



**ROCHAGEM: AGREGAÇÃO DAS ROCHAS COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL PARA A FERTILIZAÇÃO E ADUBAÇÃO DE SOLOS**

Porto Alegre, 2011

ELLEN BASSAN BENEDEZZI

**ROCHAGEM: AGREGAÇÃO DAS ROCHAS COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL PARA A FERTILIZAÇÃO E ADUBAÇÃO DE SOLOS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. ANTONIO PEDRO VIERO

SUPERVISOR: Prof. Dr. VALCIR CARPENEDO

Porto Alegre, 2011

Beneduzzi, Ellen Bassan

Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação de solos. / Ellen Bassan Beneduzzi - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2011.

[90 f]. il.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro Viero

1. Rochagem. 2. Pó de Rocha. 3. Sustentabilidade. I.

Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grün CRB 10/1113

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **“ROCHAGEM: AGREGAÇÃO DAS ROCHAS COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A FERTILIZAÇÃO E ADUBAÇÃO DE SOLOS”**, elaborado por ELLEN BASSAN BENEDUZZI, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Norberto Dani

Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira

DEDICATÓRIA

A todos que acreditam na agricultura agroecológica

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me deu força para esta caminhada geológica. Agora a toda minha família minha mãe uma grande Engenheira que sempre esteve comigo, as minhas irmãs Erica e Emeli e ao meu cunhado Alves sempre me questionando sobre os meus estudos na área geológica. Ao meu querido pai Claudinei com suas aventuras de um adolescente velho acreditou em mim mais uma vez. A família Beneduzzi minha adorada sogra Dona Theia e meu querido sogro Sr. Osvaldo que sempre participou comigo me ajudando com a família e me apoiando.

Ao meu filho e marido que amo muito de coração que participaram bem ou mal dos momentos de agitação nesta vida acadêmica.

Muito obrigada ao meu orientador e supervisor por ter acreditado em mim neste trabalho. E aos bolsistas João Pacifico e Paulista (João Victor) que em alguns momentos deram uma mãozinha para este trabalho ser concluído.

E ao pessoal do CAEG pelas nossas conquistas e lutas de todos os semestres, sem abandonar o barco.

Agradeço a todos os colegas de 2004/01, 2005/01 e 2006/01 por ter-me acolhido durante os anos que estivemos juntos Isadora, Ana Clara, Cássio, Carlinha, Elissa, Dri, Carolzinha, Tamara, Eliane, Roberto, Lanny, Marquito, Lost, Gustavo, Julia, Rô, Matheus (meu grande e fiel amigo) e peço desculpa as pessoas que não citei, pois guardo no meu coração todos estes amigos. A Juliana Pertille agradeço por ter reservado o seu tempo precioso para ler o meu trabalho. E a Fê por sempre encontrá-la depois de uma viagem e outra sempre com sorriso no rosto.

Aos meus colegas que irão formar comigo agradeço e peço desculpa se causei algum mal por sempre estar envolvidas em polêmicas. As minhas amigas Tati, Julia, Thamy, Karine, Renata, Isadora, Patys, Naty I, e meus amigos Luquito, Matzem, Caxias, Uru, Sandro, 1berto, Jaques, Bozetti, Alden, Amos, Saulo, Chico, Olavo, Doda. Agora em especial Priscila que me fez ver que posso ter amiga de verdade, Susan por sempre estar comigo desde 2004 nos meus desabafos. Luis Gustavo (engenheiro) meu companheiro de caronas sempre muito focado nas suas decisões meu grande amigo. A minha querida amiga Thisiane e família agradeço por fazer parte da minha vida e de toda a minha trajetória acadêmica, por sempre me

escutar com meus problemas familiares e nas minhas brincadeiras bobas de amiguinha que eu sou.

A todos os Laboratórios que passei onde fui conhecendo as pessoas onde prestaram solidariedade para a conclusão deste projeto como o Geol. Gerson – Laprom; Natalia, Seu Julio, Ronaldo e principalmente o Pro.f Norberto Dani do Laboratório de Geoquímica; Marcelo do anexo, Lab. De Geoquímica Orgânica e etc.

E por último quero agradecer a todos os professores do Instituto de Geociências em especial Professores Ari, Frantz, Sommer, Edinei e Maria de Fátima além de serem professores os considero grandes amigos.

EPÍGRAFE

“Biodiversidade é um recurso essencial para o desenvolvimento sustentável, encontrar mecanismos sustentáveis para a vida é essencial para conservar a diversidade”

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido como procedimento experimental que implica na utilização de misturas de pó de rochas para avaliar a eficiência da aplicação da técnica de Rochagem na agricultura. A técnica de rochagem é definida por alguns autores como um tipo de remineralização, na qual o pó de rocha é utilizado para rejuvenescer solos pobres ou lixiviados. O estudo implica a avaliação e a eficiência das misturas de uma rocha basáltica com outras rochas existentes no Rio Grande do Sul. O experimento foi instalado em casa de vegetação em 2 ensaios, com três repetições: o primeiro ensaio foi a introdução de uma espécie de leguminosa em argissolo vermelho distrófico adicionado de pó de rocha nas dosagens de 2.500kg/ha e 5000kg/ha e, o segundo ensaio, a introdução no mesmo solo sem aplicação adicional de pó de rocha de uma espécie de gramínea. Foram medidos alguns parâmetros quantitativos, como altura da parte aérea, peso da massa verde e massa seca; qualitativo de análises nutricional da parte aérea de uma cultivar produzida nas diferentes condições de adição de pó de rocha. A rochagem pode ser uma alternativa de baixo custo para a substituição dos adubos químicos, o que resulta, ainda, em práticas agrícolas de menor impacto ambiental e com produção de alimentos de melhor qualidade.

Palavras-Chave: Rochagem. Pó de Rocha. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The work was developed as an experimental method that involves the use of mixtures of rock powdered to evaluate the efficiency of the technique at agricultural rocks crops. The technique of rocks crops is defined by some authors as a type of remineralization, in which the stone powder is used to rejuvenate poor soil or leachate. The study involves the evaluation and efficiency of mixtures of basaltic rock with other existing rocks in Rio Grande do Sul. The experiment was conducted within a greenhouse between two trials with three repetitions each: the first trial was the introduction of a legume species in a red dystrophic argisil with an additional rock dust, the doses were between 2.500kg/ha 5000kg/ha and the second trial was the introduction of a grass species in the same soil without additional application of rock dust. Some quantitative parameters were measured as shoot height, weight of green mass and dry mass analysis of nutritional quality of the shoot of a plant variety produced in different conditions of addition of rock dust. The rocks crops can be a low cost alternative for replacing chemical fertilizers, resulting also in agricultural practices with less environmental impact and produce better quality food.

Keywords: Rocks crops Rock Powder. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Rio Grande do Sul indicando as coletas das rochas.CPRM (2005)	32
Figura 2. Amostra do granitóide submetida ao corte para o preparo da lâmina delgada.	33
Figura 3. Várias fases para a finalização da lâmina delgada A – serragem da amostra, B – Fatia de rocha (1cm de espessura) e vidro, C – colagem da fatia à lâmina de vidro, D – amostra colada na lâmina de vidro que será desgastada, E – amostra depois de ser desgastada por lixa e abrasivos e F – lâmina delgada finalizada, com espessura de aproximadamente 3µm para análise petrográfica.	33
Figura 4. Microscópio petrográfico de luz transmitida utilizado para as descrições petrográficas.....	33
Figura 5. a) Britador de mandíbula Plangg do Laboratório de Processamento Mineral e b) Rocha britada com granulometria de até 3 cm.....	34
Figura 6. a) Moinho de bola utilizado para pulverizar as amostras de rochas. b) Cuba onde são colocadas as amostras de rocha e areia de construção para higienização do recipiente.....	34
Figura 7. Amostra de pó de rocha com granulometria menor de 200 <i>mesh</i>	35
Figura 8. Difratorômetro Siemens Bruker Axs, modelo D5000 do Laboratório de Difratorometria de Raios X do Instituto de Geociências de UFRGS.....	37
Figura 9. ICP Spectrometer ICAP 6000 SERIES da Thermo Scientific.....	39
Figura 10. Vaso de plástico de 8 L utilizado no experimento.	40
Figura 11. Esquema experimental com vasos identificados. S solo, B basalto, G granito, P peridotito, F fonolito e O obsidiana e com suas respectivas dosagens de 2.500 kg/ha e 5.000 kg/ha.....	41
Figura 12. Homogeneização do substrato e as misturas de pó de rocha.....	42
Figura 13. Típico perfil de Argissolo Vermelho Distrófico, Cunha <i>et al</i> (1998)	43
Figura 14. Granodiorito coletado dentro do campus do Vale – UFRGS, observando o K-feldspato de forma prismático alongada com tamanho centimétrico a milimétrico.	46
Figura 15. Difratorograma de raios X do solo.....	48
Figura 16. Representação dos teores de fósforo total no lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.....	50

Figura 17. Representação do teor de potássio no lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.	51
Figura 18. Representação do teor de cálcio no lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.	51
Figura 19. Representação do teor de magnésio no lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.....	52
Figura 20. Representação do teor de ferro lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.	52
Figura 21. Representação do teor de manganês lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.	53
Figura 22. Representação do teor de cobre lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.	53
Figura 23. Representação do teor de boro lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.	54
Figura 24. Representação do teor de zinco lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.	54
Figura 25. Representação do teor de níquel lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.	55
Figura 26. Representação pH obtido no ensaio de lixiviação/solubilização nos diferentes tratamentos.....	55
Figura 27. a) semeadura de 8 sementes de feijão em cada vaso na data 26/02/2011. b) locação dos vasos na casa de vegetação. c) germinação das sementes com os primeiros ramos de folhas depois de 6 dias do plantio. d) plantas depois de 10 dias do plantio, já com o desbastes, deixando 3 plantas por vasos de mesmos desenvolvimentos.....	57
Figura 28. a) Cultivo dos feijões depois de 20 dias, com caules mais eretos e ramificações de 2 a 3 folhas. b) O vaso com tratamento de BASALTO+OBSIDIANA 2.500kg/ha com folhas verde e 2 a 3 ramos em cada muda. c) Vaso identificado de BASALTO+PERIDOTITO 5000 kg/ha com folhas perfuradas, atacadas por insetos.	57
Figura 29. a) Presença de fungos nos primeiros ramos deixando as folhas amarelas. b) Detalhe do tratamento BASALTO+GRANITO 5.000 kg/ha com folhas amarelas e ferrugem. c) Tratamento com ataque de inseto e presença de fungo.	58
Figura 30. Representação em gráficos das alturas do 1° plantio de leguminosas. No experimento o solo não requer dosagens..	58
Figura 31. Aspecto visual dos tratamentos após 30 dias do plantio, comparando as alturas e biomassa. a) tratamentos SOLO PURO, BASALTO 5.000kg/ha e BASALTO + PERIDOTITO 5.000kg/ha; b) tratamentos SOLO PURO, BASALTO 2.500kg/ha e	

BASALTO + FONOLITO 2.500kg/ha, c) tratamentos SOLO PURO, BASALTO 2.500kg/ha e BASALTO + OBSIDIANA 2.500kg/ha, d) tratamentos SOLO PURO, BASALTO 5.000kg/ha e BASALTO + OBSIDIANA 5.000kg/ha.	59
Figura 32. Representação gráfica de produtividade de massa verde (MV).....	60
Figura 33. Representação gráfica de produtividade de massa seca (MS)	60
Figura 34. Análise da massa verde calcinada de teor de potássio nos diferentes tratamentos.	63
Figura 35. Análise da massa verde calcinada de teor de cálcio nos diferentes tratamentos.	64
Figura 36. Análise da massa verde calcinada de teor de magnésio nos diferentes tratamentos.	64
Figura 37. Análise da massa verde calcinada de teor de ferro nos diferentes tratamentos.	65
Figura 38. Análise da massa verde calcinada de teor de manganês nos diferentes tratamentos..	66
Figura 39. Análise da massa verde calcinada de teor de cobre nos diferentes tratamentos.	66
Figura 40. Análise da massa verde calcinada de teor de zinco nos diferentes tratamentos.	67
Figura 41. 2º plantio semeadura das 5 sementes de feijão na data 03/05/2011.....	68
Figura 42. Germinação não uniforme nos vasos, emergência das plantas depois de 10 dias do plantio.	68
Figura 43. Representação em gráficos das alturas do 2º plantio de leguminosas. ...	69
Figura 44. Desenvolvimento do plantio nos vasos com seus respectivos tratamentos e dosagens.....	70
Figura 45. Representação gráfica da produtividade de MV do 2º plantio de leguminosa	71
Figura 46. Representação gráfica da produtividade de massa seca (MS) do 2º plantio de leguminosa	71
Figura 47. Plantio observado na data de 24/08/2011, germinação não foram uniformes nos vasos.	72
Figura 48. Plantio observado na data 02/09/201, rodízios entres os vasos e cor das plantas mais esverdeadas.....	73
Figura 49. Plantio observado na data 21/09/2011, ausência de pragas e insetos neste plantio e cores das plantas mais amareladas.....	73

Figura 50. Diagrama representando a germinação das sementes. A porcentagem de germinação foi estimada em análise visual.	74
Figura 51. Fotos de todos os vasos com indicação dos seus respectivos tratamentos e dosagens utilizadas no experimento.	75
Figura 52. Representação gráfica da produção de massa verde (MV) do 1º plantio de gramíneas.	76
Figura 53. Representação gráfica da produção de massa seca (MS) do 1º plantio de gramíneas.	76
Figura 54. Representação do teor de fósforo total no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.	78
Figura 55. Representação do teor de potássio no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.	79
Figura 56. Representação do teor de cálcio no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.	80
Figura 57. Representação do teor de cobre no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.	81
Figura 58. Representação do teor de cobre no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.	81
Figura 59. Valore de pH no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios no experimento.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análises Representativas de elementos maiores, menores e traços, de artigos científicos de REGO (1994); PHILIPP (2005); KERN (2008); VIERO (1998); NARDI (1995) e PEATE (1989), em % e ppm.....	30
Tabela 2. Datas das coletas das amostras para os ensaios de lixiviação/solubilização.	38
Tabela 3. Período de plantio e coleta das cultivares durante o experimento	45
Tabela 4. Análises químicas do lixiviado/solubilizado das misturas de solo e pós de rochas. S- solo, S+B – solo e basalto, S+B+G – solo, basalto e granodiorito, S+B+F – Solo, basalto e fonolito, S+B+P – solo, basalto e peridotito e S+B+O – solo, basalto e obsidiana em dosagem de 2.500 kg/ha e 5.000 kg/ha.	49
Tabela 5. Concentrações de alguns macronutrientes e micronutrientes obtidos pelas análise química da massa verde calcinada	62
Tabela 6. Análises químicas do lixiviado/solubilizado das misturas de solo e pós de rochas.. S- solo, S+B – solo e basalto, S+B+G – solo, basalto e granodiorito, S+B+F – Solo, basalto e fonolito, S+B+P – solo, basalto e peridotito e S+B+O – solo, basalto e obsidiana na dosagem de 5.000 kg/ha.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTC – Capacidade de troca de cátions

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

ETRs – Elementos terras raras

LAPROM – CT - Laboratório de Processamento Mineral do Centro de Tecnologia

ICP-OES - Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado

S – solo

B – basalto

G – granito

P – peridotito

F – fonolito

O - obsidiana

S - soma de bases

V% - percentagem de saturação de bases

MV – massa verde

MS – massa seca

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Justificativa.....	18
1.2 Caracterizações do Problema	18
1.3 Pressuposto	19
1.4 Hipóteses	19
1.5 Objetivos	19
1.5.1 Objetivo geral.....	19
1.5.2 Objetivo específico.....	20
1.6 Revisão bibliográfica	20
1.6.1 Desenvolvimento da agricultura.....	20
1.6.2 Pó de rocha	22
1.6.3 Solos.....	23
1.6.4 Necessidade da plantas.....	24
2 ESTADO DA ARTE	25
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 Pesquisas bibliográficas.....	28
3.2 Registros da composição química dos principais tipos de rochas do Rio Grande do Sul.....	29
3.3 Escolha das rochas a serem utilizadas no estudo	29
3.4 Coleta de Amostras das rochas selecionadas	31
3.5 Análise Petrográfica	32
3.6 Preparação do Pó de Rocha.....	34
3.7 Difractometria de Raios X.....	35
3.8 Ensaios de lixiviação/solubilização do solo com as Misturas de Pó de Rocha.....	37
3.9 Preparação dos experimentos	40

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 Mineralogia do solo e pó de rochas.	46
4.1.1 Composição mineralógica das rochas	46
4.1.2 Composição mineralógica do solo	47
4.2 Ensaio de lixiviação/solubilização	48
4.3 Desenvolvimento dos cultivares utilizados	56
4.3.1 Leguminosas - 1º plantio	56
4.3.2 Leguminosas - 2º plantio	67
4.3.3 Gramíneas	72
4.4 Ensaio de lixiviação/solubilização	76
5 CONCLUSÕES	83

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho é apresentado como monografia de conclusão de curso de graduação em geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A área de concentração é a Geologia Ambiental e enfoca a utilização de mistura de pó de rocha em solo do tipo Argissolo vermelho distrófico de origem granítica em dois tipos de cultivares *Phaseolus vulgaris L.* - feijão preto e *Avena strigosa* - aveia preta. A realização é em experimento localizado em casa de vegetação, tratando de aplicação de pó de rocha na fertilização de solos, como alternativa de menor impacto ambiental ao uso de fertilizantes químicos.

1.1 Justificativa

Atualmente, a produção de alimentos é um dos grandes problemas para a sustentabilidade da vida humana e do ecossistema no planeta, pois, com a degradação contínua dos solos, os cultivos das terras ficam limitados, diminuindo a produtividade e ampliando as áreas cultivadas. Sendo o solo um recurso de extrema importância para a sobrevivência humana, torna-se necessário buscar alternativas que possam proporcionar o melhor aproveitamento desse recurso, em especial na produção de alimentos.

