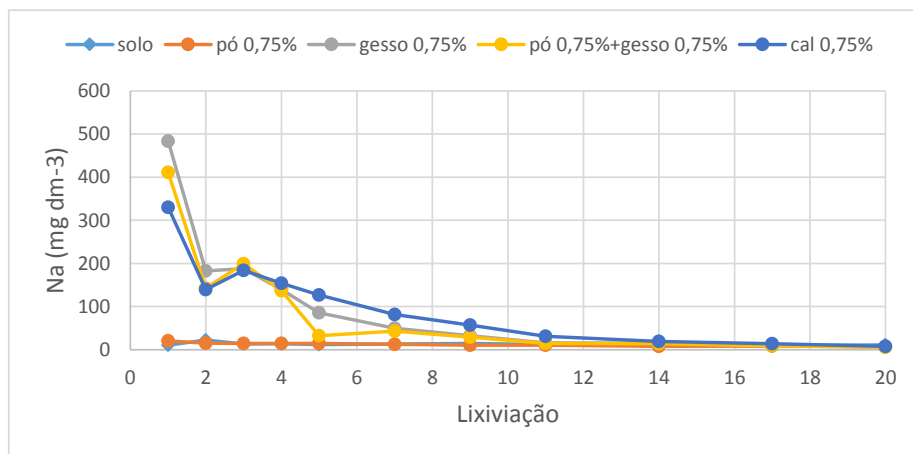


Figura 38. Gráficos da variação na concentração do sódio em função do tratamento na dose de 0,75% (a e b).

A tabela 9 mostra o valor da argila suspensa estimada nos lixiviados, obtido com base na quantidade de sólidos totais, descontada a concentração de sais (ver item 3.2.6). Estes resultados mostram que tanto o gesso quanto a cal, em todas as doses, foram capazes de flocular totalmente a argila (Figura 39), deixando um resíduo da secagem composto somente por sais (Figura 40), ao contrário do teste de incubação, onde praticamente somente o gesso na dose de 0,75% floculou totalmente a argila (Tabelas 3 a 5).

(a)



(b)



Figura 39. Fotografias assinalando a capacidade do gesso (a) e da cal (b) de flocular a argila dispersa
Fotos: ARDUIN, Ricardo (2018).

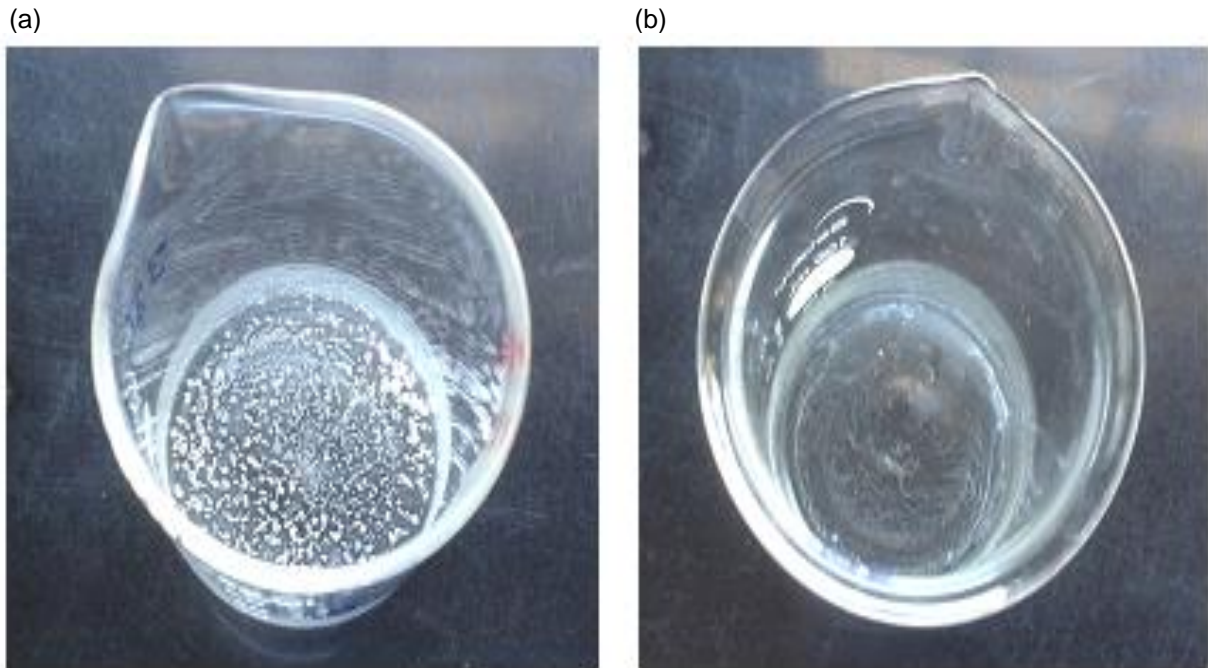


Figura 40. Fotografias exibindo resíduos de secagem em tratamentos com cal (a) e gesso (b).
Fotos: ARDUIN, Ricardo (2017).

O tratamento com pó de rocha, que no teste de incubação não mostrou diferença do solo testemunha, também apresentou efeito de floculação da argila, apesar de parcial (Figura 41), com efeito proporcional às doses (Tabela 9).



Figura 41. Fotografia mostrando a variação nos níveis de argila dispersa em tratamento com pó de rocha 0,75% (esquerda) e no solo testemunha (direita). Foto: BICCA, Juliana (2017).

Tabela 9. Teor de argila em suspensão (g dm^{-3}) nos lixiviados.

