

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



Dissertação

**DINÂMICA DA LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES E DE ARGILA DISPERSA DE UM
SOLO SOLÓDICO TRATADO COM CONDICIONADORES QUÍMICOS**

Juliana Maciel Bicca

Pelotas, 2020

Juliana Maciel Bicca

**DINÂMICA DA LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES E DE ARGILA DISPERSA DE UM
SOLO SOLÓDICO TRATADO COM CONDICIONADORES QUÍMICOS**

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 Luís Bamberg

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B583d Bicca, Juliana Maciel

Dinâmica da liberação de nutrientes e de argila dispersa de um solo solódico tratado com condicionadores químicos. / Juliana Maciel Bicca ; Luiz Fernando Spinelli Pinto, orientador ; Adilson Luís Bamberg, coorientador. — Pelotas, 2020.

97 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Planossolo. 2. Solódico. 3. Degradação ambiental. 4. Argila dispersa. 5. Lixiviação. I. Pinto, Luiz Fernando Spinelli, orient. II. Bamberg, Adilson Luís, coorient. III. Título.

CDD : 631.41

DINÂMICA DA LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES E DE ARGILA DISPERSA DE UM
SOLO SOLÓDICO TRATADO COM CONDICIONADORES QUÍMICOS

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: 02 de março de 2020.

Banca examinadora:

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

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

Prof. Dra. Paola Bruno Arab
Doutora em Ciências pela Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

Agradecimentos

Aos meus pais, Julio e Sandra, pelo auxílio, incentivo e toda dedicação.

Ao meu namorado, Mikael, por toda compreensão e apoio.

Ao meu irmão, Guilherme, pela amizade e por todo carinho.

Ao professor Luiz Fernando Spinelli Pinto, pela dedicação nas orientações e ensinamentos transmitidos.

À Embrapa Clima Temperado, através do pesquisador Dr. Adilson Luís Bamberg, pela parceria.

Ao amigo, Ricardo Arduin, pelo incentivo à realização do mestrado.

À universidade Federal de Pelotas, que permitiu minha participação junto ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Aos demais professores do Departamento de Solos da FAEM-UFPel, pelas contribuições ao longo do curso.

Aos funcionários do Laboratório de Física e Química do Departamento de Solos da FAEM-UFPel, em especial à Larissa Herter, pela paciência e dedicação nas análises.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Resumo

BICCA, Juliana Maciel. **Dinâmica da liberação de nutrientes e de argila dispersa de um solo solódico tratado com condicionadores químicos**. 2020. 97 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, 2020.

O estudo foi direcionado a uma área degradada situada no município de Pelotas, RS, composta por Planossolo Háplico Eutrófico solódico. O local apresenta um ambiente retroerosivo devido a duas situações: em decorrência da retirada de material superficial do solo para ser empregado na construção da Barragem Santa Bárbara e em decurso da alta concentração de sódio em sua composição, que promove a dispersão das partículas de argila. Em razão dessa condição a vegetação encontra dificuldade para se desenvolver no local. A pesquisa foi lançada com o intuito de verificar alternativas eficientes para a regeneração e a estabilização do solo degradado, para tal, foi desenvolvido um experimento em colunas de lixiviação para simular o efeito causado pela percolação da água da chuva na solubilização e liberação de determinados elementos químicos do solo, e contou com a incorporação de brecha basáltica (pó) e de condicionadores químicos, gesso agrícola e cal hidratada, a fim de gerar a floculação da argila naturalmente dispersa e, assim, alcançar as condições de estabilidade da mesma. Os resultados obtidos nos diversos parâmetros analisados no presente estudo apresentaram um conjunto de dados positivos em relação aos tratamentos propostos, indicando que suas aplicações são capazes de promover a recuperação da qualidade do solo da área afetada. O tratamento com brecha basáltica ocasionou a retenção de determinados nutrientes importantes para a regeneração do solo e/ou vegetação, apesar de ser apenas parcialmente efetivo na floculação da argila. O gesso e a cal foram extremamente eficientes, em todas as doses, no processo de floculação da argila dispersa. Através do experimento, pode-se indicar a utilização da cal para atingir o controle dos processos erosivos das camadas inferiores, já o gesso é mais recomendado para a aplicação no solo superficial, pois floccula a argila e contribui na agregação do solo e na infiltração da água, mantendo o pH em valores neutros, mais apropriado para o desenvolvimento da vegetação. Nesse sentido, o estudo de lixiviação em colunas mostrou-se adequado para o objetivo proposto, indicando que o uso de tratamentos químicos pode floccular a argila, permitindo a estabilização do solo e o controle dos processos erosivos, bem como o efeito positivo na retenção de nutrientes pelo uso da brecha basáltica.

Palavras-chave: Planossolo; solódico; degradação ambiental; argila dispersa; lixiviação; estabilização.

Abstract

BICCA, Juliana Maciel. **Dynamics of release of nutrients and dispersed clay from a sodic soil treated with chemical conditioners**. 2020. 97 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, 2020.

The study was directed to a degraded area located in Pelotas, RS, composed by a Sodic Planosol. The site presents a retro erosive environment due to two situations: to the removal of the surface material from the soil to be used in the construction of the Santa Bárbara Dam and due to the high concentration of sodium in its composition, which promotes the dispersion of clay particles. Due to this condition, the vegetation finds it difficult to develop in the degraded area. The research was conducted with the aim of verifying efficient alternatives for the regeneration and stabilization of degraded soil. For this purpose, an experiment was carried out on leaching columns to simulate the effect caused by the percolation of rainwater on the solubilization and release of certain chemical elements from the soil. The treatments included the incorporation of basaltic breccia (powder) and chemical conditioners, agricultural gypsum and hydrated lime, in order to generate the flocculation of the naturally dispersed clay and, thus, reach soil structural stability conditions. The results obtained in the various parameters analyzed in the present study presented a set of positive data in relation to the proposed treatments, indicating that their applications are capable of promoting the recovery of soil quality in the affected area. The treatment with basaltic breccia caused the retention of certain nutrients important for the regeneration of the soil and/or vegetation, despite being only partially effective in the clay flocculation. The agricultural gypsum and the hydrated lime were extremely efficient, in all doses, in the flocculation process of the dispersed clay. Through the experiment, it is possible to indicate the use of hydrated lime to achieve the control of the erosive processes of the deeper layers, while the use of agricultural gypsum is more indicated in the soil surface, as it flocculates the clay and contributes to the aggregation of the soil and the infiltration of water, maintaining the pH in neutral values, more appropriate for vegetation development. In this sense, the study of leaching in columns proved to be adequate for the proposed objective, indicating that the use of chemical treatments can flocculate the clay, allowing soil stabilization and the control of erosion processes, as well as the positive effect on the retention of nutrients by using basaltic breccia powder.

Keywords: sodic planosol; environmental degradation; dispersed clay; leaching; stabilization.

Sumário

| | | |
|-----------|--|----|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | Revisão de literatura..... | 4 |
| 2.1 | Áreas degradadas..... | 4 |
| 2.1.1 | Conceitos e definições..... | 4 |
| 2.1.2 | Áreas de empréstimo..... | 5 |
| 2.2 | Remineralizadores de solo..... | 6 |
| 2.2.1 | Evolução histórica do tema..... | 7 |
| 2.2.2 | Rochas silicáticas..... | 9 |
| 2.2.3 | Decomposição química de minerais..... | 10 |
| 2.2.4 | Solubilidade mineral..... | 10 |
| 2.2.5 | Basaltos da Fronteira Oeste do RS..... | 11 |
| 2.3 | Condicionadores químicos..... | 13 |
| 3 | Área de estudo..... | 14 |
| 3.1 | Caracterização..... | 14 |
| 3.2 | Aspectos ambientais..... | 15 |
| 3.3 | Solo..... | 17 |
| 3.4 | Geologia..... | 19 |
| 4 | Materiais e métodos..... | 21 |
| 4.1 | Materiais..... | 21 |
| 4.1.1 | Solo..... | 21 |
| 4.1.2 | Condicionadores de solo..... | 22 |
| 4.1.2.1 | Brecha basáltica..... | 22 |
| 4.1.2.2 | Condicionadores químicos..... | 23 |
| 4.2 | Métodos..... | 23 |
| 4.2.1 | Procedimentos analíticos..... | 23 |
| 4.2.1.1 | Preparo do solo..... | 23 |
| 4.2.1.2 | Análises físicas..... | 23 |
| 4.2.1.3 | Análises químicas..... | 23 |
| 4.2.1.4 | Difração de raios-X..... | 24 |
| 4.2.1.5 | Caracterização litoquímica..... | 24 |
| 4.2.1.5.1 | Difratometria..... | 25 |
| 4.2.1.5.2 | Litoquímica..... | 25 |
| 4.2.2 | Procedimentos experimentais..... | 26 |
| 4.2.2.1 | Lixiviação..... | 26 |
| 5 | Resultados e discussão..... | 29 |
| 6 | Conclusão..... | 55 |
| | Referências..... | 56 |
| | Apêndices..... | 62 |

1 Introdução

O estudo engloba dois problemas ambientais correlacionados, pois a degradação da área devido à retirada de camadas de solo para ser empregado na construção da Barragem Santa Bárbara em Pelotas, RS, o que a caracteriza como área de empréstimo, é intensificada pelo fato do solo possuir alta concentração de sódio em sua composição, o que promove a dispersão natural das argilas presentes no solo.

Em áreas de empréstimo a degradação do solo ocorre de forma intensa, pois as camadas superiores, que englobam a porção fértil, são removidas, e a vegetação nativa é conseqüentemente destruída. Esse problema ambiental causado por obras de engenharia, que removem os horizontes superficiais do solo, principalmente para empréstimos em aterros e barragens, deixando as camadas inferiores expostas aos processos que causam erosão de maneira severa, uma vez que, não há matéria orgânica e a reserva de nutrientes é escassa, dificultando o desenvolvimento de vegetação na área (DIAS; GRIFFITH, 1998).

Essa é a situação em que se encontra o local em estudo, uma área ao entorno da Barragem Santa Bárbara situada no município de Pelotas, região sul do estado do Rio Grande do Sul, que apresenta solo desnudo, vulnerável à erosão.

As “áreas de empréstimo” dificilmente se regeneram naturalmente, devido ao fraco potencial biológico, sendo necessária uma estratégia de recuperação para formar um novo horizonte superficial capaz de sustentar a vegetação que ali surgir ou a que for implantada (ABRAHÃO; MELLO, 1998).

Uma alternativa para solucionar os problemas da degradação nessas áreas e oferecer melhores condições de recuperação ao solo pode ser o aumento dos níveis biológicos e de fertilidade auxiliado por meio de uma técnica de remineralização do solo, que disponibiliza ao solo determinados minerais que podem ser intemperizados e agir como a fração silte de um solo jovem, servindo como reserva de nutrientes minerais. De acordo com Amparo (2003), a rocha basáltica é mais eficiente do que a granítica nesse processo, pois é composta por determinados minerais que aportam Ca e Mg, elementos básicos para a nutrição das plantas. Em solos intemperizados naturalmente esses elementos são lixiviados diminuindo a reatividade das argilas, ou

seja, transformando-as em argilas com baixa CTC, como é o caso da área em estudo.

A adição de rochas cominuídas (partículas reduzidas) no solo funciona como um método de fertilização do mesmo, repondo macronutrientes como potássio, cálcio, magnésio, fósforo, entre outros, além de micronutrientes como manganês, ferro, cobre, sódio, etc., liberados dos minerais para solução do solo (THEODORO, 2000). Ainda de acordo com a autora citada, essa técnica recuperadora, libera os nutrientes lentamente, atuando por longos períodos, garantindo assim, a manutenção e equilíbrio dos solos, além de requerer menores custos em relação aos fertilizantes industrializados de elevada solubilidade e concentração (FESC).

A característica dos agrominerais de liberarem os nutrientes de maneira lenta, enquanto que os FESC apresentam respostas mais rápidas, é, no entanto vista como um ponto negativo. Por outro lado, essa propriedade de baixa solubilização pode ser compensada pelo longo período de oferta de elementos nutricionais, já que esses são liberados das rochas por meio de processos naturais, tais como, ações de microrganismos solubilizadores, sistema radicular das plantas, temperatura, umidade, etc. Esse processo de intemperização dos minerais pode ser acelerado de acordo com o tamanho das partículas dos mesmos (THEODORO et al., 2010). Quando se reduz o tamanho dessas partículas através de sua moagem, a ação do intemperismo sobre esses materiais é acelerada, isso ocorre pelo rompimento das ligações químicas durante o processo, assim como também pelo aumento exponencial da área superficial específica (ASE) conforme a redução do tamanho das partículas, aumentando sua reatividade (AZEVEDO, 2016).

A maior parte dos solos brasileiros tem por característica serem ácidos e com baixa fertilidade, necessitando de um manejo adequado para corrigir tais aspectos. Mesmo os solos mais férteis requerem uma manutenção através de adubações, com a finalidade de repor os nutrientes perdidos ao longo da exploração agrícola, sendo utilizados para isso FESC e orgânicos. De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2018), mais de 75% dos fertilizantes utilizados no agronegócio no Brasil são importados, o que eleva os custos com esses insumos.

Além da degradação antrópica pela retirada do material de empréstimo, o solo do local em estudo apresenta elevado teor de sódio em sua composição, acarretando o problema de dispersão de argila desestruturando completamente o solo. O condicionamento ideal para esse caso é o aumento da razão do cálcio em

relação ao sódio, pois essa condição permite a aproximação das partículas coloidais e a consequente formação de agregados estruturais, possibilitando um controle do processo erosivo e o equilíbrio do ambiente. Para isso é necessário o uso de condicionadores químicos capazes de oferecer quantidades significativas de Ca, como é o caso do gesso agrícola, da cal hidratada e da rocha basáltica, pois, possuem grande quantidade desse elemento em sua composição química.

O estudo teve por finalidade verificar os efeitos da aplicação dos condicionadores químicos (cal hidratada e gesso agrícola) e da rocha basáltica em um solo de características sódicas/solódicas de área degradada do entorno da barragem Santa Bárbara, Pelotas, RS. A hipótese é que através da aplicação dos produtos citados seja possível flocular a argila dispersa e assim estabilizar o solo, possibilitando o controle do processo erosivo, e aumentar a disponibilidade de nutrientes ao meio a partir da aplicação de rocha basáltica.

Para alcançar o objetivo, foi elaborado um experimento em colunas de lixiviação com o intuito de simular o efeito causado pela percolação de água da chuva no solo e a solubilização e liberação de alguns elementos químicos para o ambiente. O experimento foi dividido em duas etapas, sendo que o Geólogo Ricardo Arduin iniciou o experimento em dezembro do ano de 2016, correspondendo à fase inicial do projeto, realizando as lixiviações ao longo de 20 semanas, através da adição de água destilada na proporção calculada de acordo com o índice de chuva previsto para a região, para então apresentar seus resultados na defesa de sua dissertação. Após uma pausa por um período de 68 semanas, o experimento foi reiniciado através do presente estudo, efetuando mais 25 lixiviações, totalizando 45 semanas. Pois acreditou-se que, para a obtenção de resultados mais significativos, seria necessário um tempo maior de atuação dos condicionadores no solo. Durante o tempo de pausa o solo nas colunas foi mantido com umidade próxima a capacidade de campo.

2 Revisão de literatura

2.1 Áreas degradadas

2.1.1 Conceitos e definições

O conceito de degradação ambiental, no geral, aponta para alterações físicas, químicas e/ou biológicas ocorridas no meio, porém, a interpretação varia de acordo com o objetivo de estudo. No caso de uma área de florestas, perturbação gerada pela sua exploração inadequada pode interferir nas características originais do solo e vegetação, de modo parcial ou mesmo total, produzindo alterações além do limite de recuperação natural do solo e/ou vegetação, se fazendo necessária a intervenção humana.

O Decreto Federal 97.632/89 considera degradação como sendo os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais.

O conceito de degradação comumente refere-se às consequências negativas geradas pelas atividades antrópicas no meio ambiente, ou seja, dificilmente este termo é aplicado aos fenômenos naturais que depredam a natureza (ARDUIN, 2018).

Para Corrêa (2007), as alterações causadas nas propriedades de um solo podem ser classificadas como degradação ou apenas perturbação, de acordo com o grau de intensidade das perdas de nutrientes e modificações físicas. Sendo considerada degradação quando o ambiente não é capaz de se regenerar em um determinado tempo sem que haja a interferência de ação humana, porém quando o ambiente mantém sua capacidade de recuperação considera-se como perturbação, e a intervenção antrópica se faz necessária apenas com a finalidade de acelerar o processo de regeneração.

Conforme Rodrigues e Gandolfi (2001), quando uma área sofre perturbação em suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, independente do grau de intensidade, é considerado como degradação. Entretanto, para reverter essa condição, aplica-se um plano de recuperação, que não significa que o ambiente voltará ao estado original, mas estará em situação não degradada.

Segundo Valcarcel e D'alterio (1998), quando uma determinada fração do solo é removida expondo a camada subsuperficial ou mesmo litólica, intensas alterações no equilíbrio dos ecossistemas são promovidas. Esse desequilíbrio ambiental pode perdurar por dezenas de anos, pois além de contarem com a falta de atributos físicos e químicos que facilitem o desenvolvimento de vegetação no local, os solos ficam vulneráveis aos processos erosivos.

De acordo com Carpanezzi et al. (1992), um ambiente degradado é aquele que ao sofrer distúrbio perde ou diminui sua capacidade de reestruturação, pois ao extinguir a vegetação elimina-se também seus meios de regeneração biótica, como seu banco de sementes, por exemplo.

Sá et al. (2010) explicam que a degradação do solo pode ser conceituada como uma ação que enfraquece a capacidade atual e potencial do solo reduzindo a quantidade e a qualidade da produção de biomassa do solo com a finalidade de produzir bens ou serviços, gerando custos elevados para sua recuperação.

2.1.2 Áreas de empréstimo

Alves e Souza (2008), consideram como “área de empréstimo” o local onde é feito a retirada de determinado volume de solo à ser aplicado em obras de engenharias, como fundações de barragens, construções de hidrelétricas, rodovias, mineração, e diversas outras atividades que envolvem a remoção total da camada vegetal. Os autores indicam que a revegetação é uma alternativa para alcançar a recuperação da área degradada tanto pela remoção da vegetação original e do solo ou parte de suas camadas, gerando a exposição do horizonte C ou do subsolo, pois é confirmada a correlação entre a vegetação, a morfologia, a química e a biologia do solo (ALVES & SOUZA, 2008).

Em áreas de empréstimo a degradação ocorre pela retirada da camada superficial do solo, removendo juntamente a vegetação original, deixando a camada do horizonte C exposta aos processos erosivos e ocasionando compactação, perda da matéria orgânica e redução da disponibilidade de nutrientes, impossibilitando o desenvolvimento de regeneração natural da vegetação (FERREIRA et al., 2007).

2.2 Remineralizadores de solo

Cada vez mais, rochas portadoras de minerais que possam liberar quantidades significativas de nutrientes para o solo e para as plantas - os agrominerais - vêm sendo estudados com a finalidade de aplicar aqueles que se enquadram na legislação como remineralizadores, recuperando solos empobrecidos nutricionalmente, para então promover a oferta de determinados elementos químicos essenciais à fertilidade dos ambientes.

A legislação brasileira (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).

A Instrução Normativa nº 5 do MAPA, publicada em 10 de março de 2016, estabelece as especificações e garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem, a rotulagem e a propaganda dos remineralizadores destinados à atividade agrícola. Os critérios de normatização para registro no MAPA estão demonstrados na Figura 1.

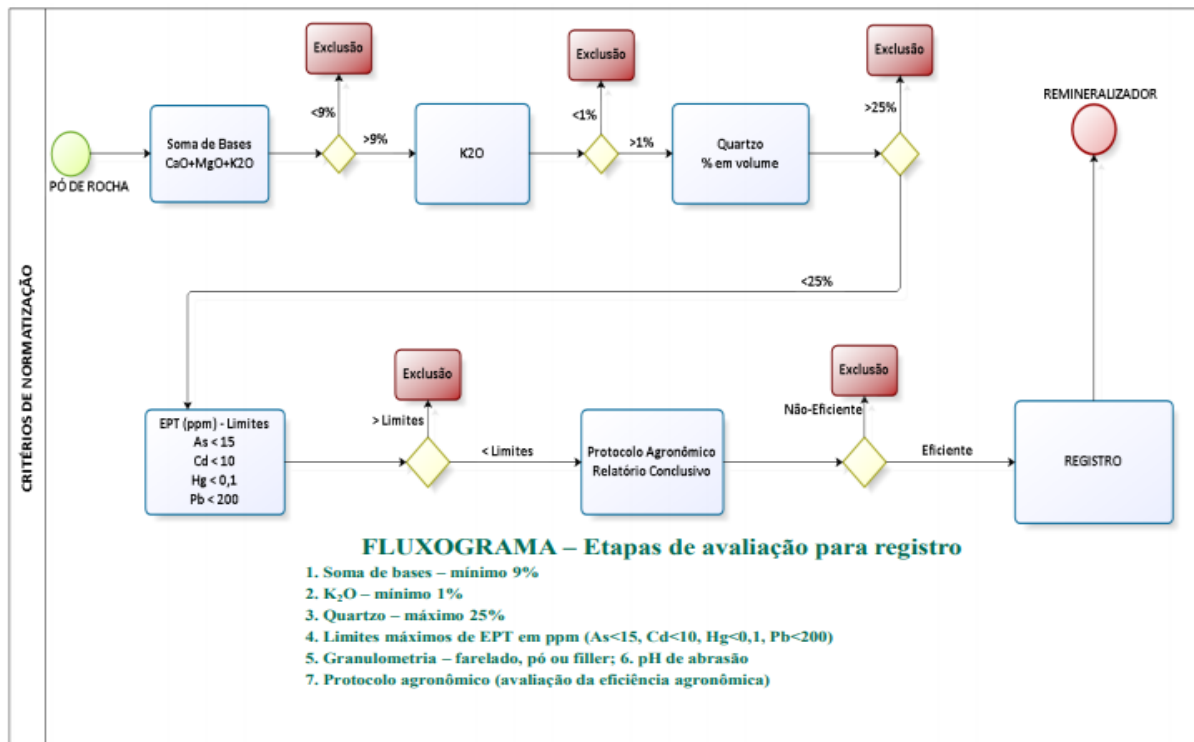


Figura 1 – Critérios de normatização para registro de remineralizador no MAPA. (Fonte: MARTINS, 2019).

De acordo com Lapido-Loureiro et al. (2009), a utilização de remineralizadores pode servir como estoque de nutrientes no solo, que são essenciais para o desenvolvimento e a sustentação da vegetação. No entanto, é necessário reconhecer quais são os macro e micronutrientes, e qual a função de cada um deles no ambiente. O desenvolvimento das plantas depende principalmente dos macronutrientes (carbono, oxigênio, hidrogênio - retirados do ar e da água - e nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre retirados do solo) sendo estes consumidos em elevadas quantidades. Já os micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Co, B, Cl, Se), apesar de consumidos em pequenas quantidades, são elementos essenciais para o crescimento vegetal.

2.2.1 Evolução histórica do tema

Estudos sobre a aplicação de rochas moídas como um processo de rejuvenescimento ou remineralização do solo vem aumentando ao longo do tempo. No Brasil, as pesquisas relacionadas ao tema iniciaram na década de 1950 quando Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko sugeriram que o uso desse material poderia ofertar nutrientes ao meio. Anos depois, Othon H. Leonardos, então professor da Universidade de Brasília, desenvolveu novas pesquisas referentes ao assunto, tornando-se o grande precursor da rochagem no país (ARDUIN, 2018). Estudos mais recentes de Othon H. Leonardos, Suzi H. Theodoro e William S. Fyfe têm sugerido um potencial promissor para a técnica da Rochagem no incremento dos padrões de fertilidade dos solos tropicais (THEODORO et al., 2006).

Em nível mundial, James Hutton, considerado o fundador das ciências geológicas, começou a explorar essa técnica ainda no século XVIII, recomendando e aplicando em sua fazenda na Escócia com o intuito de elevar a fertilidade do solo (BAILEY, 1967). Mais recentemente Bashir Jama e Peter Van Straaten vêm apresentando os resultados positivos alcançados com o emprego de determinados tipos de rochas aos solos (THEODORO et al., 2006).

A técnica de aplicação de rochas silicáticas como remineralizador do solo ganhou estudos mais específicos no meio acadêmico na década de 1960, quando Keller e colaboradores em 1963 desenvolveram uma importante pesquisa relacionada ao intemperismo de minerais silicáticos, observando a dissolução de elementos em solução (SILVEIRA, 2016).

Ainda de acordo com o autor supracitado, trabalhos de Leonardos et al. (1976 e 1987), assim como pesquisas desenvolvidas por Fyfe em 1981, se destacaram em relação a abordagem do tema, trazendo um alerta mais sustentável do uso da terra, ressaltando a necessidade de aprimorar o controle químico das relações de transporte, mobilização e fixação dos elementos em novas rochas e minerais.

Chesworth et al. (1983) realizaram um experimento utilizando rochas basálticas e graníticas (básicas - 45 a 52% de SiO_2 - e ácidas com mais de 66% de SiO_2 , respectivamente), afim de observar a disponibilidade dos elementos químicos em solução. Verificaram que nas primeiras horas, consideráveis quantidades de potássio haviam sido disponibilizadas relacionadas às partículas muito pequenas. Os autores também afirmam que as rochas básicas possuem maior eficiência na liberação de Ca, Mg e K quando comparadas com as rochas ácidas.

Estudos realizados por Hinsinger et al. (1996) e por Coroneos et al. (1996) afirmaram que o uso de rochas graníticas como remineralizadoras não possui efeito significativo em relação a liberação de elementos essenciais para a nutrição vegetal, pois esse tipo de rocha apresenta baixa dissolução, apontando uma inviabilidade econômica se comparado com a fertilização convencional.

Por um lado, investigações feitas recentemente no Brasil apontam que rochas básicas possuem efeito positivo em vários aspectos do solo. Melo et al. (2012) observou em seu trabalho que tratamentos com doses de basalto operam na neutralização da acidez potencial, assim como também atuam elevando teores de Zn, Fe e Cu. Referente ao potencial econômico do uso de rochas vulcânicas máfico-ultramáficas, Souza (2014) afirma que o uso desse material é viável, pois equivale ao uso de fertilizante comum quando aplicado uma dose de 6 t/ha, além de elevar o pH e possuir efeito residual.

De acordo com Andrade et al. (2002), dependendo da composição mineralógica da rocha adicionada ao solo, a mesma pode atuar como um corretivo de acidez, como é o caso dos carbonatitos, tipo de rocha ultrabásica utilizada em sua pesquisa. As rochas básicas, como os basaltos, por exemplo, agem alcalinizando os solos, diferente das rochas ácidas.