1.2 Caracterizações do Problema

Observar e investigar a eficiência do pó de rocha na fertilização do solo, através da utilização de misturas de pó de rochas com diferentes composições químicas e mineralógicas. Deve-se destacar que não há registros de estudos desta natureza na literatura que empreguem a blendagem de diferentes tipos de rochas na técnica de Rochagem.

1.3 Pressuposto

Pó de Rocha promove a remineralização do solo, o que se deve ao seu amplo conteúdo mineral e à sua constituição química potencialmente apropriada para o enriquecimento de solos pobres ou para recuperação de solos empobrecidos por lixiviação, devido ao manejo inadequado em várias regiões do país.

1.4 Hipóteses

Pó de rocha melhora a produtividade e a qualidade dos alimentos. As vantagens do uso do pó de rocha na remineralização dos solos são as seguintes: a economia de mão de obra, pois o pó é de baixa solubilidade e não há necessidade de se adubar com frequência, devido ao seu efeito residual por um longo período (HARLEY & GILKES, 2000); não saliniza o solo; evita que a planta absorva mais do que o necessário, diminuindo a competição entre nutrientes pela absorção; e reduz os custos produção agrícola, pois apresenta baixo custo de beneficiamento, uma vez que envolve apenas a moagem das rochas, aliado ao fato de serem amplamente distribuídas.

1.5 Objetivos

Os objetivos gerais e específicos do presente trabalho são os seguintes.

1.5.1 Objetivo geral

Estudar e avaliar a eficiência de aplicação da técnica de Rochagem das rochas do Rio Grande do Sul na agricultura.

1.5.2 Objetivo específico

Analisar química e mineralogicamente o pó de rocha, a fim de caracterizá-lo e verificar seu potencial como fertilizante.

Realizar experimentos em casa de vegetação, avaliando o comportamento das espécies selecionadas por meio de uma série de parâmetros comumente empregados.

Avaliar a produtividade e qualidade das culturas testadas nos experimentos, após a aplicação do pó de rocha devidamente tratado para servir como fertilizante.

1.6 Revisão bibliográfica

Aborda o desenvolvimento da agricultura, a utilização de novos compostos para implantação nos campos de experimentação, os tipos de solos e as necessidades das plantas.

1.6.1 Desenvolvimento da agricultura

A agricultura é uma das atividades básicas da humanidade e, provavelmente, foi responsável pela primeira grande transformação no espaço geográfico. Surgiu há cerca de 12 mil anos, no período Neolítico, quando as comunidades primitivas passaram de um modo de vida nômade, baseado na caça e na coleta de alimentos, para um modo de vida sedentária, viabilizado pelo cultivo de plantas e pela domesticação de animais.

Com a evolução da agricultura, começou a haver excedente de produção, o que possibilitou o desenvolvimento do comércio, inicialmente baseado na troca de produtos. Nos locais onde ocorriam as trocas, surgiram várias cidades.

Graças à Revolução Industrial, evoluíram as técnicas agrícolas, o que possibilitou aumento da produção sem a necessidade de ampliar a área de cultivo,

com base apenas no aumento da produtividade. Esse desenvolvimento tecnológico aplicado à agricultura ficou conhecido com Revolução Agrícola.

Esse aumento de produtividade foi necessário em decorrência do aumento da população em geral, da elevação percentual da população urbana e da diminuição proporcional da população rural, responsável pela produção agrícola. As bases técnicas da Revolução agrícola foram propiciadas pelas indústrias consumidoras de matérias-primas ou fornecedoras de insumos para a agricultura com maquinário agrícola, fertilizantes e etc.

Após a Segunda Guerra Mundial, com o processo de descolonização em marcha, os países desenvolvidos criaram uma estratégia de elevação da produção agrícola mundial: a Revolução Verde com objetivo de combater a fome e a miséria nos países subdesenvolvidos, por meio de introdução de um pacote tecnológico, como equipamentos para mecanização, fertilizantes, defensivos agrícolas e sementes selecionadas.

No entanto, essas sementes selecionadas, produzidas no laboratório dos países desenvolvidos, não eram geneticamente capazes de enfrentar as condições climáticas típicas da região dos trópicos, algumas doenças e certas espécies de pragas e insetos. A solução consistia na utilização de adubos, defensivos e fertilizantes, também importados dos países que haviam subvencionado essas novas formas de cultivo, aumentando a dependência dos países subdesenvolvidos em relação aos países desenvolvidos. Os benefícios em termos de alimentos foram superados, mas ocorreram agravantes problemas socioeconômicos, tais como o desemprego e a desigualdade na distribuição de renda, além dos prejuízos relativos à degradação do solo por resíduos químicos.

Para reverter o cenário dessa degradação progressiva foi necessária a busca de um novo modelo, capaz de garantir produção estável e viável do ponto de vista econômico, social e ecológico atendendo os princípios básicos de sustentabilidade, como apresentar uma elevada eficiência biológica e econômica; um reduzido impacto ambiental; equidade social e alimentos com qualidade nutricional (Tilman, 2002).

Várias práticas e tecnologias agrícolas, como o sistema de plantio direto, a rotação de culturas, os sistemas modernos e eficientes de irrigação, a agricultura de precisão, as variedades geneticamente modificadas e os cultivos orgânicos, oferecem opções e soluções para alguns dos desafios atuais e futuros da

agricultura, pois viabilizam a exploração de agrossistemas produtivos, como uso reduzidos de insumos químicos e cultivos conservacionistas.

Considerando o modelo de desenvolvimento agrícola adotado no Brasil, grande parte da demanda de fertilizantes para as culturas é suprida através da utilização de adubos prontamente solúveis, pelas formulações NPK, associadas ou não ao uso de macro e micronutrientes. Apesar disso, muitos agricultores também utilizam como fonte de nutrientes os adubos orgânicos, algumas vezes associados a adubos minerais, utilizando as rochas naturais moídas como fonte de nutrientes.

Apesar das vantagens da solubilização rápida e do suprimento da demanda de nutrientes pelas plantas, os adubos solúveis apresentam, geralmente, o inconveniente de poderem ser rapidamente lixiviados e/ou de causarem desequilíbrios nutricionais para as plantas.

Por essas razões, muitos agricultores, particularmente aqueles que adotam sistemas orgânicos ou agroecológicos de produção, vêm incrementando a utilização de fontes alternativas de nutrientes para a agricultura, dentre as quais se destacam as rochas naturais moídas, prática que vem sendo denominada de rochagem.

1.6.2 Pó de rocha

As rochas moídas e aplicadas ao solo são constituídas de minerais de dissolução lenta que podem contribuir para o incremento da reserva nutricional do solo.

Os efeitos da aplicação de pós de rochas sobre as propriedades químicas do solo e a produtividade dos cultivos foram pouco estudados de forma científica no Brasil. Ainda se carece de informações confiáveis sobre quais tipos de rochas seriam mais eficientes, quais seus efeitos a curto e médio prazo sobre as propriedades do solo, qual granulometria seria mais apropriada e de que maneira podem disponibilizar mais rapidamente os nutrientes para as plantas.

A dissolução dos pós de rocha é um processo muito lento e complexo. Depende de fatores como a composição química e mineralógica da rocha, da granulometria do material, do tempo de reação, e de fatores do solo como o pH e a atividade biológica (Osterroht, 2003).

A Lei Nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica, e a Instrução Normativa Nº007 de 17 de maio de 1999 relaciona entre os insumos permitidos as “farinhas e pós de rochas”.

Estudos de laboratório realizados por Blum *et al.* (1989a, b), citado por Erhart (2009) mostram que as taxas de liberação de nutrientes das rochas acontecem de forma muito lenta. Segundo Bolland e Baker (2000), a eficácia do pó de rocha como fonte de nutrientes para o solo é questionada devido à baixa solubilidade e pela necessidade de aplicar grandes quantidades de pó de rocha ao solo para se obter respostas positivas.

Os elementos são liberados dos minerais pelos processos de intemperismo, ou seja, as rochas são submetidas a processos que ocasionam a desintegração e decomposição da sua estrutura. Como a composição da rocha é bastante variada em espécies minerais, cada uma libera seus elementos em velocidades diferentes. Para que ocorra a liberação dos elementos que compõem as rochas, elas devem ser submetidas a alterações físicas e químicas. O intemperismo físico corresponde a uma desagregação da estrutura da rocha sem haver mudança na composição química. Já a alteração química ocorre quando a estrutura dos minerais é quebrada (Luchese *et al.*, 2002).

Von Fragstein *et al.* (1988) observaram que os basaltos apresentam taxas de liberação de elementos minerais mais rápidas quando comparadas às do granito. A granulometria da rocha tem grande influência, pois quanto maior a área superficial exposta ao ataque dos agentes químicos, físicos e biológicos do intemperismo, mais rápida é a alteração do material (Osterroht, 2003).

1.6.3 Solos

O solo é um fator importante para o crescimento dos vegetais. Além de permitir o desenvolvimento e distribuição das suas raízes, possibilita o movimento dos nutrientes, de água e ar nas superfícies radiculares ao fazer variar a capacidade de retenção de água, a solubilidade dos elementos minerais, as transformações minerais e bioquímicas, a lixiviação dos nutrientes e o pH.

A formação do solo ocorre a partir de diferentes materiais de origem e em várias condições climáticas, através de processos químicos, físicos e biológicos, originando solos com características químicas e físicas distintas.

Como a grande maioria dos solos brasileiros são altamente intemperizados, com mineralogia da fração argila composta de caulinita e óxidos de ferro e de alumínio, apresentam baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e têm pouca ou nenhuma reserva de bases, na medida em que a maioria dos minerais primários facilmente intemperizáveis já foi destruída.

1.6.4 Necessidade da plantas

A planta absorve os elementos de que necessita do meio onde vive. Para os nutrientes serem absorvidos e transportados para o interior das plantas há a necessidade de estarem na solução do solo e em presença de água para que os mecanismos de transporte por fluxo de massa e difusão aconteçam naturalmente, evitando os sintomas de deficiência nutricional, o que não pode ser confundido com adubação.

As quantidades demandadas de cada nutriente são variáveis, mas todos eles são igualmente importantes. Entretanto, para fins didáticos, os elementos essenciais podem ser assim classificados:

- Os macronutrientes são os elementos básicos necessários em maior volume às plantas, expressos em %. São eles: Carbono, Oxigênio, Hidrogênio - retirados do ar e da água – e Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre retirados do solo, sob condições naturais.
- Os micronutrientes são requeridos em pequenas quantidades, expressas em ppm. São micronutrientes, dentre outros, Ferro, Manganês, Cobre, Boro, Zinco, Cloro, Molibdênio e Níquel.

Estes nutrientes, nas plantas, são organizados sob a forma de hormônios, enzimas e outros compostos, cuja função é propiciar um balanço energético equilibrado no metabolismo. Para a sua determinação destes elementos é efetuada a incineração da planta, permitindo que o carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio escapem sob a forma de gases e podemos analisar as cinzas.

2 ESTADO DA ARTE

O assunto a ser tratado nesta etapa do trabalho de conclusão corresponde à avaliação da técnica de Rochagem que é definida como uma prática agrícola de incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, sendo a calagem e a fosfatagem natural casos particulares desta prática (Leonardos; *et. al.*, 1976) e como um tipo de remineralização (Leonardos, 2000), na qual o pó de rocha é utilizado para rejuvenescer solos pobres ou lixiviados, na busca de equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produtividade naturalmente sustentável.

A Revolução Verde, implantada na América Latina em meados da década de 1960, defendeu a idéia da produção de alimentos em massa por meio da manipulação do solo com intensa utilização de insumos industrializados, irrigação e mecanização agrícola. Esse movimento foi fomentado pelo risco de uma crise mundial na produção de alimentos, pelo aumento da população mundial e por uma perspectiva pessimista quanto à disponibilidade de alimentos no mundo (Almeida, 1998). Desde então, o consumo de insumos agrícolas, como os fertilizantes químicos, tem alcançado preços que comprometem o equilíbrio do setor no Brasil, um país agrícola e dependente da compra de matéria prima de fertilizantes do mercado internacional e com solos de baixa fertilidade, que são, em sua maioria, ácidos e com deficiências generalizadas de nutrientes, principalmente o fósforo. (Sanches & Salinas, 1981).

Na década de 1880, o químico alemão Justus Von Liebig, chegou à famosa fórmula NPK e deu início à era dos fertilizantes químicos (Pinheiro, 2003; Maar, 2006). No mesmo período, Julius Hensel propunha que o pó de rochas faria o mesmo efeito sem desequilibrar o meio ambiente e, ainda, com baixos custos. Essa nova prática foi reconhecida por apenas alguns camponeses, além de ser

processado e seu Livro, Pães de Pedra, censurado (Pinheiro, 2003). Somente em 1997 seu livro foi reeditado, aproveitando-se a preocupação com a qualidade nutricional e com a segurança dos alimentos.

O aproveitamento das rochas como fontes restituidoras de nutrientes para as plantas, recuperadora e renovadora do solo, pode configurar uma tecnologia alternativa capaz de auxiliar na redução do uso de produtos químicos, especialmente incorporados em formas altamente solúveis, como é o caso dos adubos em formulações NPK (Pinheiro & Barreto, 1996; Theodoro, 2000).

Experimentos e pesquisa sobre a utilização de pó de rochas foram realizados em nível mundial no século XVIII por James Hutton (Bailey, 1967). Considerado o fundador das ciências geológicas, Hutton não só recomendava como ele próprio utilizava margas e rochas similares na sua fazenda na Escócia para que a fertilidade do solo fosse aumentada. Lacroix (1922) chamava atenção ao tremendo potencial de nutrientes contidos na maioria das rochas. Na América do Norte, Graham (1941) sugeria o uso de plagioclásio como fonte de cálcio baseado em dados experimentais e Keller (1950) chamava atenção para a potencialidade de dezenas de tipos de rochas como fonte de potássio, cálcio e micronutrientes, tendo sido desde então defensor da prática de Rochagem.

Na Rússia, Kalinkin, Chirikov e Pchelkin (cf. Schmok, 1950) investigaram a absorção de potássio de diversos minerais formadores de rocha na Rússia, chegando a conclusões promissoras. No Congo, D'Hotman de Vulliers (1947) recomendavam o uso de pó basáltico para rejuvenescimento de solos esgotados de regiões úmidas. O trabalho foi baseado em uma série de longos experimentos de campo, que mostram um aumento considerável na produção de cana-de-açúcar, sendo o custo da aplicação de 71 t/ha pago com o aumento da produção em quatro cortes. Evans (1947) obteve aumentos de 33,7% e 56,7% na produção de matéria seca com o cultivo de aveia em vaso, aplicando pó de basalto nas doses equivalentes a 247 e 497 t/ha, respectivamente.

No Brasil, Ilchenko & Guimarães (1953) chamaram atenção para a potencialidade das rochas de Cedro do Abaeté, Serra da Mata da Corda e Poços de Caldas em Minas Gerais. Frayha (1952) realiza sondagens para cubar fonolitos, alterados com elevados teores de K_2O para aproveitamento como pó de rocha. No livro escrito por Kavaleridze (1978), consta que as rochas basálticas que predominam na região sul do Brasil são ricas em silício, cálcio, magnésio e potássio,

recomendando transformá-las em pó para aplicar no solo. Motta (1992) e Feiden (1993) estudaram basaltos em experiência da Universidade Federal do Paraná e constataram que a aplicação de 40t/ha de pó de basalto foi suficiente para elevar o P (fósforo) disponível do nível muito baixo para suficiente, comportando-se como uma adubação corretiva. Kiehl (2002) realizou pesquisas na Escola Superior da Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) de Piracicaba em São Paulo, e observou que a utilização do pó de basalto para a correção dos solos trouxe resultados positivos, tornando-se uma alternativa bastante favorável aos agricultores, recomendando utilizar de 50 a 100 toneladas de pó de basalto por hectare em solos empobrecidos para torná-los férteis novamente. O pó de basalto constitui-se em material de baixo custo, e de produção descentralizada, sendo recomendável para a remineralização de solos (Gillman, 1980). Essa técnica é considerada uma alternativa para a diminuição do uso de fertilizantes industriais no solo, pois se constitui em fonte de nutrientes para as plantas cultivadas durante longos períodos, além de promover o aumento da capacidade de troca de cátions dos solos, devido à formação de novos minerais de argila durante o processo de alteração do fertilizante (Melamed & Gaspar, 2005).

De acordo com Moraes (2004), as rochas moídas são utilizadas como fonte de nutrientes para as plantas a baixo custo. A liberação dos nutrientes da rede cristalina das rochas ocorre pela ação de ácidos orgânicos produzidos por plantas e microrganismos no solo. Para Almeida *et. al.*, (2007), sendo um processo ecológico diretamente relacionado à atividade biológica, não é de se esperar que o manejo da fertilidade com uso de pó de rocha seja efetivo, caso não seja realizado de forma concomitante com práticas culturais que estimulem a vida no solo. O pó de rocha é empregado visando acelerar os processos de sucessão e dinamização biológica nos solos, e não como fontes de nutrientes que serão diretamente absorvidas pelas plantas cultivadas. Não se trata, portanto, de um sistema de substituição de insumos, mas de uma mudança de concepção sobre o manejo da fertilidade do agroecossistema.

Portanto, métodos alternativos para a fertilização dos solos são imprescindíveis. Dentre as alternativas em uso, tem-se a rochagem e os adubos orgânicos e biofertilizantes. Segundo Melamed *et al.* (2007), a rochagem é uma prática há muito utilizada, consistindo na aplicação de pó de rochas diretamente no solo, que, com o passar do tempo dá origem a nutrientes e novos minerais,

melhorando as características físico-químicas do solo e os impactos ambientais negativos e o alto custo gerado pelos fertilizantes sintéticos que podem tornar inviável a atividade agrícola em pequenas propriedades.