Tratamento	Lixiviação										
	1	2	3	4	5	7	9	11	14	17	20
solo testemunha	18,07	5,91	10,18	11,90	10,26	9,83	9,40	12,53	7,93	7,63	11,55
pó 0,25%	4,35	3,61	5,53	3,65	4,70	4,52	2,01	2,29	2,12	2,71	3,29
pó 0,50%	6,47	2,17	0,61	1,16	2,10	2,55	2,72	1,25	1,60	1,35	1,66
pó 0,75%	8,10	1,62	1,76	1,88	2,08	1,77	1,99	1,27	1,17	1,01	1,11
pó 0,75%+gesso 0,75%	0,49	-0,24	-0,33	-0,02	0,02	0,00	-0,33	-0,04	-0,15	-0,03	-0,12
gesso 0,25%	0,28	0,26	-0,23	-0,06	-0,10	0,08	-0,24	-0,12	-0,14	-0,01	0,07
gesso 0,50%	0,46	0,25	-0,23	-0,01	0,09	0,20	-0,09	-0,02	-0,02	0,01	-0,06
gesso 0,75%	0,30	0,13	-0,23	-0,01	0,00	0,26	-0,04	-0,01	0,01	0,05	-0,05
cal 0,25%	0,09	0,27	0,09	0,16	0,05	0,12	0,00	0,02	-0,05	0,06	-0,10
cal 0,50%	-0,21	0,06	-0,06	-0,04	0,01	-0,08	-0,11	-0,02	-0,08	0,01	-0,08
cal 0,75%	-0,20	-0,11	-0,24	-0,21	-0,01	-0,19	-0,10	-0,07	-0,02	-0,01	-0,12

5 Conclusões

O experimento de incubação (sistema fechado) mostrou efeito de todos os tratamentos em relação ao pH e teores de Ca trocável. O gesso foi capaz de reduzir o pH para valores próximos da neutralidade. Com relação à saturação por Na apenas o pó de rocha não apresentou um efeito mais significativo; entretanto, esse efeito foi suficiente para flocular a argila de forma mais eficiente apenas nos tratamentos com adição de 0,75% de gesso.

O experimento de lixiviação (sistema aberto), por outro lado, apresentou resultados positivos para todos os tratamentos, conforme segue:

- (a) A aplicação de pó de rocha reduziu a quantidade de nutrientes liberados diretamente para a solução do solo, provavelmente por conta da presença de esmectitas (argilominerais de estrutura 2:1, com alta CTC), diminuindo a lixiviação e aumentando a estocagem dos mesmos no complexo trocável;
- (b) Tanto o tratamento com gesso quanto o tratamento com cal, em todas as doses, foram capazes de flocular totalmente a argila naturalmente dispersa do solo;
- (c) O tratamento com pó de rocha também mostrou efeito na floculação da argila, porém de forma apenas parcial;
- (d) A cal mostrou-se mais eficiente na remoção do Na do complexo trocável, ao liberar menos Ca para a solução do solo.

Todos os materiais mostraram utilidade para a recuperação da qualidade do solo da área degradada. Pelas características de cada um, recomenda-se:

- A utilização da cal no controle dos processos retroerosivos do subsolo por conta da sua maior eficiência e menor liberação de íons para a solução. No solo

superficial sua utilização fica limitada por conta da sua reação fortemente alcalina (pH 8-9), desfavorável à revegetação;

- O emprego do gesso como a opção mais adequada para aplicação no solo superficial, pois ao mesmo tempo em que floclula a argila, o que favorece a agregação do solo e a infiltração da água, mantém o pH em valores em torno da neutralidade (pH 6,5-7,5), condição melhor para o crescimento das plantas;

- A aplicação do pó de rocha associado a doses menores de gesso, aproveitando o efeito interativo entre eles, de modo a combinar o resultado da floclulação completa da argila com uma melhora na capacidade de retenção dos nutrientes no solo.

Referências

- ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: DIAS, L.E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 15-26.
- ALMEIDA, E.; SILVA, F. J. P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. **Agriculturas: Experiências em Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 7-10, 2007.
- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2505-2516, 2008.
- AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, n. 20, p. 10-12, 2003.
- ARAÚJO, G.H. de S.; ALMEIDA, J.R. de; GUERRA, A.J.T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.
- AYALA, Lúcia. **Contribuição do estudo da Formação Graxaim ao Cenozóico da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. 1980. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
- BAILEY, E. B. James Hutton. **The founder of modern Geology**, Elsevier, Amsterdam. 1967. 161 p.
- BARAK, P.; CHEN, Y.; SINGER, A. Ground basalt and tuff as iron fertilizer for calcareous soils. **Plant Soil**, v. 73, n. 1, p. 155-158, 1983.
- BARROS, MARIA DE FATIMA CAVALCANTI. **Recuperação de solos salino-sódicos pelo uso do gesso de jazida e calcário**. 2001. 112 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- BENEDUZZI, Ellen Bassan. **Rochagem: Agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação de solos**. 2011. 90 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BERGMANN, Magda. Distribuição e potencial de aproveitamento econômico dos basaltos amigdalóides e zeólitas do Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, Brasil. In: HARTMANN, L. A.; BAGGIO, S. B. (Org.). **Metalogenia e exploração mineral no Grupo Serra Geral**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. p. 261-275.

BOLLAND, M. D. A.; BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 59- 68, 2000.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução CONAMA nº 302**, de 20 de março de 2002. Diário Oficial da União, nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, páginas 67-68.

BRASIL. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm>. Acesso em: 03 jan. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Lei 12.890, 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, por meio da inclusão dos remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 240, 11 dez. 2013. Seção 1.

BRINDLEY G.W. & BROWN G. (Eds). Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification. **Mineralogical Society**, p 305-356, 1980.