O estudo realizado por Ribeiro (2010) constatou a eficiência de rocha ultramáfica quanto à capacidade de agir como corretivo do solo, pois ao aplicar esse remineralizador, além de aumentar o teor de potássio e fósforo, também elevou o valor de pH.

Erhart (2009) aponta que tratamentos com rocha basáltica em associação à calagem, independente da dose de rocha moída aplicada, têm efeito pouco significativo nas características químicas do solo após um ano de avaliação do experimento, quando comparado ao tratamento com calagem em conjunto com adubação com PK.

Para Bolland e Baker (2000), os resultados negativos apresentados pelo uso de rochas graníticas (ácidas) moídas, podem ocorrer devido ao manejo inadequado dos solos agrícolas, além de características naturais do solo ou pela aplicação de agrominerais que não são compatíveis com determinado tipo de solo. Estudos de quais tipos de materiais rochosos são mais apropriados para determinado tipo de solo ainda são muito escassos.

2.2.2 Rochas silicáticas

A maioria dos minerais que constituem as rochas da crosta terrestre são silicatos. Apesar desses materiais consolidados apresentarem variações na composição química e mineralógica, o silício é o elemento central, ocorrendo em conjunto com outros elementos em concentrações significativas, como cálcio, magnésio, potássio, sódio, manganês, fósforo, alumínio e ferro (ARDUIN, 2018).

As rochas silicáticas, na sua condição natural, fornecem uma lenta liberação de nutrientes, o que a princípio, indica um ponto negativo para a técnica de remineralização do solo, inviabilizando uma expectativa de respostas em curto prazo, diferente dos FESC. Autores como Souza (2014) e Niewinski (2016) veem, no entanto, essa característica com aspectos positivos, pois a rocha moída permaneceria reagindo no solo por períodos mais longos, dispensando a reaplicação em pequeno espaço de tempo.

A velocidade de liberação dos nutrientes depende da composição mineralógica da rocha, da granulometria, do tamanho, qualidade e grau de alteração dos cristais dos minerais presentes, e outros vários aspectos (MARTINS, 2010). Existem diversos tipos de rochas, cada uma com suas variações, por exemplo, alguns basaltos e fonolitos, apresentam frações significativas de elementos em materiais amorfos (vítreos) ou cristais muito pequenos, o que aceleraria o processo de disponibilização dos elementos (TEIXEIRA et al., 2012).

2.2.3 Decomposição química de minerais

De acordo com Meurer & Anghinoni (2015), a disponibilização dos nutrientes para o solo é possível após alguma forma de decomposição química dos minerais que constituem as rochas, cujo processo ocorre através de:

- Dissolução: os minerais sofrem esta reação a partir da penetração de água nos poros. Este tipo de reação solubiliza o cálcio nos carbonatos, por exemplo, promovendo sua mobilidade. A variação de solubilização vai depender do pH da solução.

- Hidrólise: é a reação de decomposição e/ou alteração provocada pela água, modificando a estrutura do mineral por meio dos íons de H^+ e OH^- . A hidrólise é a principal responsável pela decomposição dos silicatos e formação dos argilominerais a partir do resíduo da reação, ocorrendo a remoção de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) e de parte do Si^{4+} .

- Oxidação: ocorre nos minerais com teores de Fe^{2+} ou Mn^{2+} , como os ferromagnesianos. Os cátions oxidados se tornam óxidos de ferro, como hematita e goethita, por precipitação, gerando as cores avermelhadas e amareladas nos solos, indicando um ambiente de oxidação.

- Complexação: ocorre a partir da ligação de grupos funcionais da matéria orgânica com íons metálicos como Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} e Cu^{2+} .

Esses processos ocorrem através de agentes como o oxigênio livre, gás carbônico e água que percola nos poros, clivagens e fissuras das rochas, dissolvendo assim os compostos mais solúveis e os transferindo para o meio (KÄMPF et al., 2009).

2.2.4 Solubilidade mineral

Os processos de alteração dos minerais podem gerar diferentes produtos, dependendo de diversos fatores como pH, solução do solo, temperatura, e no caso dos ferromagnesianos, as reações de redox. O pH interfere na liberação dos cátions da estrutura cristalina da rocha para o sistema, em ambientes básicos e ácidos essa disponibilização ocorre de forma mais rápida, já em ambientes neutros acontece de maneira lenta (HARLEY; GILKES, 2000). No entanto, a disponibilidade dos nutrientes para as plantas pode ser menor, pois elementos como nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e cálcio se tornam mais disponíveis em pH neutro, enquanto que elementos tóxicos para as plantas, como alumínio, ficam em forma disponível

quando está em pH ácido, provocando baixa produtividade (KETTERINGS et al., 2005).

Algumas imperfeições e fraturas na superfície dos minerais facilitam sua dissolução, portanto, é possível acelerar a liberação dos nutrientes contidos no mesmo através da moagem. A diminuição do tamanho das partículas ocasiona um aumento da superfície disponível para o ataque dos agentes intempéricos, aumentando a solubilidade do mineral (THEODORO et al., 2010). No entanto, partículas muito finas quando aplicadas em campo tendem a apresentar problemas como deriva pelo vento e entupimento dos dutos de distribuição dos maquinários disponíveis para aplicação de fertilizantes. Uma alternativa estudada por Carneiro et al. (2016), é a cominuição diferenciada, em forma de placóides, em que o material adquire uma ASE maior sem precisar diminuir tanto o tamanho das partículas.

2.2.5 Basaltos da Fronteira Oeste do RS

Na porção oeste do estado do Rio Grande do Sul são encontradas brechas basálticas relacionadas à Formação Serra Geral. Essa unidade litoestratigráfica (Figura 2), que inclui além de basaltos, também dacitos, riodacitos e riolitos, abrange estados desde o sul até o centro leste do país, com espessuras de derrames de rochas ígneas vulcânicas atingindo até cerca de 1.500 m no centro da área. Seu surgimento está relacionado a um vulcanismo de natureza inicialmente básica, ligado ao rompimento do megacontinente Gondwana, em que a crosta terrestre foi submetida a intenso processo de distensão (NARDY et al., 2002).



Figura 2 - Mapa destacando a cobertura basáltica no RS (adaptado de Pessoa et al., 2017).

Conforme Bergmann (2016), na cobertura basáltica encontram-se brechas vulcânicas provenientes dos derrames Catalán e Cordillera (Figura 3) atingindo uma espessura de 7m ou mais, tendo como principal característica o elevado teor de cálcio, devido ao alto conteúdo de calcita presente na composição mineralógica, e correspondem a Fácies Alegrete, que abrange o município de Santana do Livramento – RS (Figura 4).

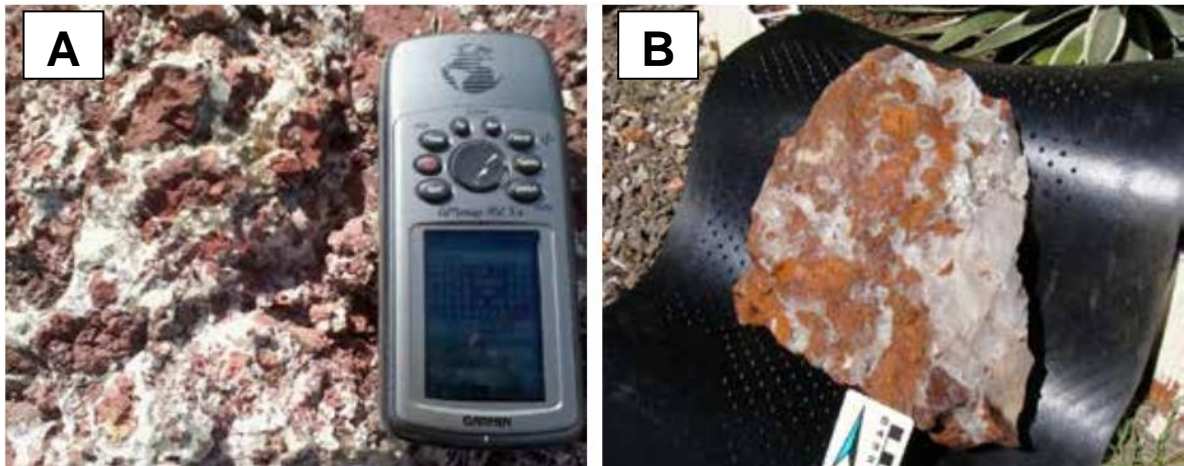


Figura 3. (A) Brecha de topo do derrame Cordillera no local da Pedra Grande, Quaraí, RS. O material branco é calcita. (B) Detalhe de bloco de brecha de topo do derrame Catalán com calcita (branca) no parque eólico Cerro Chato, Santana do Livramento, RS. (Fonte: BERGMANN, 2016)

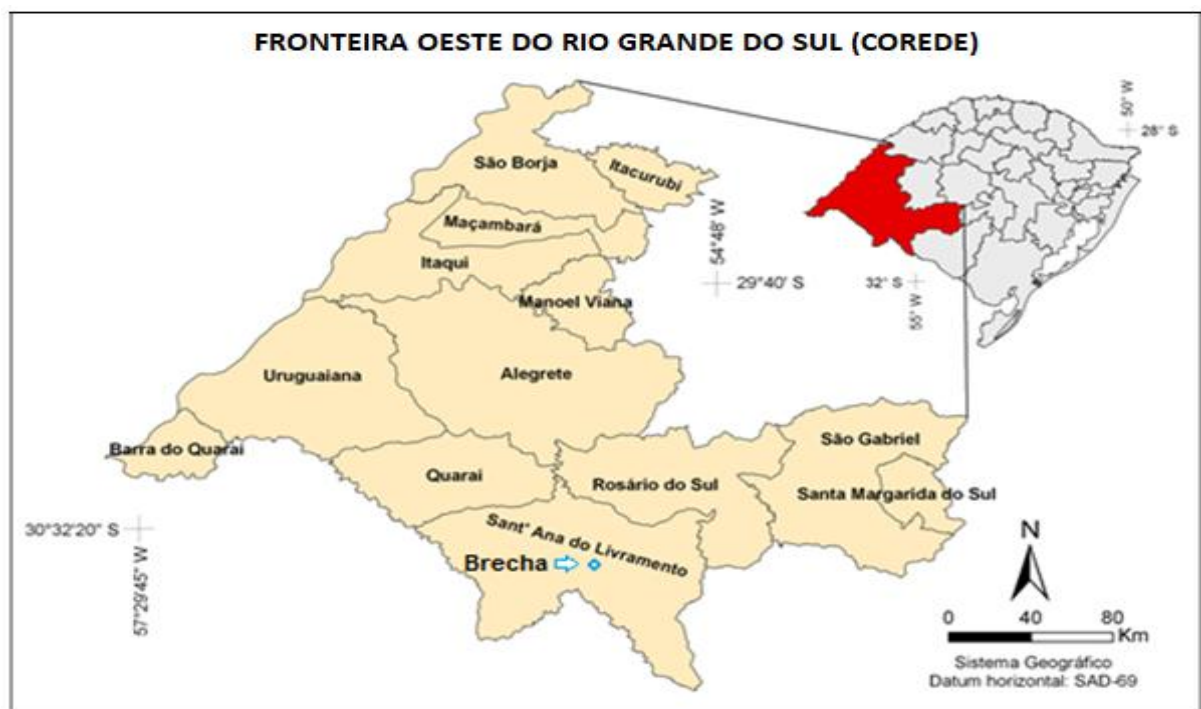


Figura 4 - Mapa com a localização da brecha basáltica usada no estudo (adaptado de RS/FEE, 2008).

A autora ainda aponta que os teores de CaO são da ordem de 12-19% e de MgO 3,0-6,4%, e devido ao fato dos clastos de basalto amigdalóide geradores de brechas serem ricos em material devitrificados, essa característica favoreceria sua reatividade no solo e possibilitaria a formação de argilominerais do tipo esmectitas por alteração deutérica ou intempérica, capazes de elevar a capacidade de troca de cátion – CTC do solo.

2.3 Condicionadores químicos

Os condicionadores químicos, como os empregados no presente estudo, no caso, a cal hidratada e o gesso agrícola, atuam como flocculantes de argila em dispersão, e são moderadamente solúveis.

O gesso possui altos teores de cálcio em sua composição, que em conjunto a outras propriedades, são capazes de corrigir o excesso de sódio presente nos solos solódicos e sódicos, que além de dificultar o desenvolvimento da maioria das plantas ocasiona a dispersão das argilas (MALAVOLTA et al., 1981).

A cal hidratada possui características semelhantes ao gesso, no entanto, por ser uma base, produz uma elevação do pH, sendo indicada apenas quando o valor do pH for menor que 7,5. Em estudo de Arduin (2018), observou-se que a utilização dessa libera uma quantidade menor de íons para solução, ou seja, retém no solo elementos nutricionais importantes, como cálcio, magnésio e potássio.

3 Área de estudo

3.1 Caracterização

A área em estudo situa-se ao entorno da Barragem Santa Bárbara, em Pelotas/RS. O local serviu como área de empréstimo para a construção da barragem, tendo sido retiradas as camadas pedogenéticas do solo (horizontes A e B), e conseqüentemente a camada mais fértil do ambiente. Isso levou a uma dificuldade na revegetação natural, expondo a área aos processos erosivos (Figura 5). Outro fator que dificulta a regeneração é a instabilidade estrutural do material das camadas subsuperficiais do solo, caracterizadas pelo elevado teor de sódio, que ocasiona a dispersão das argilas e o carreamento das mesmas pelas águas superficiais, intensificando o processo erosivo.



Figura 5 - Fotografia da situação atual da área de empréstimo. Foto: Bicca, Juliana (2020).

A Barragem Santa Bárbara foi construída em 1960 pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), com a finalidade de evitar cheias na área urbana de Pelotas, bem como proporcionar o abastecimento público de água potável.

O local onde foram coletadas as amostras tem seu acesso pela Av. Presidente João Goulart, perto do Centro de Eventos da cidade de Pelotas, e fica a cerca de 3 km do perímetro central do município (Figura 6).



Figura 6. Imagem identificando a localização da Barragem Santa Bárbara. Em destaque a área degradada. Imagem: Google Earth™ (06/10/2016). (Fonte: ARDUIN, 2018).

3.2 Aspectos ambientais

A área degradada corresponde aproximadamente a um hectare, e está representada por um cenário com solo desnudo em grande parte do terreno e presença de vegetação escassa ao redor (Figura 7).

A região do local em estudo contava originalmente com vasto campo de vegetação, como é possível verificar atualmente ao redor da área degradada (Figuras 7 e 8). Logo, é de suma importância a regeneração desse cenário, visto que o mesmo está inserido na Área de Preservação Permanente (APP) da Barragem Santa Bárbara. O Código Florestal, sob a Lei N° 12.651 de 25 de maio de 2012, considera APP as áreas situadas ao entorno de reservatórios d'água artificiais decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento. O mesmo código entende por APP a área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.



Figura 7 – Imagem identificando a área degradada ao entorno da Barragem Santa Bárbara. Imagem: Google Earth™ (06/10/2018). (Fonte: ARDUIN, 2018).



Figura 8 - Fotografia do entorno da área mais afetada. Foto: Bicca, Juliana (2020).

O município de Pelotas conta com a Lei 5.502/2008, que institui o Plano Diretor da cidade, estabelecendo diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial, onde afirma que a região da Barragem Santa Bárbara se trata de uma área especial de interesse social. Nessa lei também é definida que Áreas Ambientalmente Degradadas (AAD) são áreas públicas ou particulares, que já sofreram ou estejam em processo de degradação ambiental, seja pela ação antrópica ou natural, necessitando de programa específico estabelecido pelo Poder

Público, de mitigação ou compensação, com vistas a estabelecer a recuperação do passivo ambiental nelas localizado. Nesse contexto, o órgão responsável pela gestão do empreendimento, o Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP), possui o dever de desenvolver alternativas capazes de promover a recuperação do ambiente degradado, uma vez que, a problemática se instalou no local após a retirada de material para ser aplicada na implantação da barragem.

3.3 Solo

O solo da área ao entorno da barragem foi caracterizado por Müller (2001), sendo classificado como Planossolo Háplico Eutrófico solódico. Esse apresenta um valor de pH médio a alto, baixo grau de floculação da argila e elevados teores de sódio (13,36%) no perfil, essencialmente no horizonte B, com caráter sódico no horizonte C, observado a partir de 60 cm de profundidade.

De acordo com Arduin (2018), é possível o desenvolvimento de solos solódicos (teor de Na entre 6-15%) e sódicos (teor de Na > 15%) em regiões úmidas, embora esse tipo de solo corresponda mais a regiões áridas e semiáridas. Esse fato ocorre pela interferência da água do mar na constituição das litologias existentes em conjunto com um inadequado manejo ambiental, como desmatamento, por exemplo.

O elevado teor de sódio trocável presente na superfície dos argilominerais é responsável pela dispersão das argilas, tornando difícil a floculação do material fino constituinte do solo.

A dispersão dos materiais finos presentes no solo ocorre de acordo com a composição química e mineralógica da argila associada com a ocorrência de sais no fluido percolante. O grau de dispersão varia com o tipo de argilomineral (2:1 ou 1:1), pois quanto maior for a capacidade de troca catiônica (CTC), maior é o potencial de dispersibilidade. Sendo assim, a montmorilonita, argilomineral do tipo 2:1, afeta de forma mais significativa esse fenômeno quando comparada com a caulinita, do tipo 1:1. Quando observado a influência da composição do líquido percolante, a razão entre a concentração dos íons de sódio presentes e o total de sais dissolvidos é o fator que ocasiona a dispersão dos solos. Essa razão, quando elevada, resulta em uma maior quantidade de sódio adsorvido nas partículas de argila, que associada ao complexo de superfície altamente hidratado, tende a aumentar o espaço entre as

partículas, predominando a força de repulsão na estrutura do solo (MEURER et al., 2012).

Em circunstância com fluxo subterrâneo ocorre o carreamento de partículas finas ocasionando a erosão interna do solo, processo também conhecido por *Piping* (Figuras 9 e 10).



Figura 9 - Fotografia da erosão interna na área degradada. Foto: BICCA, Juliana (2020).



Figura 10 - Fotografia do solo degradado com a presença de erosão. Foto: BICCA, Juliana (2020).

3.4 Geologia

A Planície Costeira compreende toda a porção leste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 11), surgindo na cidade de Torres e se estendendo até La Coronilla, no Uruguai (DELANEY, 1962).

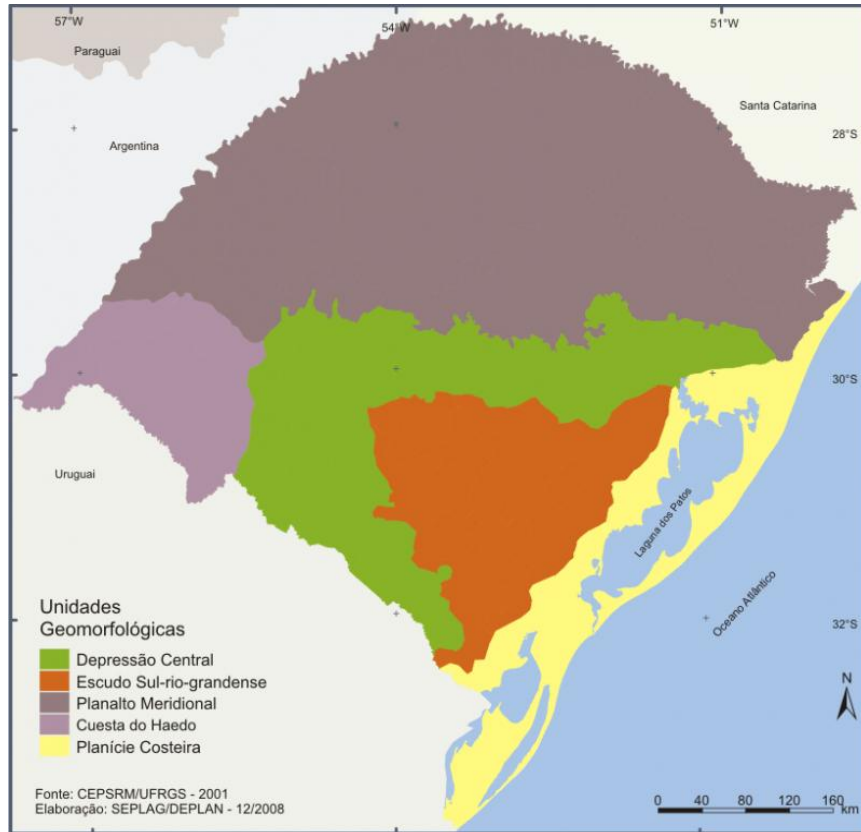


Figura 11 - Província geomorfológica do Rio Grande do Sul. (Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2008).

A planície supracitada é composta por sedimentos que constituem a porção emersa da Bacia de Pelotas, que recebeu materiais inconsolidados desde a abertura do Oceano Atlântico acumulando mais de 5000 m de espessura (VILLWOCK, 1984). Esses sedimentos são classificados como clásticos terrígenos originados pela decomposição e desagregação das terras altas que, por estarem expostas aos processos costeiros, ventos, ondas, correntes e variações do nível o mar, acumularam-se e formaram diversos ambientes deposicionais transicionais e marinhos (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995).

O local em estudo pertence a essa província geomorfológica e está situado sobre a Formação Graxaim que, de acordo com Villwock (1972), distribui-se por toda a Bacia de Pelotas e possivelmente estende-se para a Plataforma Continental. O

autor também aponta uma provável subsidência generalizada da bacia na época de sua deposição, por manter uniformidade em suas características e certa estabilidade em sua espessura total. Essa formação foi gerada pela deposição de material carreado das áreas altas, por rápidas e violentas correntes de água em canal e/ou enxurradas, que originaram leques aluviais nas áreas adjacentes ao Escudo Sul Riograndense, os quais se interdigitam no espaço e se sobrepõem no tempo, ocasionando a variação constante e repetitiva da Formação Graxaim (Figura 12), tanto vertical como horizontalmente. Sua composição mineralógica é caracterizada principalmente por quartzo, feldspato e pelos argilominerais caulinita e montmorilonita (AYALA, 1980).

Ayala (1980) aponta em seu trabalho que Jost em 1971 propôs duas fácies diferentes para a formação, sendo uma caracterizada como conglomerática e outra descrita como areno-siltica ou areno-argilosa.

Na porção descrita como conglomerática ocorre essencialmente areia com baixa quantidade de argila e silte, sendo composta predominantemente por quartzo e feldspato. As fácies classificadas como areno-siltica ou areno-argilosa, apresentam maioria absoluta das litologias da formação, contendo como principal constituinte o quartzo e feldspato, e como minerais secundários o silte e a argila de composição mineralógica sem grande variação. São encontradas, em alguns pontos na base da fácies conglomerática, placas lateríticas pertencentes à Laterita Serra de Tapes (MÜLLER, 2001).



Figura 12 - Fotografia do afloramento da Formação Graxaim no local degradado. Foto: ARDUIN, Ricardo (2017).

4 Materiais e métodos

A pesquisa foi realizada com base em atividades de campo e análises laboratoriais químicas, físicas e mineralógicas. Em campo foi feito o reconhecimento do local e a coleta do solo da área degradada para ser inserido no experimento. As análises foram executadas na Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS, nos Laboratórios de Química e de Física do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas, UFPel e no Laboratório de Difractometria de Raios X da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.

4.1 Materiais

4.1.1 Solo

As amostras de solo utilizadas no experimento (Figura 13) foram coletadas na área inserida ao entorno da Barragem Santa Bárbara, onde o cenário corresponde a uma intensa degradação.



Figura 13 - Amostra do solo da área degradada. Foto: Bicca, Juliana (2017).

A coleta do material ocorreu através de uma amostragem composta do solo superficial (0-20 cm). Posteriormente foram feitas análises para elaborar sua caracterização química e física, conforme a tabela abaixo (Tabela 1), em que nota-se um solo de caráter solódico por apresentar saturação por sódio de 13,36%, outra

característica importante ao observar esses dados, é quantidade de argila no solo, que aparece em pequena quantidade, em torno de 9% apenas, mas afeta diretamente a qualidade do solo, pois essa encontra-se totalmente dispersa em consequência do alto teor de Na.

Tabela 1 – Caracterização química e física do solo degradado.

| pH | Ca | Mg | K | Na | Sb | Al | H + Al | CTC | Saturação | | Argila |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--------|------|-----------|-------|--------------------|
| | | | | | | | | | Bases | Na | |
| cmol _c dm ⁻³ | | | | | | | | | % | | 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 | 90,70 |

4.1.2 Condicionadores de solo

4.1.2.1 Brecha basáltica

O material utilizado como condicionador (Figura 14) foi disponibilizado pela Embrapa Clima Temperado em parceria com o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, que desenvolveram o projeto de Caracterização e Avaliação de Agrominerais Silicáticos no Manejo da Fertilidade do Solo. Esse material é oriundo de uma litologia de natureza basáltica, rica em carbonato de cálcio, coletado no município de Santana do Livramento, região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul.



Figura 14 - Amostra do pó de rocha utilizado no estudo. Foto: Bicca, Juliana (2017).

A rocha é caracterizada petrograficamente como brecha basáltica, pois é composta em grande parte por fragmentos angulosos maiores que 2 mm, em meio a uma matriz de minerais com granulometria mais fina ou até mesmo sem matriz alguma.

4.1.2.2 Condicionadores químicos

O gesso e a cal hidratada, ambos na modalidade para análise (PA) e adquiridos no comércio local, foram os condicionadores químicos utilizados.

4.2 Métodos

4.2.1 Procedimentos analíticos

4.2.1.1 Preparo do solo

O solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2,00 mm. As análises laboratoriais físicas e químicas da fração terra fina (menor que 2,00 mm - TFSA) 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).

4.2.1.2 Análises físicas

O teor de argila presente no solo, analisado antes de iniciar o experimento e após o término das lixiviações, foi determinado pelo método da pipeta, descrito por Gee e Bauder (1986), em que o material foi submetido a um agitador mecânico do tipo vai-vem de baixa rotação pelo período de 16h. A determinação da densidade das partículas ocorreu pelo método do picnômetro (EMBRAPA, 2011).

A quantidade de argila dispersa em suspensão nos lixiviados foi estimada pela diferença entre o teor de sólidos totais e a concentração de sais dissolvidos (essa calculada pela soma de cátions e ânions determinada na análise química).

4.2.1.3 Análises químicas

A determinação do pH em H₂O no solo foi feita potenciométricamente na suspensão solo-líquido na proporção 1:1 em peso.