Na década de 90, o Núcleo de Ecologia e Agricultura da Guayí iniciou, no Rio Grande do Sul, a realização de experimentos com composições de diversas rochas basálticas, abundantes nos locais onde são adotados os princípios de biomineralização na agricultura. A biomineralização tem três princípios básicos: a mineralização do solo através da composição de rochas moídas em diferentes granulometrias, que objetiva a presença de todos os elementos minerais existentes na natureza; o uso dos biofertilizantes, enriquecidos com compostos de rochas moídas que aceleram a comunicação das raízes das plantas com os novos minerais introduzidos no solo; e manejo ecológico do solo, da água, da fauna e flora buscando o equilíbrio dinâmico do sistema onde o agricultor está inserido.

Escosteguy e Klant (1998) concluíram que devido à pequena liberação dos nutrientes das rochas basálticas, tais materiais não podem ser utilizados como a principal fonte de nutriente às plantas. Constataram, ainda, que, em geral, as doses testadas proporcionaram pequenos acréscimos nos valores de potássio, cálcio, magnésio e pH. Cabe ressaltar, entretanto, que a utilização de pó de rocha é de uma prática de fertilização de solos cujos resultados são obtidos a médio e longo prazos e os efeitos são mais duradouros do que a fertilização química, a qual deve ser aplicada, necessariamente, em todas as safras.

3 METODOLOGIA

O presente projeto foi executado de acordo com as etapas abaixo descritas.

3.1 Pesquisas bibliográficas

Para a realização desta etapa utilizamos livros, revistas e periódicos científicos para ampla revisão bibliográfica sobre as técnicas de rochagem, suas

aplicações e resultados já obtidos, e sobre a potencialidade dos tipos litológicos do Rio Grande do Sul como fertilizantes naturais aplicados sob a forma de pó de rocha.

3.2 Registros da composição química dos principais tipos de rochas do Rio Grande do Sul

Foram feitas compilações de tabelas de composição química, de elementos maiores menores e traço de artigos científicos de algumas das principais associações litológicas do Rio Grande do Sul. A partir dos dados levantados foi elaborado um banco de dados que auxiliou na escolha dos litotipos a serem utilizados nos ensaios, tendo como critério de escolha a abundância de macronutrientes e micronutrientes (Tabela 1).

3.3 Escolha das rochas a serem utilizadas no estudo

Basaltos foram utilizados em todos os experimentos com e sem a adição de outros litotipos. Foram escolhidos quatro tipos de rochas com potencialidade de macronutrientes e micronutrientes e que tem disponibilidade no estado gaúcho para a preparação de pó de rocha em mistura com basaltos.

A utilização da rocha basáltica deve-se a sua abundância no Rio Grande do Sul e em toda a região sul e sudeste do Brasil, bem como à sua riqueza em micronutrientes. Os basaltos possuem mineralogia essencialmente constituída por plagioclásios e piroxênios, além de feldspato alcalino no resíduo de cristalização e minerais acessórios, como apatita, magnetita e outros. Apresenta abundância em vários micronutrientes, dentre os quais podem ser destacados o Mn, Cu, Fe, Ni, Zn e ETRs, o que lhes confere excelentes propriedades para uso como pó de rocha, no propósito aumentar a fertilidade de solos.

Os outros litotipos selecionados para mistura com basalto são granito, obsidiana, peridotito e fonolito.

Parâmetros									Basalto Formação Serra Geral			Riolito Formação Serra Geral	
	Peridotito Complexo Mata Grande	Fonolito Tefrítico Suíte Piratini	Folhelhos negro Ponta Grossa	Folhelhos Pirobetuminosos Formação Irati	Olivina diabásio alcalino	Suíte Intrusiva Cordilheira	Granito Encruzilhada Suíte Encruzilhada do Sul	Granodiorito Suíte Viamão	Urubici	Pitanga	Paranapanema	Palmas	Chapecó
SiO ₂	39,60	53,03	56,47	54,71	45,93	74,97	72,48	70,24	51,71	50,40	50,23	67,84	65,89
TiO ₂	0,26	0,62	0,39	0,18	2,49	0,10	0,32	0,43	3,76	3,55	2,34	1,00	1,13
Al ₂ O ₃	2,90	19,78	24,67	21,47	16,46	14,15	12,24	15,12	13,28	12,82	13,13	13,06	12,75
FeOt	11,84	2,08	7,06	4,61	2,73	1,29	2,45	3,26	13,28	15,29	15,05	6,38	7,80
MnO	0,21	0,19	0,03	0,03	0,28	0,02	0,04	0,06	0,17	0,22	0,22	0,11	0,12
MgO	36,16	0,92	1,50	1,11	6,38	0,10	0,27	0,84	4,56	4,41	5,24	1,26	1,75
CaO	2,78	4,92	1,41	1,88	10,96	0,67	1,30	2,31	8,19	8,36	9,25	3,11	3,49
Na ₂ O	0,17	6,66	0,64	0,69	3,51	3,59	4,68	3,02	2,80	2,98	3,28	3,18	3,22
K ₂ O	0,02	4,85	3,44	2,20	0,66	4,48	4,77	4,48	1,70	1,41	0,97	3,79	3,50
SO ₄			0,80	1,67		0,08							
P ₂ O ₅	0,03	0,17	0,10	0,03	0,23		0,07	0,15	0,54	0,58	0,33	0,29	0,34
LOI	6,17	4,82	3,50	4,75	1,24	0,74	0,73	0,62					
Total	100,82	99,83			99,50	99,45	99,53	100,48					
Sr	48,5	3386,4	291,0	170,0	407,45	78,0	99,60	190,20	773,0	481,0	304,0	141,0	514,0
Ba	13,0	1971,0	769,0	685,0	196,40	149,56	408,60	599,80	638,0	470,0	301,0	701,0	1115,0
Zr	22,5	433,80	241,0	293,0	150,77	37,89	145,22	158,60	319,0	280,0	182,0	271,0	560,0
Cr	796,0	11,67	203,0	297,0	228,56			33,20					
Ni	1159,0	10,0	58,0	48,0	110,66			6,40	55,0	32,0	51,0	10,0	3,00
Cu		10,0	85,0	72,0	112,39				162,0	172,0	198,0	88,0	118,0
Zn			89,0	50,0									
Pb			172,0	780,0	4,53								

Tabela 1. Análises Representativas de elementos maiores, menores e traços, de artigos científicos de REGO (1994); PHILIPP (2005); KERN (2008); VIERO (1998); NARDI (1995) e PEATE (1989), em % e ppm.

As obsidianas são rochas vítreas ricas em nutrientes, como potássio, fósforo, ferro, cobre, zinco, cálcio e ETRs. Por causa da natureza vítrea, apresentam forte susceptibilidade à alteração, o que favorece a disponibilização mais rápida dos nutrientes para as plantas.

O granito apresenta composição química similar à obsidiana, porém com mineralogia e texturas distintas, contendo feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo, biotita, apatita e outros acessórios, em arranjo de textura grossa. A utilização do granito e da obsidiana busca identificar a resposta de pó de rochas com mesma composição química e diferente mineralogia na fertilização de solos.

O peridotito é uma rocha plutônica ultramáfica de granulometria grossa, composta, sobretudo, por olivina e piroxênios, com anfibólios e óxidos metálicos em quantidade subordinada, sendo comum a serpentina como fase metamórfica ou de alteração hidrotermal. Apresenta concentrações significativas de alguns nutrientes, tais como magnésio, cálcio, manganês, cobre, níquel e ferro. Os peridotitos também apresentam boa susceptibilidade à alteração, favorecendo a disponibilização dos nutrientes às plantas.

Fonolitos são rochas vulcânicas e subvulcânicas alcalinas, ricas em feldspato alcalino e feldspatóides, sendo muito freqüentemente vítreas a subvítreas. Do ponto de vista químico, mostram elevado potencial de fertilização de solos, pois contém altos teores de potássio, fósforo e ETRs, sendo significativas as concentrações de ferro, cálcio e zinco.

3.4 Coleta de Amostras das rochas selecionadas

Nesta etapa foram coletadas amostras com aproximadamente 2,0 kg dos tipos de rochas acima descritas para análises litoquímicas e petrográficas, difratometria de raios X e preparação de pó para ensaios de fertilidade do solo.

A amostra do Basalto foi coletada no município de Santa Rosa e a amostra de obsidiana no município de Cambará do Sul, ambas pertencentes à Formação Serra Geral. A amostra de Granito foi coletada dentro do campus do Vale - UFRGS, enquanto as amostras de peridotito e de fonolito foram coletadas no Escudo Sul-riograndense, nos municípios de Caçapava do Sul e Piratini, respectivamente (Figura 1).

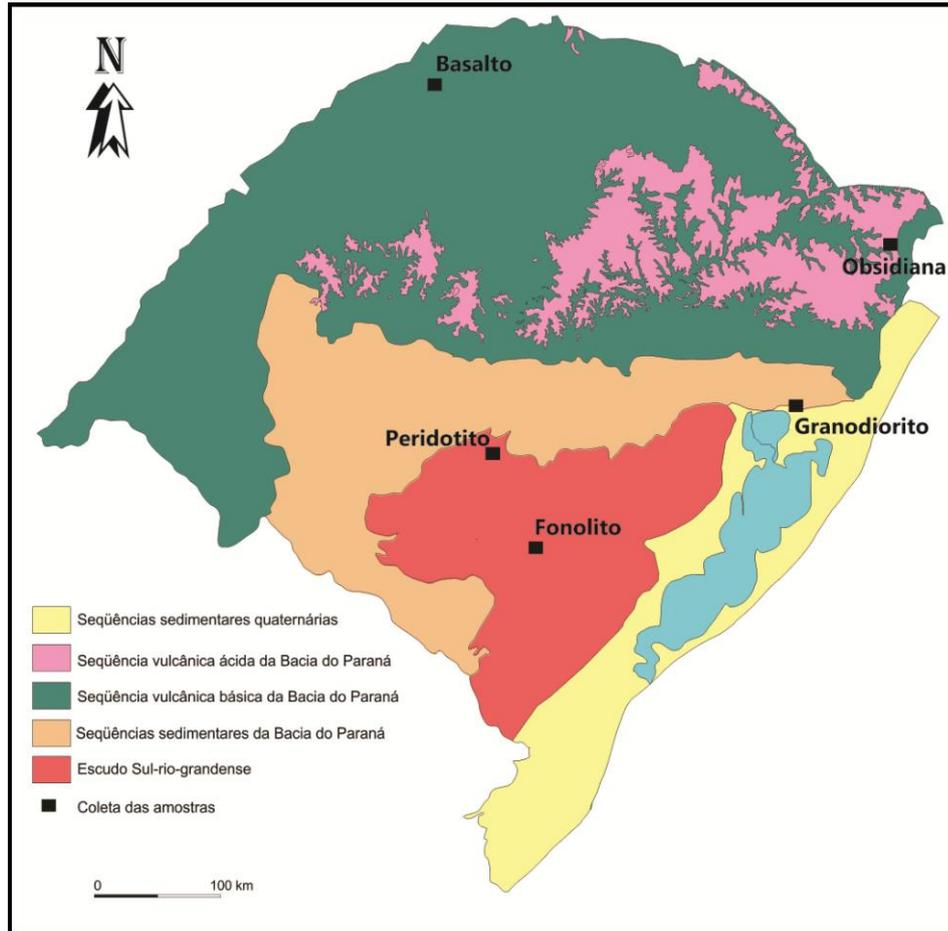


Figura 1. Mapa do Rio Grande do Sul indicando as coletas das rochas. CPRM (2005)

3.5 Análise Petrográfica

As amostras coletadas foram laminadas no Laboratório de Laminação do IGeo/UFRGS para caracterização mineralógica e textural. A preparação das lâminas delgadas compreende o corte de uma chapa de aproximadamente 2 mm de espessura, que é colada numa lâmina de vidro (Figura 2). Depois é feito o rebaixamento e polimento com pó de alumina até a espessura de 0,03 mm (Figura 3). A descrição petrográfica foi feita em microscópio binocular com luz transmitida (Figura 4).



Figura 2. Amostra do granitóide submetida ao corte para o preparo da lâmina delgada.

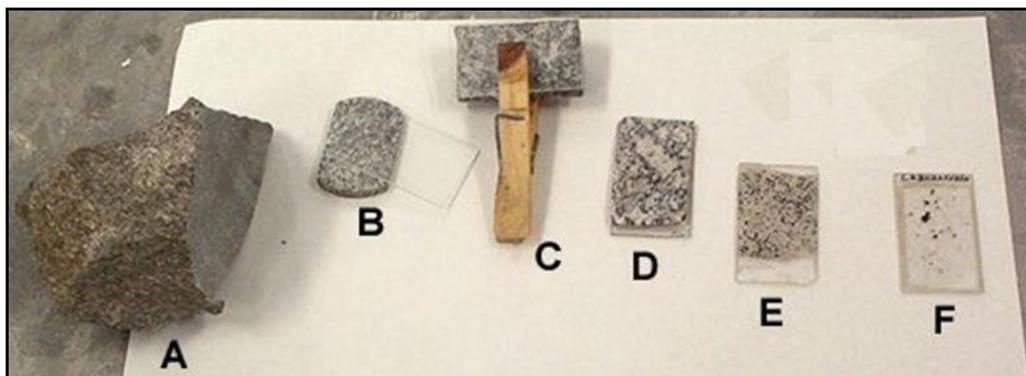


Figura 3. Várias fases para a finalização da lâmina delgada A – serragem da amostra, B – Fatia de rocha (1cm de espessura) e vidro, C – colagem da fatia à lâmina de vidro, D – amostra colada na lâmina de vidro que será desgastada, E – amostra depois de ser desgastada por lixa e abrasivos e F – lâmina delgada finalizada, com espessura de aproximadamente $3\mu\text{m}$ para análise petrográfica.

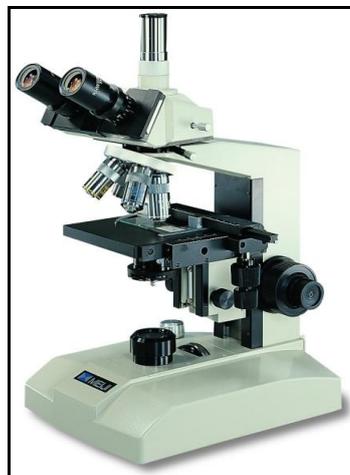


Figura 4. Microscópio petrográfico de luz transmitida utilizado para as descrições petrográficas.

3.6 Preparação do Pó de Rocha

As amostras foram submetidas à quebra no Britador de mandíbula Plangg, numa granulometria de até 3 cm (Figura 5), e levada para moagem no moinho de bola, com capacidade de 500 g, higienizado com areia de construção (Figura 6).



Figura 5. a) Britador de mandíbula Plangg do Laboratório de Processamento Mineral e b) Rocha britada com granulometria de até 3 cm.



Figura 6. a) Moinho de bola utilizado para pulverizar as amostras de rochas. b) Cuba onde são colocadas as amostras de rocha e areia de construção para higienização do recipiente.

O peneiramento consiste em separar os grãos de rocha em diversas granulometrias, sendo utilizada no trabalho a fração menor de 200 *mesh* (Figura 7). Após cada peneiramento, a fração que não passou na peneira foi submetida sucessivamente a nova moagem até que toda a amostra alcançasse a granulometria desejada. As atividades foram realizadas no Laboratório de Processamento Mineral

(LAPROM) do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).



Figura 7. Amostra de pó de rocha com granulometria menor de 200 *mesh*.

3.7 Difratoimetria de Raios X

As amostras de pó das rochas vulcânicas foram analisadas através de difratometria de raios X, para identificação das fases minerais submicroscópicas. Estas análises foram realizadas no laboratório de Difratoimetria de Raios X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Figura 8).

Na preparação das amostras, foram pesados 15,0 g de cada pó de rocha, sendo 1,0 g de cada amostra depositado em um sulco na lâmina de vidro, procurando-se preservar a desorientação das partículas. Assim, todos os minerais ou estruturas cristalinas podem ser identificados.

A difração de raios X pelos cristais resulta de um processo em que os raios X são dispersos pelos elétrons dos átomos sem mudança de comprimento de onda (dispersão coerente ou de Bragg). Um feixe difratado é produzido por dispersão só quando algumas condições geométricas expressas pela lei de Bragg são satisfeitas. A difração resultante de um cristal, compreendendo posições e intensidade das

linhas de difração, é uma propriedade física fundamental da substância, servindo não só à identificação, como também ao estudo de sua estrutura. (Formoso, 1980).

Raios X são ondas eletromagnéticas e, como tais, são acompanhadas por um campo elétrico em flutuação periódica. Os elétrons dos átomos, influenciados pelos raios X, são excitados pelo campo elétrico flutuante, tornando-se uma fonte de ondas eletromagnéticas de mesma frequência e mesmo comprimento de onda que os raios X incidentes. Assim o elétron dispersa o feixe incidente. As ondas dispersas pelos diversos elétrons do átomo combinam-se, podendo-se dizer que o átomo difrata a radiação.

O difratômetro de raios X é o equipamento utilizado para medir a intensidade das radiações difratadas pelos minerais, determinando as dimensões cristalinas. Ele se caracteriza por incluir um medidor de intensidade dos raios difratados a diversos ângulos 2θ . Em um difratômetro de raios X, a radiação de um comprimento de onda é dispersa por diversos planos de um cristal com diferentes espaçamentos interplanares.

A primeira fase na identificação dos minerais é a medida das distâncias interplanares e das intensidades relativas dos picos no difratograma. Há algumas tabelas com resolução direta da equação de Bragg permitindo transformar 2θ (ou θ) em valores de d :

$$\boxed{n\lambda = 2d \sin\theta \rightarrow d = n\lambda/2\sin\theta}$$

onde:

λ é o comprimento de onda do raios X;

θ é o ângulo de incidência dos raios X;

d é a distância interplanar do cristal e

n é a ordem de difração (1, 2, ...n).

O segundo passo na identificação dos minerais é comparar os espaçamentos interplanares e as intensidades relativas medidas com minerais padrão certificados.