BUI, E. N. Causes of Soil Salinization, Sodification, and Alkalinization. **Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science**. 2017. Disponível em: <<http://environmentalscience.oxfordre.com/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-264>>. Acesso em: 11 Fev. 2018.

CASEY, W. H.; BUNKER, B. The leaching of mineral and glass surfaces during dissolution. In: HOHELLA JR., M. F.; WHITE, A. (Ed.). **Mineral-water interface geochemistry**. Washington: Mineralogical Society of American, 1990, p. 397- 426. (Reviews in Mineralogy, v. 23).

CHADA, S. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. **Revista Árvore**, v. 28, n.6, p. 801-809, 2004.

CHESWORTH, W. Late Cenozoic geology and the second oldest profession. **Geoscience Canada**, v.9, n. 1, p. 54-61, 1982.

CHESWORTH, W.; MAGIAS-VASQUEZ, F.; ACQUAYE, D.; THOMSON, E. Agricultural alchemy: stones into bread. **Episodes**, v.1, n. 1, p. 3-7, 1983.

CHESWORTH, W.; VAN STRAATEN, P.; SEMOKA, J.; MCHIHIYO, E. Agrogeology in Tanzania. **Episodes**, v.8, p. 257-258, 1985.

CORONEOS, C.; HINSINGER, P.; GILKES, R. J. Granite powder as a source of potassium for plants: a glasshouse bioassay comparing two pasture species. **Fertilizer Research**, v. 45, n. 2, p. 143-152, 1996.

CORRÊA, R. S.; LEITE, L. L.; BASTOS, E. K. Dinâmica da degradação e da regeneração. In: CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. (Orgs.). **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado**. Brasília: Paralelo 15, v.1. 1998. p.49-63.

CORRÊA, Rodrigo Studart. **Revegetação**. Apostila do Curso de Reabilitação Ambiental Urbana–Reabilita. Brasília, 2007.

CRESTANA, M.S.M.; FERRETTI, A.R.; TOLETO FILHO, D.V.; ÁRBOCZ, G.F.; SHIMIDT, H.A.; GUARDIA, J.F.C. Espécies arbóreas nativas do Estado de São Paulo recomendadas para reflorestamentos. In: CRESTANA, M.S.M.; FERRETTI, A.R.; TOLETO FILHO, D.V.; ÁRBOCZ, G.F.; SHIMIDT, H.A.; GUARDIA, J.F.C. **Florestas: Sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislação**. São Paulo, Imprensa oficial, 2006. p. 49-84.

CRUZ, Sandro Inácio Carneiro da. **Caracterização e utilização de solos dispersivos nos aterros compactados na Barragem de Sobradinho**. 2008. 229 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

DARRAH, P. R. The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. **Plant and Soil**, v. 155/156, p. 1-20, 1993.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: DIAS, E. L.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.1-8.

DISCONZI, P. B. et al. Comparação de uso e ocupação da bacia da Barragem Santa Bárbada, Pelotas/RS. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais...Governança da Água: Desafio para Integração do Nordeste no Presente e Futuro**. Aracaju: ABRH, 2016. p. 1-9.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995. 101 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 2011. 230 p.

ERHART, Joni. **Efeito do pó de basalto nas propriedades químicas do Solo e nutrição da videira Cabernet Sauvignon**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2009.

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

FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p. 177-185, 2007.

FISCHER, R.V. Classification of volcanic breccias. **Geologic Society American Bulletin**, v. 71, p. 973-982, 1960.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Salt-affected soils and their management. **FAO SOILS BULLETIN**, Rome, n. 39, 1988. 131p.

FYFE, W. S. The environmental crisis: quantifying geosphere interactions. **Science**, v.2, p.105-110, 1981.

FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I.; LEONARDOS, O. H.; OLORUFEMI, N. Global tectonics and agriculture: a geochemical perspective. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.9, p. 383-399, 1983.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of Soil Analysis**. 2ed. Madison, Wisconsin USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 383-411.

GILLMAN, G. P. The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. **Soil Science Society of America**, v.44, p.465-468, 1980.

GILLMAN, G. P.; BURKETT, D. C.; COVENTRY, R. J. Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. **Applied Geochemistry**, v. 17, p. 987-1001, 2002.

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.

HERING, J.G.; STUMM, W. Oxidative and reductive dissolution of minerals. In: HOCELLA, M.F.; WHITE, A.F. (Eds). **Mineral Water Interface Geochemistry. Reviews in Mineralogy & Geochemistry**, v. 23, p. 427–465, 1990.

HINSINGER, P.; BOLLAND, M. D. A.; GILKES, R. J. Silicate rock powder: effect on selected properties of a range of soils from Western Australia and on plant growth as assessed in a glasshouse experiment. **Fertilizer Research**, v. 45, n. 1, p. 69-79, 1996.

HOFF, R.; BERGMANN, M.; CRUZ, M. T. P. da; SILVEIRA, C. A. P. Identificação e caracterização de agrominerais/remineralizadores de solos para viticultura sustentável na Fronteira Oeste, RS, Brasil. In: BAMBERG, A. L. et al. (Eds.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2016, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016. p. 115-120.

IBAMA - INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração:** técnicas de vegetação. Brasília-DF, 1990. 96 p.

ILCHENKO, W.; GUIMARÃES, D. O processo de decomposição das rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas – Estado de Minas Gerais. **Boletim de Agricultura da Secretaria da Agricultura do Estado de Minas Gerais**, n. 3/4, 1954.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. (Ed.). **Química e mineralogia do solo:** Parte 1 - Conceitos básicos. Viçosa: SBCS, 2009. p. 333-379.

KELLER, W. D.; BALGORD, W. D.; REESMAN, A. L. Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 33, p. 191-204, 1963.