Potássio e sódio trocáveis foram extraídos do solo com solução HCl+H₂SO₄, tanto esses como o K e o Na dos lixiviados foram 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. O Ca e o Mg dos lixiviados foram igualmente determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

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

Carbonato e bicarbonato dos lixiviados foram determinados por titulação com H₂SO₄ 0,025M, utilizando como indicadores fenolftaleína (carbonato) e metilorange (bicarbonato).

Os teores de sulfato foram determinados com base na análise do teor de enxofre, usando acetato de Na tamponado a pH 4,5 e determinado por turbidimetria com BaCl₂-gelatina, sem fazer digestão da solução (modificado de TEDESCO et al., 1985).

4.2.1.4 Difração de raios-X

O solo foi analisado em difratômetro de raios X, modelo Bruker D2 Phaser, com a finalidade de determinar as principais fases cristalinas que o compõem. Essa foi realizada no Laboratório de Difractometria de Raios X do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS – RS). A interpretação foi feita com base no espaçamento interplanar, através das chaves de Brindley e Brown (1980).

4.2.1.5 Caracterização litoquímica

A litoquímica para óxidos maiores e elementos traços da brecha basáltica (BB) foi realizada pelo ACME Labs, Canadá, com emprego de análise por espectrometria de massa (ICP/ICP-MS), que permitiu 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 Clima Temperado.

4.2.1.5.1 Difratometria

Na análise do pó de rocha por difratometria de raios X (Figura 15), foram identificados os picos maiores referentes à 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 2.2.5. A presença de esmectitas pode ser explicada pela argilização da matriz vítrea do basalto, conforme observado por Hoff et al. (2016).

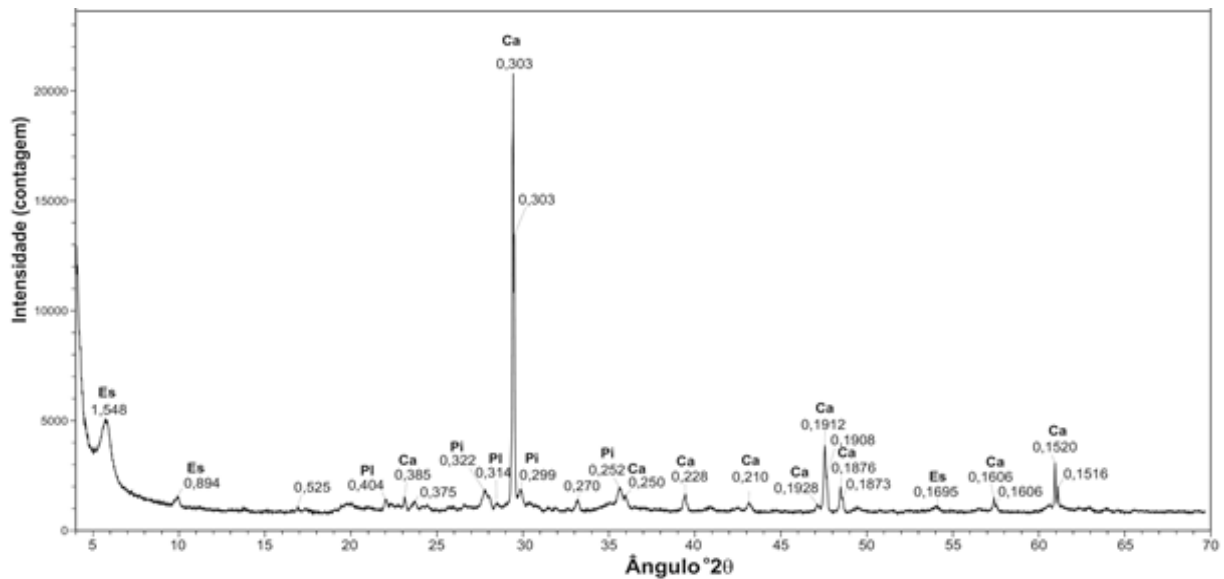


Figura 15 - Difratograma de raios X da amostra de brecha de basalto. (Ca = calcita, Es = esmectita, Pi = plagioclásio e Pi = piroxênio).

4.2.1.5.2 Litoquímica

Na análise do pó de rocha por espectrometria de massas (Tabela 2), foram detectados percentuais para óxidos maiores compatíveis com os valores requeridos para o uso em condicionamento/estabilização de solos. De acordo com IN5/2016, a soma de bases (CaO, MgO, K₂O) de ser igual ou superior a 9%, em peso/peso, o teor de óxido de potássio (K₂O) deve ser igual ou superior a 1% em peso/peso.

Tabela 2 – Resultado dos elementos maiores da análise química total do pó de rocha (%).

| 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 |

4.2.2 Procedimentos experimentais

4.2.2.1 Lixiviação

O experimento foi instalado em colunas (tubos) de PVC com 25 cm de altura. Em cada tubo foi colocado, na parte inferior, uma tela de nylon e um papel filtro para possibilitar o escoamento da água infiltrada para a câmara de ar e posteriormente ser depositada no recipiente de coleta sem nenhum impedimento, ou seja, para evitar que o tubo de saída fosse entupido com solo (Figura 16).

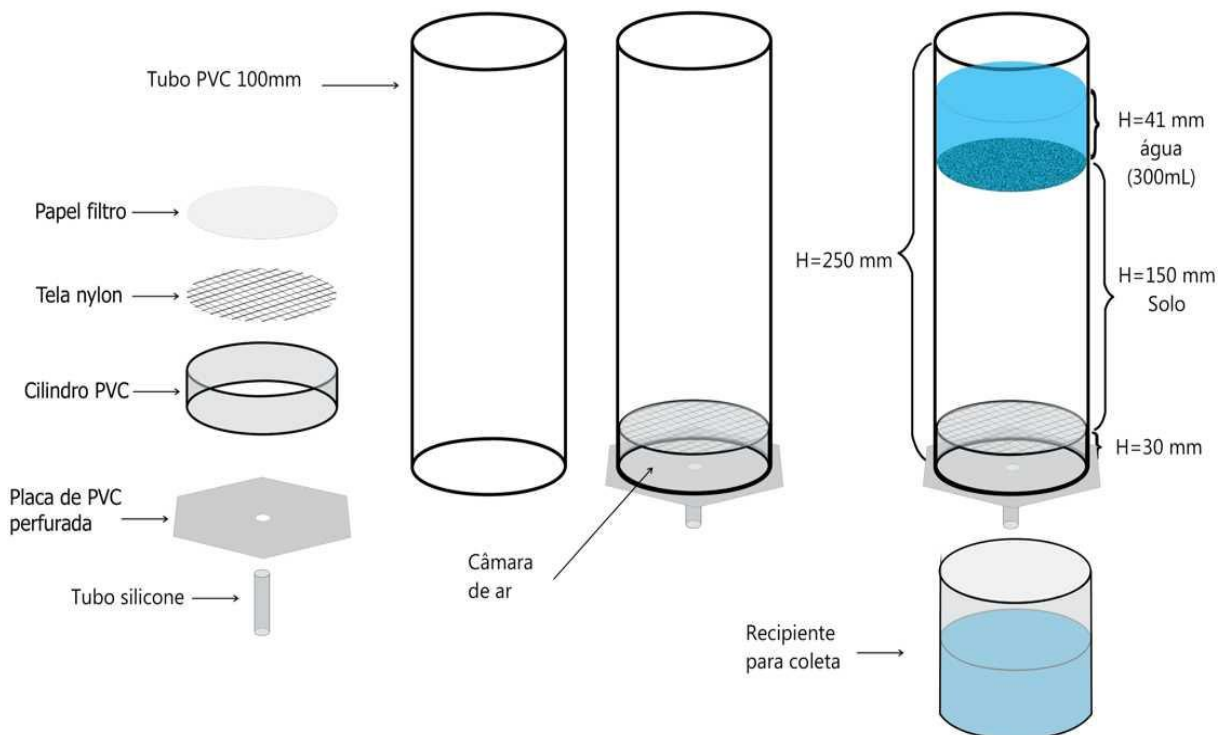


Figura 16 - Ilustração referente à confecção das colunas de lixiviação. Autor: PINTO, L.F.S. (2017).

Foram confeccionadas 39 colunas de lixiviação (Figura 17) para 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. Cada coluna foi preenchida com aproximadamente 1100 cm³ de solo (em média 1500 g).



Figura 17 - Fotografia das colunas de lixiviação. Foto: BICCA, Juliana (2019).

O experimento contou com treze tratamentos triplicados, conforme a Tabela 3, onde os T1, T2 e T3 foram compostos por brecha basáltica (BB) incorporado ao solo nas dosagens iguais à 0,25%, 0,50% e 0,75%, respectivamente. Nos tratamentos T4, T5 e T6 também foram incorporados BB ao solo nas mesmas dosagens supracitadas, complementadas por 0,75% de gesso agrícola nas colunas correspondentes. Os tratamentos T7, T8 e T9 foram compostos apenas por gesso incorporado ao solo, nas dosagens iguais a 0,25%, 0,50% e 0,75%, respectivamente. Nos tratamento T10, T11 e T12 as dosagens foram iguais às descritas anteriormente, porém, ao invés de utilizar o gesso, foi incorporada a cal hidratada. Por fim, as três últimas colunas referentes ao tratamento T13, foram compostas apenas por solo, servindo de testemunha.

Tabela 3 – Demonstração do esquema de tratamentos (lixiviação), com os respectivos tipos e quantidades de insumos aplicados. Autor: Modificado de ARDUIN, Ricardo (2018).

| 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 |
| BB (0,25%) | BB (0,50%) | BB (0,75%) | BB (0,25%) + GESSO (0,75%) | BB (0,50%) + GESSO (0,75%) | BB (0,75%) + GESSO (0,75%) | GESO (0,25%) | GESO (0,50%) | GESO (0,75%) | CAL (0,25%) | CAL (0,50%) | CAL (0,75%) | TESTE- MUNHA |

Foram adicionados 300 mL de água destilada em cada coluna, correspondendo a uma chuva de 41 mm de altura, em intervalos de 7 dias. O geólogo Ricardo Arduin iniciou o experimento em dezembro do ano de 2016, correspondendo à fase inicial do projeto, realizando as lixiviações ao longo de 20

semanas, para então apresentar seus resultados na defesa de sua dissertação. Após uma pausa por um período de 68 semanas, o experimento foi reiniciado, efetuando mais 25 lixiviações, totalizando 45 semanas. Pois acreditou-se que, para a obtenção de resultados mais significativos seria necessário um tempo maior de atuação no solo. Durante tempo de pausa o solo nas colunas foi mantido a uma umidade próxima a capacidade de campo. Em todas as águas coletadas (lixiviados) foram determinados a condutividade elétrica e o pH, sendo que 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) foram determinados em onze lixiviados selecionados da primeira etapa (1^a a 5^a, 7^a, 9^a, 11^a, 14^a, 17^a e 20^a lixiviações) e em mais dezessete lixiviados selecionados da segunda etapa (21^a, 22^a, 23^a, 24^a, 25^a, 26^a, 27^a, 28^a, 29^a, 31^a, 33^a, 35^a, 37^a, 39^a, 40^a, 43^a e 45^a lixiviações).

5 Resultados e discussão

A variação dos valores de pH ao longo de todo o experimento relacionados ao solo testemunha e aos tratamentos em que foram adicionados BB nas doses de 0,25%, 0,50% e 0,75% constam na Figura 18. Nota-se que na fase inicial ocorreu uma proximidade nos valores de pH entre os tratamentos e o solo, porém, após a 15ª lixiviação os valores passaram a se distinguir, com a testemunha apresentando os valores mais altos chegando a alcançar pH 8,4, já os tratamentos com BB chegaram ao final dessa fase apresentando valores mais baixos. Ao se retomar a lixiviação, a situação imediatamente se inverteu. Porém, a seguir a testemunha passou a apresentar uma tendência de valores de pH progressivamente maiores, retomando o patamar de 8,4. Após uma oscilação, os pHs de todos os tratamentos passaram a diminuir após a 36ª lixiviação, retomando um patamar um pouco mais elevado após a 41ª lixiviação, porém 0,5 a 0,8 unidades mais baixo em relação ao início do experimento.

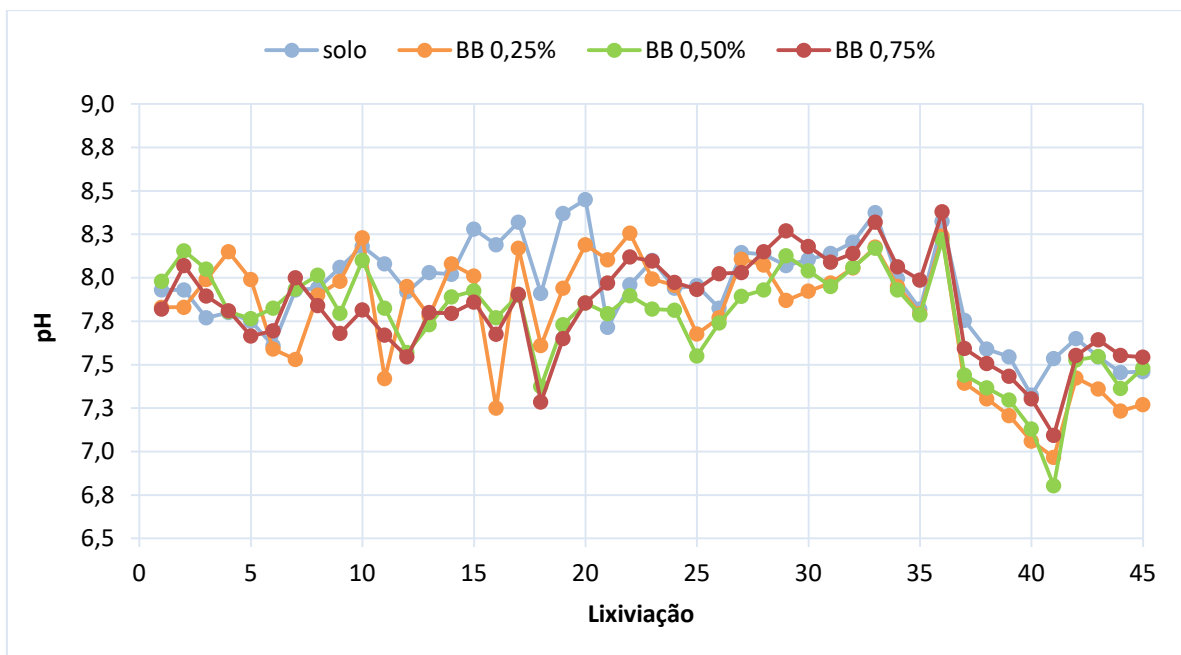


Figura 18 - Gráfico da alteração dos valores de pH nos tratamentos com brecha basáltica (BB) em todas as doses em relação ao solo testemunha.

As Figuras 19 e 20 mostram a variação de pH do solo testemunha e dos tratamentos propostos nas doses de 0,25% e 0,50%, respectivamente. Observa-se, em ambas as doses, até a 10ª lixiviação uma diferenciação do parâmetro analisado, sendo cal > brecha basáltica e solo testemunha > gesso. Esse comportamento alterou-se nas próximas lixiviações, em que o pH do solo aumenta, enquanto os

valores referentes à cal reduzem. Quando a adição de água destilada foi retomada, na 21ª lixiviação, a sequência dos valores (cal > brecha basáltica e solo testemunha > gesso) voltou a mostrar um comportamento semelhante ao início do experimento, com o tratamento com cal retomando os valores mais altos de pH, permanecendo assim até o final do experimento. Esse comportamento pode ser explicado baseado na natureza química dos materiais incorporados ao solo degradado, cal hidratada (base forte), brecha basáltica rica em cálcio (sal básico) e gesso (sal neutro).

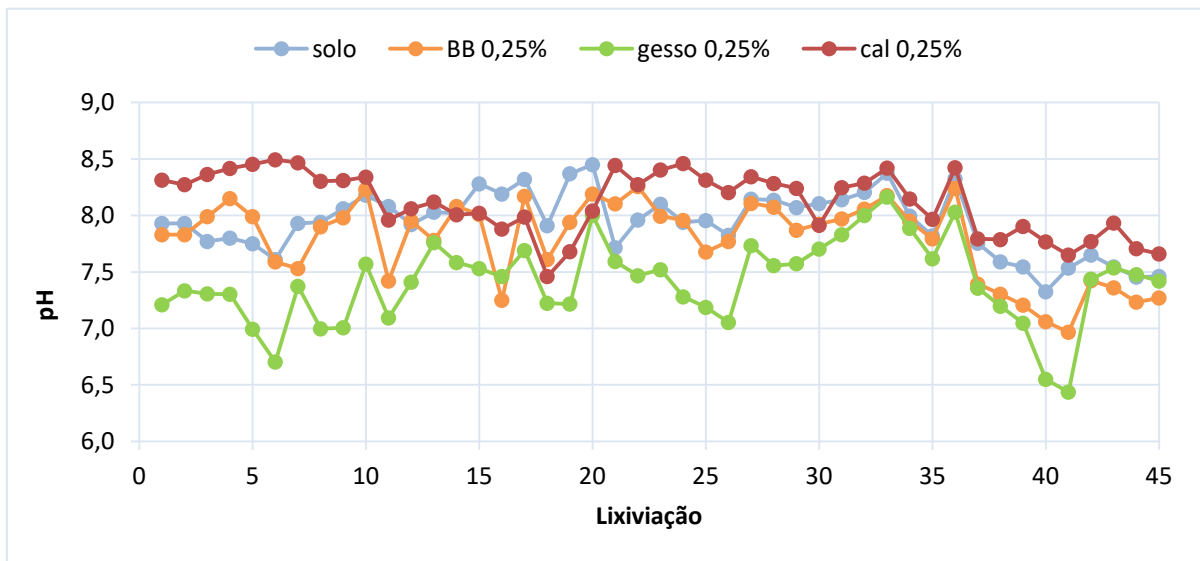


Figura 19 - Gráfico da variação dos valores de pH entre todos tratamentos propostos na dose de 0,25%, em relação ao solo testemunha.

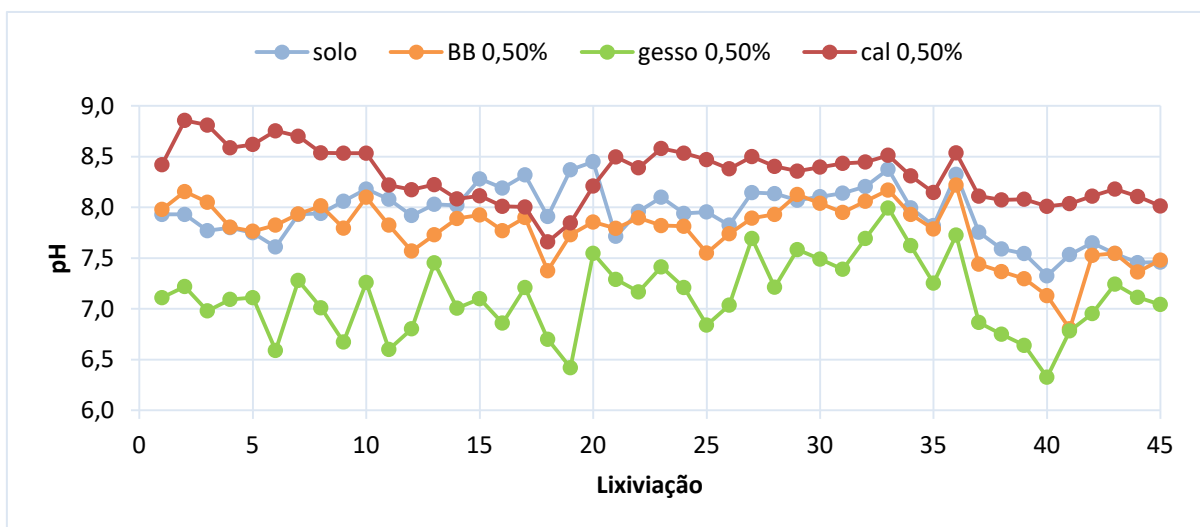


Figura 20 - Gráfico da variação dos valores de pH entre todos tratamentos propostos na dose de 0,50%, em relação ao solo testemunha.

A Figura 21 mostra a variação de pH entre todos tratamentos propostos na dose de 0,75%, em relação ao solo testemunha, contendo também o tratamento com BB na dose de 0,75% complementado com gesso na proporção de 0,75%. É possível observar que os comportamentos apresentados foram muito semelhantes aos verificados nas Figuras 19 e 20, com o tratamento BB + gesso mantendo pHs intermediários entre os tratamentos BB e gesso até a 36ª lixiviação, ficando a partir dessa mais próxima da brecha basáltica do que do gesso.

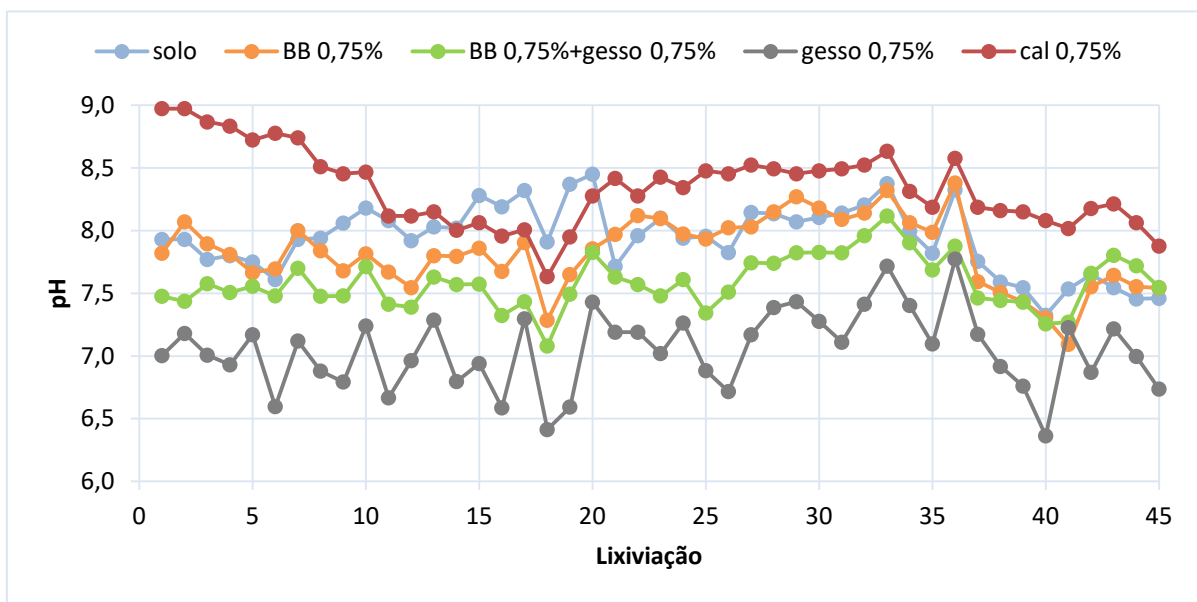


Figura 21 - Gráfico da variação dos valores de pH entre todos tratamentos propostos na dose de 0,75%, em relação ao solo testemunha.

Na Figura 22 constam os valores da condutividade elétrica (CE) apresentados nos tratamentos com BB e no solo testemunha. Nesta nota-se que no início do experimento os valores no tratamento na dose de 0,50% são superiores aos demais até a quinta lixiviação, posteriormente seguiram semelhantes até o final da primeira etapa (20ª lixiviação). Ao dar continuidade, todos os tratamentos apresentaram uma elevação na CE, proporcionais às doses, incluindo a testemunha, passando a uma diminuição lenta e gradativa até o final, com os valores da dose de 0,25% e da testemunha se aproximando dos valores do final da primeira etapa.

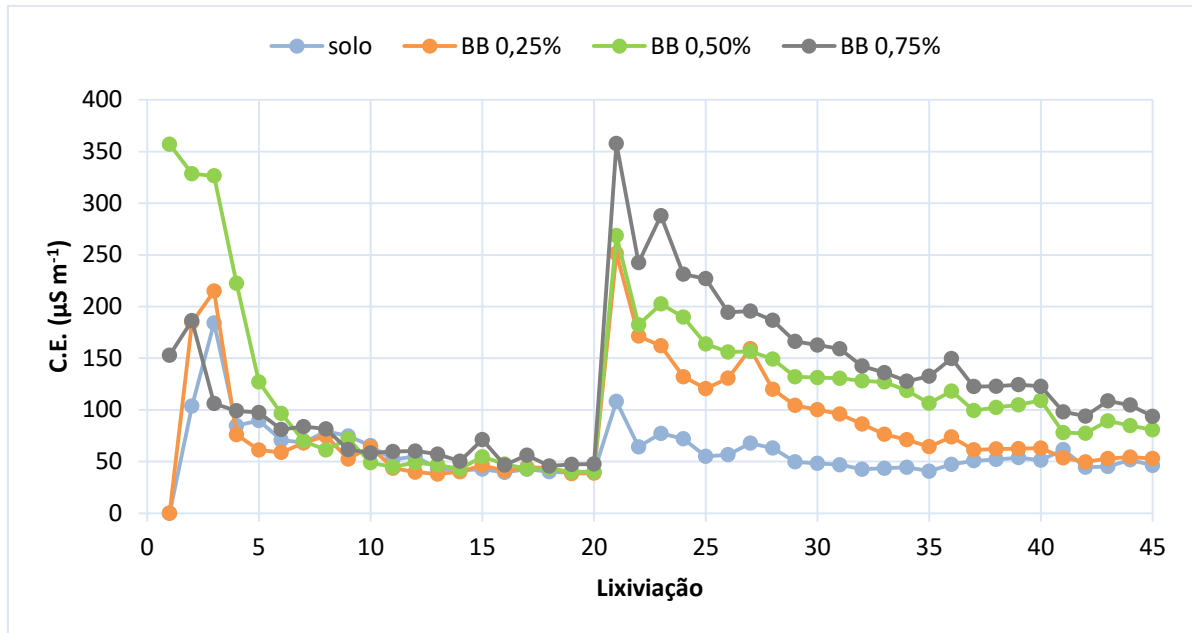


Figura 22 - Gráfico da variação dos valores de condutividade elétrica (CE) nos tratamentos com brecha basáltica (BB) e solo testemunha.

A variação de CE comparando as doses nos tratamentos pode ser observada nas Figuras 23A, 23B e 23C, referentes aos tratamentos com doses de 0,25%, 0,50% e 0,75%, respectivamente. Analisando a Figura 23A nota-se que na dose de 0,25% o material mais solúvel (gesso) mantém os maiores valores de CE até a 13ª lixiviação, passando a seguir a cal apresentar as maiores CE, tendência que se manteve na segunda etapa da lixiviação (da 21ª a 45ª lixiviação). Na dose de 0,50% (Figura 23B) o gesso permaneceu com as maiores CE até a 40ª lixiviação quando então foi suplantado pela cal, ao passo que na dose de 0,75% a CE do gesso se manteve mais elevada até o final. Essa diminuição dos valores de CE indica uma menor concentração de íons na solução com a lixiviação, observada de forma mais evidente na primeira etapa do que na segunda.