Os raios X utilizados correspondem à radiação $K\alpha$ de tubo de cobre nas condições de 40 kV e 25 mA. Os resultados obtidos foram interpretados com o

auxílio do programa DIFRAT_{plus} 2001 EVA 7, utilizando a base de dados JCPDS (1989). A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro são os seguintes:

Amostra do Pó: 1 segundo para 0,02° de degrau do goniômetro de 2° a 72° 20.



Figura 8. Difratorômetro Siemens Bruker Axs, modelo D5000 do Laboratório de Difratorometria de Raios X do Instituto de Geociências de UFRGS.

3.8 Ensaios de lixiviação/solubilização do solo com as Misturas de Pó de Rocha

Ensaios de lixiviação/solubilização foram realizados nas amostras de solo adicionadas de pó de rocha, coletadas antes do primeiro plantio e depois da última coleta do segundo ensaio (Tabela 2).

Data da preparação do experimento	1° coleta em vaso	2° coleta em vaso
26/02/2011	26/02/2011	24/09/2011

Tabela 2. Datas das coletas das amostras para os ensaios de lixiviação/solubilização.

Os ensaios de solubilização/lixiviação foram ajustados conforme norma NBR 10.006 e 10.005 (ABNT 1987), para determinar os íons que as águas incorporam das litologias com que ficam em contato, a serem aplicados no experimento.

Foram coletadas amostras das 11 misturas de solo e pó de rocha e solo puro utilizada nos ensaios. As coletas foram feitas diretamente dos vasos em profundidade de 8 a 10 cm, em vários pontos, para ter uma maior homogeneização e, posteriormente, foram desagregadas em gral de porcelana e pesado 10,0 g em balança analítica. As amostras pesadas foram adicionadas a 100 mL de água deionizada, em frasco de polietileno (previamente lavado com ácido nítrico 1% e água deionizada), os quais foram agitados periodicamente durante sete dias. Após, a solução foi separada das fases sólidas através de centrifugação e filtração em papel filtro com poro de 0,2 μm , utilizando funil e qitasatu com bomba de compressão. A solução obtida foi enviada para o Laboratório GreenLab, de Porto Alegre, onde foram feitas análises por Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) – SM 3120 E, para obtenção de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Mn, Cu, B, Zn, Cl, Mo e Ni).

A preparação das amostras é realizada conforme segue:

Digestão da amostra foi realizada para eliminar a interferência da matéria orgânica na análise dos metais. Uma alíquota de 50 mL da amostra mais 3 mL de ácido nítrico padrão 65% foram aquecidos numa chapa elétrica a 200°C até a redução da amostra a aproximadamente 10 mL. A amostra digerida é colocada em um balão volumétrico de 50 mL, com filtração simples (elimina eventuais partículas formadas na digestão) e avolumada com água ultra-pura.

A fonte de plasma indutivamente acoplado consiste em um fluxo corrente de gás argônio, ionizado por um campo de radiofreqüência oscilando tipicamente a 27,1 MHz. Este campo é acoplado indutivamente ao gás ionizado por uma espira resfriada por água, que envolve uma tocha de quartzo que suporta e confina o plasma. Um aerossol da amostra digerida é gerado por um nebulizador em uma

câmara de névoa e é carregado para dentro do plasma por um tubo injetor localizado dentro da tocha, onde os átomos da amostra são submetidos a uma temperatura entre 6000 e 8000 °K. A alta temperatura do plasma excita a emissão atômica eficientemente, produzindo o espectro de emissão iônica. A luz emitida pelo ICP percorre o caminho ótico constituído por um arranjo de espelhos e é detectada por um detector, que capta o espectro da luz. O software Iteva Analyst compõe o gráfico da análise multielementar e calcula a média da concentração em ppm de cada metal, de uma triplicata. O desvio padrão entre as leituras da triplicata pode chegar a 20%.

Para cada metal é feita uma curva de calibração anual de 0,5 ppb a 2000 ppb, e, para cada análise é lido primeiramente o padrão de 2000 ppb (energização do espectrômetro), e depois os padrões 10 e 100 ppb (concentração total de um grupo de metais que se quer determinar).

A eficiente excitação provida pelo ICP resulta em limites de detecção muito baixos para vários elementos e permite a determinação multielementar de metais. Por causa da dissociação das moléculas, as demais interferências são significativamente eliminadas.

O aparelho utilizado é o ICP Spectrometer ICAP 6000 SERIES da Thermo Scientific (Figura 9).



Figura 9. ICP Spectrometer ICAP 6000 SERIES da Thermo Scientific.

3.9 Preparação dos experimentos

Os experimentos foram realizados através de ensaios de fertilidade que compreendem os seguintes procedimentos.

preparação de mistura de pó de rocha composto por basalto e um outro litotipo selecionado, em proporções de 1:1 em vasos plásticos de 8,0 L (Figura 10).

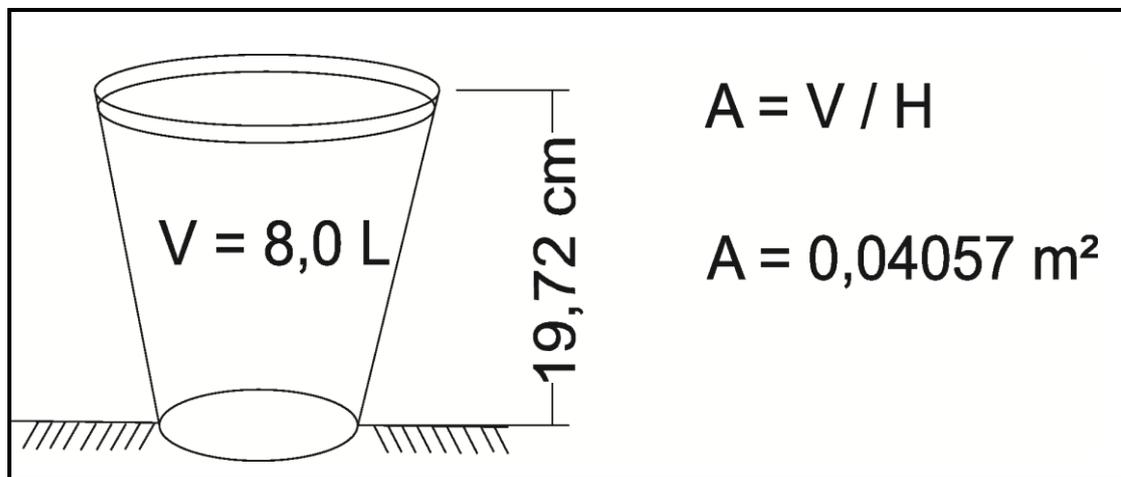


Figura 10. Vaso de plástico de 8 L utilizado no experimento.

preparação de vasos contendo argissolo *in natura*, como substrato, ao qual foram adicionadas as misturas de pó de rochas em dosagens equivalentes de 2.500 kg/ha e 5.000 kg/ha identificado conforme a Figura 11. Também foi preparado, em triplicata, vaso com solo sem pó de rocha como testemunho. O substrato e as misturas de pó de rochas foram homogeneizados manualmente em sacos plásticos antes de serem colocados direto aos vasos (Figura 12). Posteriormente, foi feita amostragem de cada mistura do pó com o solo para ensaios de solubilização/lixiviação. O solo utilizado é do tipo Argissolo distrófico vermelho, formado pela alteração do granito.

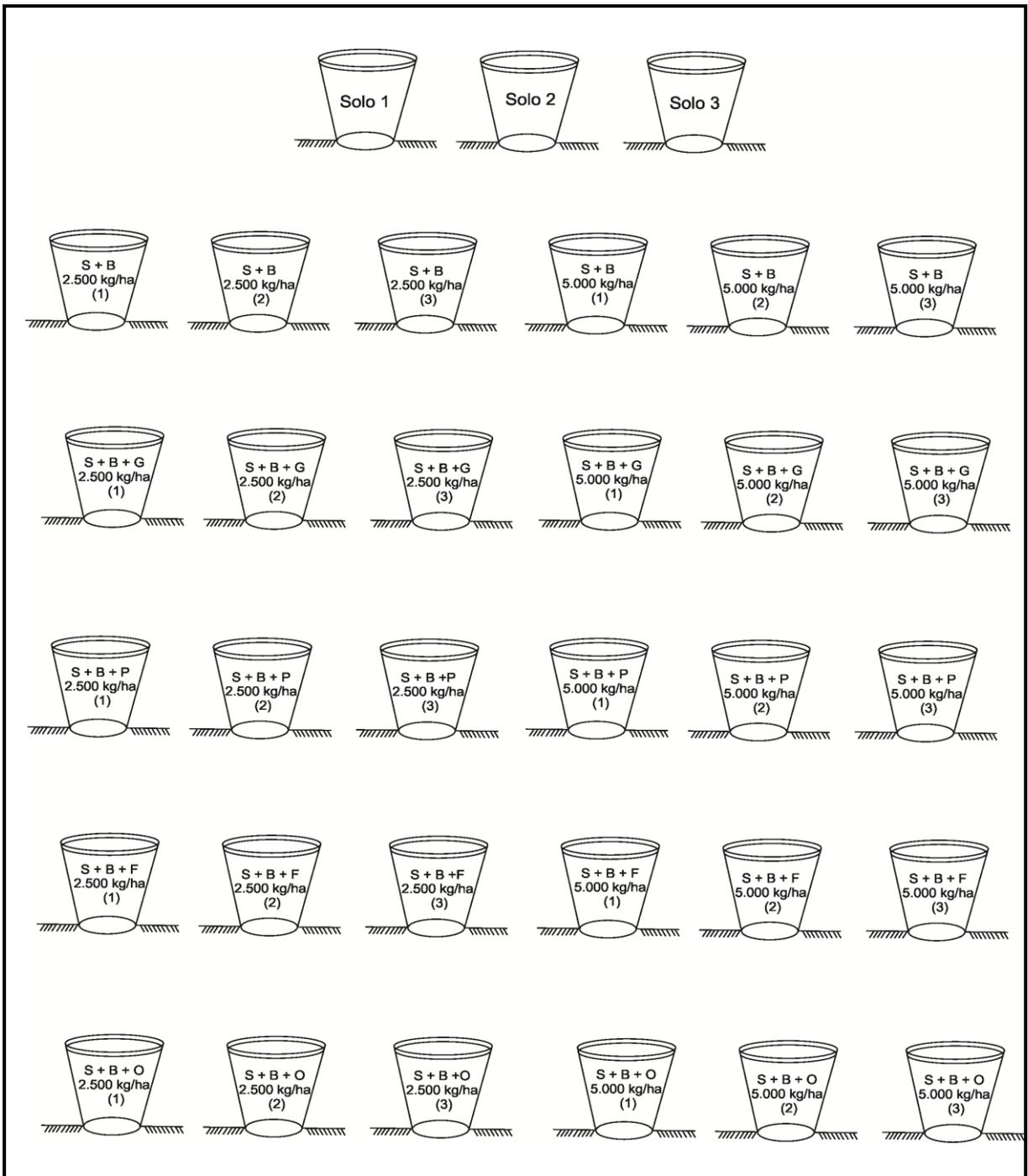


Figura 11. Esquema experimental com vasos identificados. S solo, B basalto, G granito, P peridotito, F fonolito e O obsidiana e com suas respectivas dosagens de 2.500 kg/ha e 5.000 kg/ha.



Figura 12. Homogeneização do substrato e as misturas de pó de rocha

O Argissolo Vermelho distrófico utilizado é um solo profundo, possui relação silte/argila baixa e textura argilosa, chegando a muito argilosa no horizonte Bt. Os teores de argila diminuem nas camadas saprolíticas S1, S2 e S3 (Figura 13). Apresenta valores S (soma de bases) e CTC (capacidade de troca de cátions) e V% (percentagem de saturação de bases) todos baixos e percentagem de saturação com alumínio alta. Conforme classificação proposta por Cunha *et al* (1998), o horizonte A apresenta uma média V% (saturação de base) de 44% e para o horizonte B ou C uma media de 48%, portanto com uma variação um pouco maior no que o horizonte superior. O calcio trocável é da ordem de $5,40 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte A, enquanto nos horizontes B ou C é $6,10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Para o magnésio trocável, os horizontes apresentam o mesmo valor, próximo de $2,30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Para o potássio trocável o valor é da ordem de $0,30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o horizonte A e $0,10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o horizontes B ou C. Para o aluminio trocavel, é de $0,20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$

para o horizonte A e $1,10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para o horizonte B ou C. A atividade de argila é $35 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, provavelmente alta.

Portanto, este solo apresenta limitações químicas devido à baixa fertilidade natural (distróficos), exigindo investimentos em corretivos e fertilizantes para alcançar rendimentos satisfatórios.



Figura 13. Típico perfil de Argissolo Vermelho Distrófico, Cunha *et al* (1998)

Foram realizados dois ensaios, conforme segue.

Primeiro ensaio:

- plantio da espécie de leguminosa (*Phaseolus vulgaris*) e irrigação manual em todos os vasos. Todas as condições de cultivo foram idênticas em todos os vasos. Inicialmente, foram colocadas para germinar 8 sementes de feijão preto e, 7 dias após a germinação dos primeiros ramos, foi realizado o desbaste, deixando 3 mudas de feijão em cada vaso de mesmo desenvolvimento, conduzidas até o final do experimento. A irrigação foi manual, com aplicação de 250ml de água em cada vaso no período da manhã e 250ml no período da tarde.
- coleta do cultivar de leguminosa antes da sua floração, seguida da secagem e pesagem de toda massa verde produzida em cada vaso;

No início do florescimento, as mudas foram colhidas, pesadas e secas em estufa (50°C) por 48 horas, para determinação da produtividade de matéria seca da parte aérea (caule, ramos e folhas) e, posteriormente, as plantas retornam à estufa numa temperatura de 100° C, para serem maceradas em gral de porcelana e depois calcinadas em forno mufla a temperatura da ordem de 400°C durante 4 horas. A calcinação foi feita no Laboratório de Geoquímica Orgânica do IGeo/UFRGS. A massa calcinada que corresponde à cinza das partes aéreas da planta (caule, ramos e folhas) foi enviada ao Laboratório GreenLab, de Porto Alegre, para avaliação do estado nutricional de alguns macronutrientes (K, Ca e Mg) e micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zi) que corresponde à análise da massa verde calcinada pelo método de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) – SM 3120 E.

Novamente, foi feito o plantio do mesmo cultivar de leguminosa, procedendo com a mesma metodologia acima. Para este plantio, não foram feitos os procedimentos de análises de macronutrientes e micronutrientes na amostra calcinada.

Segundo Ensaio:

- plantio de uma segunda cultivar, espécie de gramínea (*Avena strigosa*), nos mesmos vasos, sem a aplicação adicional de pó de rocha;
- coleta do cultivar de gramínea, antes da sua florescência, seguida da secagem e pesagem de toda massa verde produzida em cada vaso, procedimento semelhante ao primeiro ensaio, com o adicional da coleta do solo e as misturas dos pós de rochas para o ensaio de lixiviação e solubilização.

A Tabela 3 mostra as datas de plantio e de coleta das cultivares determinando ciclos curtos no período do plantio ao início da floração.

cultivar (espécie)	Plantio	Coleta
leguminosa (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	26/02/2011	20/04/2011
leguminosa (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	03/05/2011	08/07/2011
gramínea (<i>Avena strigosa</i>)	01/08/2011	26/09/2011

Tabela 3. Período de plantio e coleta das cultivares durante o experimento

Em ambos cultivares, de leguminosa e de gramínea, foram realizadas três repetições para cada mistura de pó de rochas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos da mineralogia do solo e pó de rochas, os ensaios de lixiviação/solubilização do início e do fim do experimento e as observações feitas ao longo de cada plantio.

4.1 Mineralogia do solo e pó de rochas.

A mineralogia do solo e das rochas utilizadas foi determinada por análise petrográfica e difratometria de raios X.

4.1.1 Composição mineralógica das rochas

O granitóide tem composição granodiorito, composto essencialmente por K-feldspato (ortoclásio e microclínio), plagioclásio, quartzo e biotita. Os minerais acessórios são zircão, apatita, alanita, titanita e opacos. Alanita e titanita ocorrem como inclusões nos minerais essenciais e também de modo intersticial. O K-feldspato tem forma prismática alongada (Figura 14), é subédrico, com limites retilíneos a lobados e com uma zonação marcada por trilhas concêntricas de inclusões de biotita, plagioclásio e opacos. A biotita constitui palhetas de cor preta, ocorrendo de modo intersticial e com agregados lenticulares milimétricos associados com alanita e opacos euédricos. O quartzo é incolor e está estirado ou mostra uma forma amebóide. O plagioclásio apresenta forma quadrática, de euédrica a subédrica, e cor branca.



Figura 14. Granodiorito coletado dentro do campus do Vale – UFRGS, observando o K-feldspato de forma prismático alongada com tamanho centimétrico a milimétrico.

Os basaltos são caracterizados pela textura fina e mineralogia a base de plagioclásio (labradorita), augita, pigeonita, óxidos de ferro, além de quartzo e K-feldspato intersticiais. Também é registrada a apatita como fase acessória. Argilominerais do grupo da esmectita são comuns como fases de alteração intempérica.

O fonolito utilizado possui um caráter fortemente porfirítico com fenocristais de clinopiroxênio salítico zonado, sanidina, nefelina, noseana, granada melanítica, apatita, magnetita e esfeno. O plagioclásio é escasso e mostra, em extensões diversas, feições de corrosão e/ou manteamento de sanidina. A matriz contém a mesma assembléia mineralógica dos fenocristais, à exceção do plagioclásio, somando-se ao conjunto analcita, vidro parcialmente cristalizado e rara biotita, num arranjo textural geralmente traquítico. A nefelina encontra-se, comumente alterada para cancrinita.