KETTERINGS, Q. M.; ALBRECHT, G.; BECKMAN, J. Soil pH for Field Crops. **Agronomy Fact Sheet Series**, Fact Sheet 5. Cornell University Cooperative, p.1-2, 2005.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva, Rio de Janeiro. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes:** agroindústria & sustentabilidade. CETEM: Petrobrás, 2009. p. 81-132.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Belo Horizonte. **Anais...** p. 137-145, 1976.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. The Use of Ground Rocks in Laterite Systems: an Improvement to the Use of Conventional Soluble Fertilizers. **Chemical Geology**, v. 60, p. 361- 370, 1987.

LOPES, J. A. V.; QUEIROZ, S. M. P. Rodovias e meio ambiente no Brasil: Uma resenha crítica. In: SIMPÓSIO SUL- AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL, 2., 1994, Curitiba. Recuperação de áreas degradadas. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1994. p. 75-90.

LOPES, O. M. M.; CARRILHO, E. N. V. M.; ASSAD, L. R. C. Effect of rock powder and vinasse on two types of soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1547-1557, 2014.

LUZ, A.B.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; SAMPAIO, J.A.; CASTILHO, Z.C.C.; BEZERRA, M. S. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da; CASTILHOS, Z. C. (Eds.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 61-83.

McKENZIE, D.C.; ABBOTT, T.S.; CHAN, K.Y.; SLAVICH, P.G.; HALL, D.J. M. The nature, distribution and management of sodic soils in New South Wales. In: NAIDU, R.; SUMNER, M. E.; RENGASAMY, P. **Australian sodic soils: distribution, properties and management**. Victoria, CSRIO, 1995. p. 246-264.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. Mineral nutrition of higher plants – the first 150 years. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIM, V.; FURTINI, A. E.; CARVALHO, J. G. (Eds.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: Lavras, 1999. p. 51- 122.

MALAVOLTA, E. O Futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais. **Informações Agronômicas**, n. 121, p. 1-10, mar. 2008.

MARTINS, E. S. Proposta de critérios de normatização de rochas silicáticas como fontes de nutrientes e condicionadores de solo. In: THEODORO, S. h.; MARTINS, E. S.; FERNANDES, M. M.; CARVALHO, A. M. X. (Eds.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG. 2013. p. 50.

MARTINS, E. S.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. da; CASTILHOS, Z. C. (Eds.). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 89-99.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIERKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2007. **Série Estudos e Documentos**, v. 72, 24 p.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 471-476, 2012.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, Egon José (Ed.). **Fundamentos de Química do Solo**. 5. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2012. p. 113-153.

MOTA, S. **Gestão Ambiental de Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 2008. 343 p.

MÜLLER, Valberto. **Solos dispersos e problemas de erosão em obras de engenharia na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

PESSOA, M. L. (Org.). RS Físico. In: _____. **Atlas FEE**. Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em: <<http://atlas.fee.tche.br/rio-grande-do-sul/geral/rs-fisico/>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. **Lei nº 5.502, de 11 de setembro de 2008**. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no Município de Pelotas, e dá outras providências. Disponível em: <http://sapl.camarapel.rs.gov.br/sapl_documentos/norma_juridica/1028_texto_integral>. Acesso em: 23 nov. 2017.

RIO GRANDE DO SUL - FEE. **Municípios do Conselho Regional de Desenvolvimento (Corede) Fronteira Oeste - 2008**. Disponível em: <http://mapas.fee.tche.br/wp-content/uploads/2009/08/corede_frenteaoeste_2008_municipios.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2018.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Recomposição de Florestas Nativas: Princípios Gerais e Subsídios para uma Definição Metodológica**, São Paulo: Editora da USP, 2001.

SHERARD, J. L.; DUNNIGAN, L. P.; DECKER, R. S. Identification and Nature of Dispersive Soils. **Journal of Geotechnical Engineering Division**, ASCE, v. 102, n. 4, p. 287–301, 1976.

SILVA, Alinne da. **Efeito do pó de basalto nas propriedades químicas do solo, nutrição e produtividade do feijoeiro e na nutrição de *Eucalyptus benthamii***. 2007. 69 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lajes, 2007.

SILVEIRA, Rafael Toscani Gomes da. **Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados**. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SOUZA, Fred Newton da Silva. **O potencial de agrominerais silicáticas como fonte de nutrientes na agricultura tropical**. 2014. 107 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v. 28, n.5, p. 21-34, 2012.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, n. 4, p. 721-730, 2006.

VALCARCEL, R.; D' ALTERIO, C. F. V. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas: avaliação das modificações fitossociológicas. **Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 68-88, 1998.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 73, n. 4, p. 731-747, 2006.

VAN STRAATEN, P. Potassium. In: VAN STRAATEN, P. **Agrogeology**: the use of rocks for crops. Canadá: Enviroquest Ltd., 2007. p. 165-200.

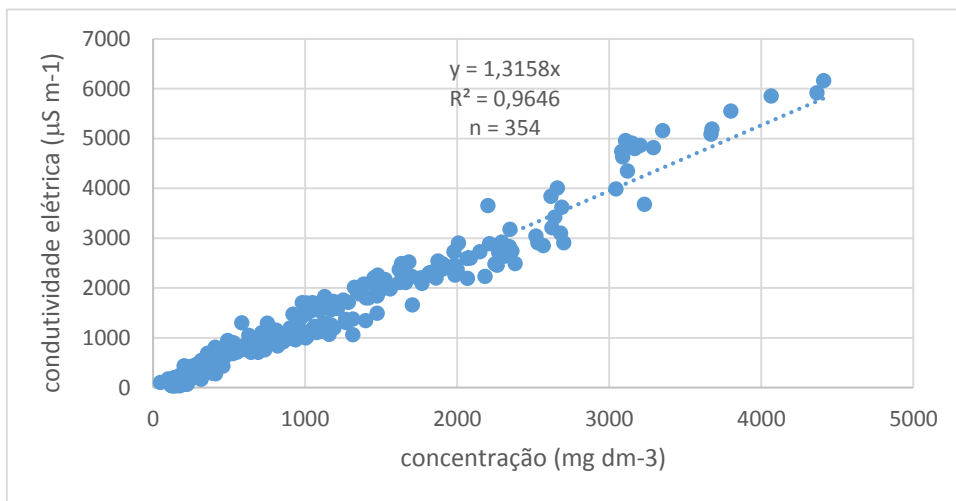
VAN STRAATEN, P. **Rocks for Crops**: Agrominerals of Sub-Saharan Africa. Nairobi, Kenya: ICRAF, 2002. 338 p.

VILWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas técnicas**, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, UFRGS. Porto Alegre, v. 8, p. 1-45, 1995.

WHITE, A. F.; BLUM, A. E. Effects of climate on chemical weathering in watersheds. **Mineralogical Magazine**, v. 58, p. 967-968, 1994.

Apêndices

Apêndice A - Correlação entre a condutividade elétrica da solução e a concentração de sais determinadas na análise química dos lixiviados (Apêndice 2).



Apêndice B - Composição química dos lixiviados selecionados, quantidade de sólidos totais e argila dispersa estimada.

(a) Lixiviação 1

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										
											g dm ⁻³
solo testemunha	23,97	31,11	8,03	10,88	160,90	0,00	76,27	311,17	18380,00	18068,83	18,07
pó 0,25%	30,94	35,34	3,75	123,26	16,21	15,00	274,57	499,07	4788,00	4288,93	4,29
pó 0,50%	11,84	10,84	2,17	52,11	85,89	7,50	137,28	307,63	6780,00	6472,37	6,47
pó 0,75%	20,63	16,46	3,06	20,83	112,28	0,00	83,90	257,16	8354,00	8096,84	8,10
pó 0,25%+ gesso 0,75%	358,30	93,84	3,94	336,95	2097,03	0,00	71,18	2961,24	3289,33	328,09	0,33
pó 0,50%+ gesso 0,75%	423,02	103,09	6,59	397,50	2464,41	0,00	86,44	3481,04	3774,67	293,63	0,29
pó 0,75%+ gesso 0,75%	431,03	103,01	4,03	411,12	2365,12	0,00	76,27	3390,57	3882,67	492,09	0,49
gesso 0,25%	252,88	93,15	3,87	377,26	1874,62	0,00	45,76	2647,54	2925,33	277,79	0,28
gesso 0,50%	403,67	105,31	4,03	422,16	2394,91	0,00	45,76	3375,83	3833,33	457,50	0,46
gesso 0,75%	497,75	110,11	4,65	483,36	3008,53	0,00	45,76	4150,15	4446,67	296,51	0,30
cal 0,25%	8,90	2,02	0,35	146,82	173,43	15,00	147,45	493,97	582,67	88,70	0,09
cal 0,50%	3,93	0,22	0,58	228,49	52,58	40,01	477,95	803,75	596,00	-207,75	-0,21
cal 0,75%	1,40	0,06	0,75	330,51	13,05	87,51	640,66	1073,94	864,00	-209,94	-0,21

Apêndice B - Continuação

(b) Lixiviação 2

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										
solo testemunha	7,73	31,51	7,86	22,80	125,71	0,00	91,52	287,13	6196,00	5908,87	5,91
pó 0,25%	16,90	18,39	5,71	16,41	53,02	0,00	76,27	186,70	9136,00	8949,30	8,95
pó 0,50%	7,07	4,62	1,94	28,86	39,70	7,50	137,28	226,98	1597,33	1370,35	1,37
pó 0,75%	4,46	3,52	2,47	15,35	65,52	0,00	68,64	159,97	1780,00	1620,03	1,62
pó 0,25%+ gesso 0,75%	261,87	59,94	1,94	118,62	1362,69	0,00	66,10	1871,16	2101,33	230,17	0,23
pó 0,50%+ gesso 0,75%	385,43	67,00	2,00	152,74	1609,22	0,00	66,10	2282,48	2325,33	42,85	0,04
pó 0,75%+ gesso 0,75%	382,05	68,45	1,85	142,86	1651,92	0,00	66,10	2313,24	2266,67	-46,57	-0,05
gesso 0,25%	276,63	54,81	1,85	134,12	1024,93	0,00	45,76	1538,09	1794,67	256,58	0,26
gesso 0,50%	360,53	72,22	1,97	154,21	1356,87	0,00	45,76	1991,56	2237,33	245,78	0,25
gesso 0,75%	463,81	89,85	2,50	182,71	1995,51	0,00	50,85	2785,23	2920,00	134,77	0,13
cal 0,25%	4,92	1,10	0,52	55,71	94,10	17,50	152,54	326,39	594,67	268,27	0,27
cal 0,50%	3,07	0,36	0,41	97,56	60,64	35,00	299,99	497,03	560,00	62,97	0,06
cal 0,75%	1,13	0,02	0,46	139,44	43,35	35,00	518,63	738,04	628,00	-110,04	-0,11