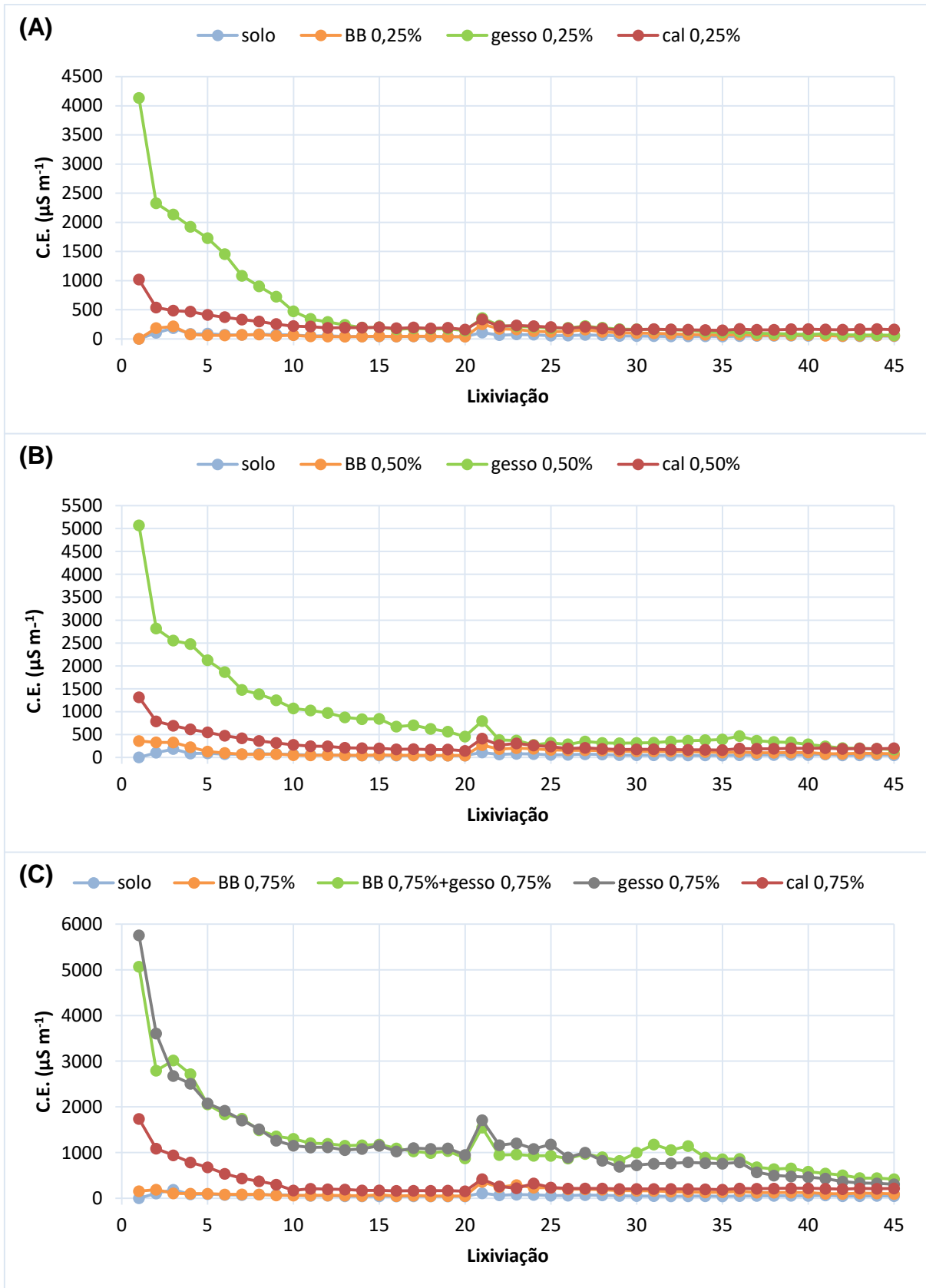


Figura 23 - Gráfico da variação dos valores de condutividade elétrica (CE) nos tratamentos propostos e no solo testemunha. (A) Doses de 0,25%. (B) Doses de 0,50%. (C) Doses de 0,75%.

As Figuras 24A, 24B e 24C mostram a variação dos teores de cálcio nos tratamentos com BB, gesso e cal, respectivamente. Nos tratamentos com BB (Figura 24A), se poderia, a princípio, esperar que apresentassem valores maiores de Ca em comparação ao solo testemunha pelo fato da brecha basáltica conter carbonatos em sua composição, no entanto, observou-se o contrário, uma maior liberação de Ca na testemunha. Essa aparente contradição pode ser explicada pela retenção do Ca liberado pelas esmectitas presentes na brecha basáltica (Figura 15). Referente ao gesso (Figura 24B) os valores de Ca apresentados estão proporcionais às doses aplicadas, gesso 0,75% e BB 0,75% + gesso 0,75% > gesso 0,50% > gesso 0,25% > solo testemunha. O gesso 0,75% e o gesso 0,75% em conjunto à BB 0,75% mantiveram valores semelhantes durante todas as lixiviações, e o mesmo comportamento, decaindo ao longo do experimento. Já o gesso 0,25% apresentou brusca redução até a 14ª lixiviação, depois teve valores próximos ao solo. No final das lixiviações a concentração de cálcio em todos os tratamentos variou de 0 a 50 mg.dm⁻³. O gráfico da Figura 24C apresenta os valores referentes à concentração de cálcio nos tratamentos utilizando a cal nas três dosagens em relação ao solo, e mostra que inicialmente os valores foram inversamente proporcionais às doses, chegando a quantidades menores do que a do solo testemunha, atingindo a proporcionalidade após a 7ª lixiviação, ocorrendo a elevação da concentração de Ca em todos os tratamentos no restante das lixiviações.

As figuras 25 e 26 mostram a variação da concentração de cálcio de acordo com as dosagens. A partir destes verifica-se valores extremamente altos nos tratamentos com gesso em todas as doses, quando comparados com BB, cal e solo testemunha. No gráfico da Figura 25A os valores do gesso decrescem até a 14ª lixiviação, depois continua a redução até atingir ordens menores do que a cal, a partir da 34ª lixiviação (Figura 25B). A variação da ordem de magnitude dos teores de Ca com o gesso na dose de 0,50% é mais significativa até a 24ª lixiviação, conforme as Figuras 25C e 25D. O gesso agrícola, quando adicionado na dose de 0,75%, é o responsável pela maior concentração de cálcio durante todo o experimento, como é possível observar na Figura 26.

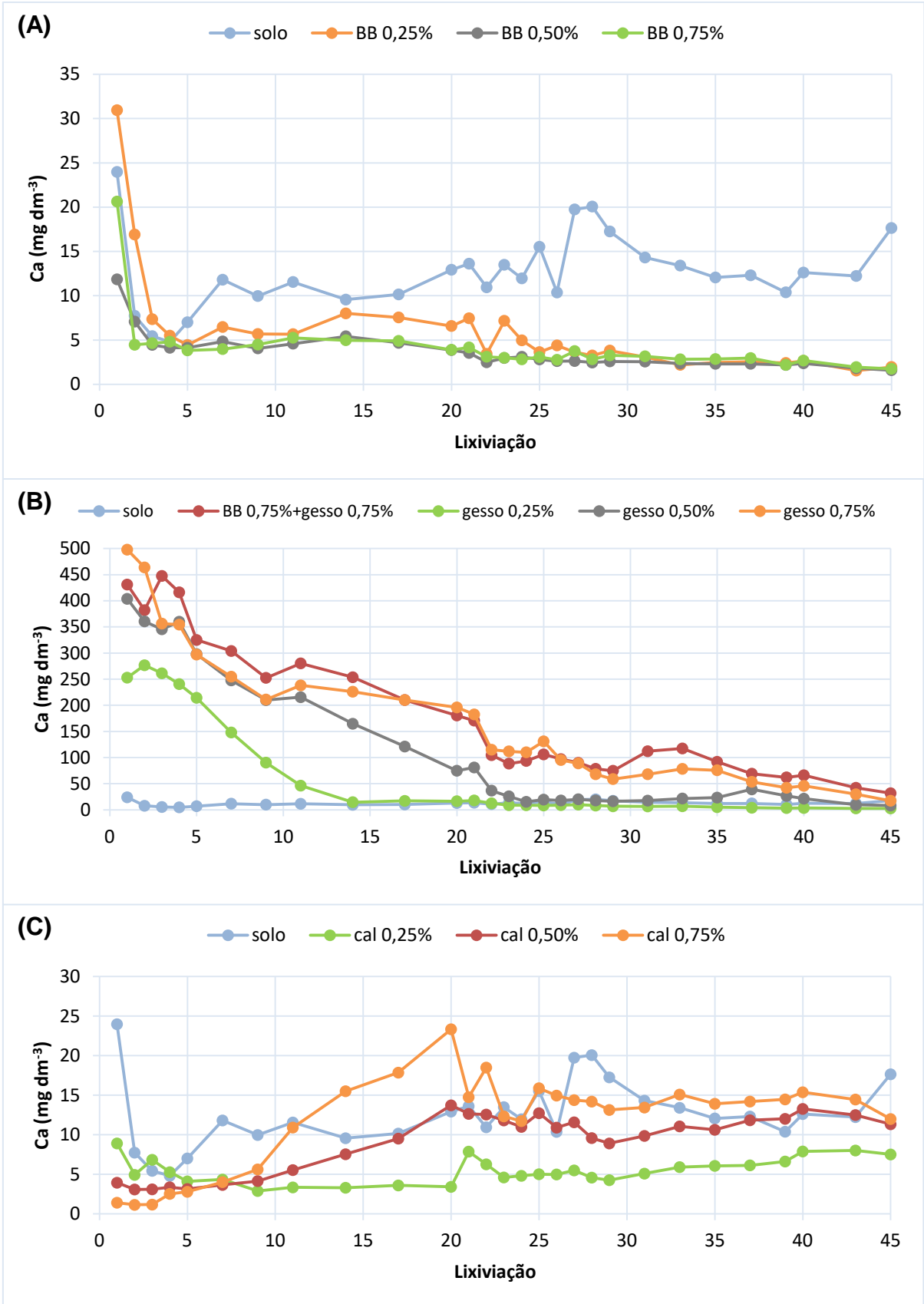


Figura 24- Gráfico da variação na concentração de cálcio nos lixiviados de acordo com as diferentes doses nos tratamentos. (A) Brecha basáltica (BB). (B) Gesso. (C) Cal.

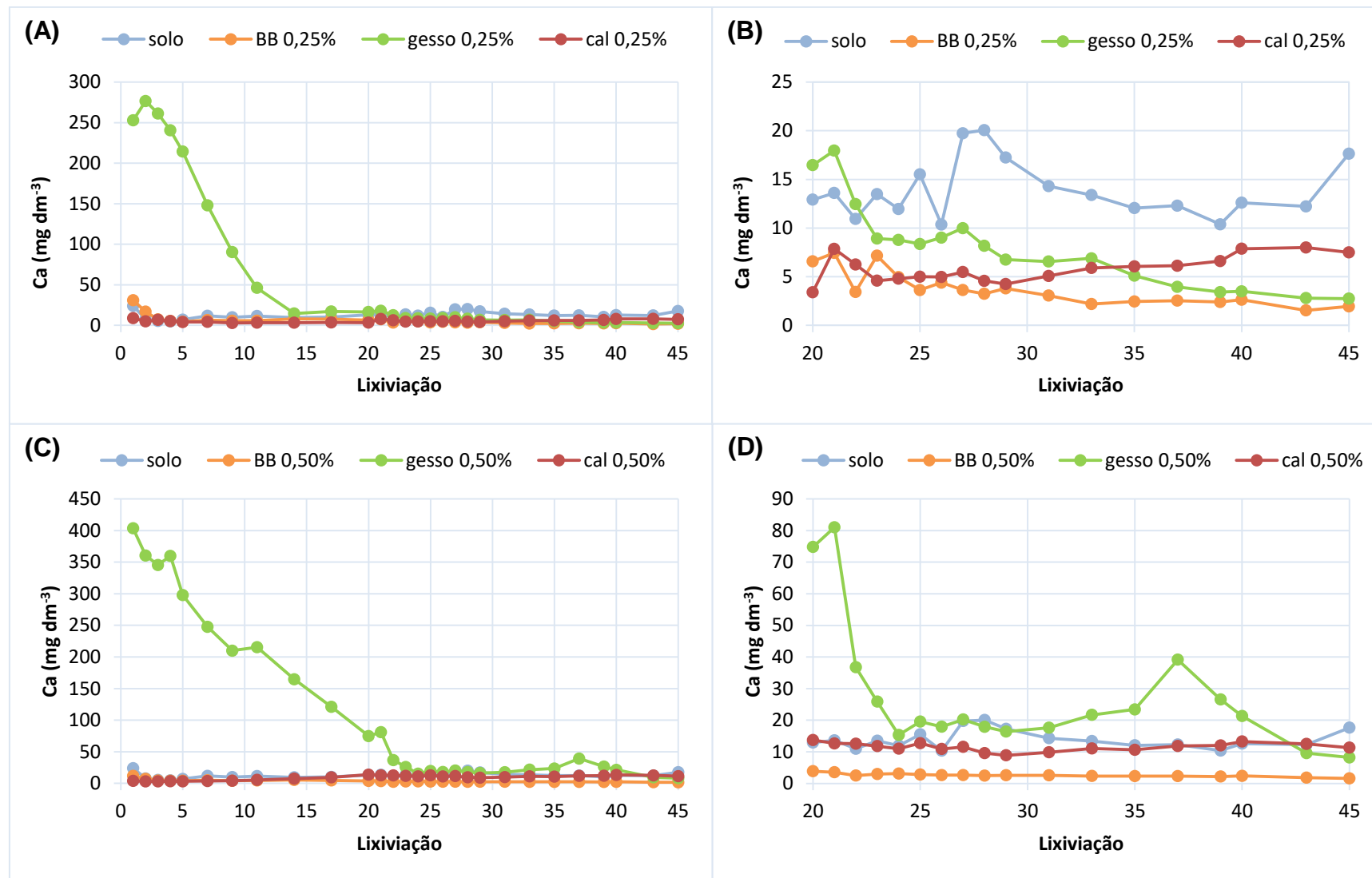


Figura 25 - Gráfico da variação da concentração do cálcio em função dos tratamentos nas doses de 0,25% (A e B) e de 0,50% (C e D).

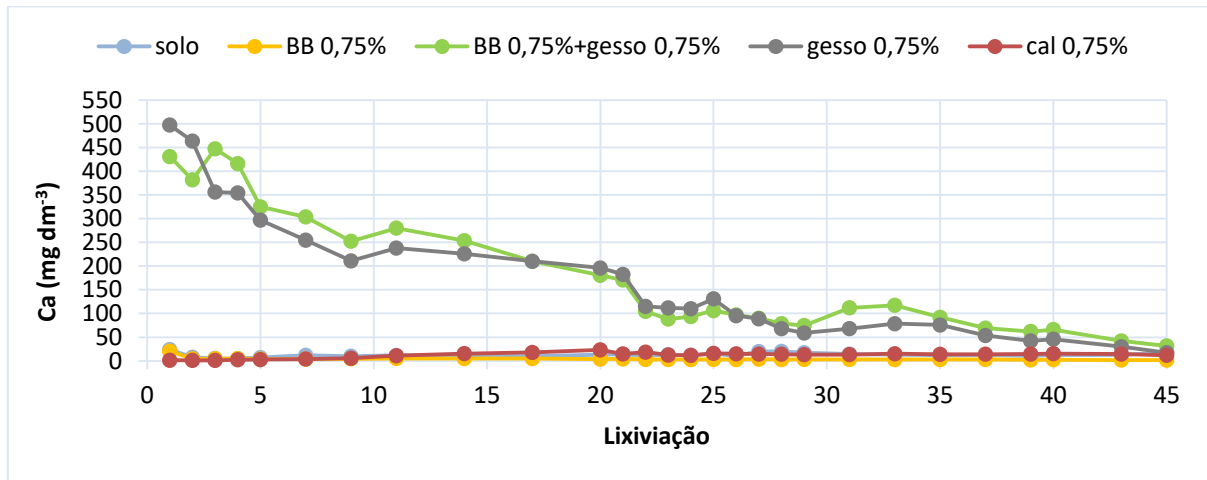


Figura 26 - Gráfico da variação da concentração do cálcio em função dos tratamentos na dose de 0,75%.

A concentração do magnésio nos tratamentos com BB, demonstrado na Figura 27, se observa um comportamento muito similar ao Ca (Figura 24A), em que ocorre a diminuição da concentração conforme aumenta a dosagem e valores menores do que no solo testemunha. Na 21^a lixiviação os tratamentos apresentaram certa redução, mantendo valores equilibrados e abaixo do solo testemunha até o final do experimento. A concentração do magnésio nos tratamentos com gesso é verificada na Figura 28, no qual percebe-se que os teores são proporcionais as doses, diminuindo progressivamente até a 21^a lixiviação. Posteriormente (na 27^a lixiviação), o solo assumiu valores maiores do que os tratamentos. A Figura 29 mostra os valores de Mg referentes aos tratamentos com cal nas distintas doses, e indica que durante todas as lixiviações o solo foi responsável pela maior concentração. Entre a 21^a e a 33^a lixiviação houve uma liberação proporcional às doses de cal, mas posteriormente essa proporcionalidade se inverteu por completo (Figura 29B), retornando ao comportamento inicial no experimento.

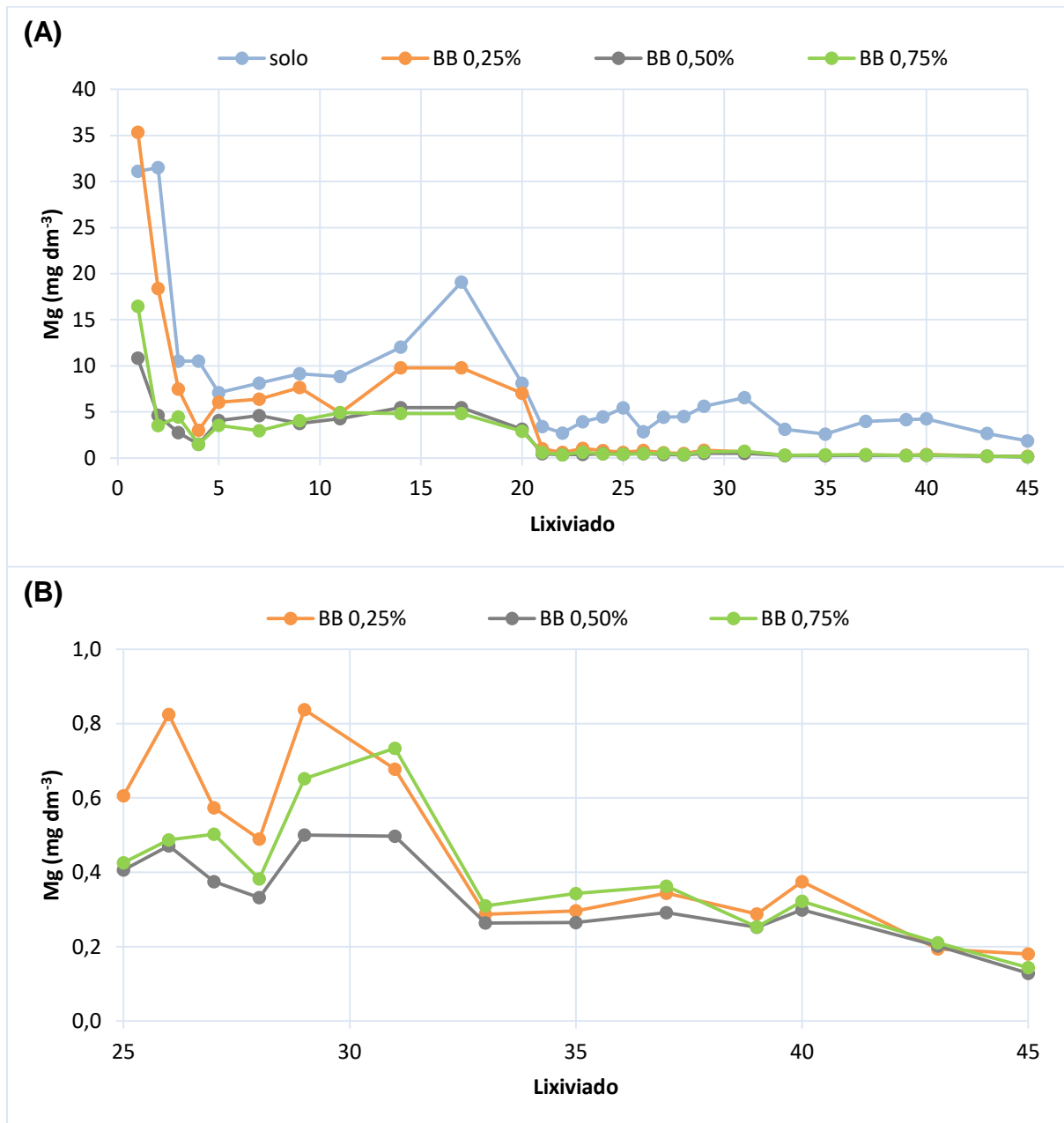


Figura 27 - Gráfico da variação na concentração de magnésio nos tratamentos com brecha basáltica (BB), de acordo com as diferentes doses. (A) Concentração em todas as lixiviações. (B) Concentração a partir da 25ª lixiviação.

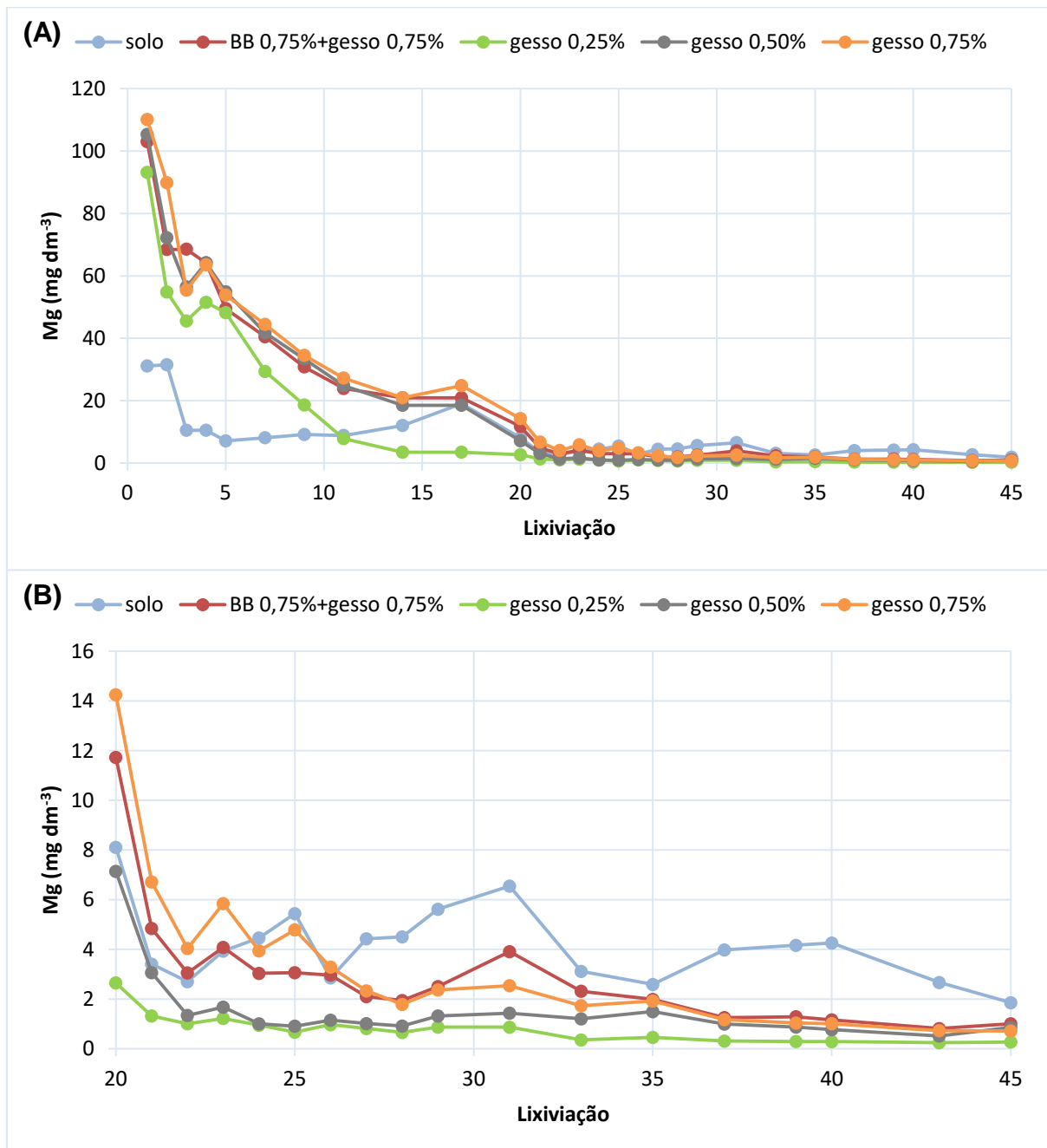


Figura 28 - Gráfico da variação na concentração de magnésio nos tratamentos com gesso, de acordo com as doses. (A) Concentração em todas as lixiviações. (B) Concentração a partir da 20ª lixiviação.