O Peridotito apresenta textura grossa e mineralogia formada por olivina, ortopiroxênio, clinopiroxênio, serpentina e magnetita. A serpentina e parte da magnetita são minerais metamórficos de baixo grau, formadas, essencialmente, a partir da olivina. É registrado, ainda, o plagioclásio em proporções muito pequenas, por vezes concentrados em finas camadas ou aglomerados esféricos de dimensões milimétricas.

A obsidiana apresenta o vidro vulcânico como fase predominante, além de sanidina, quartzo, óxido de ferro e pigeonita. O vidro encontra-se parcialmente cristalizado para quartzo e K-feldspato em intercrescimento micrográfico.

4.1.2 Composição mineralógica do solo

O solo utilizado nos ensaios é do tipo distrófico, argiloso, de cor vermelha contendo caolinita como argilomineral, quartzo e K-feldspato (Figura 15).

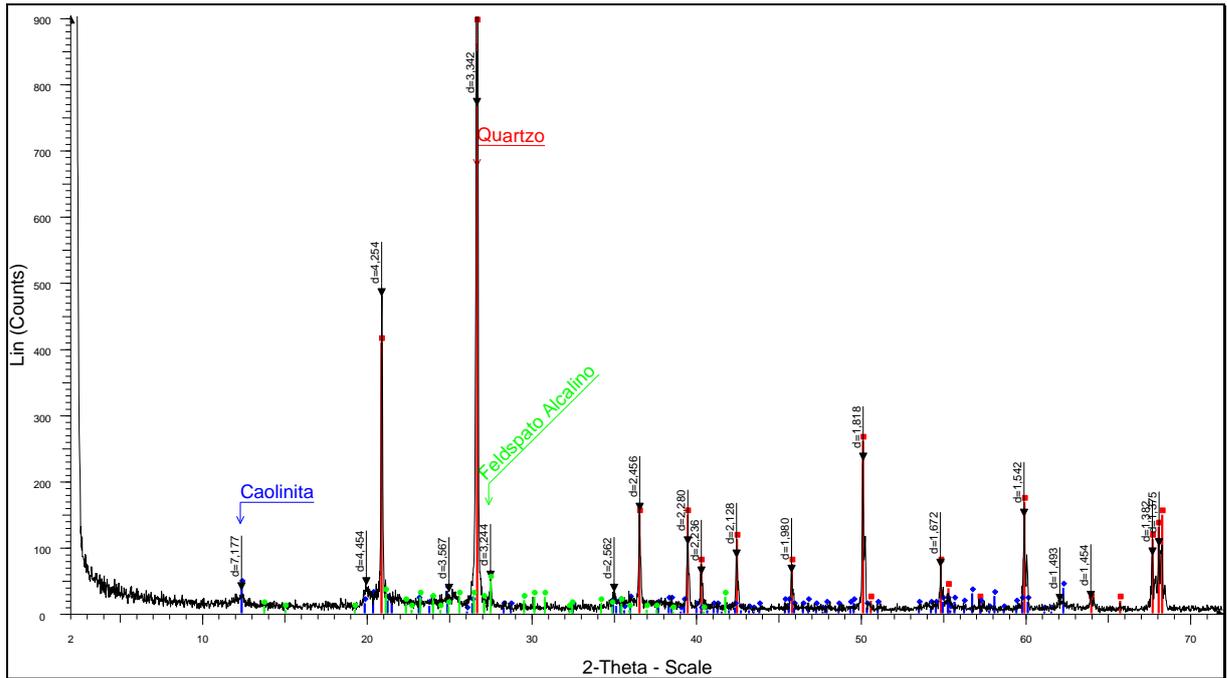


Figura 15. Difratoograma de raios X do solo.

4.2 Ensaios de lixiviação/solubilização

Os resultados dos ensaios de lixiviação/solubilização realizados nas misturas de solo com pó de rocha são apresentados na Tabela 4. Os dados da referida tabela mostram que o pó de rocha gera um incremento na concentração de quase todos os macro e micronutrientes analisados na solução.

	amostras (g)	água deionizada (mL)	P total mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Cu mg/L	B mg/L	Zn mg/L	Ni mg/L	pH
solo	10,0	100	0,023	0,741	2,094	0,738	2,083	0,034	0,0041	0,041	0,031	0,0017	5,63
S+B 2500	10,0	100	0,16	1,574	2,897	2,227	17,7	0,113	0,035	0,11	0,084	0,0073	5,84
S+B+G 2500	10,0	100	0,093	1,115	4,316	0,931	11,5	0,085	0,017	0,066	0,066	0,0026	5,78
S+B+P 2500	10,0	100	0,18	2,508	4,342	1,672	24,7	0,154	0,027	0,15	0,13	0,007	5,78
S+B+F 2500	10,0	100	0,2	1,511	3,13	1,243	309	0,146	0,022	0,11	0,074	0,0055	5,45
S+B+O 2500	10,0	100	0,18	2,297	7,555	1,306	21,5	0,123	0,029	0,091	0,097	0,006	5,71
S+B 5000	10,0	100	0,14	1,377	3,701	1,453	12,8	0,106	0,022	0,084	0,072	0,004	5,85
S+B+G 5000	10,0	100	0,19	1,555	2,036	0,105	21,2	0,105	0,017	0,095	0,098	0,0034	5,75
S+B+P 5000	10,0	100	0,13	1,308	4,245	1,944	12,8	0,098	0,023	0,083	0,334	0,0069	5,83
S+B+F 5000	10,0	100	0,19	1,45	2,701	1,192	24,7	0,137	0,022	0,1	0,069	0,0049	5,77
S+B+O 5000	10,0	100	0,14	3,721	7,027	2,299	15,6	0,098	0,023	0,082	0,073	0,004	5,83

Tabela 4. Análises químicas do lixiviado/solubilizado das misturas de solo e pós de rochas. S- solo, S+B – solo e basalto, S+B+G – solo, basalto e granodiorito, S+B+F – Solo, basalto e fonolito, S+B+P – solo, basalto e peridotito e S+B+O – solo, basalto e obsidiana em dosagem de 2.500 kg/ha e 5.000 kg/ha.

O teor de fósforo total obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rocha, sendo que as quantidades superiores estão nos tratamentos S+B+G 5.000kg/ha, S+B+P 2.500kg/ha, S+B+F 2.500kg/ha e S+B+O 2.500kg/ha (Figura 16).

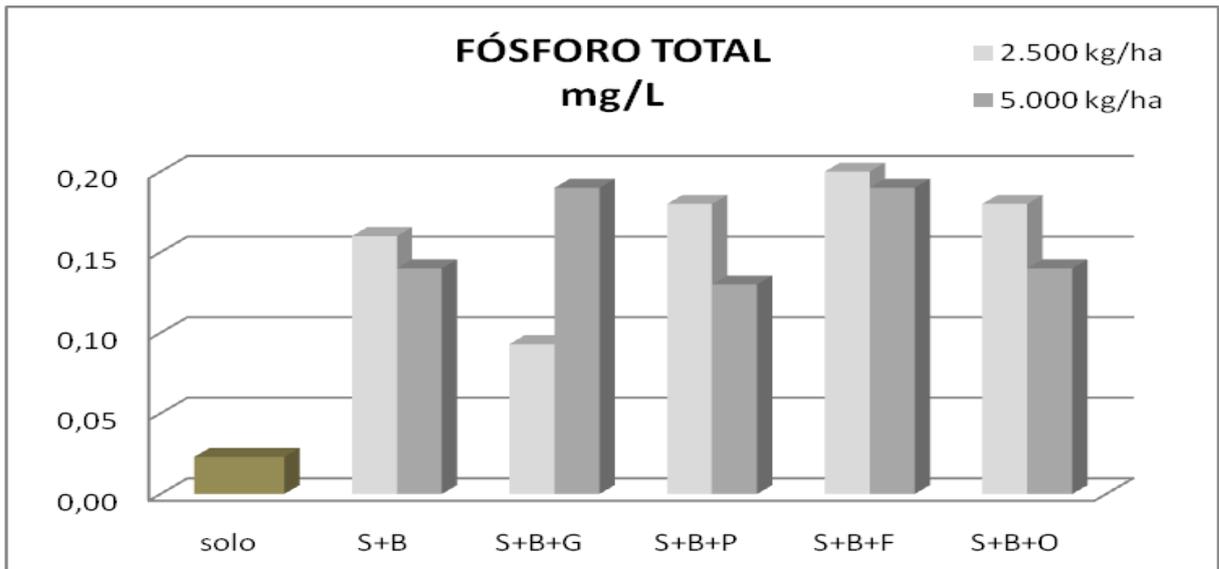


Figura 16. Representação dos teores de fósforo total no lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de potássio obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rochas. As concentrações superiores estão nos tratamentos S+B+O 5.000kg/ha, S+B+P 2.500kg/ha (Figura 17).

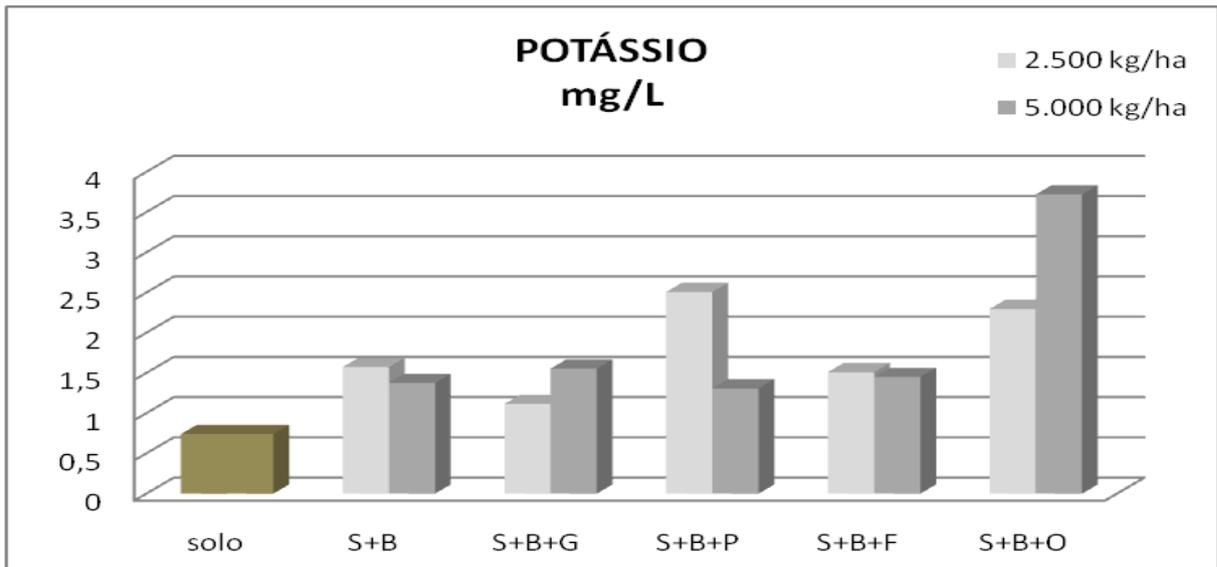


Figura 17. Representação do teor de potássio no lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de cálcio obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rochas, exceto o tratamento S+B+G 5.000 kg/ha. As concentrações mais elevadas correspondem aos tratamentos S+B+O 2.500kg/ha e S+B+O 5.000kg/ha (Figura 18).

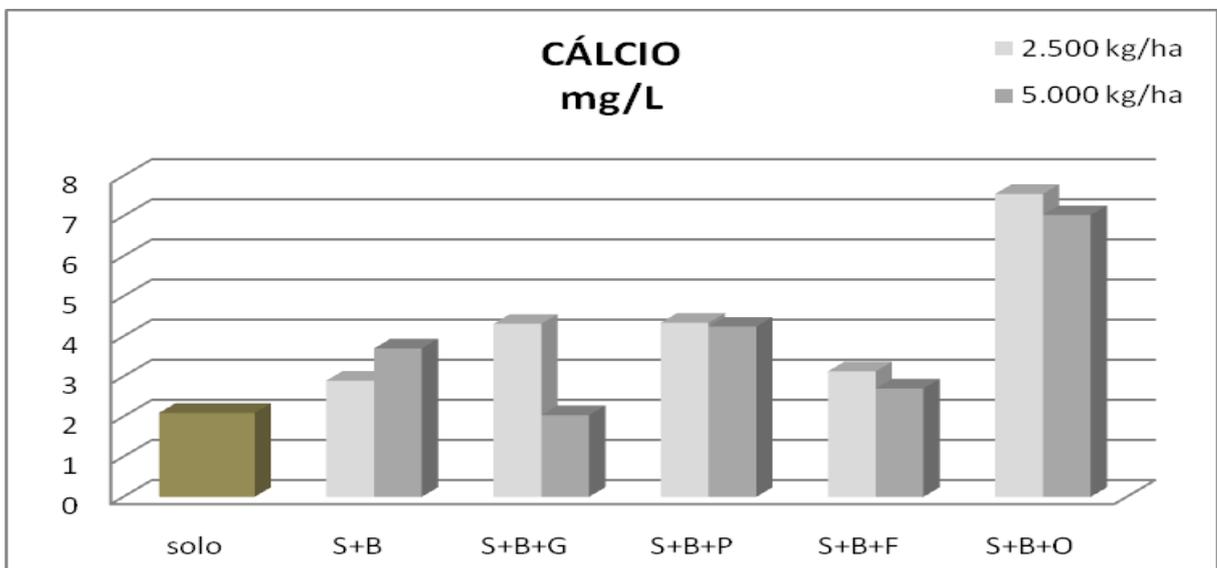


Figura 18. Representação do teor de cálcio no lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de magnésio obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rocha, exceto o tratamento S+B+G 5.000 kg/ha. As concentrações mais elevadas correspondem aos tratamentos S+B 2.500kg/ha e S+B+O 5.000kg/ha (Figura 19).

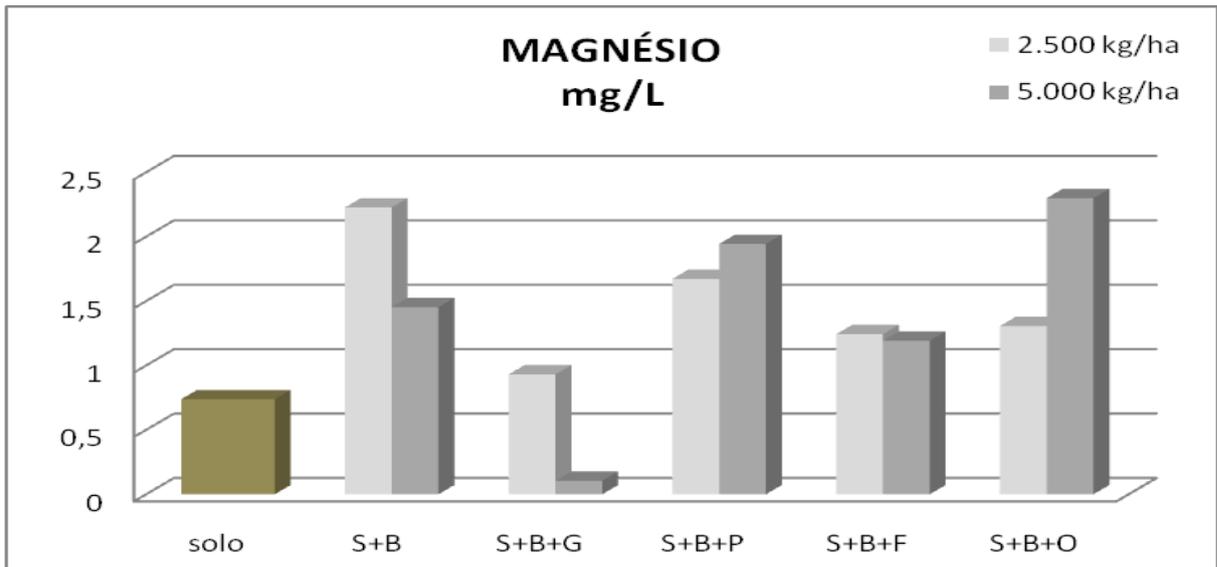


Figura 19. Representação do teor de magnésio no lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de ferro obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rochas. A concentração mais elevadas correspondem ao tratamento S+B+F 2.500kg/ha (Figura 20).

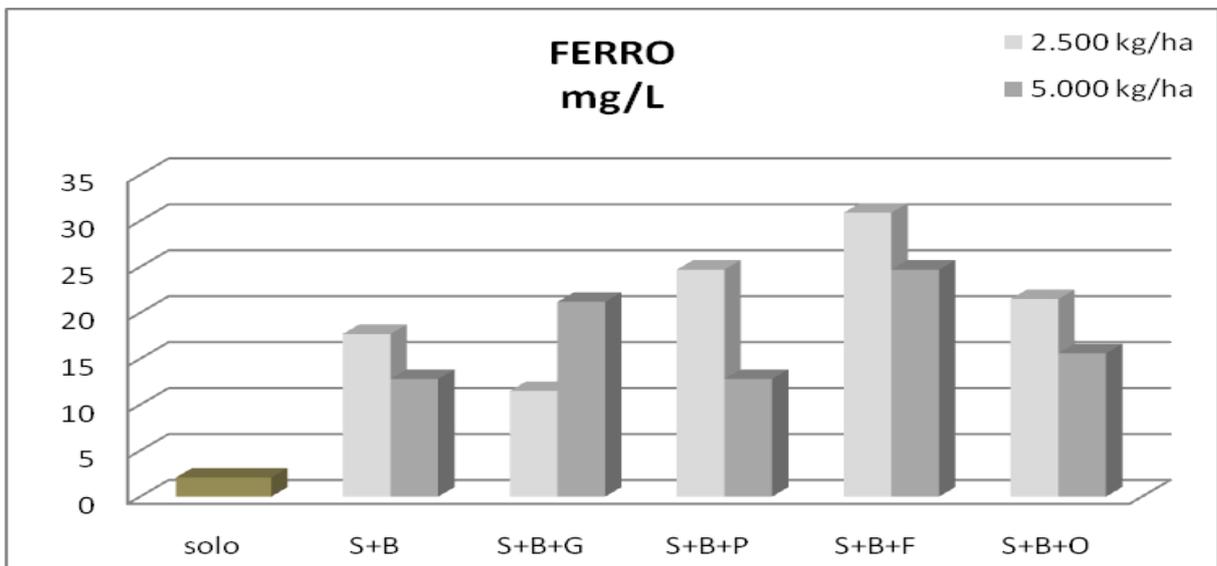


Figura 20. Representação do teor de ferro lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de manganês obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rochas. As concentrações mais elevadas correspondem aos tratamentos S+B+P 2.500kg/ha, S+B+F 2.500kg/ha e S+B+F 5.000kg/ha (Figura 21).