Apêndice B - Continuação

(c) Lixiviação 3

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										
solo testemunha	5,43	10,50	5,19	13,33	256,98	0,00	76,27	367,70	10544,00	10176,30	10,18
pó 0,25%	7,34	7,48	5,56	26,19	132,42	0,00	106,78	285,77	5328,00	5042,23	5,04
pó 0,50%	4,44	2,75	1,87	50,41	42,25	0,00	122,03	223,76	1884,00	1660,24	1,66
pó 0,75%	4,64	4,45	2,38	14,47	64,82	0,00	76,27	167,04	1926,00	1758,96	1,76
pó 0,25%+ gesso 0,75%	362,89	70,43	1,86	183,66	1718,29	0,00	86,44	2423,57	2017,33	-406,23	-0,41
pó 0,50%+ gesso 0,75%	374,48	60,89	1,92	169,27	1605,51	0,00	81,35	2293,42	1881,33	-412,09	-0,41
pó 0,75%+ gesso 0,75%	447,52	68,55	1,78	199,57	1907,37	0,00	106,78	2731,56	2405,33	-326,23	-0,33
gesso 0,25%	261,25	45,52	1,77	151,90	1232,33	0,00	71,18	1763,96	1536,00	-227,96	-0,23
gesso 0,50%	345,50	56,46	1,89	174,46	1574,00	0,00	66,10	2218,40	1990,67	-227,73	-0,23
gesso 0,75%	356,32	55,41	2,41	187,96	1617,12	0,00	76,27	2295,49	2065,33	-230,16	-0,23
cal 0,25%	6,83	1,48	0,50	81,64	103,31	12,50	193,21	399,47	492,00	92,53	0,09
cal 0,50%	3,09	0,22	0,39	132,24	73,77	32,50	289,82	532,04	476,00	-56,04	-0,06
cal 0,75%	1,16	0,03	0,44	184,36	111,68	35,00	437,27	769,94	534,67	-235,28	-0,24

Apêndice B - Continuação

(d) Lixiviação 4

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										
solo testemunha	4,80	10,51	6,60	13,68	134,51	0,00	61,01	231,12	12132,00	11900,88	11,90
pó 0,25%	5,49	3,01	2,56	11,10	70,61	0,00	61,01	153,79	5792,00	5638,21	5,64
pó 0,50%	4,12	1,49	1,47	36,69	55,79	0,00	114,40	213,97	1372,00	1158,03	1,16
pó 0,75%	4,80	1,48	1,13	14,64	66,66	0,00	53,39	142,10	2032,00	1889,90	1,89
pó 0,25%+ gesso 0,75%	309,16	54,98	1,95	129,05	1263,14	0,00	61,01	1819,28	1849,33	30,05	0,03
pó 0,50%+ gesso 0,75%	305,04	50,45	1,98	125,19	1227,32	0,00	50,85	1760,83	1740,00	-20,83	-0,02
pó 0,75%+ gesso 0,75%	416,17	64,18	2,12	137,11	1536,60	0,00	66,10	2222,28	2205,33	-16,95	-0,02
gesso 0,25%	240,56	51,50	1,60	108,15	1075,94	0,00	30,51	1508,26	1449,33	-58,93	-0,06
gesso 0,50%	359,92	64,14	1,89	129,63	1406,38	0,00	30,51	1992,47	1981,33	-11,13	-0,01
gesso 0,75%	354,43	63,54	1,92	139,67	1383,59	0,00	30,51	1973,66	1962,67	-11,00	-0,01
cal 0,25%	5,26	2,63	0,61	79,30	61,39	12,50	183,04	344,73	508,00	163,27	0,16
cal 0,50%	3,35	0,21	0,14	118,18	37,52	22,50	259,31	441,21	404,00	-37,21	-0,04
cal 0,75%	2,52	0,02	0,39	153,95	44,65	25,00	361,00	587,53	380,00	-207,53	-0,21

Apêndice B - Continuação

(e) Lixiviação 5

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa	
	----- mg dm ⁻³ -----											
solo testemunha	8,32	8,80	5,51	12,88	144,23	0,00	61,01	240,75	10508,00	11318,57	11,32	
pó 0,25%	4,43	6,05	1,60	8,60	73,56	0,00	45,76	140,01	4656,00	4515,99	4,52	
pó 0,50%	4,11	4,06	1,13	18,33	61,67	0,00	76,27	165,58	2268,00	2102,42	2,10	
pó 0,75%	3,82	3,54	1,05	14,51	60,56	0,00	53,39	136,87	2230,00	2093,13	2,09	
pó 0,25%+ gesso 0,75%	281,07	48,77	1,57	54,09	992,83	0,00	61,01	1439,35	1394,67	-44,68	-0,04	
pó 0,50%+ gesso 0,75%	225,36	38,15	1,17	35,82	702,20	0,00	45,76	1048,47	1032,00	-16,47	-0,02	
pó 0,75%+ gesso 0,75%	324,96	49,50	1,37	32,28	959,67	0,00	61,01	1428,80	1452,00	23,20	0,02	
gesso 0,25%	214,39	48,19	1,23	45,88	873,84	0,00	30,51	1214,04	1118,67	-95,38	-0,10	
gesso 0,50%	297,95	54,87	1,37	64,45	1053,29	0,00	30,51	1502,45	1593,33	90,88	0,09	
gesso 0,75%	297,11	53,84	1,37	85,59	1068,90	0,00	30,51	1537,32	1537,33	0,01	0,00	
cal 0,25%	4,10	1,29	0,47	66,29	52,76	12,50	152,54	289,95	337,33	47,39	0,05	
cal 0,50%	3,13	0,24	0,06	100,44	28,42	20,00	244,06	396,36	360,00	-36,36	-0,04	
cal 0,75%	2,78	0,52	1,22	126,98	52,20	22,50	284,74	490,93	482,67	-8,27	-0,01	