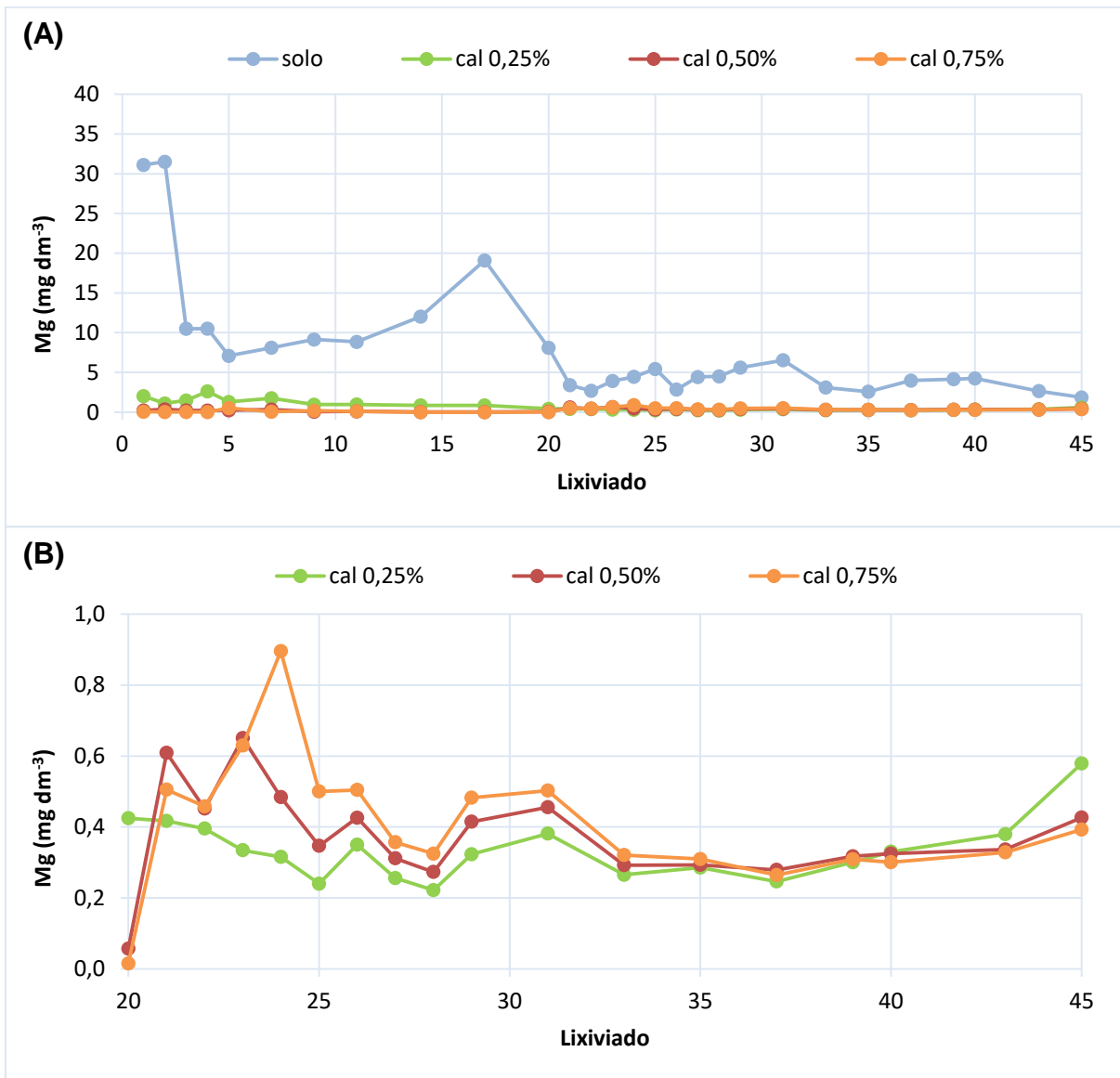


Figura 29 - Gráfico da variação na concentração de magnésio nos tratamentos com cal hidratada, de acordo com as diferentes doses. (A) Concentração em todas as lixiviações em relação ao solo testemunha. (B) Concentração a partir da 20ª lixiviação.

A Figura 30 apresenta a variação da concentração de Mg em função dos tratamentos na dose 0,25%, apontando uma liberação do gesso muito maior do que os outros tratamentos até a 10^a lixiviação, momento em que o solo passou a liberar mais Mg para a solução, seguido da BB, gesso e cal, respectivamente. Entre a 21^a e a 36^a lixiviação a ordem de liberação foi a seguinte: Solo testemunha (liberação significativamente maior) > gesso > brecha basáltica > cal, porém, no final do experimento a cal começou a liberar mais que o gesso e a BB (Figura 30B). No caso das doses 0,50% (Figura 31) e 0,75% (Figura 32), o gesso foi responsável pela maior concentração até a 20^a lixiviação. Posteriormente o solo passou a apresentar elevados teores de Mg, e a ordem de liberação foi solo > gesso > cal e brecha basáltica (Figuras 31B e 32B). A elevação do Mg no solo testemunha fez com que a concentração desse se aproximasse da concentração ocorrida no gesso na dose 0,75% ao final do experimento. A ocorrência da liberação de Mg no tratamento com gesso (produto não portador de magnésio), de forma elevada inicialmente com decréscimo gradual, acompanhando o Ca (Figura 24B) e a condutividade elétrica (Figura 23), indicam uma possível liberação em função do deslocamento do magnésio da troca pelo cálcio.

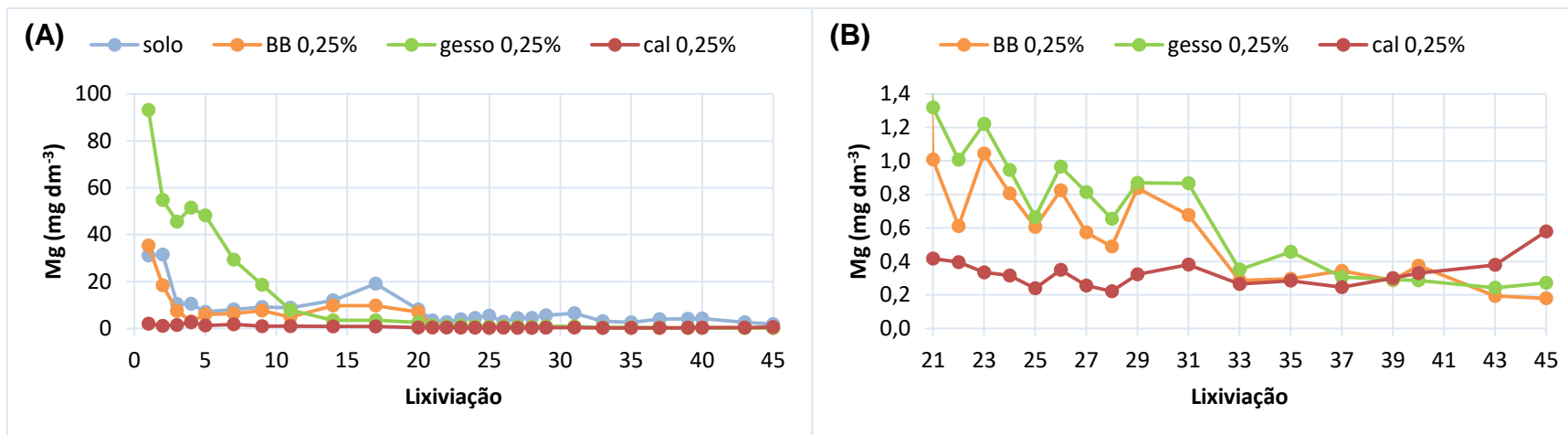


Figura 30 - Gráfico da variação da concentração do magnésio em função dos tratamentos nas doses de 0,25%. (A) Concentração em todas as lixiviações em relação ao solo testemunha. (B) Concentração a partir da 21ª lixiviação.

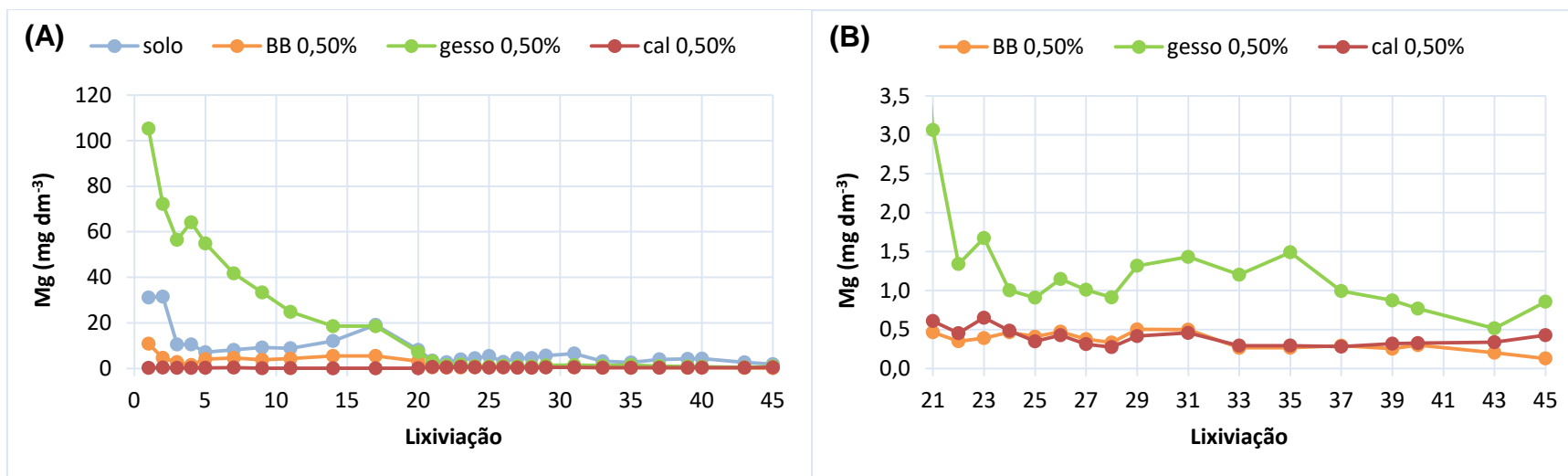


Figura 31 - Gráfico da variação da concentração do magnésio em função dos tratamentos nas doses de 0,50%. (A) Concentração em todas as lixiviações em relação ao solo testemunha. (B) Concentração a partir da 21ª lixiviação.

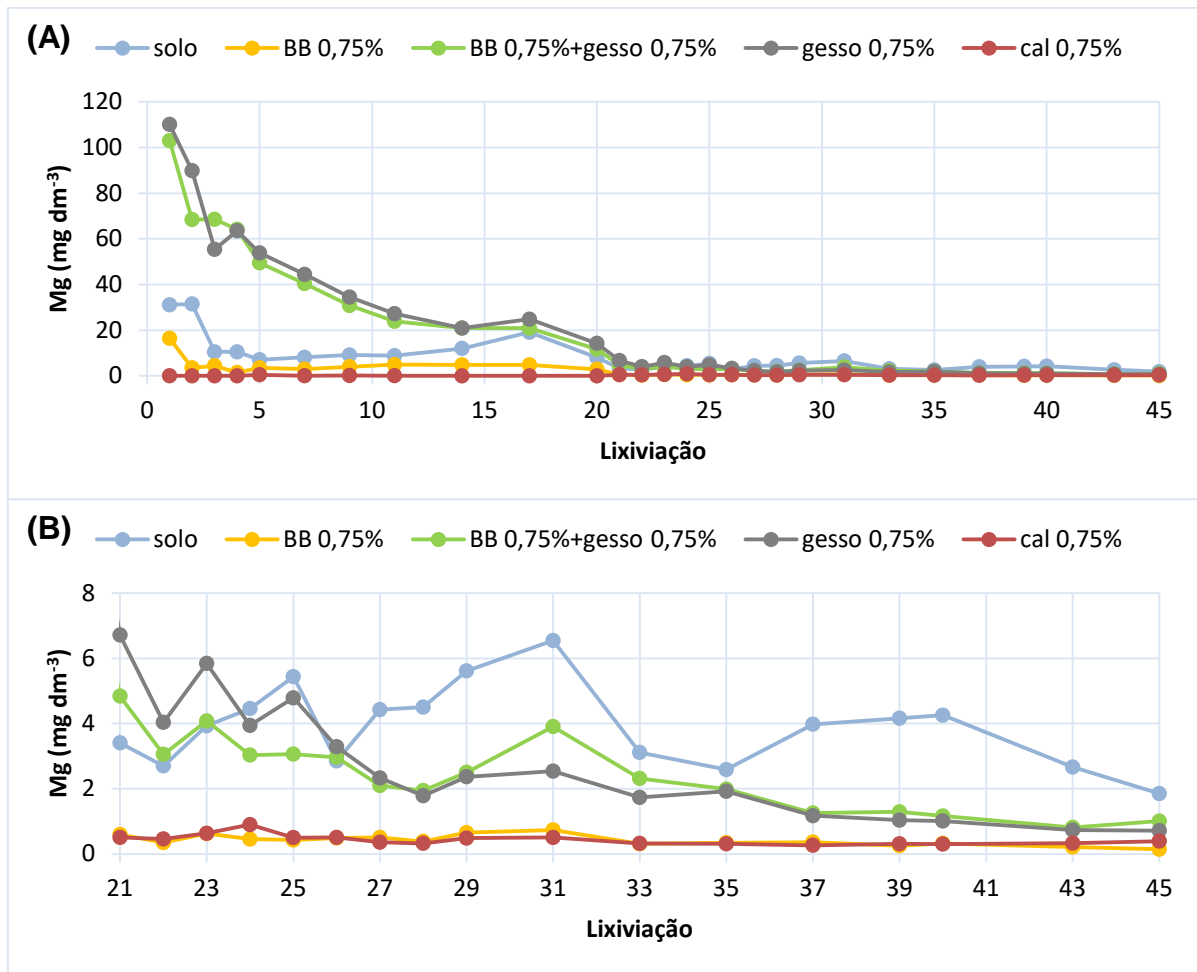


Figura 32 - Gráfico da variação da concentração do magnésio em função dos tratamentos nas doses de 0,75%. (A) Concentração em todas as lixiviações em relação ao solo testemunha. (B) Concentração a partir da 21ª lixiviação.

A Figura 33 apresenta a variação na concentração de potássio de acordo com as diferentes dosagens, apontando o solo como responsável pela maior liberação de K durante todo o experimento. Em comparação ao gesso e a cal, o tratamento com BB apresentou elevada concentração, essencialmente na 22ª lixiviação, principalmente quando aplicado na dose 0,25%. Todos os tratamentos apresentaram certa estabilidade na liberação a partir da 26ª lixiviação. Em relação ao gesso (Figura 33B) as concentrações são proporcionais às doses, reduzindo progressivamente até a 14ª lixiviação e mantendo-se estável até 21ª lixiviação, quando foi retomado o experimento, ocorrendo um leve e rápido aumento. A partir da 22ª lixiviação os valores se mantiveram em um patamar semelhante ao longo todo processo. No caso da cal (Figura 33C), até a 20ª lixiviação as liberações foram maiores na dose mais elevada (0,75%), mostrando uma inversão entre a dose intermediária (0,50%) e a menor (0,25%). Entre a 21ª e a 34ª lixiviação a liberação

ocorreu proporcionalmente às doses. Ao longo do restante do processo ocorreu uma alternância entre os tratamentos, no entanto tiveram um pequeno decréscimo na liberação tendendo à estabilização.

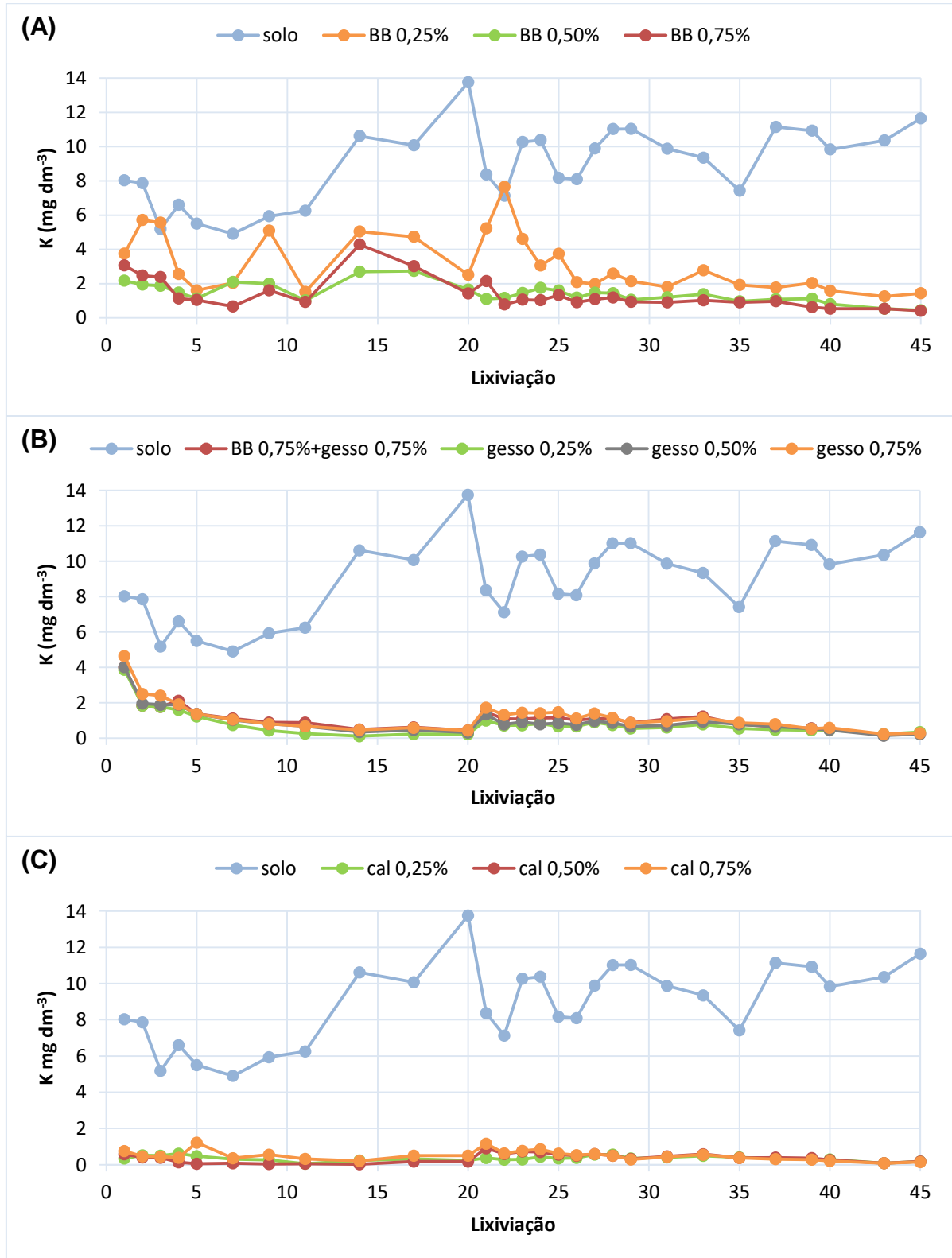


Figura 33 - Gráfico da variação na concentração de potássio nos lixiviados de acordo com as diferentes doses nos tratamentos. (A) Brecha basáltica (BB). (B) Gesso. (C) Cal

A variação da concentração de K em função dos tratamentos conforme a dose é mostrada na Figura 34, no qual pode-se observar que o solo libera maior quantidade de K em relação a qualquer um dos tratamentos durante todo o processo, com exceção das lixiviações três e vinte e dois correspondentes à dose 0,25% (Figura 34A), além de uma tendência de elevação a partir da décima lixiviação, decaindo na 21ª (marcando a retomada das lixiviações), porém seguindo com concentrações altas. Os tratamentos com cal, independente da dose, apresentaram menores valores durante todo experimento, o que pode estar indicando, assim como no caso do Mg, fenômenos de troca iônica e precipitação/dissolução relacionados ao pH. Esses dados indicam, portanto, que todos os tratamentos diminuem a lixiviação do potássio, auxiliando na conservação desse elemento no solo.

A Figura 35 apresenta as concentrações de sódio resultantes das lixiviações nos tratamentos e no solo testemunha em relação às doses. Os dados referentes à BB indicam uma boa eficiência na liberação de Na, principalmente na fase inicial do experimento e, depois a partir da 21ª lixiviação, em que ocorre um significativo aumento desse elemento na solução lixiviada, mantendo a proporcionalidade entre as doses (Figura 35A). Entre a quinta e a vigésima lixiviação nota-se um comportamento semelhante ao observado com o cálcio (Figura 24A), magnésio (Figura 27A) e potássio (Figura 33A), com os tratamentos com BB 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 24A), pode ser o resultado do deslocamento desses pelo cálcio 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 na brecha basáltica, aumentando o poder de retenção do solo. No caso do gesso (Figura 35B), 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. Na 21ª lixiviação aparece um pico de elevação na concentração, porém de baixa magnitude, marcando a retomada das lixiviações, logo retornando ao comportamento tendendo à estabilização. Referente ao tratamento com cal (Figura 35C), 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. Após a 20ª lixiviação as liberações ocorreram inversamente proporcionais às doses, com o solo em alguns momentos apresentando concentrações maiores do que as doses 0,50% e 0,75%.

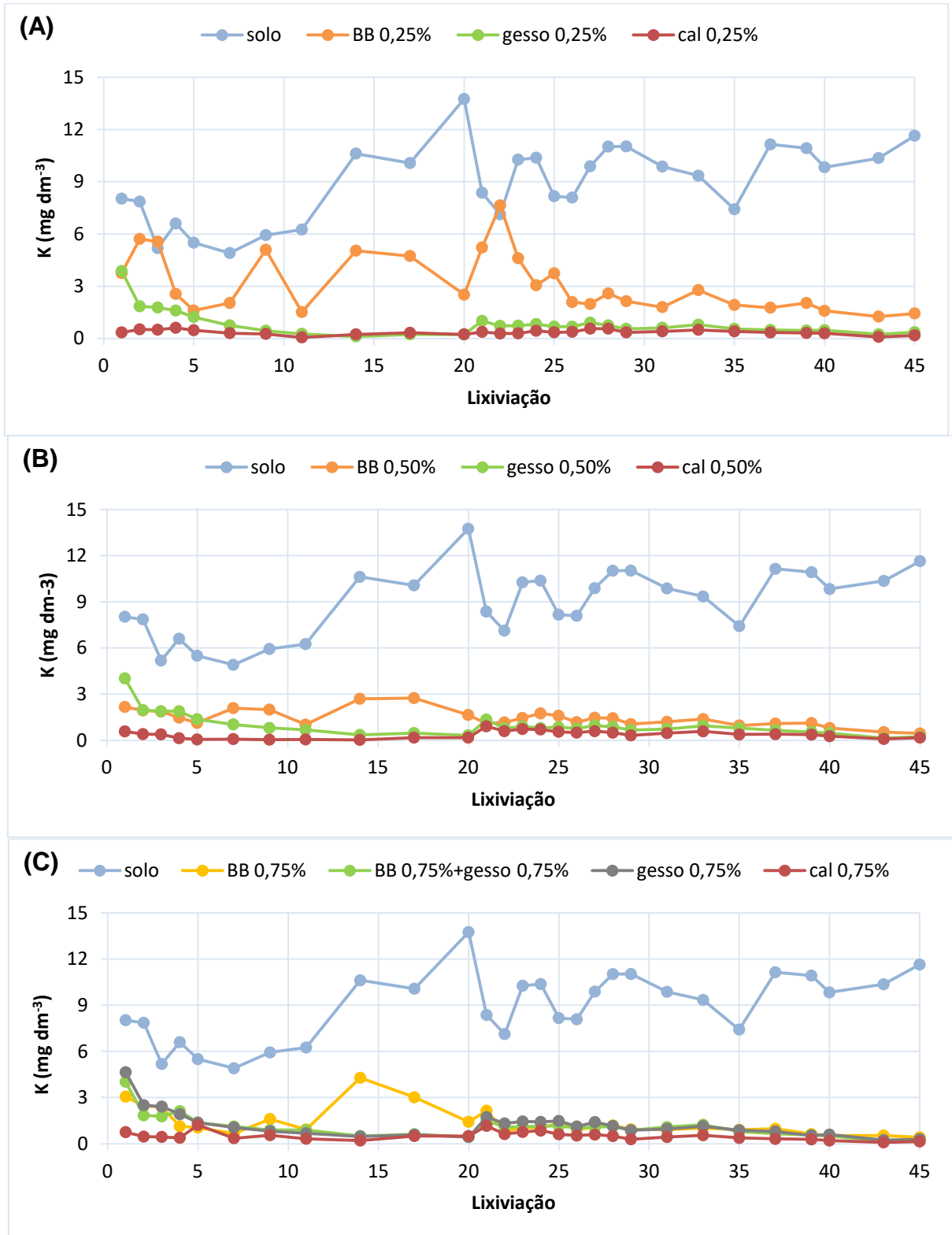


Figura 34 - Gráfico da variação da concentração do potássio em função dos tratamentos. (A) Dose 0,25%. (B) Dose 0,50%. (C) Dose 0,75%.

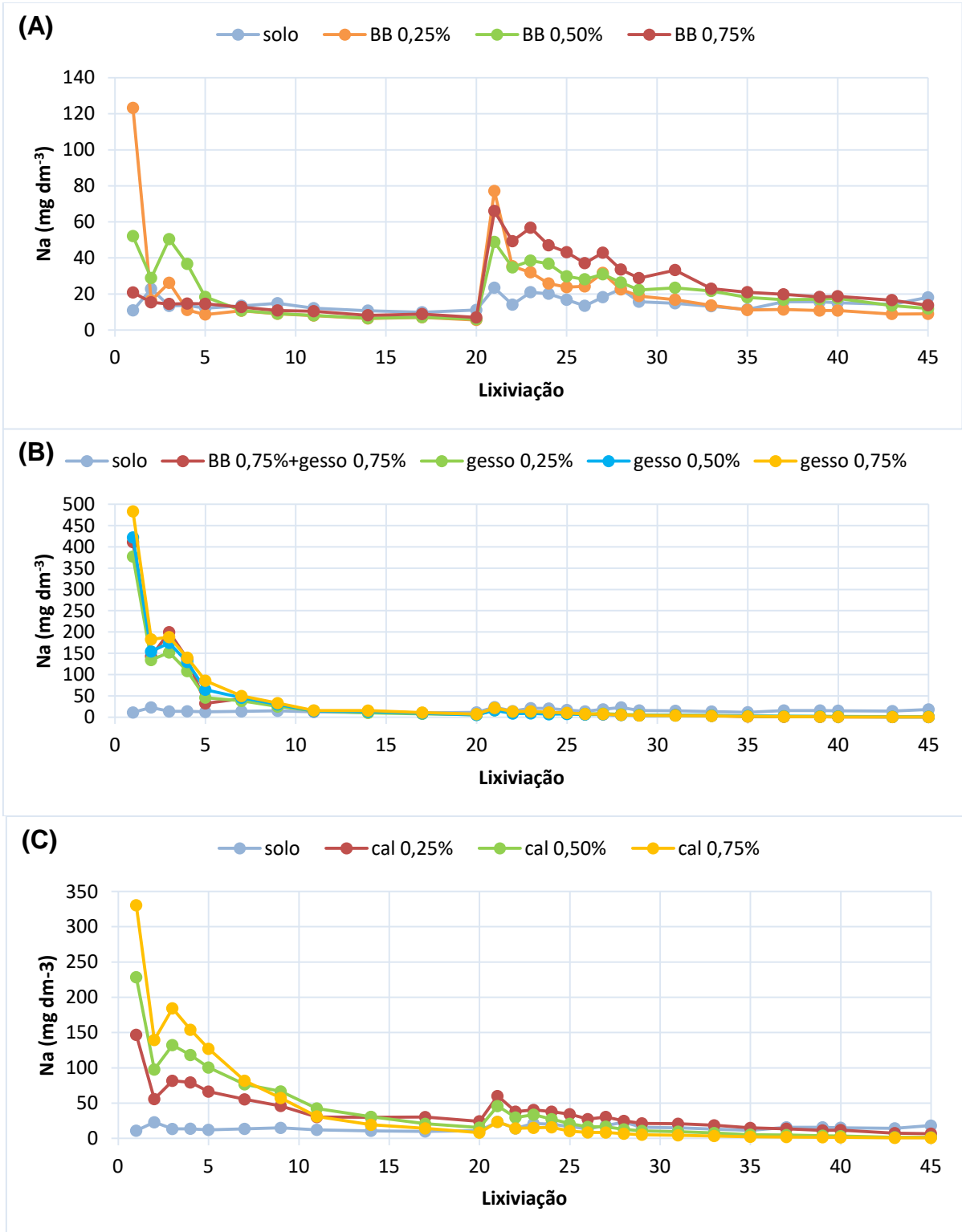


Figura 35 - Gráfico da variação na concentração de sódio nos lixiviados de acordo com as diferentes doses nos tratamentos. (A) Brecha basáltica (BB). (B) Gesso. (C) Cal.