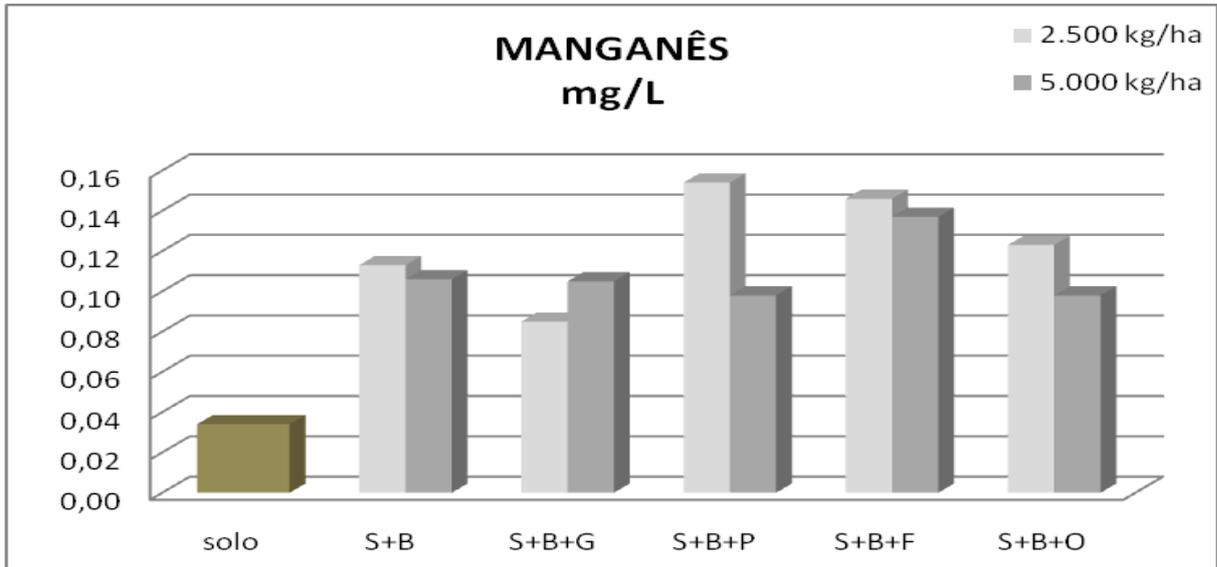


Figura 21. Representação do teor de manganês lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de cobre obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rochas. A concentração mais elevada corresponde ao tratamento S+B 2.500kg/ha (Figura 22).

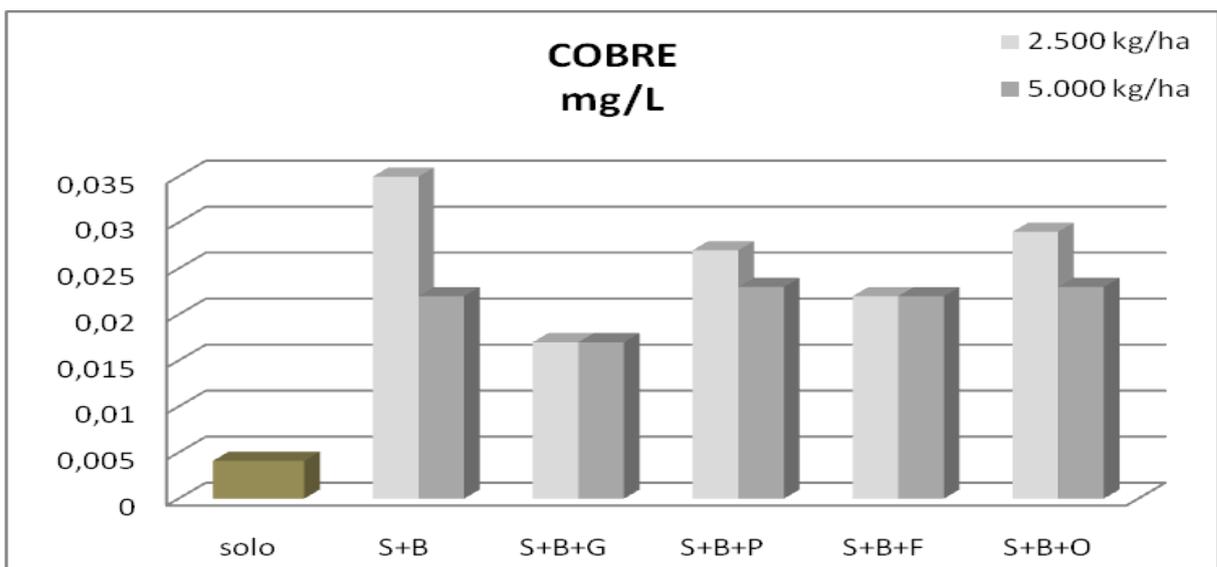


Figura 22. Representação do teor de cobre lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de boro obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rochas. A concentração mais elevada corresponde ao tratamento S+B+P 2.500kg/ha (Figura 23).

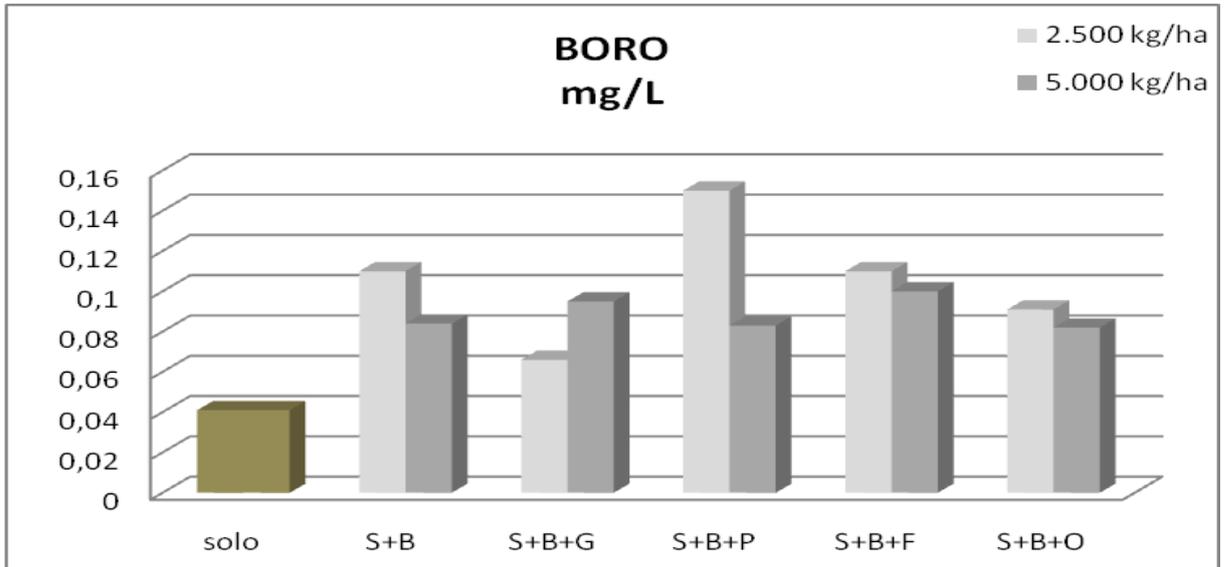


Figura 23. Representação do teor de boro lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de zinco obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rochas. A concentração mais elevada corresponde ao tratamento S+B+P 5.000kg/ha (Figura 24).

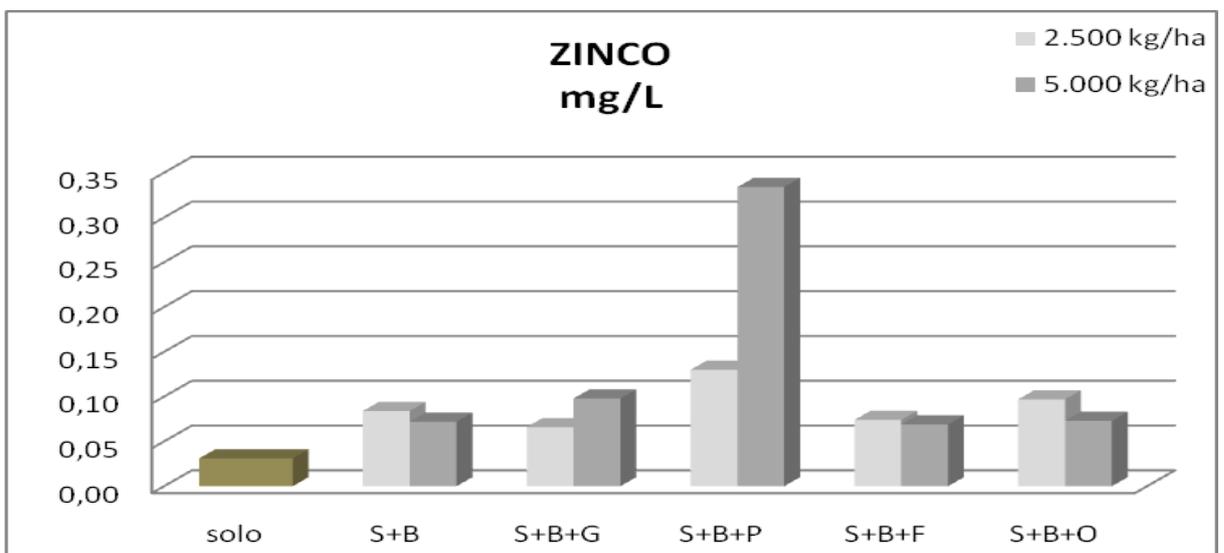


Figura 24. Representação do teor de zinco lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O teor de níquel obtido no ensaio de lixiviação/solubilização mostra que o solo puro disponibiliza quantidade inferior à de todas as misturas com pó de rochas. As concentrações mais elevadas correspondem aos tratamentos S+B 2.500kg/ha, S+B+P 2.500kg/ha e S+B+P 5.000kg/ha (Figura 25).

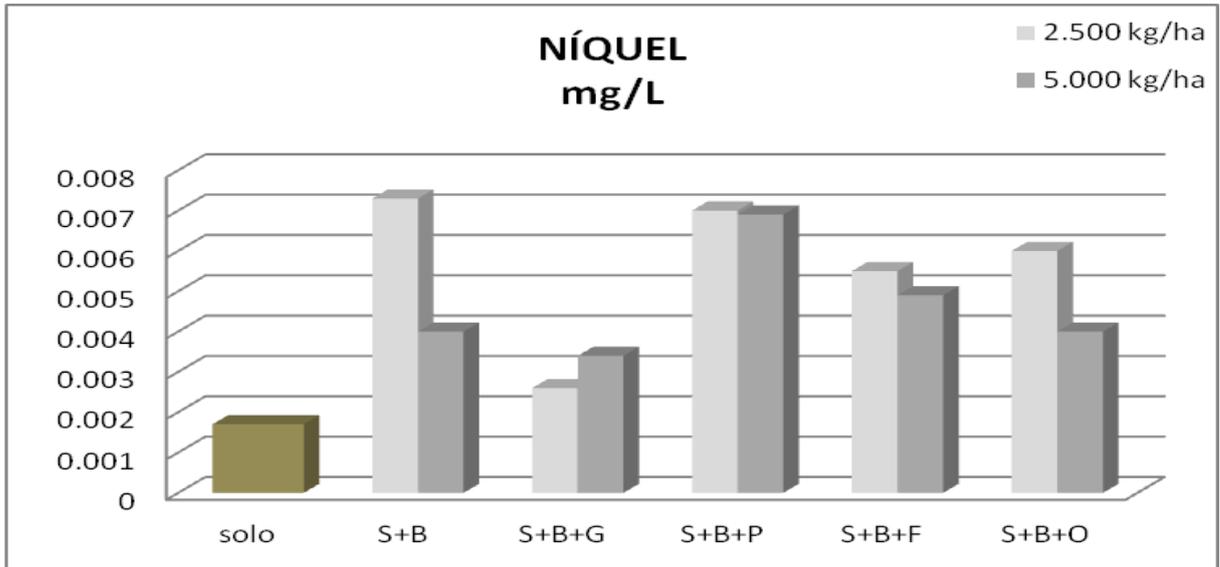


Figura 25. Representação do teor de níquel lixiviado/solubilizado dos diferentes tratamentos.

O pH manteve-se baixo no tratamento S+B+F 2.500kg/ha com valor de 5,45 e nos demais tratamentos variaram de 5,6 a 5,8, considerado adequado para a agricultura (Figura 26).

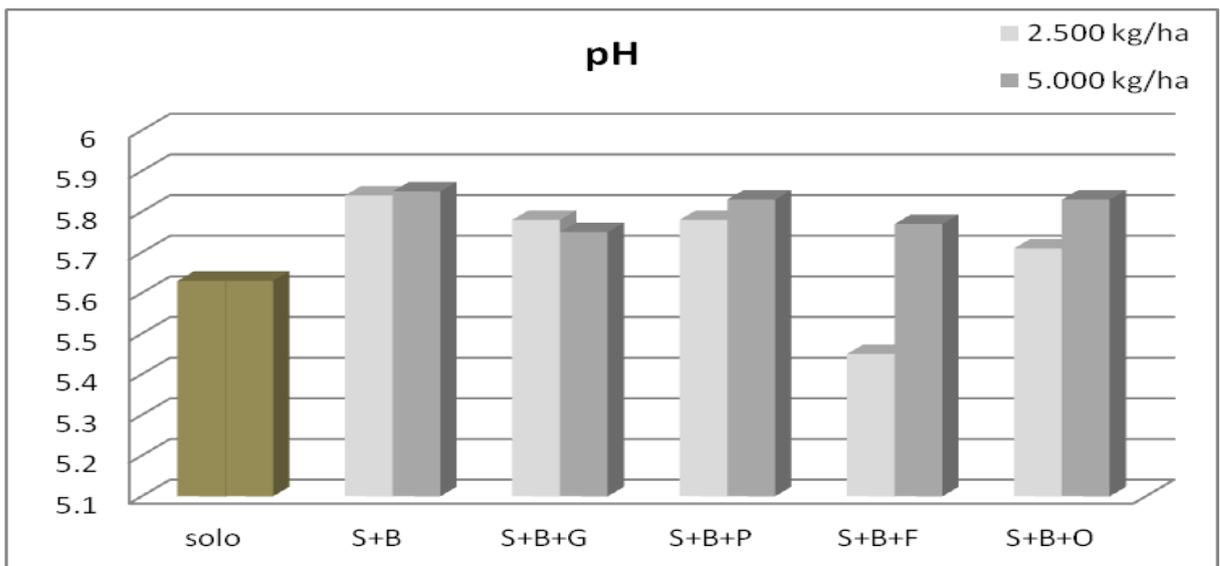


Figura 26. Representação pH obtido no ensaio de lixiviação/solubilização nos diferentes tratamentos

4.3 Desenvolvimento dos cultivares utilizados

Na preparação dos experimentos, tivemos o plantio de duas cultivares (leguminosa e gramínea), as quais foram observadas desde a germinação até a sua coleta. As cultivares foram selecionadas devido a seu ciclo curto, a sua adaptação ao clima e tipo de solo da região.

4.3.1 Leguminosas - 1º plantio

O primeiro plantio de leguminosa foi feito imediatamente após a preparação das misturas do Argissolo vermelho distrófico com o pó de rocha. A duração do plantio, contando da sementeira até colheita, foi de 54 dias. Neste período foram analisados semanalmente alguns parâmetros como germinação das sementes, as ramificações, a cor das folhas, presença de pragas e insetos e altura das plantas até o início da floração (Figuras 27, 28 e 29).

As observações acompanharam a evolução das plantas e foram feitos rodízios dos vasos com o objetivo de eliminar possíveis diferenças quanto à incidência de luz solar, temperatura e sombreamento.



Figura 27. a) semeadura de 8 sementes de feijão em cada vaso na data 26/02/2011. b) locação dos vasos na casa de vegetação. c) germinação das sementes com os primeiros ramos de folhas depois de 6 dias do plantio. d) plantas depois de 10 dias do plantio, já com o desbastes, deixando 3 plantas por vasos de mesmos desenvolvimentos.



Figura 28. a) Cultivo dos feijões depois de 20 dias, com caules mais eretos e ramificações de 2 a 3 folhas. b) O vaso com tratamento de BASALTO+OBSIDIANA 2.500kg/ha com folhas verde e 2 a 3 ramos em cada muda. c) Vaso identificado de BASALTO+PERIDOTITO 5000 kg/ha com folhas perfuradas, atacadas por insetos.