Apêndice B - Continuação

(f) Lixiviação 7

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										
solo testemunha	11,80	7,09	4,91	12,09	134,51	0,00	61,01	231,41	10508,00	10276,59	10,28
pó 0,25%	6,46	6,38	2,03	10,67	55,86	0,00	76,27	157,69	4372,00	4214,31	4,21
pó 0,50%	4,83	4,60	2,10	10,78	57,16	0,00	53,39	132,86	2694,00	2561,14	2,56
pó 0,75%	3,97	2,96	0,67	12,75	52,27	0,00	61,01	133,64	1938,00	1804,36	1,80
pó 0,25%+ gesso 0,75%	292,86	40,97	1,26	48,62	875,53	0,00	45,76	1305,00	1436,00	131,00	0,13
pó 0,50%+ gesso 0,75%	232,36	35,03	1,09	46,15	689,84	0,00	45,76	1050,23	1197,33	147,10	0,15
pó 0,75%+ gesso 0,75%	303,89	40,46	1,12	43,07	772,91	0,00	259,31	1420,76	1424,00	3,24	0,00
gesso 0,25%	148,03	29,34	0,75	38,18	522,06	0,00	40,68	779,04	862,67	83,62	0,08
gesso 0,50%	247,66	41,73	1,03	45,54	706,94	0,00	45,76	1088,66	1292,00	203,34	0,20
gesso 0,75%	254,78	44,44	1,06	49,59	662,15	0,00	45,76	1057,78	1318,67	260,89	0,26
cal 0,25%	4,33	1,76	0,30	55,31	59,38	10,00	162,71	293,79	414,67	120,88	0,12
cal 0,50%	3,65	0,34	0,08	76,62	23,25	17,50	198,30	319,75	244,00	-75,75	-0,08
cal 0,75%	4,00	0,06	0,36	81,69	21,92	15,00	223,72	346,76	152,00	-194,76	-0,19

Apêndice B - Continuação

(g) Lixiviação 9

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										g dm ⁻³
solo testemunha	9,96	9,15	5,94	14,85	199,56	0,00	61,01	300,47	9704,00	9403,53	9,40
pó 0,25%	5,67	7,65	5,09	9,01	70,31	0,00	30,51	128,24	4680,00	4551,76	4,55
pó 0,50%	4,05	3,75	1,99	9,06	76,98	0,00	38,13	133,97	2850,00	2716,03	2,72
pó 0,75%	4,48	4,05	1,61	10,84	89,80	0,00	45,76	156,53	2136,00	1979,47	1,98
pó 0,25%+ gesso 0,75%	237,08	31,51	1,09	34,04	884,47	0,00	45,76	1233,96	1104,00	-129,96	-0,13
pó 0,50%+ gesso 0,75%	192,18	28,21	0,81	30,79	812,05	0,00	50,85	1114,89	994,67	-120,22	-0,12
pó 0,75%+ gesso 0,75%	252,52	30,82	0,89	29,36	1096,90	0,00	61,01	1471,51	1141,33	-330,18	-0,33
gesso 0,25%	90,37	18,59	0,44	24,79	525,28	0,00	30,51	689,98	446,67	-243,32	-0,24
gesso 0,50%	209,91	33,34	0,81	29,92	845,85	0,00	30,51	1150,34	1058,67	-91,67	-0,09
gesso 0,75%	211,05	34,51	0,81	32,85	797,57	0,00	30,51	1107,30	1066,67	-40,64	-0,04
cal 0,25%	2,88	0,95	0,26	45,98	54,95	7,50	122,03	234,56	236,00	1,44	0,00
cal 0,50%	4,13	0,06	0,04	66,57	21,42	10,00	177,96	280,19	172,00	-108,19	-0,11
cal 0,75%	5,61	0,17	0,56	57,25	28,18	7,50	177,96	277,23	173,33	-103,90	-0,10

Apêndice B - Continuação

(h) Lixiviação 11

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa	
	----- mg dm ⁻³ -----											
solo testemunha	11,55	8,85	6,25	12,09	173,17	0,00	45,76	257,67	12792,00	12534,33	12,53	
pó 0,25%	5,66	4,90	1,52	8,01	74,92	0,00	61,01	156,02	2176,00	2019,98	2,02	
pó 0,50%	4,58	4,27	1,02	8,11	66,85	0,00	45,76	130,60	1382,00	1251,40	1,25	
pó 0,75%	5,25	4,93	0,93	10,41	83,07	0,00	45,76	150,35	1400,00	1249,65	1,25	
pó 0,25%+ gesso 0,75%	224,19	22,74	0,95	19,26	751,33	0,00	40,68	1059,15	969,33	-89,82	-0,09	
pó 0,50%+ gesso 0,75%	222,10	23,47	0,83	15,95	747,57	0,00	40,68	1050,61	972,00	-78,61	-0,08	
pó 0,75%+ gesso 0,75%	280,24	23,90	0,89	14,35	783,26	0,00	55,93	1158,57	1118,67	-39,90	-0,04	
gesso 0,25%	46,30	7,83	0,27	14,94	289,26	0,00	35,59	394,19	276,00	-118,19	-0,12	
gesso 0,50%	215,49	24,82	0,68	14,34	697,80	0,00	30,51	983,63	960,00	-23,63	-0,02	
gesso 0,75%	238,11	27,25	0,68	15,69	698,74	0,00	30,51	1010,97	1005,33	-5,64	-0,01	
cal 0,25%	3,34	0,98	0,06	30,26	38,85	0,00	142,37	215,85	240,00	24,15	0,02	
cal 0,50%	5,53	0,10	0,06	42,46	14,60	7,50	152,54	222,78	204,00	-18,78	-0,02	
cal 0,75%	10,91	0,12	0,32	31,09	19,81	7,50	142,37	212,11	145,33	-66,78	-0,07	