A ordem de liberação relativa aos tratamentos (Figuras 35 e 36) até a quarta lixiviação foi: gesso > cal > brecha basáltica > solo testemunha; invertendo após para: cal > gesso > solo testemunha > brecha basáltica. A partir da 21ª lixiviação, na dose 0,25% (Figura 35A) a cal liberou mais Na, seguida do tratamento com BB, porém nas doses 0,50% e 0,75% (Figuras 35B e 36, respectivamente), o tratamento com BB assumiu a maior liberação de Na, tendo valores maiores apenas em relação ao solo, ou seja, nessas doses, nem a cal nem o gesso foram eficientes do processo de liberação de sódio ao fim das lixiviações. O fato da cal apresentar maior concentração do que o gesso na dose 0,25%, a partir da quinta lixiviação, com menor liberação de Ca, indica uma maior eficiência do tratamento com cal hidratada em retirar da troca e lixiviar o sódio.

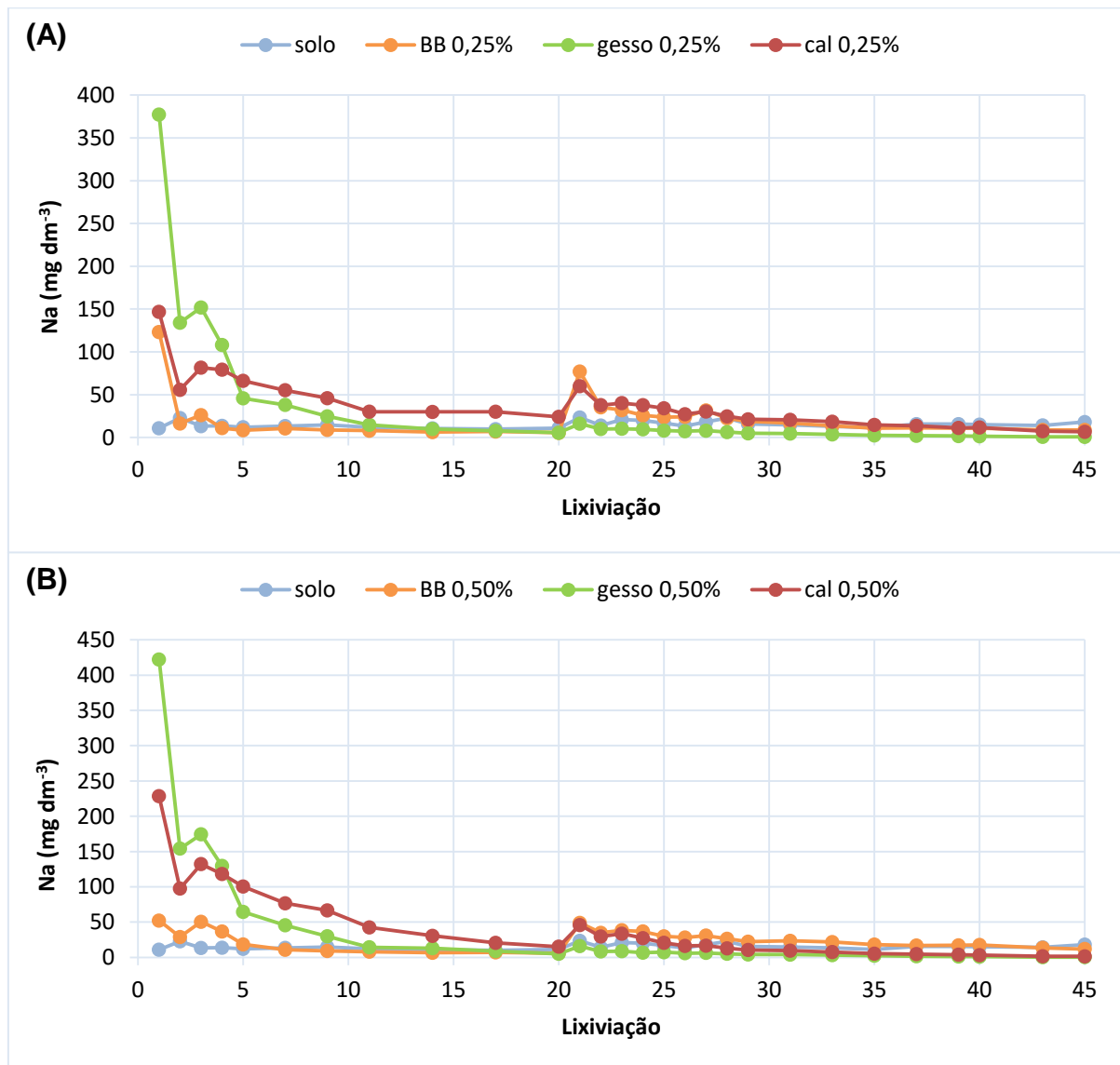


Figura 36 - Gráfico da variação da concentração do sódio em função dos tratamentos. (A) Dose 0,25%. (B) Dose 0,50%.

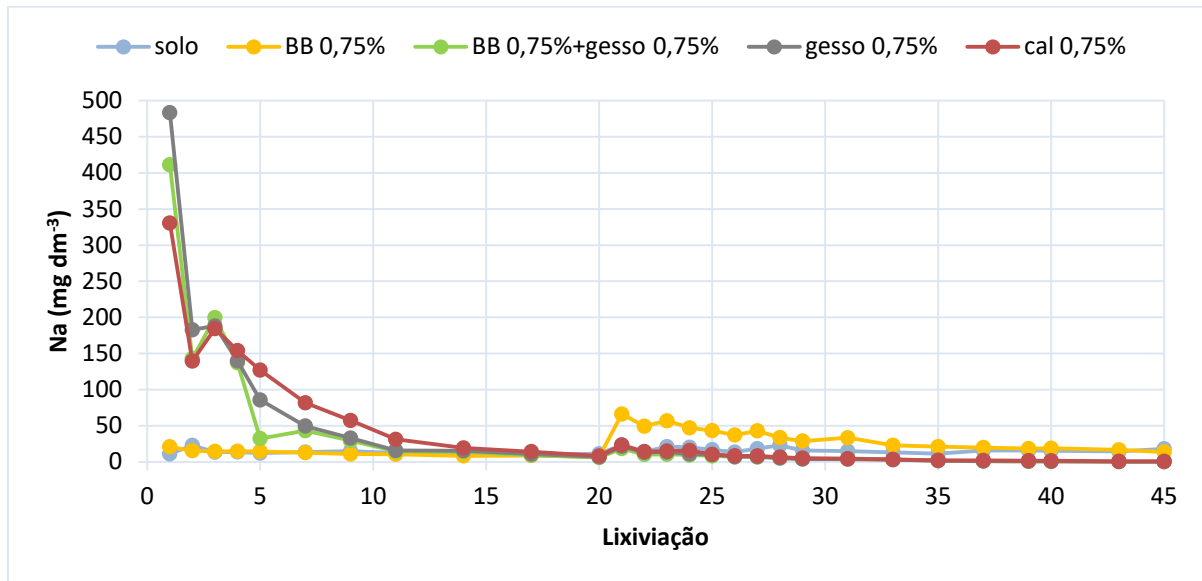


Figura 37 - Gráfico da variação da concentração do sódio em função dos tratamentos na dose 0,75%.

Ao incorporar ao solo brecha basáltica, é possível ocasionar a retenção de determinados nutrientes importantes para a regeneração do solo, evitando a perda desses elementos diretamente para a solução do solo. Isso ocorre, provavelmente, devido à presença de esmectitas, que são caracterizadas como argilominerais do tipo 2:1, ou seja, com alta capacidade de troca catiônica, ocasionando desta maneira a redução da lixiviação e o aumentando a estocagem dos mesmos no complexo trocável.

O tratamento com BB, também apresentou efeito parcial na floculação da argila (Tabelas 5 e 6). Após a secagem dos lixiviados, foi possível verificar os resíduos nos diferentes tratamentos, conforme a Figura 38.

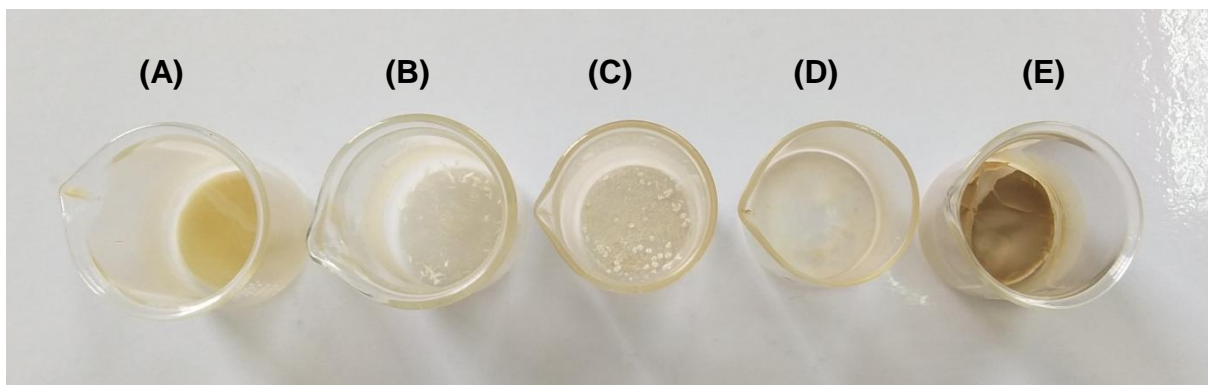


Figura 38 - Fotografia exibindo resíduos de secagem em tratamentos com dose de 0,25% de brecha basáltica (A), brecha basáltica em conjunto com gesso 0,75% (B), gesso agrícola (C), cal hidratada (D) e em solo testemunha (E). Fotos: BICCA, Juliana (2019).

Após o término do experimento, amostras de solo de todos os tratamentos foram secas ao ar e destorroadas à fim de efetuar as análises químicas, cujos resultados estão na Tabela 4. Nesta se pode verificar o aumento de Ca e a diminuição da % de Na nos lixiviados com tratamento em comparação à testemunha, significando um bom resultado, confirmando a ação dos tratamentos no complexo trocável do solo.

Tabela 4. Caracterização química do solo após 45 lixiviações.

| Tratamentos | pH | Ca | Mg | K | Na | Sb | Al | H + Al | CTC | Saturação | |
|----------------------|------|------|------|------|------|-------|------|--------|-------|-----------|-------|
| | | | | | | | | | | Bases | Na |
| | | | | | | | | | | % | |
| BB 0,25% | 8,04 | 3,09 | 1,69 | 0,07 | 0,41 | 5,26 | 0,00 | 0,00 | 5,26 | 100,00 | 7,50 |
| BB 0,50% | 8,21 | 3,54 | 1,48 | 0,07 | 0,24 | 5,32 | 0,00 | 0,00 | 5,32 | 100,00 | 4,53 |
| BB 0,75% | 8,10 | 4,20 | 1,39 | 0,07 | 0,33 | 5,98 | 0,00 | 0,00 | 5,98 | 100,00 | 5,45 |
| BB 0,25%+gesso 0,75% | 7,27 | 5,42 | 0,46 | 0,08 | 0,01 | 5,96 | 0,00 | 0,00 | 5,96 | 100,00 | 0,14 |
| BB 0,50%+gesso 0,75% | 6,90 | 6,48 | 0,53 | 0,08 | 0,01 | 7,09 | 0,12 | -0,12 | 7,09 | 100,00 | 0,12 |
| BB 0,75%+gesso 0,75% | 7,06 | 6,29 | 0,50 | 0,10 | 0,01 | 6,90 | 0,08 | -0,08 | 6,90 | 100,00 | 0,14 |
| gesso 0,25% | 6,05 | 3,77 | 1,06 | 0,07 | 0,00 | 4,90 | 0,12 | 0,06 | 5,07 | 96,59 | 0,08 |
| gesso 0,50% | 6,23 | 4,52 | 0,81 | 0,07 | 0,00 | 5,40 | 0,12 | 0,03 | 5,55 | 97,33 | 0,07 |
| gesso 0,75% | 5,69 | 6,06 | 0,72 | 0,09 | 0,00 | 6,88 | 0,13 | -0,01 | 7,00 | 98,19 | 0,06 |
| cal 0,25% | 7,57 | 7,19 | 1,03 | 0,09 | 0,06 | 8,37 | 0,00 | 0,00 | 8,37 | 100,00 | 0,67 |
| cal 0,50% | 7,63 | 9,15 | 0,71 | 0,10 | 0,02 | 9,97 | 0,00 | 0,00 | 9,97 | 100,00 | 0,19 |
| cal 0,75% | 8,00 | 9,64 | 0,57 | 0,08 | 0,01 | 10,31 | 0,00 | 0,00 | 10,31 | 100,00 | 0,11 |
| solo | 6,62 | 0,88 | 0,71 | 0,03 | 0,36 | 1,97 | 0,12 | 0,06 | 2,16 | 90,81 | 16,96 |

Ao final do experimento foi estimado o valor de argila suspensa nos lixiviados conforme a Tabela 5. Essa estimativa ocorreu baseada na quantidade de sólidos totais, descontada a concentração de sais. Os dados indicam que os tratamentos com gesso e cal, mostraram-se eficientes em relação à floculação da argila, deixando um resíduo após a secagem de 25 mL de cada lixiviado contendo, praticamente, apenas por sais (Figura 39).

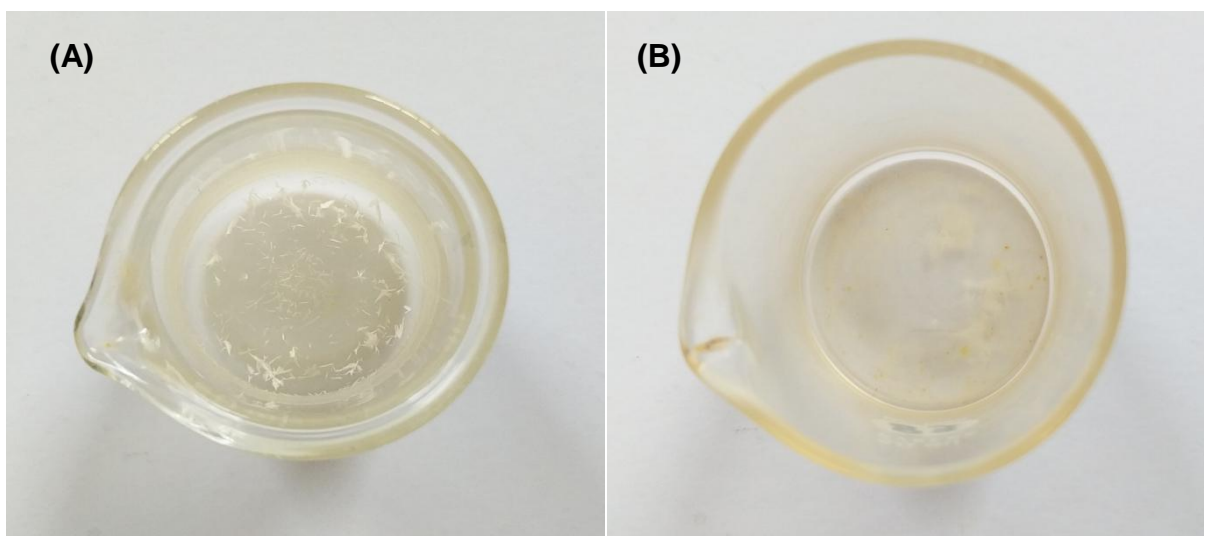


Figura 39 - Fotografias exibindo resíduos de secagem em tratamentos com gesso (A) e cal (B). Fotos: BICCA, Juliana (2019).

Tabela 5. Teor de argila em suspensão (g dm^{-3}) nos lixiviados entre a 1ª e a 20ª lixiviação. Fonte: ARDUIN, 2018.

| Tratamento | Lixiviação | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 9 | 11 | 14 | 17 | 20 |
| solo | 18,07 | 5,91 | 10,18 | 11,90 | 10,26 | 9,83 | 9,40 | 12,53 | 7,93 | 7,63 | 11,55 |
| BB 0,25% | 4,35 | 3,61 | 5,53 | 3,65 | 4,70 | 4,52 | 2,01 | 2,29 | 2,12 | 2,71 | 3,29 |
| BB 0,50% | 6,47 | 2,17 | 0,61 | 1,16 | 2,10 | 2,55 | 2,72 | 1,25 | 1,60 | 1,35 | 1,66 |
| BB 0,75% | 8,10 | 1,62 | 1,76 | 1,88 | 2,08 | 1,77 | 1,99 | 1,27 | 1,17 | 1,01 | 1,11 |
| BB 0,25%+gesso 0,75% | 0,33 | 0,23 | -0,41 | 0,03 | -0,04 | 0,13 | -0,13 | -0,09 | -0,27 | 0,00 | -0,18 |
| BB 0,50%+gesso 0,75% | 0,29 | 0,04 | -0,41 | -0,02 | -0,02 | 0,15 | -0,12 | -0,08 | -0,13 | -0,08 | -0,05 |
| BB 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 |

Tabela 6. Teor de argila em suspensão (g dm^{-3}) nos lixiviados entre a 21ª e a 45ª lixiviação. Fonte: BICCA, 2019.

| Tratamento | Lixiviação | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 31 | 33 | 35 | 37 | 39 | 40 | 43 | 45 |
| Solo | 10,32 | 19,11 | 12,74 | 12,25 | 11,83 | 8,61 | 12,37 | 12,02 | 12,44 | 13,36 | 14,34 | 12,16 | 10,92 | 10,09 | 11,22 | 11,21 | 15,36 |
| BB 0,25% | 3,17 | 1,84 | 2,55 | 3,10 | 2,39 | 1,55 | 1,41 | 1,37 | 1,31 | 1,37 | 1,50 | 1,46 | 1,44 | 1,44 | 1,23 | 1,05 | 0,90 |
| BB 0,50% | 0,54 | 0,47 | 0,71 | 0,90 | 0,94 | 0,85 | 0,74 | 0,62 | 0,53 | 0,46 | 0,47 | 0,63 | 0,60 | 0,63 | 2,10 | 0,37 | 0,14 |
| BB 0,75% | 0,81 | 0,95 | 1,41 | 1,82 | 1,57 | 1,27 | 1,06 | 0,91 | 0,77 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,45 | 0,53 | 0,44 | 0,29 | 0,18 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 0,28 | 0,44 | 0,27 | 0,15 | 0,03 | 0,13 | 0,06 | -0,01 | 0,01 | -0,05 | 0,06 | 0,41 | 0,43 | -0,01 | 0,37 | 0,34 | 0,25 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 0,56 | 0,31 | 0,37 | 0,42 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | -0,04 | -0,14 | -0,07 | 0,17 | 0,32 | 0,28 | 0,24 | 0,09 | -0,07 | -0,02 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 0,67 | 0,06 | 0,21 | 0,32 | 0,09 | 0,00 | 0,07 | 0,06 | 0,09 | -0,01 | 0,23 | 0,47 | 0,58 | 0,48 | 0,40 | 0,10 | 0,12 |
| Gesso 0,25% | 0,18 | 0,13 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,11 |
| Gesso 0,50% | 0,43 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,11 | 0,08 | 0,06 | 0,11 | 0,04 | 0,07 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,13 | 0,10 | 0,13 | 0,10 |
| Gesso 0,75% | 0,95 | 0,49 | 0,40 | 0,31 | 0,14 | 0,20 | 0,23 | 0,14 | 0,04 | 0,07 | 0,12 | 0,23 | 0,31 | 0,31 | 0,20 | 0,10 | 0,07 |
| Cal 0,25% | 0,07 | 0,20 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,05 | 0,04 | 0,00 | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,03 | -0,05 |
| Cal 0,50% | 0,13 | 0,07 | 0,11 | 0,02 | 0,07 | -0,04 | 0,04 | 0,03 | -0,02 | 0,03 | -0,02 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | -0,09 |
| Cal 0,75% | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,02 | -0,02 | 0,06 | 0,02 | -0,01 | 0,01 | 0,00 | -0,09 |

Ao comparar os lixiviados da testemunha com os lixiviados do solo com os diferentes tratamentos incorporados, é possível perceber visualmente o efeito positivo em relação à floculação da argila, conforme a Figura 40.

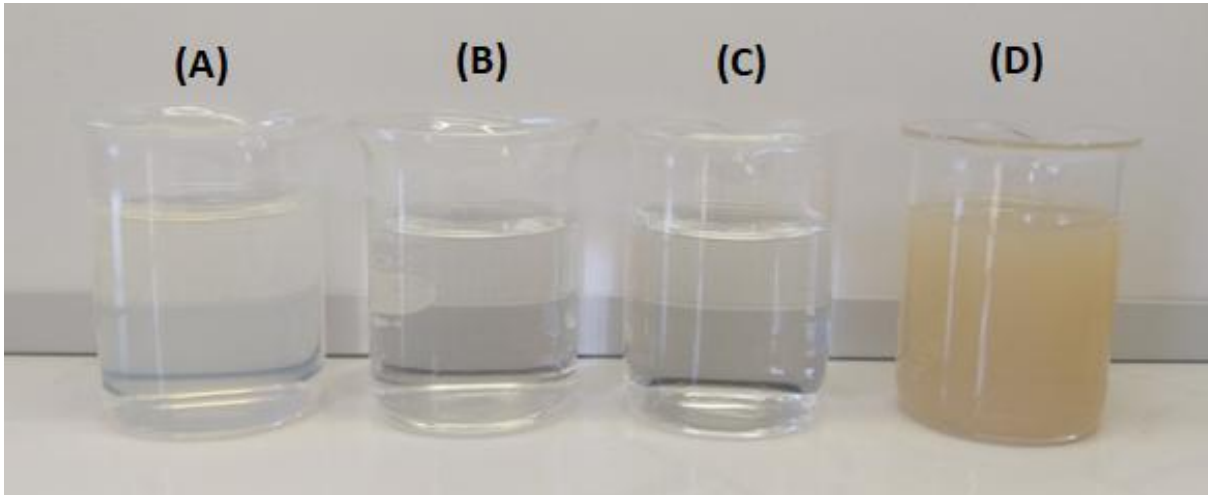


Figura 40. Fotografia mostrando a variação nos níveis de argila dispersa em tratamento com dosagem de 0,50%. (A) Brecha basáltica; (B) Gesso; (C) Cal; (D) Solo. Foto: BICCA, Juliana (2019).

Ao fim das lixiviações, todos os tratamentos apresentaram comportamentos capazes de contribuir de alguma forma na recuperação da qualidade do solo da área degradada, sendo possível a partir desse estudo indicar o emprego da cal para atingir o controle dos processos retroerosivos das camadas inferior do solo, devido a sua maior eficiência e valores pequenos de liberação de íons para a solução. Indica-se a utilização da cal em níveis de subsolo, uma vez que, apresenta valores de pH em torno de 8 e 9 (reação fortemente alcalina) o que é muito desfavorável ao desenvolvimento da vegetação.

Em solo superficial indica-se a aplicação de gesso, pois é capaz de flocular a argila, e contribuir na agregação do solo e na infiltração da água, mantendo o pH em valores próximos a neutralidade, ou seja, entre 6,5 e 7,5, característica que melhora as condições de crescimento das plantas.

Em relação ao local da área degradada é possível observar a Formação Graxaim em afloramentos (Figuras 41) notam-se grandes e pequenas estruturas em forma de ravinas ou de voçorocas. Essas feições erosionais de ravinamento surgem ligeiramente quando o local é submetido a cortes artificiais como estradas, canais de irrigação e barragens, devido ao caráter friável dos sedimentos. As litologias dos

afloramentos apresentam coloração que varia de cinza a branca, dependendo da umidade e do grau de alteração dos minerais, com tons ferruginosos relacionados à disseminação do ferro laterítico da Serra de Tapes.



Figura 41 - Fotografia do afloramento da Formação Graxaim na área degradada. Foto: BICCA, Juliana (2020).

6 Conclusão

A utilização de condicionadores químicos (gesso agrícola e cal hidratada, ambos na modalidade de pureza analítica - PA) no processo de floculação da argila naturalmente dispersa, apresentam resultados altamente satisfatórios em todas as doses aplicadas.

A utilização de brecha basáltica, isolada, mesmo na maior proporção, apresentou resultados menos significativos, entretanto, quando aplicado em conjunto com o gesso (este na dosagem de 0,75%) apresentam maior eficiência no processo de floculação das partículas em dispersão. Esse comportamento indica um potencial efeito benéfico da aplicação desse tipo de insumo para o crescimento de vegetação a longo prazo, e conseqüentemente na recuperação da área degradada.

A utilização de cal hidratada foi mais eficiente na remoção do sódio do complexo trocável pelo fato de liberar menos cálcio para a solução do solo. Esse fator é de grande importância, tendo em vista que os altos teores de sódio contribuem ativamente no processo de dispersão dos argilominerais.

A utilização da brecha basáltica na forma de pó, em conjunto com pequenas doses de gesso, é capaz de flocular a argila e contribui para uma maior e melhor retenção dos nutrientes no solo, auxiliando a estruturação e regeneração do ambiente.

Por fim, o estudo alcançou o determinado objetivo, indicando que o uso de tratamentos químicos pode flocular a argila, permitindo a estabilização do solo e o controle dos processos erosivos.