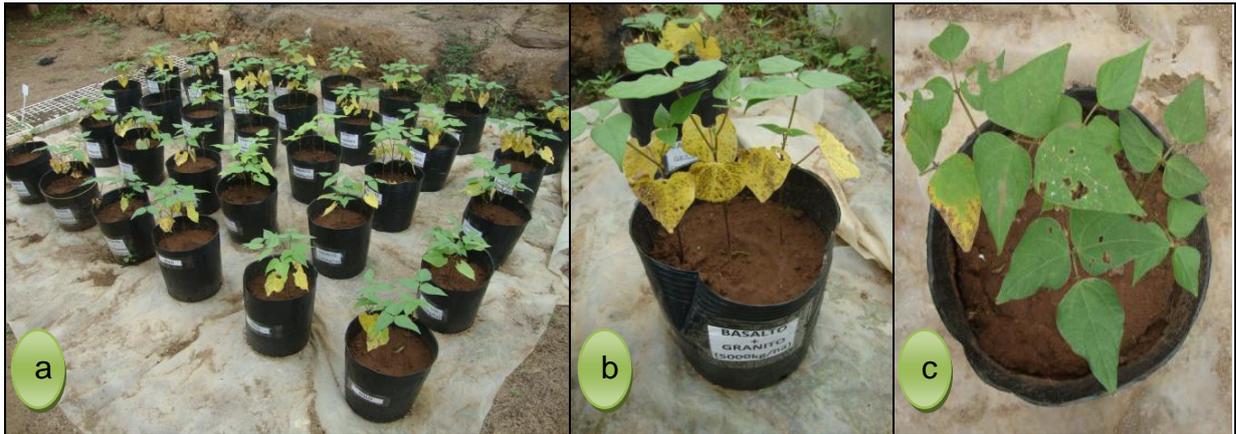


Figura 29. a) Presença de fungos nos primeiros ramos deixando as folhas amarelas. b) Detalhe do tratamento BASALTO+GRANITO 5.000 kg/ha com folhas amarelas e ferrugem. c) Tratamento com ataque de inseto e presença de fungo.

As alturas das plantas foram medidas no momento da coleta. Após as medidas, foram feitas as médias das três repetições de cada vaso, obtendo assim uma altura mínima de 22,32cm, com o tratamento S+B+F 2.500kg/ha e uma altura máxima de 30,17cm, com o tratamento S+B+P 5.000kg/ha, conforme a Figura 30 e ilustrada na Figura 31. A altura das plantas não mostrou diferenças sistemáticas entre os experimentos com pó de rocha e com solo puro.

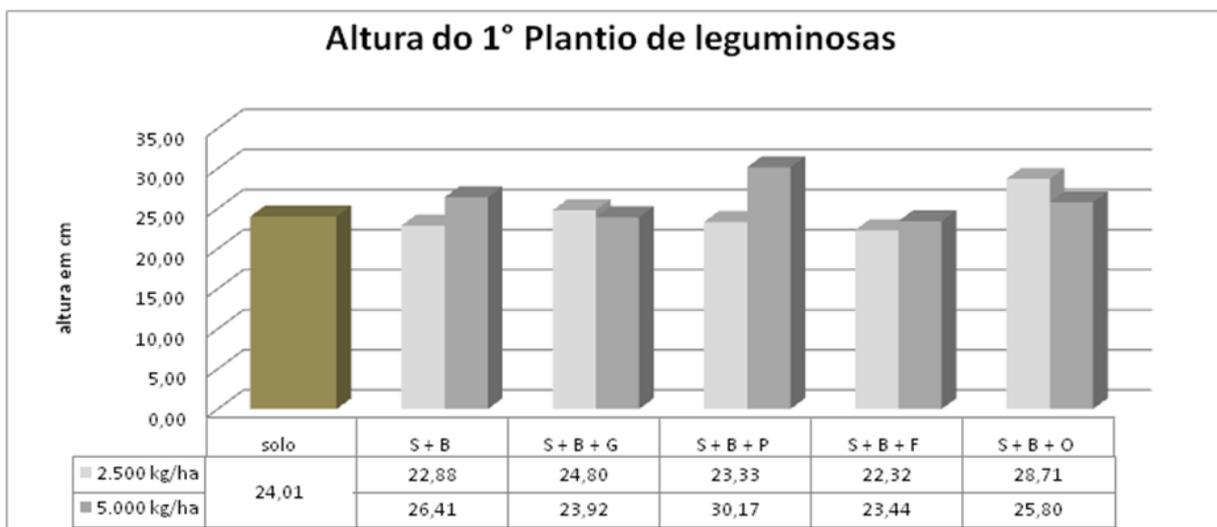


Figura 30. Representação em gráficos das alturas do 1º plantio de leguminosas. No experimento o solo não requer dosagens..



Figura 31. Aspecto visual dos tratamentos após 30 dias do plantio, comparando as alturas e biomassa. a) tratamentos SOLO PURO, BASALTO 5.000kg/ha e BASALTO + PERIDOTITO 5.000kg/ha; b) tratamentos SOLO PURO, BASALTO 2.500kg/ha e BASALTO + FONOLITO 2.500kg/ha, c) tratamentos SOLO PURO, BASALTO 2.500kg/ha e BASALTO + OBSIDIANA 2.500kg/ha, d) tratamentos SOLO PURO, BASALTO 5.000kg/ha e BASALTO + OBSIDIANA 5.000kg/ha.

As plantas foram colhidas com o corte rente ao solo. Em seguida, foi pesada a parte aérea (caule, folhas e ramos), caracterizando o peso da massa verde (MV). Analisando a MV, verifica-se que os tratamentos de S+B 5.000kg/ha, S+B+P 5.000kg/ha, S+B+O 2.500kg/ha e S+B+O 5.000kg/ha produziram mais MV em relação ao solo (27,6 %, 35,7%, 20,45% e 29,35%, respectivamente), enquanto os demais tratamentos produziram valores inferiores de MV em relação ao solo (Figura 32).

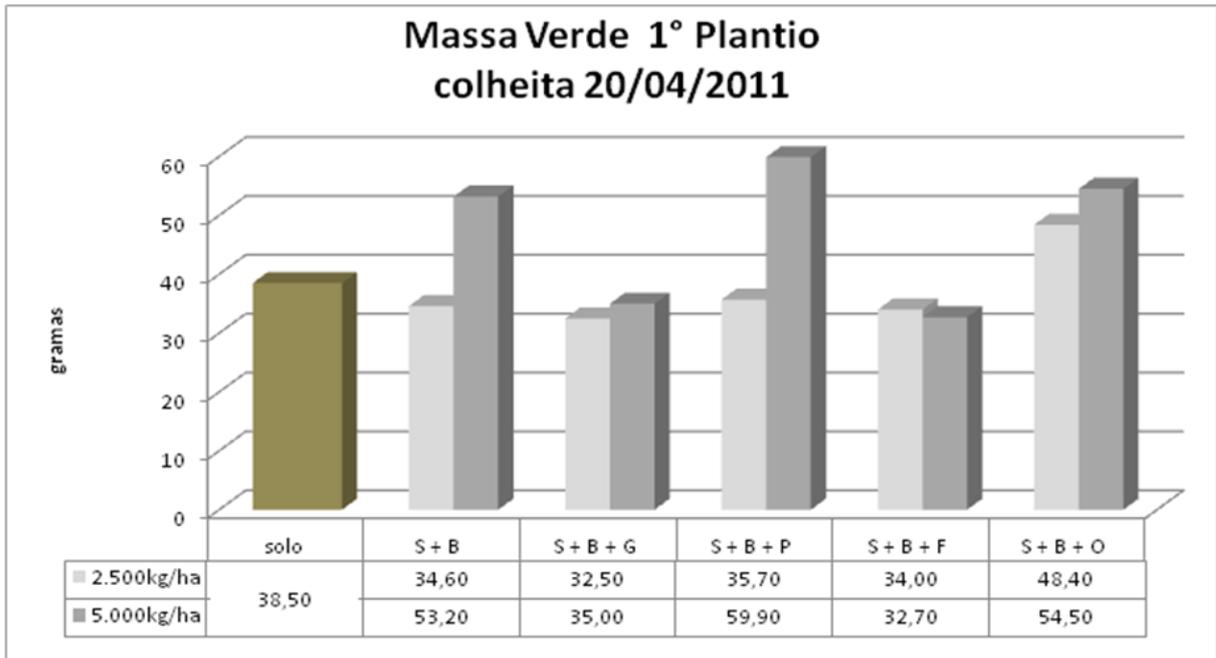


Figura 32. Representação gráfica de produtividade de massa verde (MV)

A massa seca (MS), obtida a partir da secagem em estufa a temperatura de 50°C por 48 horas da parte aérea (caule, folhas e ramos), mostra maior produtividade nos tratamentos S+B 5000kg/ha, S+B+P 5000kg/ha, S+B+F 5000kg/ha e S+B+O 2500kg/ha, e S+B+O 5000kg/ha, conforme a Figura 33.

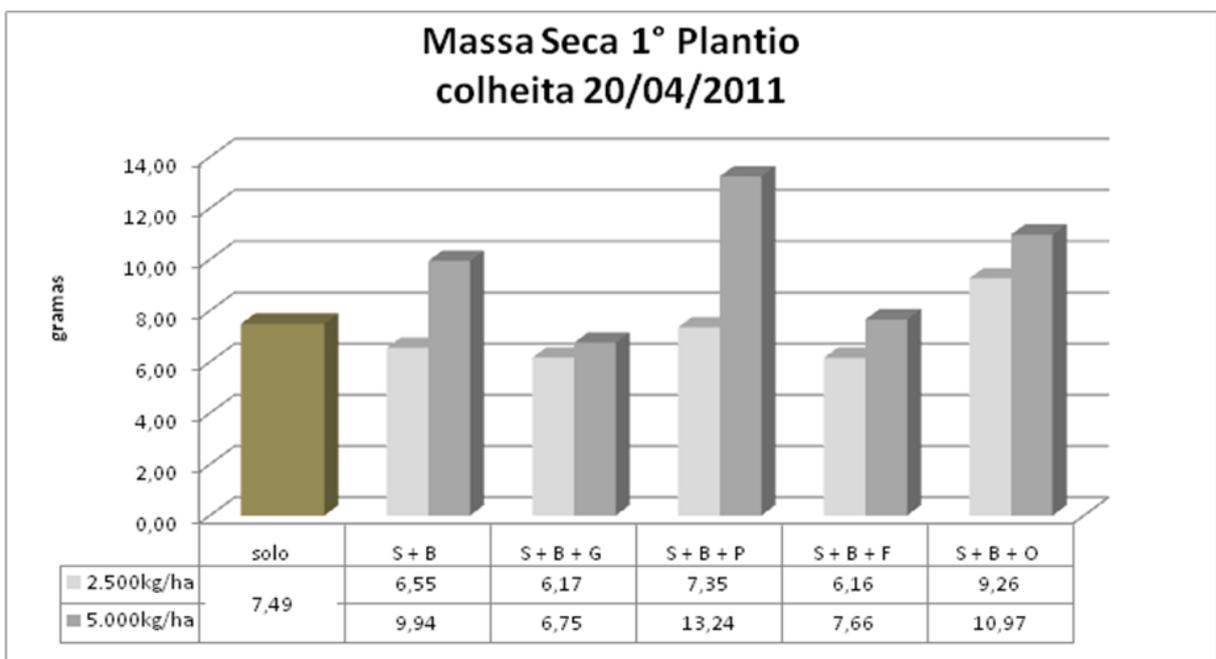


Figura 33. Representação gráfica de produtividade de massa seca (MS)

A relação entre as dosagens de 2.500kg/ha e 5.000kg/ha, no tratamento de S+B+O, a produtividade foi maior nas duas dosagens em relação ao solo puro, enquanto, nos tratamentos S+B e S+B+P a dosagem de 2.500kg/ha, apresentou produção menor, a dosagem de 5.000kg/ha produção maior e, nos tratamentos de S+B+G e S+B+F nas duas dosagens a produção foi inferior ao solo puro.

A MS dos tratamentos foram submetidas à calcinação para análise química e determinação dos teores de alguns nutrientes, conforme Tabela 5.

	AMOSTRA CALCINADA g	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg	Fe mg/Kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
solo	0,666	199815	125190	39851	3963	1378	74	341
S+B 2500	0,575	197572	129640	37834	2806	1012	74	290
S+B+G 2500	0,605	170965	85978	27884	2309	1048	62	309
S+B+P 2500	0,695	181000	115880	37283	2669	957	58	272
S+B+F 2500	0,585	152566	82513	26155	2675	754	53	239
S+B+O 2500	0,818	197204	122919	36066	4751	1343	71	342
S+B 5000	0,956	168002	128006	34050	3075	955	65	280
S+B+G 5000	0,658	197587	113809	35136	3053	1328	83	407
S+B+P 5000	1,045	180122	132508	40539	2693	981	68	295
S+B+F 5000	0,735	187579	117401	33979	3256	1072	63	308
S+B+O 5000	0,97	166914	113348	31619	2667	1103	62	315

Tabela 5. Concentrações de alguns macronutrientes e micronutrientes obtidos pelas análise química da massa verde calcinada

Na análise química das massas verdes calcinadas, foram observadas as composições de massa mineral geradas pelas plantas.

O teor de potássio nos tratamentos em relação ao solo, não mostrou acréscimos na massa verde calcinada (Figura 34). O potássio registrou teores similares nos tratamentos de solo puro, S+B 2.500 kg/ha, S+B+G 5.000kg/ha, S+B+F 5.000kg/ha e S+B+O 2.500kg/ha. Cabe destacar que o potássio está presente no solo independentemente da adição de pó de rocha. Segundo Malavolta (1989), é recomendável que haja um bom suprimento de potássio no substrato, pois esse elemento garante um crescimento vigoroso e saudável às plantas, com participação na abertura e fechamento de estômatos e, entre outras funções, na transpiração, o que induz a um melhor aproveitamento de água.

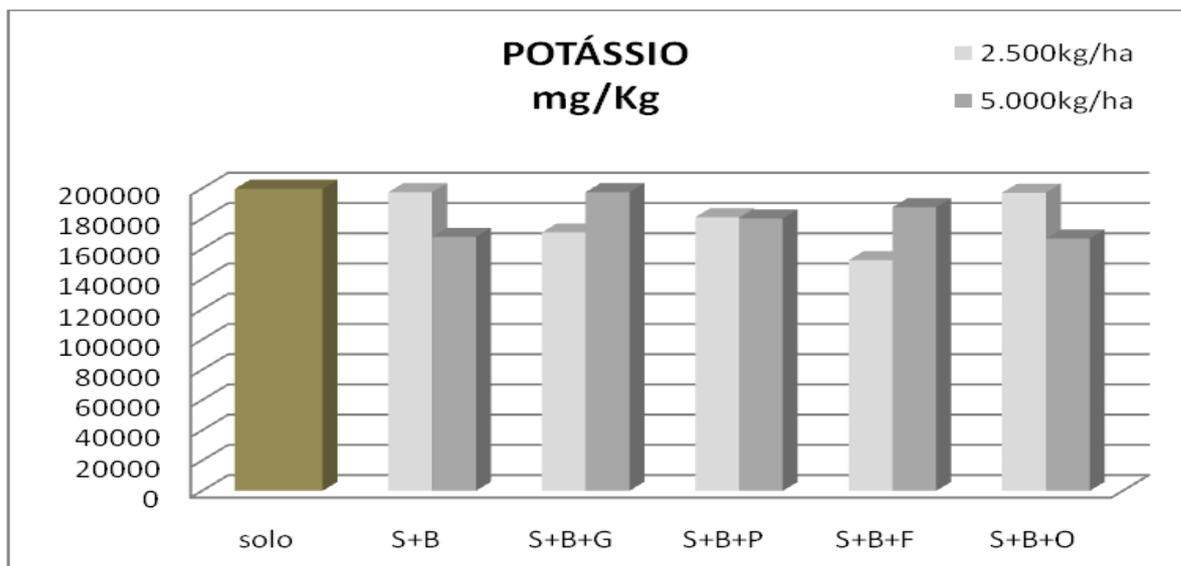


Figura 34. Análise da massa verde calcinada de teor de potássio nos diferentes tratamentos.

O teor de cálcio nos tratamentos S+B 2500kg/ha, S+B 5000kg/ha e S+B+P 5000kg/ha em relação ao solo puro, mostraram acréscimos na massa verde calcinada (Figura 35). Segundo Martinez (2004), o cálcio tem um papel fundamental na manutenção de integridade das membranas e age com um agente cimentante nas paredes celulares. Também é importante na ativação enzimática, na regulação do movimento de água nas células e essencial para a divisão celular. Complementa o autor que, uma vez incorporado ao tecido celular, o cálcio é imóvel, necessitando ser constantemente suprido para atender o crescimento contínuo.

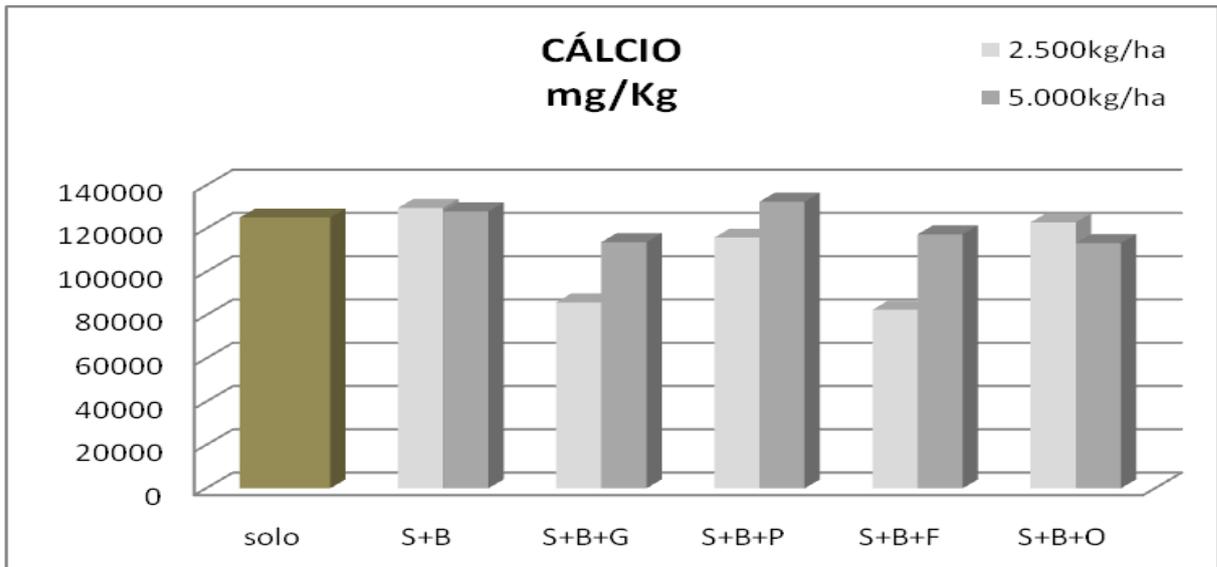


Figura 35. Análise da massa verde calcinada de teor de cálcio nos diferentes tratamentos.