Apêndice B - Continuação

(i) Lixiviação 14

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										g dm ⁻³
solo testemunha	9,56	12,03	10,62	10,75	215,07	0,00	45,76	303,79	8236,00	7932,21	7,93
pó 0,25%	8,00	9,78	5,04	6,38	74,99	0,00	30,51	134,71	2420,00	2285,29	2,29
pó 0,50%	5,42	5,46	2,70	6,53	99,49	0,00	45,76	165,36	1748,00	1582,64	1,58
pó 0,75%	4,97	4,83	4,29	8,19	88,04	0,00	45,76	156,07	1322,00	1165,93	1,17
pó 0,25%+ gesso 0,75%	222,00	20,58	0,12	15,11	717,33	0,00	45,76	1020,89	746,67	-274,23	-0,27
pó 0,50%+ gesso 0,75%	217,00	21,57	0,03	14,53	654,32	0,00	45,76	953,21	820,00	-133,21	-0,13
pó 0,75%+ gesso 0,75%	253,67	20,93	0,50	14,01	734,43	0,00	71,18	1094,72	941,33	-153,38	-0,15
gesso 0,25%	14,67	3,48	0,12	10,01	107,10	0,00	45,76	181,14	41,33	-139,81	-0,14
gesso 0,50%	164,67	18,51	0,35	12,99	484,22	0,00	35,59	716,33	692,00	-24,33	-0,02
gesso 0,75%	226,00	24,81	0,47	15,35	639,02	0,00	30,51	936,17	949,33	13,17	0,01
cal 0,25%	3,29	0,86	0,24	29,95	22,34	0,00	142,37	199,05	148,00	-51,05	-0,05
cal 0,50%	7,53	0,03	0,03	30,51	1,23	0,00	147,45	186,77	109,33	-77,44	-0,08
cal 0,75%	15,50	0,01	0,21	19,21	0,98	0,00	142,37	178,27	162,67	-15,60	-0,02

Apêndice B - Continuação

(j) Lixiviação 17

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										g dm ⁻³
solo testemunha	10,14	19,09	10,08	9,83	176,64	0,00	61,01	286,80	7920,00	7633,20	7,63
pó 0,25%	7,54	8,15	4,74	7,04	47,27	0,00	76,27	151,01	2304,00	2152,99	2,15
pó 0,50%	4,67	4,55	2,74	7,14	78,07	0,00	53,39	150,57	1522,00	1371,43	1,37
pó 0,75%	4,90	4,74	3,02	8,84	70,55	0,00	45,76	137,80	1160,00	1022,20	1,02
pó 0,25%+ gesso 0,75%	208,05	18,67	0,74	10,64	498,55	0,00	45,76	782,40	781,33	-1,07	0,00
pó 0,50%+ gesso 0,75%	202,65	19,47	0,59	10,36	581,34	0,00	45,76	860,18	777,33	-82,85	-0,08
pó 0,75%+ gesso 0,75%	210,15	17,55	0,62	9,10	566,78	0,00	50,85	855,05	826,67	-28,38	-0,03
gesso 0,25%	17,09	3,56	0,24	7,78	72,78	0,00	30,51	131,96	118,67	-13,29	-0,01
gesso 0,50%	121,11	14,99	0,47	8,87	343,89	0,00	30,51	519,85	534,67	14,82	0,01
gesso 0,75%	210,15	23,15	0,59	10,68	585,89	0,00	30,51	860,96	913,33	52,37	0,05
cal 0,25%	3,58	0,93	0,32	30,22	29,69	0,00	122,03	186,77	245,33	58,56	0,06
cal 0,50%	9,51	0,07	0,18	20,61	6,45	0,00	127,11	163,93	174,67	10,74	0,01
cal 0,75%	17,85	0,02	0,50	14,17	4,71	0,00	122,03	159,28	149,33	-9,95	-0,01

Apêndice B - Continuação

(k) Lixiviação 20

Tratamento	Ca	Mg	K	Na	Sulfato	Carbonato	Bicarbonato	Soma de íons	Sólidos Totais	Argila dispersa	Argila dispersa
	----- mg dm ⁻³ -----										
solo testemunha	12,93	8,11	13,75	11,10	203,73	0,00	61,01	310,64	11864,00	11553,36	11,55
pó 0,25%	6,58	7,02	2,51	5,56	74,98	0,00	45,76	142,41	3468,00	3325,59	3,33
pó 0,50%	3,86	3,13	1,65	5,97	52,35	0,00	53,39	120,34	1796,00	1675,66	1,68
pó 0,75%	3,89	2,90	1,43	6,96	48,80	0,00	45,76	109,74	1226,00	1116,26	1,12
pó 0,25%+ gesso 0,75%	170,90	11,61	0,53	6,75	429,28	0,00	40,68	659,75	480,00	-179,75	-0,18
pó 0,50%+ gesso 0,75%	185,66	13,56	0,47	6,93	437,96	0,00	40,68	685,26	634,67	-50,59	-0,05
pó 0,75%+ gesso 0,75%	180,51	11,73	0,44	5,90	424,95	0,00	45,76	669,29	548,00	-121,29	-0,12
gesso 0,25%	16,47	2,65	0,24	5,56	26,02	0,00	30,51	81,45	150,67	69,22	0,07
gesso 0,50%	74,81	7,14	0,32	5,15	162,17	0,00	30,51	280,11	220,00	-60,11	-0,06
gesso 0,75%	195,96	14,25	0,44	6,82	440,56	0,00	30,51	688,54	634,67	-53,87	-0,05
cal 0,25%	3,40	0,42	0,24	24,22	9,70	0,00	122,03	160,01	62,67	-97,34	-0,10
cal 0,50%	13,71	0,06	0,18	15,22	4,73	0,00	122,03	155,93	78,67	-77,26	-0,08
cal 0,75%	23,34	0,02	0,50	8,16	3,00	0,00	127,11	162,12	46,67	-115,45	-0,12