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.
- ALVES, M. C.; & DE SOUZA, Z. M. (2008). Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 32, n. 6, p. 2505-2516, 2008.
- AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. *Agroecologia Hoje*, Botucatu, n. 20, p. 10-12, 2003.
- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. 2018. São Paulo/SP. 2018.
- ANDRADE, L. R. M.; MARTINS, E. S.; MENDES, I. C. Avaliação de uma rocha ígnea como corretivo de acidez e disponibilização de nutrientes para as plantas. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, Planaltina – DF*, 2002. 18 p.
- ARDUIN, R. L. N. Uso de agromineral silicático, gesso e cal para estabilização da argila de área degradada da Barragem Santa Bárbara, Pelotas – RS. 2018. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 2018.
- 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.
- AZEVEDO, A. C. Uso tecnológico do intemperismo. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 151-162.
- BAILEY, E. B. James Hutton. The founder of modern Geology, Elsevier, Amsterdam. 1967. 161 p.
- BERGMANN, M. Remineralizadores no Brasil: O trabalho da CPRM – Serviço Geológico do Brasil. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 71-90.
- BOLLAND, M. D. A.; BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Ciclagem de Nutrientes em Agroecossistemas*, v. 56, n. 1, p. 59- 68, 2000.
- BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm>. Acesso em: 25 Nov. 2019.

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/l12651.htm>. Acesso em: 24 Nov. 2019.

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.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº5, de 10 de março de 2016. Dispõe sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21393137/do1-2016-03-14-instrucao-normativa-n-5-de-10-de-marco-de-2016-21393106>. Acesso em: 05 Mar 2020.

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

CARNEIRO, M. M.; IEDA, J. J. C.; AZEVEDO, A. C. É possível aumentar a reatividade de remineralizadores sem diminuir tamanho de partícula. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 163-168

CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. D.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. D. A. (1992). Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In: Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE). Silvicultura, São Paulo, v. 12, n. 42, t. 3, p. 216-221, 1992.

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

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

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

DELANEY, Patrik John V; LEINZ, Viktor. Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. 1962. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1962. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44997/tde-29082016-151600/pt-br.php>>. Acesso em: 15 de Ago. de 2019.

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.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília: EMBRAPASPI, 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, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. (2007). Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. Revista Árvore, n.31, p. 177-185, 2007.

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

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.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. Ciclagem de Nutrientes em Agroecossistemas, v. 56, p. 11-36, 2000.

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.

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.

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: LAPIDOLOUREIRO, 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, n.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. *Geologia Química*, v. 60, p. 361- 370, 1987.
- MALAVOLTA, E.; ROMERO, J. P.; LIEM, T. H.; VITTI, G. C. Gesso agrícola. Seu uso na adubação e correção do solo. Departamento de Serviços Técnicos Agrônômicos. f. 30, 2 ed., São Paulo, 1981.
- 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.
- MARTINS, E. S. Remineralizadores de solos e fertilizantes naturais. In: Seminário Fruticultura Expotecnica. 2019. Disponível em: <http://www.emater.pr.gov.br/arquivos/File/Biblioteca_Virtual/SeminarioFruticulturaExpotecnica2019/Apresentacao_Remineralizadores_solos_fertilizantes_naturais.pdf> Acesso em: 10 Mar 2020.
- 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.
- MEURER, E.; ANGHINONI, I. A solução do solo. In: MEURER, E. *Fundamentos de Química do Solo*. 6 Ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. p. 87-111.
- 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.
- NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. *Geociências*, UNESP, v.21, n.12, p.15-32, 2002.
- NIEWINSKI, F. S. Do pó de rocha à fertilidade: Uma experiência nos solos de Montenegro/RS. 2017. 79 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

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 Fev. 2020.

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: <https://sapl.pelotas.rs.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2008/856/856_texto_integral.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2019

RIBEIRO, L. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes de nutriente para as plantas e solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 34, n.3, p. 891-897, junho de 2010.

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_frenteiraoste_2008_municipios.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2019.

RIO GRANDE DO SUL - Hipsometria e unidades geomorfológicas. 2008. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/hipsometria-e-unidades-geomorfologicas>>. Acesso em: 28 mar. 2020.

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

SÁ, L. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. D. C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M. A. (2010). Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. Embrapa Semiárido- Capítulo e livro científico (ALICE). 2010.

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.

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. A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno agricultor. 2000. 241 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável – Política e Gestão Ambiental) – Universidade de Brasília, DF. 2000.

- THEODORO, S. H.; ROCHA, E. L. Rochagem: equilíbrio do solo e vigor para as plantas. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA e III SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE AGROECOLOGIA DE SC, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2005.
- 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.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. Espaço & Geografia, v.9, nº 2. Universidade de Brasília, 2006.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, n.1., 2010, Brasília. Anais... Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. p. 173-181.
- 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.
- VILLWOCK, Jorge Alberto. Contribuição a Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul-Brasil. 1972. 134 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1972.
- VILLWOCK, J. A. Geologia da província costeira do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. Uma síntese. Pesquisa, n.16. p 5-49. 1984.
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica. **Notas técnicas**, n.8. Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre. p.1-45. 1995.

Apêndices

Apêndice A - Composição química dos lixiviados selecionados, quantidade de sólidos totais e argila dispersa estimada. Dados referentes à primeira etapa do experimento. Fonte: ARDUIN, Ricardo (2018).

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 | 23,97 | 31,11 | 8,03 | 10,88 | 160,90 | 0,00 | 76,27 | 311,17 | 18380,00 | 18068,83 | 18,07 |
| BB 0,25% | 30,94 | 35,34 | 3,75 | 123,26 | 16,21 | 15,00 | 274,57 | 499,07 | 4788,00 | 4288,93 | 4,29 |
| BB 0,50% | 11,84 | 10,84 | 2,17 | 52,11 | 85,89 | 7,50 | 137,28 | 307,63 | 6780,00 | 6472,37 | 6,47 |
| BB 0,75% | 20,63 | 16,46 | 3,06 | 20,83 | 112,28 | 0,00 | 83,90 | 257,16 | 8354,00 | 8096,84 | 8,10 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

Lixiviação 2

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|-------|------|--------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 7,73 | 31,51 | 7,86 | 22,80 | 125,71 | 0,00 | 91,52 | 287,13 | 6196,00 | 5908,87 | 5,91 |
| BB 0,25% | 16,90 | 18,39 | 5,71 | 16,41 | 53,02 | 0,00 | 76,27 | 186,70 | 9136,00 | 8949,30 | 8,95 |
| BB 0,50% | 7,07 | 4,62 | 1,94 | 28,86 | 39,70 | 7,50 | 137,28 | 226,98 | 1597,33 | 1370,35 | 1,37 |
| BB 0,75% | 4,46 | 3,52 | 2,47 | 15,35 | 65,52 | 0,00 | 68,64 | 159,97 | 1780,00 | 1620,03 | 1,62 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

Lixiviação 3

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|-------|------|--------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 5,43 | 10,50 | 5,19 | 13,33 | 256,98 | 0,00 | 76,27 | 367,70 | 10544,00 | 10176,30 | 10,18 |
| BB 0,25% | 7,34 | 7,48 | 5,56 | 26,19 | 132,42 | 0,00 | 106,78 | 285,77 | 5328,00 | 5042,23 | 5,04 |
| BB 0,50% | 4,44 | 2,75 | 1,87 | 50,41 | 42,25 | 0,00 | 122,03 | 223,76 | 1884,00 | 1660,24 | 1,66 |
| BB 0,75% | 4,64 | 4,45 | 2,38 | 14,47 | 64,82 | 0,00 | 76,27 | 167,04 | 1926,00 | 1758,96 | 1,76 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

Lixiviação 4

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|-------|------|--------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 4,80 | 10,51 | 6,60 | 13,68 | 134,51 | 0,00 | 61,01 | 231,12 | 12132,00 | 11900,88 | 11,90 |
| BB 0,25% | 5,49 | 3,01 | 2,56 | 11,10 | 70,61 | 0,00 | 61,01 | 153,79 | 5792,00 | 5638,21 | 5,64 |
| BB 0,50% | 4,12 | 1,49 | 1,47 | 36,69 | 55,79 | 0,00 | 114,40 | 213,97 | 1372,00 | 1158,03 | 1,16 |
| BB 0,75% | 4,80 | 1,48 | 1,13 | 14,64 | 66,66 | 0,00 | 53,39 | 142,10 | 2032,00 | 1889,90 | 1,89 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

Lixiviação 5

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|-------|------|--------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 8,32 | 8,80 | 5,51 | 12,88 | 144,23 | 0,00 | 61,01 | 240,75 | 10508,00 | 11318,57 | 11,32 |
| BB 0,25% | 4,43 | 6,05 | 1,60 | 8,60 | 73,56 | 0,00 | 45,76 | 140,01 | 4656,00 | 4515,99 | 4,52 |
| BB 0,50% | 4,11 | 4,06 | 1,13 | 18,33 | 61,67 | 0,00 | 76,27 | 165,58 | 2268,00 | 2102,42 | 2,10 |
| BB 0,75% | 3,82 | 3,54 | 1,05 | 14,51 | 60,56 | 0,00 | 53,39 | 136,87 | 2230,00 | 2093,13 | 2,09 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

Lixiviação 7

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|-------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 11,80 | 7,09 | 4,91 | 12,09 | 134,51 | 0,00 | 61,01 | 231,41 | 10508,00 | 10276,59 | 10,28 |
| BB 0,25% | 6,46 | 6,38 | 2,03 | 10,67 | 55,86 | 0,00 | 76,27 | 157,69 | 4372,00 | 4214,31 | 4,21 |
| BB 0,50% | 4,83 | 4,60 | 2,10 | 10,78 | 57,16 | 0,00 | 53,39 | 132,86 | 2694,00 | 2561,14 | 2,56 |
| BB 0,75% | 3,97 | 2,96 | 0,67 | 12,75 | 52,27 | 0,00 | 61,01 | 133,64 | 1938,00 | 1804,36 | 1,80 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

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 | 9,96 | 9,15 | 5,94 | 14,85 | 199,56 | 0,00 | 61,01 | 300,47 | 9704,00 | 9403,53 | 9,40 |
| BB 0,25% | 5,67 | 7,65 | 5,09 | 9,01 | 70,31 | 0,00 | 30,51 | 128,24 | 4680,00 | 4551,76 | 4,55 |
| BB 0,50% | 4,05 | 3,75 | 1,99 | 9,06 | 76,98 | 0,00 | 38,13 | 133,97 | 2850,00 | 2716,03 | 2,72 |
| BB 0,75% | 4,48 | 4,05 | 1,61 | 10,84 | 89,80 | 0,00 | 45,76 | 156,53 | 2136,00 | 1979,47 | 1,98 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

Lixiviação 11

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|-------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 11,55 | 8,85 | 6,25 | 12,09 | 173,17 | 0,00 | 45,76 | 257,67 | 12792,00 | 12534,33 | 12,53 |
| BB 0,25% | 5,66 | 4,90 | 1,52 | 8,01 | 74,92 | 0,00 | 61,01 | 156,02 | 2176,00 | 2019,98 | 2,02 |
| BB 0,50% | 4,58 | 4,27 | 1,02 | 8,11 | 66,85 | 0,00 | 45,76 | 130,60 | 1382,00 | 1251,40 | 1,25 |
| BB 0,75% | 5,25 | 4,93 | 0,93 | 10,41 | 83,07 | 0,00 | 45,76 | 150,35 | 1400,00 | 1249,65 | 1,25 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

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 | 9,56 | 12,03 | 10,62 | 10,75 | 215,07 | 0,00 | 45,76 | 303,79 | 8236,00 | 7932,21 | 7,93 |
| BB 0,25% | 8,00 | 9,78 | 5,04 | 6,38 | 74,99 | 0,00 | 30,51 | 134,71 | 2420,00 | 2285,29 | 2,29 |
| BB 0,50% | 5,42 | 5,46 | 2,70 | 6,53 | 99,49 | 0,00 | 45,76 | 165,36 | 1748,00 | 1582,64 | 1,58 |
| BB 0,75% | 4,97 | 4,83 | 4,29 | 8,19 | 88,04 | 0,00 | 45,76 | 156,07 | 1322,00 | 1165,93 | 1,17 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

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 | 10,14 | 19,09 | 10,08 | 9,83 | 176,64 | 0,00 | 61,01 | 286,80 | 7920,00 | 7633,20 | 7,63 |
| BB 0,25% | 7,54 | 8,15 | 4,74 | 7,04 | 47,27 | 0,00 | 76,27 | 151,01 | 2304,00 | 2152,99 | 2,15 |
| BB 0,50% | 4,67 | 4,55 | 2,74 | 7,14 | 78,07 | 0,00 | 53,39 | 150,57 | 1522,00 | 1371,43 | 1,37 |
| BB 0,75% | 4,90 | 4,74 | 3,02 | 8,84 | 70,55 | 0,00 | 45,76 | 137,80 | 1160,00 | 1022,20 | 1,02 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 A - Continuação

Lixiviação 20

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|-------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 12,93 | 8,11 | 13,75 | 11,10 | 203,73 | 0,00 | 61,01 | 310,64 | 11864,00 | 11553,36 | 11,55 |
| BB 0,25% | 6,58 | 7,02 | 2,51 | 5,56 | 74,98 | 0,00 | 45,76 | 142,41 | 3468,00 | 3325,59 | 3,33 |
| BB 0,50% | 3,86 | 3,13 | 1,65 | 5,97 | 52,35 | 0,00 | 53,39 | 120,34 | 1796,00 | 1675,66 | 1,68 |
| BB 0,75% | 3,89 | 2,90 | 1,43 | 6,96 | 48,80 | 0,00 | 45,76 | 109,74 | 1226,00 | 1116,26 | 1,12 |
| BB 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 |
| BB 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 |
| BB 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 |

Apêndice B - Composição química dos lixiviados selecionados, quantidade de sólidos totais e argila dispersa estimada. Dados referentes à segunda etapa do experimento.

Lixiviação 21

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 13,61 | 3,41 | 8,37 | 23,45 | 478,40 | 0 | 46,71 | 573,95 | 10896,40 | 10322,46 | 10,32 |
| BB 0,25% | 7,45 | 1,01 | 5,22 | 77,14 | 128,69 | 0 | 124,50 | 344,01 | 3514,67 | 3170,65 | 3,17 |
| BB 0,50% | 3,53 | 0,46 | 1,10 | 48,85 | 86,24 | 0 | 63,72 | 203,91 | 741,33 | 537,42 | 0,54 |
| BB 0,75% | 4,16 | 0,60 | 2,15 | 66,07 | 78,86 | 0 | 86,59 | 238,42 | 1048,00 | 809,58 | 0,81 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 151,79 | 4,68 | 1,26 | 17,38 | 539,04 | 0 | 22,46 | 736,61 | 1016,00 | 279,39 | 0,28 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 160,00 | 5,34 | 1,35 | 22,42 | 542,51 | 0 | 27,57 | 759,19 | 1320,00 | 560,81 | 0,56 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 170,77 | 4,84 | 1,48 | 18,27 | 550,22 | 0 | 31,65 | 777,23 | 1448,00 | 670,77 | 0,67 |
| Gesso 0,25% | 17,96 | 1,32 | 1,00 | 16,23 | 82,84 | 0 | 13,27 | 132,63 | 312,00 | 179,37 | 0,18 |
| Gesso 0,50% | 81,03 | 3,06 | 1,35 | 16,01 | 112,45 | 0 | 13,27 | 227,16 | 656,00 | 428,84 | 0,43 |
| Gesso 0,75% | 182,56 | 6,72 | 1,73 | 21,49 | 465,84 | 0 | 15,31 | 693,66 | 1640,00 | 946,34 | 0,95 |
| Cal 0,25% | 7,86 | 0,42 | 0,38 | 60,03 | 3,15 | 0 | 162,34 | 234,17 | 304,00 | 69,83 | 0,07 |
| Cal 0,50% | 12,64 | 0,61 | 0,91 | 45,75 | 2,63 | 0 | 159,27 | 221,81 | 348,00 | 126,19 | 0,13 |
| Cal 0,75% | 14,74 | 0,51 | 1,16 | 23,29 | 2,57 | 0 | 153,66 | 195,93 | 243,28 | 47,35 | 0,05 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 22

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 10,94 | 2,70 | 7,13 | 14,05 | 473,23 | 0 | 44,11 | 552,17 | 19664,62 | 19112,45 | 19,11 |
| BB 0,25% | 3,43 | 0,61 | 7,64 | 35,38 | 51,66 | 0 | 93,13 | 191,86 | 2034,67 | 1842,81 | 1,84 |
| BB 0,50% | 2,48 | 0,35 | 1,16 | 34,74 | 43,61 | 0 | 68,62 | 150,96 | 618,67 | 467,71 | 0,47 |
| BB 0,75% | 3,11 | 0,35 | 0,78 | 49,27 | 56,44 | 0 | 98,03 | 207,98 | 1157,33 | 949,36 | 0,95 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 121,54 | 3,15 | 1,26 | 11,94 | 392,49 | 0 | 29,41 | 559,78 | 996,00 | 436,22 | 0,44 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 128,72 | 3,98 | 1,23 | 14,45 | 495,82 | 0 | 34,31 | 678,51 | 984,00 | 305,49 | 0,31 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 104,62 | 3,05 | 1,10 | 10,10 | 531,97 | 0 | 41,66 | 692,50 | 752,00 | 59,50 | 0,06 |
| Gesso 0,25% | 12,46 | 1,01 | 0,72 | 10,04 | 78,45 | 0 | 26,96 | 129,64 | 264,00 | 134,36 | 0,13 |
| Gesso 0,50% | 36,75 | 1,34 | 0,78 | 8,43 | 110,53 | 0 | 19,61 | 177,44 | 340,00 | 162,56 | 0,16 |
| Gesso 0,75% | 115,04 | 4,04 | 1,32 | 13,18 | 401,92 | 0 | 17,16 | 552,66 | 1044,00 | 491,34 | 0,49 |
| Cal 0,25% | 6,25 | 0,40 | 0,28 | 37,91 | 3,80 | 0 | 12,74 | 61,38 | 260,00 | 198,62 | 0,20 |
| Cal 0,50% | 12,55 | 0,45 | 0,60 | 29,58 | 2,10 | 0 | 151,95 | 197,22 | 268,00 | 70,78 | 0,07 |
| Cal 0,75% | 18,49 | 0,46 | 0,63 | 14,10 | 1,90 | 0 | 139,69 | 175,26 | 224,00 | 48,74 | 0,05 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 23

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 13,49 | 3,93 | 10,27 | 20,98 | 436,69 | 0 | 39,85 | 525,21 | 13264,69 | 12739,48 | 12,74 |
| BB 0,25% | 7,16 | 1,04 | 4,61 | 32,00 | 54,35 | 0 | 84,81 | 183,98 | 2730,67 | 2546,69 | 2,55 |
| BB 0,50% | 2,96 | 0,39 | 1,45 | 38,49 | 81,59 | 0 | 68,46 | 193,35 | 898,67 | 705,32 | 0,71 |
| BB 0,75% | 2,99 | 0,62 | 1,06 | 56,74 | 81,52 | 0 | 109,33 | 252,27 | 1666,67 | 1414,40 | 1,41 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 89,68 | 4,26 | 1,03 | 12,07 | 387,39 | 0 | 62,33 | 556,76 | 826,00 | 269,24 | 0,27 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 108,03 | 5,83 | 1,12 | 15,03 | 468,71 | 0 | 32,70 | 631,43 | 998,00 | 366,57 | 0,37 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 88,47 | 4,08 | 1,09 | 10,29 | 479,32 | 0 | 36,27 | 619,53 | 832,00 | 212,47 | 0,21 |
| Gesso 0,25% | 8,92 | 1,22 | 0,73 | 10,35 | 74,19 | 0 | 17,88 | 113,30 | 214,00 | 100,70 | 0,10 |
| Gesso 0,50% | 25,88 | 1,67 | 0,91 | 8,78 | 105,23 | 0 | 19,41 | 161,89 | 320,00 | 158,11 | 0,16 |
| Gesso 0,75% | 111,94 | 5,84 | 1,45 | 13,43 | 432,57 | 0 | 27,59 | 592,83 | 994,00 | 401,17 | 0,40 |
| Cal 0,25% | 4,59 | 0,33 | 0,29 | 40,29 | 4,26 | 0 | 136,92 | 186,69 | 252,00 | 65,31 | 0,07 |
| Cal 0,50% | 11,81 | 0,65 | 0,73 | 33,52 | 1,24 | 0 | 175,75 | 223,70 | 330,00 | 106,30 | 0,11 |
| Cal 0,75% | 12,31 | 0,63 | 0,76 | 14,91 | 1,96 | 0 | 119,04 | 149,62 | 196,00 | 46,38 | 0,05 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 24

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 11,96 | 4,46 | 10,38 | 20,12 | 767,11 | 0 | 39,08 | 853,11 | 13309,74 | 12456,63 | 12,46 |
| BB 0,25% | 4,96 | 0,81 | 3,06 | 25,81 | 201,16 | 0 | 88,90 | 324,68 | 3426,67 | 3101,98 | 3,10 |
| BB 0,50% | 3,10 | 0,46 | 1,75 | 36,81 | 144,19 | 0 | 87,87 | 274,19 | 1178,67 | 904,48 | 0,90 |
| BB 0,75% | 2,81 | 0,45 | 1,03 | 47,01 | 190,55 | 0 | 112,91 | 354,76 | 2176,00 | 1821,24 | 1,82 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 77,83 | 2,79 | 1,61 | 8,94 | 383,85 | 0 | 29,12 | 504,14 | 656,00 | 151,86 | 0,15 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 115,10 | 4,81 | 2,02 | 12,53 | 422,35 | 0 | 39,34 | 596,15 | 1012,00 | 415,85 | 0,42 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 93,57 | 3,03 | 1,15 | 9,32 | 438,46 | 0 | 41,89 | 587,43 | 912,00 | 324,57 | 0,32 |
| Gesso 0,25% | 8,78 | 0,95 | 0,82 | 9,70 | 71,77 | 0 | 22,99 | 115,00 | 164,00 | 49,00 | 0,05 |
| Gesso 0,50% | 15,32 | 1,00 | 0,79 | 6,69 | 92,59 | 0 | 25,54 | 141,94 | 300,00 | 158,06 | 0,16 |
| Gesso 0,75% | 110,13 | 3,94 | 1,42 | 10,89 | 486,79 | 0 | 19,93 | 633,09 | 944,00 | 310,91 | 0,31 |
| Cal 0,25% | 4,80 | 0,32 | 0,44 | 37,87 | 2,95 | 0 | 130,79 | 177,16 | 244,00 | 66,84 | 0,07 |
| Cal 0,50% | 10,99 | 0,48 | 0,71 | 27,23 | 0,76 | 0 | 161,44 | 201,61 | 224,00 | 22,39 | 0,02 |
| Cal 0,75% | 11,72 | 0,90 | 0,85 | 15,70 | 0,75 | 0 | 151,23 | 181,15 | 204,00 | 22,86 | 0,02 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 25

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 15,52 | 5,44 | 8,17 | 16,76 | 451,61 | 0 | 36,78 | 534,28 | 12359,56 | 11825,28 | 11,83 |
| BB 0,25% | 3,63 | 0,61 | 3,74 | 23,75 | 85,96 | 0 | 72,55 | 190,23 | 2580,67 | 2390,44 | 2,39 |
| BB 0,50% | 2,80 | 0,41 | 1,60 | 29,78 | 44,43 | 0 | 66,42 | 145,43 | 1085,03 | 939,60 | 0,94 |
| BB 0,75% | 3,07 | 0,43 | 1,33 | 43,16 | 93,70 | 0 | 103,20 | 244,88 | 1816,25 | 1571,37 | 1,57 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 99,49 | 3,01 | 1,18 | 8,58 | 570,12 | 0 | 21,46 | 703,84 | 735,66 | 31,82 | 0,03 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 137,97 | 4,65 | 1,39 | 10,76 | 759,63 | 0 | 30,65 | 945,06 | 988,88 | 43,82 | 0,04 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 106,08 | 3,06 | 1,15 | 8,08 | 531,58 | 0 | 31,16 | 681,12 | 766,51 | 85,39 | 0,09 |
| Gesso 0,25% | 8,36 | 0,66 | 0,68 | 8,20 | 86,05 | 0 | 15,33 | 119,27 | 155,58 | 36,31 | 0,04 |
| Gesso 0,50% | 19,56 | 0,91 | 0,85 | 7,30 | 128,10 | 0 | 13,79 | 170,52 | 278,24 | 107,73 | 0,11 |
| Gesso 0,75% | 131,04 | 4,79 | 1,48 | 9,90 | 635,05 | 0 | 16,35 | 798,61 | 942,91 | 144,31 | 0,14 |
| Cal 0,25% | 5,00 | 0,24 | 0,35 | 34,22 | 5,00 | 0 | 121,59 | 166,40 | 246,20 | 79,80 | 0,08 |
| Cal 0,50% | 12,72 | 0,35 | 0,56 | 20,64 | 3,49 | 0 | 147,14 | 184,89 | 255,73 | 70,84 | 0,07 |
| Cal 0,75% | 15,88 | 0,50 | 0,62 | 10,36 | 1,82 | 0 | 139,48 | 168,66 | 208,16 | 39,50 | 0,04 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 26

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 10,36 | 2,85 | 8,09 | 13,42 | 192,70 | 0 | 41,38 | 268,80 | 8878,96 | 8610,15 | 8,61 |
| BB 0,25% | 4,39 | 0,82 | 2,08 | 24,18 | 76,56 | 0 | 76,12 | 184,16 | 1737,33 | 1553,18 | 1,55 |
| BB 0,50% | 2,61 | 0,47 | 1,18 | 28,14 | 37,06 | 0 | 77,15 | 146,61 | 992,00 | 845,39 | 0,85 |
| BB 0,75% | 2,76 | 0,49 | 0,91 | 37,09 | 45,16 | 0 | 98,09 | 184,51 | 1456,00 | 1271,49 | 1,27 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 100,88 | 3,21 | 1,06 | 7,65 | 502,53 | 0 | 28,61 | 643,95 | 772,00 | 128,05 | 0,13 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 117,17 | 4,06 | 1,18 | 8,42 | 735,72 | 0 | 35,76 | 902,31 | 920,00 | 17,69 | 0,02 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 97,07 | 2,96 | 1,03 | 6,70 | 450,17 | 0 | 39,34 | 597,27 | 596,00 | -1,27 | 0,00 |
| Gesso 0,25% | 9,01 | 0,97 | 0,68 | 7,43 | 60,63 | 0 | 15,84 | 94,55 | 148,00 | 53,45 | 0,05 |
| Gesso 0,50% | 17,93 | 1,15 | 0,76 | 5,97 | 123,79 | 0 | 14,31 | 163,91 | 248,00 | 84,09 | 0,08 |
| Gesso 0,75% | 95,33 | 3,29 | 1,12 | 7,10 | 579,18 | 0 | 14,31 | 700,33 | 900,00 | 199,67 | 0,20 |
| Cal 0,25% | 4,97 | 0,35 | 0,38 | 27,27 | 5,82 | 0 | 117,51 | 156,31 | 248,00 | 91,69 | 0,09 |
| Cal 0,50% | 10,89 | 0,43 | 0,50 | 16,23 | 1,03 | 0 | 124,66 | 153,74 | 116,00 | -37,74 | -0,04 |
| Cal 0,75% | 14,95 | 0,50 | 0,53 | 8,38 | 1,09 | 0 | 132,32 | 157,78 | 184,00 | 26,22 | 0,03 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 27

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 21,94 | 4,43 | 9,89 | 18,21 | 389,45 | 0 | 44,45 | 488,36 | 12856,00 | 12367,64 | 12,37 |
| BB 0,25% | 3,63 | 0,57 | 1,98 | 31,69 | 81,06 | 0 | 99,11 | 218,04 | 1630,67 | 1412,63 | 1,41 |
| BB 0,50% | 2,62 | 0,37 | 1,47 | 30,91 | 44,08 | 0 | 83,79 | 163,24 | 905,33 | 742,09 | 0,74 |
| BB 0,75% | 3,75 | 0,50 | 1,09 | 42,89 | 57,76 | 0 | 98,09 | 204,08 | 1261,33 | 1057,25 | 1,06 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 91,85 | 2,26 | 1,25 | 7,47 | 554,35 | 0 | 29,12 | 686,30 | 744,00 | 57,70 | 0,06 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 119,63 | 2,92 | 1,34 | 8,14 | 704,41 | 0 | 32,19 | 868,63 | 908,00 | 39,37 | 0,04 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 90,00 | 2,10 | 1,09 | 6,61 | 420,49 | 0 | 35,76 | 556,05 | 624,00 | 67,95 | 0,07 |
| Gesso 0,25% | 9,99 | 0,81 | 0,90 | 8,03 | 64,41 | 0 | 13,28 | 97,43 | 184,00 | 86,57 | 0,09 |
| Gesso 0,50% | 20,23 | 1,01 | 0,97 | 6,41 | 125,86 | 0 | 15,33 | 169,80 | 232,00 | 62,20 | 0,06 |
| Gesso 0,75% | 88,89 | 2,33 | 1,41 | 7,11 | 526,28 | 0 | 15,84 | 641,85 | 872,00 | 230,15 | 0,23 |
| Cal 0,25% | 5,48 | 0,26 | 0,56 | 30,41 | 3,12 | 0 | 121,59 | 161,42 | 216,00 | 54,58 | 0,05 |
| Cal 0,50% | 11,57 | 0,31 | 0,59 | 16,56 | 1,94 | 0 | 128,75 | 159,72 | 196,00 | 36,28 | 0,04 |
| Cal 0,75% | 14,37 | 0,36 | 0,59 | 8,27 | 0,82 | 0 | 129,77 | 154,18 | 168,00 | 13,82 | 0,01 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 28

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 20,06 | 4,50 | 11,02 | 22,86 | 459,08 | 0 | 34,49 | 552,01 | 12572,00 | 12019,99 | 12,02 |
| BB 0,25% | 3,25 | 0,49 | 2,59 | 22,52 | 79,80 | 0 | 81,74 | 190,39 | 1563,33 | 1372,94 | 1,37 |
| BB 0,50% | 2,45 | 0,33 | 1,44 | 26,36 | 48,31 | 0 | 84,81 | 163,70 | 786,67 | 622,97 | 0,62 |
| BB 0,75% | 2,82 | 0,38 | 1,19 | 33,55 | 46,87 | 0 | 106,78 | 191,59 | 1097,33 | 905,75 | 0,91 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 79,63 | 2,03 | 1,16 | 5,93 | 620,74 | 0 | 29,12 | 738,62 | 726,00 | -12,62 | -0,01 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 95,19 | 2,33 | 1,19 | 5,86 | 660,69 | 0 | 39,34 | 804,59 | 762,00 | -42,59 | -0,04 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 78,52 | 1,94 | 1,12 | 5,41 | 426,42 | 0 | 42,92 | 556,33 | 620,00 | 63,67 | 0,06 |
| Gesso 0,25% | 8,18 | 0,65 | 0,75 | 6,40 | 63,24 | 0 | 14,82 | 94,04 | 176,00 | 81,96 | 0,08 |
| Gesso 0,50% | 17,89 | 0,91 | 0,87 | 5,15 | 132,61 | 0 | 13,28 | 170,72 | 276,00 | 105,28 | 0,11 |
| Gesso 0,75% | 68,15 | 1,78 | 1,16 | 5,21 | 442,62 | 0 | 16,35 | 535,26 | 676,00 | 140,74 | 0,14 |
| Cal 0,25% | 4,57 | 0,22 | 0,56 | 24,74 | 4,10 | 0 | 108,82 | 143,02 | 182,00 | 38,98 | 0,04 |
| Cal 0,50% | 9,57 | 0,27 | 0,50 | 12,76 | 1,49 | 0 | 115,46 | 140,06 | 172,00 | 31,94 | 0,03 |
| Cal 0,75% | 14,19 | 0,32 | 0,50 | 6,62 | 2,58 | 0 | 133,86 | 158,06 | 192,00 | 33,94 | 0,03 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 29

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 17,25 | 5,62 | 11,03 | 15,69 | 258,28 | 0 | 44,85 | 352,72 | 12792,00 | 12439,28 | 12,44 |
| BB 0,25% | 3,80 | 0,84 | 2,14 | 18,84 | 75,66 | 0 | 87,74 | 189,01 | 1500,00 | 1310,99 | 1,31 |
| BB 0,50% | 2,58 | 0,50 | 1,05 | 22,24 | 21,23 | 0 | 90,19 | 137,79 | 668,00 | 530,21 | 0,53 |
| BB 0,75% | 3,26 | 0,65 | 0,94 | 28,79 | 18,80 | 0 | 113,23 | 165,66 | 933,33 | 767,67 | 0,77 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 86,67 | 3,07 | 0,97 | 5,11 | 567,31 | 0 | 36,27 | 699,39 | 708,00 | 8,61 | 0,01 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 93,28 | 3,27 | 0,94 | 4,54 | 608,87 | 0 | 47,05 | 757,95 | 616,00 | -141,95 | -0,14 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 74,76 | 2,50 | 0,88 | 4,16 | 394,04 | 0 | 50,98 | 527,32 | 616,00 | 88,68 | 0,09 |
| Gesso 0,25% | 6,76 | 0,87 | 0,55 | 4,93 | 54,16 | 0 | 21,08 | 88,35 | 168,00 | 79,65 | 0,08 |
| Gesso 0,50% | 16,40 | 1,32 | 0,67 | 4,14 | 138,27 | 0 | 18,63 | 179,42 | 220,00 | 40,58 | 0,04 |
| Gesso 0,75% | 58,88 | 2,37 | 0,88 | 3,79 | 356,25 | 0 | 19,61 | 441,77 | 480,00 | 38,23 | 0,04 |
| Cal 0,25% | 4,25 | 0,32 | 0,35 | 21,29 | 8,96 | 0 | 110,77 | 145,94 | 148,00 | 2,06 | 0,00 |
| Cal 0,50% | 8,89 | 0,41 | 0,32 | 10,55 | 0,77 | 0 | 120,09 | 141,03 | 124,00 | -17,03 | -0,02 |
| Cal 0,75% | 13,13 | 0,48 | 0,29 | 5,19 | 0,86 | 0 | 137,24 | 157,20 | 156,00 | -1,20 | 0,00 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 31

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 26,01 | 6,55 | 9,87 | 14,83 | 362,18 | 0 | 41,91 | 461,35 | 13822,00 | 13360,65 | 13,36 |
| BB 0,25% | 3,07 | 0,68 | 1,80 | 16,81 | 129,55 | 0 | 90,19 | 242,10 | 1611,33 | 1369,24 | 1,37 |
| BB 0,50% | 2,56 | 0,50 | 1,20 | 23,44 | 78,24 | 0 | 96,56 | 202,50 | 666,67 | 464,17 | 0,46 |
| BB 0,75% | 3,16 | 0,73 | 0,91 | 33,27 | 131,57 | 0 | 103,91 | 273,55 | 844,67 | 571,12 | 0,57 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 126,69 | 4,70 | 1,17 | 5,64 | 804,25 | 0 | 39,70 | 982,16 | 932,00 | -50,16 | -0,05 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 128,68 | 4,71 | 1,05 | 4,49 | 731,10 | 0 | 44,11 | 914,14 | 844,00 | -70,14 | -0,07 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 112,14 | 3,91 | 1,08 | 4,71 | 669,61 | 0 | 52,45 | 843,90 | 834,00 | -9,90 | -0,01 |
| Gesso 0,25% | 6,56 | 0,87 | 0,61 | 4,69 | 49,89 | 0 | 14,21 | 76,84 | 174,00 | 97,16 | 0,10 |
| Gesso 0,50% | 17,62 | 1,43 | 0,73 | 3,91 | 131,72 | 0 | 14,21 | 169,63 | 236,00 | 66,37 | 0,07 |
| Gesso 0,75% | 68,14 | 2,54 | 0,97 | 3,62 | 402,58 | 0 | 17,65 | 495,49 | 566,00 | 70,51 | 0,07 |
| Cal 0,25% | 5,08 | 0,38 | 0,41 | 20,70 | 6,11 | 0 | 110,28 | 142,96 | 178,00 | 35,04 | 0,04 |
| Cal 0,50% | 9,85 | 0,46 | 0,47 | 9,47 | 1,02 | 0 | 116,66 | 137,92 | 170,00 | 32,08 | 0,03 |
| Cal 0,75% | 13,44 | 0,50 | 0,44 | 4,37 | 0,80 | 0 | 132,83 | 152,38 | 170,00 | 17,62 | 0,02 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 33

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 13,40 | 3,11 | 9,35 | 13,19 | 436,69 | 0 | 35,25 | 510,98 | 14852,00 | 14341,02 | 14,34 |
| BB 0,25% | 2,19 | 0,29 | 2,78 | 13,62 | 139,58 | 0 | 60,80 | 219,25 | 1722,67 | 1503,41 | 1,50 |
| BB 0,50% | 2,35 | 0,26 | 1,38 | 21,65 | 83,25 | 0 | 84,30 | 193,20 | 665,33 | 472,13 | 0,47 |
| BB 0,75% | 2,81 | 0,31 | 1,02 | 22,90 | 96,87 | 0 | 90,94 | 214,86 | 756,00 | 541,14 | 0,54 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 148,57 | 3,54 | 1,44 | 4,04 | 897,16 | 0 | 40,36 | 1095,10 | 1156,00 | 60,90 | 0,06 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 126,44 | 2,53 | 1,29 | 2,87 | 721,68 | 0 | 47,51 | 902,31 | 1072,00 | 169,69 | 0,17 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 117,43 | 2,32 | 1,23 | 3,21 | 640,89 | 0 | 52,62 | 817,70 | 1052,00 | 234,30 | 0,23 |
| Gesso 0,25% | 6,88 | 0,35 | 0,79 | 3,68 | 49,59 | 0 | 13,79 | 75,09 | 180,00 | 104,91 | 0,10 |
| Gesso 0,50% | 21,69 | 1,20 | 0,94 | 3,17 | 107,71 | 0 | 13,79 | 148,51 | 252,00 | 103,49 | 0,10 |
| Gesso 0,75% | 78,41 | 1,73 | 1,14 | 2,76 | 429,06 | 0 | 15,33 | 528,43 | 652,00 | 123,57 | 0,12 |
| Cal 0,25% | 5,90 | 0,27 | 0,50 | 18,51 | 5,12 | 0 | 102,69 | 132,98 | 164,00 | 31,02 | 0,03 |
| Cal 0,50% | 11,05 | 0,29 | 0,58 | 7,57 | 1,70 | 0 | 108,31 | 129,50 | 112,00 | -17,50 | -0,02 |
| Cal 0,75% | 15,08 | 0,32 | 0,55 | 3,38 | 0,72 | 0 | 128,75 | 148,80 | 124,00 | -24,80 | -0,02 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 35

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 12,06 | 2,59 | 7,42 | 11,42 | 357,46 | 0 | 32,95 | 423,90 | 12586,00 | 12162,10 | 12,16 |
| BB 0,25% | 2,45 | 0,30 | 1,92 | 11,07 | 72,23 | 0 | 50,07 | 138,04 | 1593,33 | 1455,29 | 1,46 |
| BB 0,50% | 2,31 | 0,26 | 0,97 | 18,14 | 55,94 | 0 | 73,57 | 151,18 | 781,33 | 630,15 | 0,63 |
| BB 0,75% | 2,84 | 0,34 | 0,91 | 20,97 | 59,99 | 0 | 87,87 | 172,93 | 697,33 | 524,40 | 0,52 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 105,05 | 2,23 | 0,88 | 1,55 | 494,64 | 0 | 41,89 | 646,24 | 1052,00 | 405,76 | 0,41 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 100,55 | 2,30 | 0,82 | 1,34 | 455,00 | 0 | 43,94 | 603,94 | 924,00 | 320,06 | 0,32 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 91,92 | 1,99 | 0,79 | 1,47 | 412,65 | 0 | 50,07 | 558,88 | 1024,00 | 465,12 | 0,47 |
| Gesso 0,25% | 5,11 | 0,46 | 0,55 | 2,50 | 39,72 | 0 | 13,28 | 61,62 | 224,00 | 162,38 | 0,16 |
| Gesso 0,50% | 23,39 | 1,49 | 0,79 | 2,39 | 122,23 | 0 | 13,79 | 164,09 | 248,00 | 83,91 | 0,08 |
| Gesso 0,75% | 75,79 | 1,92 | 0,88 | 1,68 | 250,40 | 0 | 15,84 | 346,49 | 576,00 | 229,51 | 0,23 |
| Cal 0,25% | 6,06 | 0,29 | 0,41 | 14,78 | 4,40 | 0 | 95,54 | 121,48 | 172,00 | 50,52 | 0,05 |
| Cal 0,50% | 10,62 | 0,29 | 0,38 | 5,24 | 0,78 | 0 | 101,16 | 118,48 | 184,00 | 65,52 | 0,07 |
| Cal 0,75% | 13,91 | 0,31 | 0,38 | 2,22 | 0,88 | 0 | 119,55 | 137,24 | 196,00 | 58,76 | 0,06 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 37

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 33,25 | 3,98 | 11,14 | 15,66 | 596,79 | 0 | 48,28 | 709,10 | 11626,00 | 10916,90 | 10,92 |
| BB 0,25% | 2,54 | 0,34 | 1,77 | 11,34 | 154,22 | 0 | 47,00 | 217,22 | 1654,00 | 1436,78 | 1,44 |
| BB 0,50% | 2,31 | 0,29 | 1,09 | 16,80 | 98,96 | 0 | 68,97 | 188,42 | 786,00 | 597,58 | 0,60 |
| BB 0,75% | 2,96 | 0,36 | 0,97 | 19,78 | 137,77 | 0 | 88,39 | 250,24 | 698,67 | 448,43 | 0,45 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 111,17 | 1,63 | 0,86 | 0,93 | 412,65 | 0 | 37,30 | 564,52 | 998,00 | 433,48 | 0,43 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 98,00 | 1,68 | 0,77 | 0,93 | 450,04 | 0 | 40,36 | 591,78 | 868,00 | 276,22 | 0,28 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 69,21 | 1,25 | 0,66 | 0,88 | 263,54 | 0 | 47,00 | 382,54 | 962,00 | 579,46 | 0,58 |
| Gesso 0,25% | 3,96 | 0,31 | 0,48 | 2,10 | 32,81 | 0 | 13,79 | 53,46 | 198,00 | 144,54 | 0,14 |
| Gesso 0,50% | 39,15 | 0,99 | 0,66 | 1,61 | 130,12 | 0 | 15,84 | 188,36 | 254,00 | 65,64 | 0,07 |
| Gesso 0,75% | 53,59 | 1,17 | 0,80 | 1,05 | 182,75 | 0 | 12,77 | 252,14 | 562,00 | 309,86 | 0,31 |
| Cal 0,25% | 6,12 | 0,25 | 0,34 | 13,67 | 2,53 | 0 | 110,86 | 133,78 | 170,00 | 36,22 | 0,04 |
| Cal 0,50% | 11,83 | 0,28 | 0,40 | 4,69 | 0,95 | 0 | 127,72 | 145,87 | 196,00 | 50,13 | 0,05 |
| Cal 0,75% | 14,19 | 0,26 | 0,31 | 1,93 | 0,73 | 0 | 136,41 | 153,83 | 174,00 | 20,17 | 0,02 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 39

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 29,33 | 4,16 | 10,93 | 15,67 | 475,49 | 0 | 42,92 | 578,50 | 10666,00 | 10087,50 | 10,09 |
| BB 0,25% | 2,40 | 0,29 | 2,04 | 10,77 | 209,48 | 0 | 48,02 | 273,00 | 1714,67 | 1441,66 | 1,44 |
| BB 0,50% | 2,18 | 0,25 | 1,12 | 17,06 | 69,08 | 0 | 68,46 | 158,15 | 790,67 | 632,52 | 0,63 |
| BB 0,75% | 2,19 | 0,25 | 0,63 | 18,35 | 65,62 | 0 | 79,70 | 166,74 | 700,00 | 533,26 | 0,53 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 81,46 | 1,40 | 0,77 | 0,74 | 470,76 | 0 | 36,27 | 591,40 | 580,00 | -11,40 | -0,01 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 91,57 | 1,58 | 0,71 | 0,78 | 434,27 | 0 | 42,40 | 571,32 | 812,00 | 240,68 | 0,24 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 62,17 | 1,29 | 0,57 | 0,71 | 307,23 | 0 | 44,96 | 416,93 | 900,00 | 483,07 | 0,48 |
| Gesso 0,25% | 3,42 | 0,29 | 0,46 | 1,74 | 36,41 | 0 | 13,28 | 55,60 | 172,00 | 116,40 | 0,12 |
| Gesso 0,50% | 26,56 | 0,87 | 0,54 | 1,23 | 92,05 | 0 | 13,28 | 134,54 | 260,00 | 125,46 | 0,13 |
| Gesso 0,75% | 42,26 | 1,03 | 0,54 | 0,76 | 173,89 | 0 | 16,35 | 234,83 | 548,00 | 313,17 | 0,31 |
| Cal 0,25% | 6,61 | 0,30 | 0,31 | 11,27 | 3,50 | 0 | 95,54 | 117,53 | 168,00 | 50,47 | 0,05 |
| Cal 0,50% | 12,00 | 0,32 | 0,37 | 3,82 | 1,48 | 0 | 129,77 | 147,75 | 208,00 | 60,25 | 0,06 |
| Cal 0,75% | 14,46 | 0,31 | 0,28 | 1,59 | 1,42 | 0 | 139,48 | 157,54 | 151,94 | -5,60 | -0,01 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 40

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------|------|------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | mg dm-3 | | | | | | | | | | g dm-3 |
| Solo | 30,37 | 4,26 | 9,83 | 15,08 | 409,99 | 0 | 32,19 | 501,72 | 11724,00 | 11222,28 | 11,22 |
| BB 0,25% | 2,63 | 0,37 | 1,59 | 10,77 | 143,17 | 0 | 47,00 | 205,53 | 1434,67 | 1229,13 | 1,23 |
| BB 0,50% | 2,37 | 0,30 | 0,80 | 17,59 | 24,64 | 0 | 70,50 | 116,20 | 2213,33 | 2097,14 | 2,10 |
| BB 0,75% | 2,67 | 0,32 | 0,53 | 18,73 | 49,58 | 0 | 80,21 | 152,05 | 588,00 | 435,95 | 0,44 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 84,25 | 1,49 | 0,65 | 0,57 | 378,77 | 0 | 42,40 | 508,15 | 876,00 | 367,85 | 0,37 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 97,87 | 1,56 | 0,59 | 0,60 | 453,61 | 0 | 50,07 | 604,30 | 692,00 | 87,70 | 0,09 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 66,19 | 1,16 | 0,50 | 0,60 | 234,15 | 0 | 40,36 | 342,96 | 744,00 | 401,04 | 0,40 |
| Gesso 0,25% | 3,49 | 0,29 | 0,47 | 1,56 | 33,97 | 0 | 13,79 | 53,58 | 180,00 | 126,42 | 0,13 |
| Gesso 0,50% | 21,31 | 0,77 | 0,47 | 0,95 | 97,64 | 0 | 12,26 | 133,41 | 232,00 | 98,59 | 0,10 |
| Gesso 0,75% | 45,83 | 1,01 | 0,59 | 0,60 | 229,56 | 0 | 12,26 | 289,86 | 492,00 | 202,14 | 0,20 |
| Cal 0,25% | 7,88 | 0,33 | 0,30 | 11,78 | 1,30 | 0 | 110,86 | 132,45 | 180,00 | 47,55 | 0,05 |
| Cal 0,50% | 13,26 | 0,32 | 0,27 | 3,13 | 0,61 | 0 | 130,79 | 148,38 | 188,00 | 39,62 | 0,04 |
| Cal 0,75% | 15,37 | 0,30 | 0,21 | 1,35 | 2,07 | 0 | 143,56 | 162,85 | 168,00 | 5,15 | 0,01 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 43

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 12,22 | 2,66 | 10,36 | 14,21 | 478,40 | 0 | 47,51 | 565,38 | 11776,00 | 11210,62 | 11,21 |
| BB 0,25% | 1,54 | 0,19 | 1,25 | 8,89 | 121,82 | 0 | 38,83 | 172,53 | 1225,33 | 1052,80 | 1,05 |
| BB 0,50% | 1,81 | 0,20 | 0,53 | 13,56 | 39,71 | 0 | 59,26 | 115,08 | 486,67 | 371,58 | 0,37 |
| BB 0,75% | 1,94 | 0,21 | 0,53 | 16,59 | 45,76 | 0 | 68,46 | 133,49 | 422,67 | 289,17 | 0,29 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 56,62 | 1,04 | 0,27 | 0,27 | 330,11 | 0 | 45,98 | 434,28 | 776,00 | 341,72 | 0,34 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 55,40 | 0,91 | 0,24 | 0,32 | 304,86 | 0 | 54,16 | 415,89 | 348,00 | -67,89 | -0,07 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 42,19 | 0,81 | 0,18 | 0,25 | 207,98 | 0 | 52,11 | 303,52 | 404,00 | 100,48 | 0,10 |
| Gesso 0,25% | 2,81 | 0,24 | 0,24 | 0,85 | 28,70 | 0 | 14,82 | 47,65 | 176,00 | 128,35 | 0,13 |
| Gesso 0,50% | 9,57 | 0,52 | 0,15 | 0,30 | 62,67 | 0 | 13,79 | 86,99 | 216,00 | 129,01 | 0,13 |
| Gesso 0,75% | 29,79 | 0,73 | 0,24 | 0,25 | 176,68 | 0 | 17,37 | 225,06 | 328,00 | 102,94 | 0,10 |
| Cal 0,25% | 8,00 | 0,38 | 0,09 | 7,44 | 4,10 | 0 | 107,29 | 127,30 | 156,00 | 28,70 | 0,03 |
| Cal 0,50% | 12,49 | 0,34 | 0,09 | 1,58 | 1,72 | 0 | 124,15 | 140,37 | 180,00 | 39,63 | 0,04 |
| Cal 0,75% | 14,45 | 0,33 | 0,09 | 0,73 | 2,80 | 0 | 133,86 | 152,24 | 156,00 | 3,76 | 0,00 |

Apêndice B - Continuação

Lixiviação 45

| Tratamento | Ca | Mg | K | Na | Sulfato | Carbonato | Bicarbonato | Soma de íons | Sólidos Totais | Argila Dispersa | Argila Dispersa |
|------------------------|---------------------|------|-------|-------|---------|-----------|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | mg dm ⁻³ | | | | | | | | | | g dm ⁻³ |
| Solo | 17,64 | 1,85 | 11,65 | 18,09 | 493,90 | 0 | 40,62 | 583,74 | 15944,00 | 15360,26 | 15,36 |
| BB 0,25% | 1,95 | 0,18 | 1,44 | 8,94 | 100,16 | 0 | 38,32 | 150,99 | 1053,33 | 902,34 | 0,90 |
| BB 0,50% | 1,59 | 0,13 | 0,44 | 11,91 | 86,47 | 0 | 56,20 | 156,74 | 301,33 | 144,60 | 0,14 |
| BB 0,75% | 1,75 | 0,14 | 0,41 | 13,74 | 35,35 | 0 | 58,24 | 109,64 | 292,00 | 182,36 | 0,18 |
| BB 0,25% + Gesso 0,75% | 44,59 | 1,21 | 0,35 | 0,27 | 175,00 | 0 | 29,63 | 251,06 | 504,00 | 252,94 | 0,25 |
| BB 0,50% + Gesso 0,75% | 42,59 | 1,11 | 0,30 | 0,27 | 144,09 | 0 | 49,05 | 237,40 | 216,00 | -21,40 | -0,02 |
| BB 0,75% + Gesso 0,75% | 31,78 | 1,01 | 0,27 | 0,27 | 67,41 | 0 | 51,09 | 151,82 | 276,00 | 124,18 | 0,12 |
| Gesso 0,25% | 2,75 | 0,27 | 0,35 | 0,83 | 24,10 | 0 | 13,28 | 41,59 | 148,00 | 106,41 | 0,11 |
| Gesso 0,50% | 8,19 | 0,86 | 0,24 | 0,40 | 44,38 | 0 | 13,28 | 67,35 | 164,00 | 96,65 | 0,10 |
| Gesso 0,75% | 17,37 | 0,71 | 0,30 | 0,25 | 84,94 | 0 | 13,79 | 117,36 | 184,00 | 66,64 | 0,07 |
| Cal 0,25% | 7,50 | 0,58 | 0,18 | 6,67 | 2,57 | 0 | 96,56 | 114,05 | 64,00 | -50,05 | -0,05 |
| Cal 0,50% | 11,32 | 0,43 | 0,18 | 1,41 | 0,52 | 0 | 126,19 | 140,05 | 48,00 | -92,05 | -0,09 |
| Cal 0,75% | 11,98 | 0,39 | 0,15 | 0,70 | 0,83 | 0 | 131,81 | 145,86 | 60,00 | -85,86 | -0,09 |