O teor de magnésio no tratamento S+B+P 5000kg/ha em relação ao solo puro, mostrou acréscimo na massa verde calcinada.(Figura 36). Segundo Malavolta (1989), é importante que haja um bom suprimento de Mg, pois na planta, entre outras funções, esse elemento faz parte da formação da clorofila.

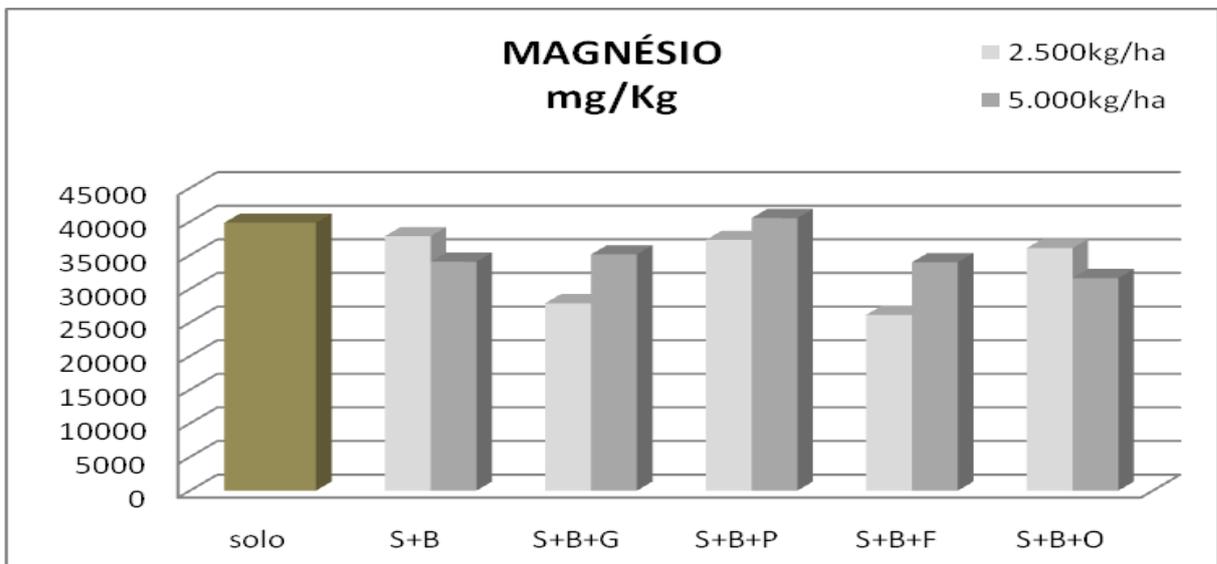


Figura 36. Análise da massa verde calcinada de teor de magnésio nos diferentes tratamentos.

O ferro registra o maior teor na massa verde calcinada obtida no tratamento S+B+O 2.500 kg/ha em relação ao solo puro (Figura 37). De acordo com Malavolta

(1989), o ferro é indispensável para a formação do pigmento verde das plantas, a clorofila.

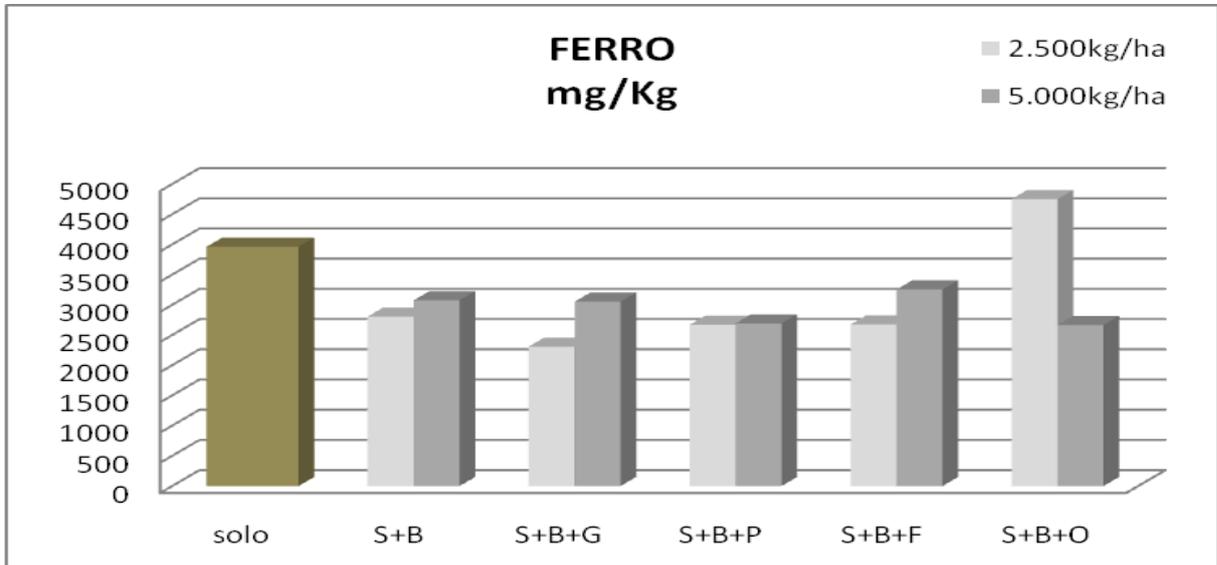


Figura 37. Análise da massa verde calcinada de teor de ferro nos diferentes tratamentos.

O teor de manganês da massa verde calcinada mostra que a planta absorve mais este metal no tratamento com solo puro do que os demais tratamentos, destacando-se que esse elemento está presente no solo independente da adição do pó de rocha. Segundo Malavolta (1989), pequenas quantidades deste elemento já satisfazem as exigências nutricionais, elemento esse essencial à síntese de clorofila, mas que pode afetar a disponibilidade do ferro.

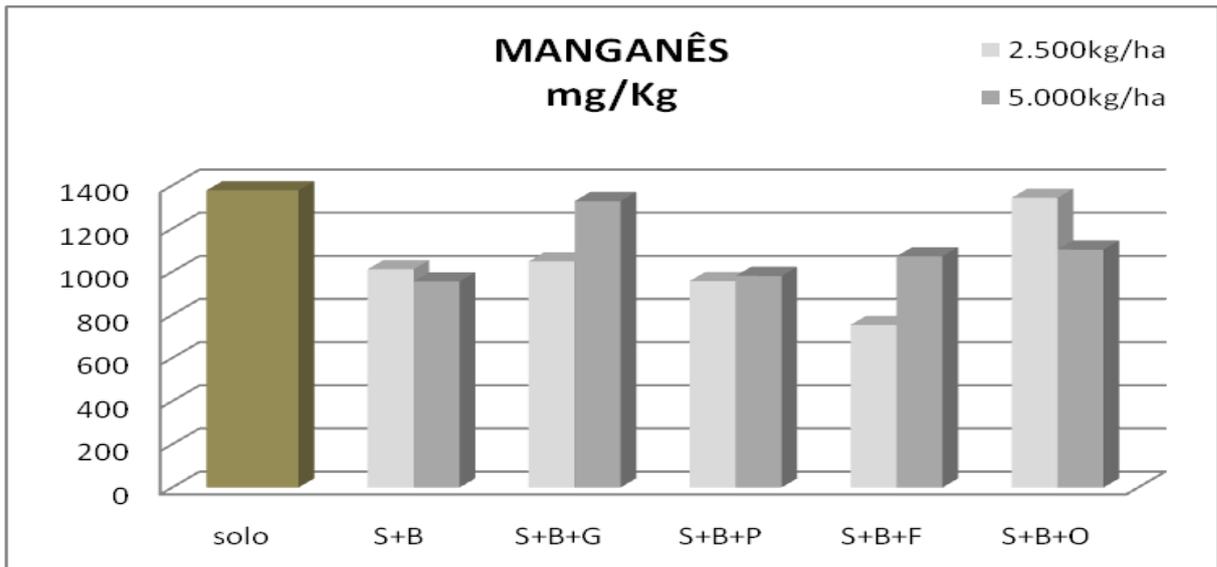


Figura 38. Análise da massa verde calcinada de teor de manganês nos diferentes tratamentos..

O cobre registra os maiores teores na massa verde calcinada do tratamento S+B+G 2.500 kg/ha (Figura 39). Segundo Primavesi (1990) e Malavolta (1989), o cobre é importante como ativador enzimático da fotossíntese e respiração. Na escassez de cobre, a síntese de proteínas será deficiente, permanecendo na forma de aminoácidos, o que pode deixar as plantas doentes.

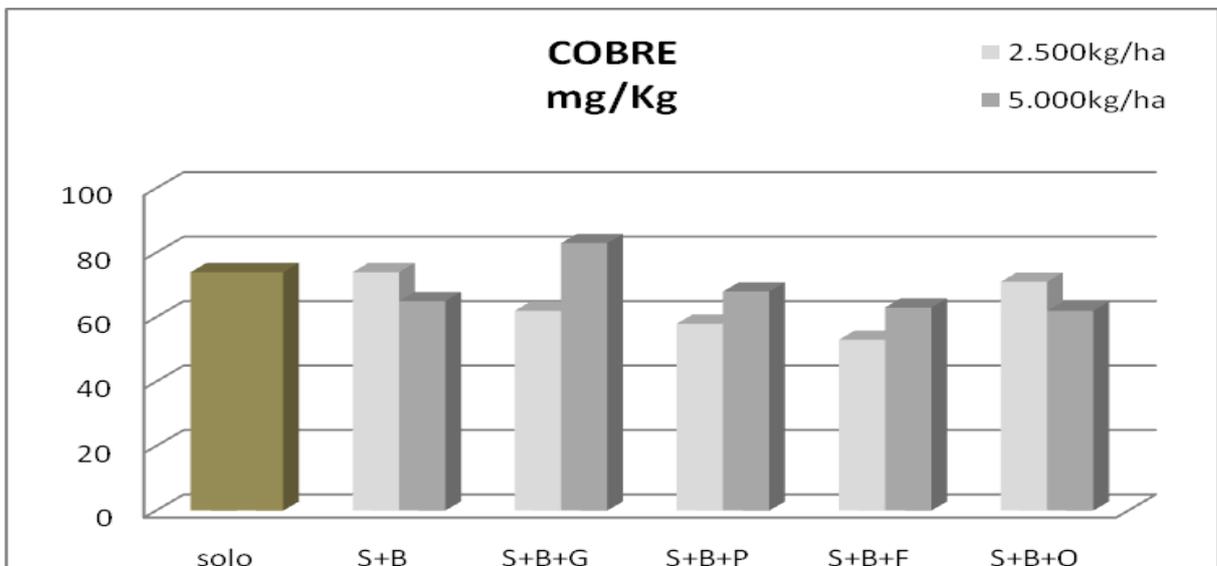


Figura 39. Análise da massa verde calcinada de teor de cobre nos diferentes tratamentos.

Os dados da tabela 4, diagramados na Figura 40, mostram que o maior teor de zinco da massa verde calcinada foi obtido no tratamento S+B+G 5.000 kg/ha.

Segundo Malavolta (1989) afirma que o zinco é necessário para a produção de clorofila, sendo indispensável para o crescimento.

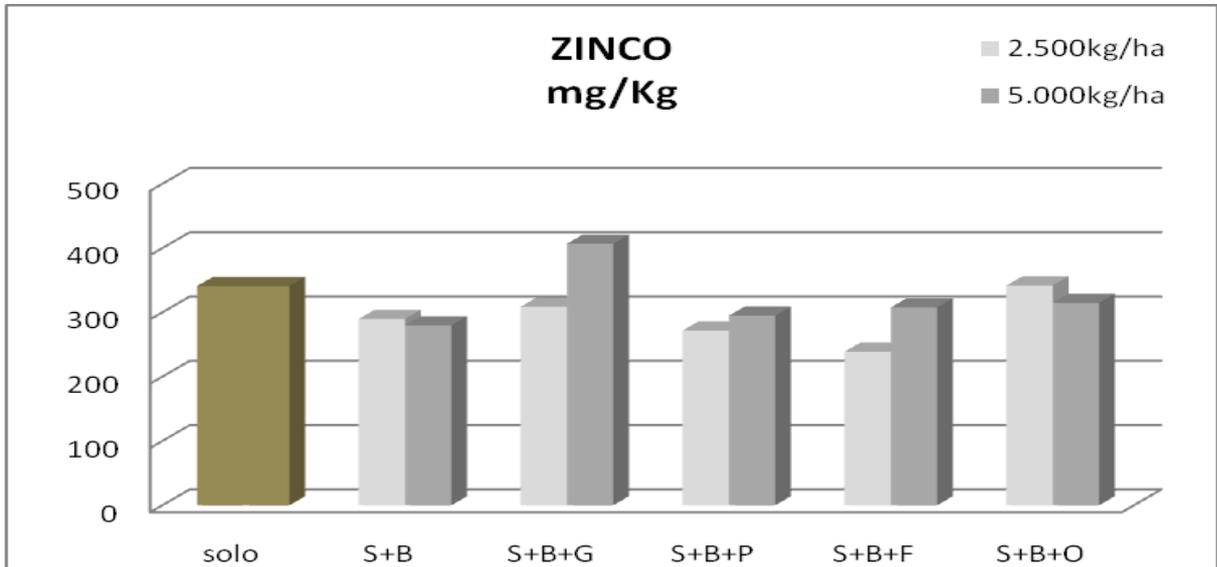


Figura 40. Análise da massa verde calcinada de teor de zinco nos diferentes tratamentos.

4.3.2 Leguminosas - 2º plantio

Depois do sétimo dia da coleta do 1º plantio e leguminosa, no final do mês de abril, os vasos receberam o 2º plantio do mesmo cultivar, nas mesmas condições de mistura de pó de rocha e solo. Foram feitas as mesmas observações de parâmetros como altura, pesagem de MV e MS. As análises químicas das cinzas da massa verde deste plantio não foram feitas.

As melhores épocas do plantio da leguminosa na região do Rio Grande do Sul são no final de outubro a novembro, que corresponde a safra de verão, e de janeiro a fevereiro, denominada safrinha. O segundo plantio ocorreu na época de inverno e o seu desenvolvimento foi lento (Figuras 41 e 42).



Figura 41. 2° plantio sementeira das 5 sementes de feijão na data 03/05/2011.



Figura 42. Germinação não uniforme nos vasos, emergência das plantas depois de 10 dias do plantio.

As alturas observadas neste 2° plantio foram reduzidas a metade em relação ao 1° plantio. O tratamento de S+B+G 2.500kg/ha, S+B+G 5.000kg/ha, S+B+O 2.500kg/ha e S+B+O 5.000kg/ha obtiveram alturas superiores em relação ao solo, conforme mostra a Figura 43.

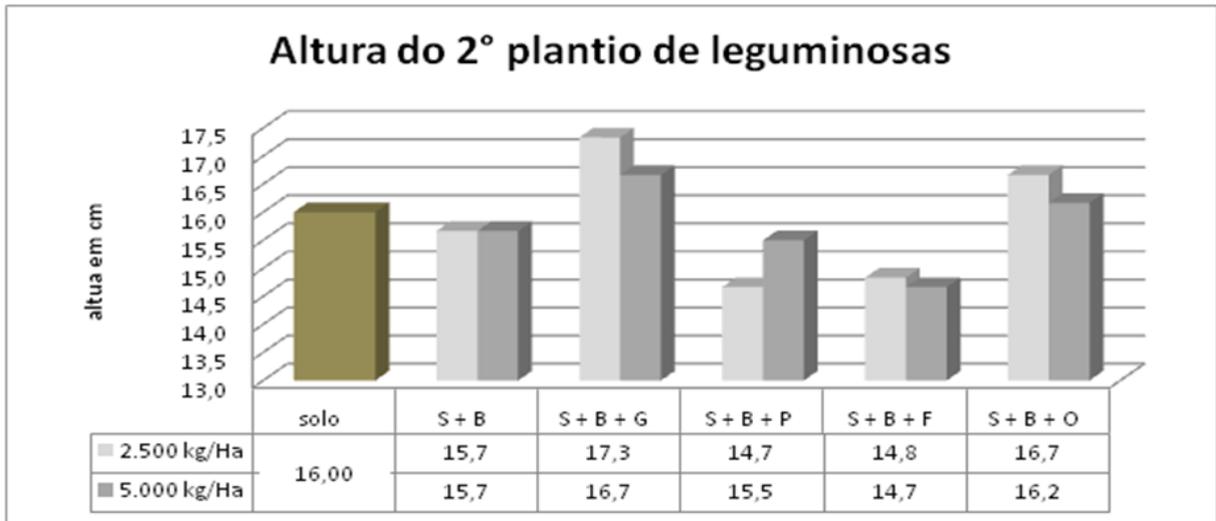


Figura 43. Representação em gráficos das alturas do 2º plantio de leguminosas.

As fotos da Figura 44 mostram o desenvolvimento relacionado a altura e biomassa dos tratamentos e dosagens em cada vaso.

A MV, em relação ao 1º plantio, foi reduzida pela metade. A maior produtividade foi observada no tratamento S+B+P 5.000kg/ha , com acréscimo de 42% em relação ao solo puro, sendo que apenas o tratamento S+B+P 2.500kg/ha produziu menos que o solo puro (Figura 45). A avaliação da massa verde nas diferentes dosagens mostra que os tratamentos S+B, S+B+G, S+B+P e S+B+O produziram mais que o solo puro em ambas as aplicações (2.500 kg/ha e 5.000 kg/ha). O tratamento S+B+P produziu menos massa verde na dosagem de 2.500kg/ha e mais na dosagem de 5.000kg/ha em relação ao solo puro.



Figura 44. Desenvolvimento do plantio nos vasos com seus respectivos tratamentos e dosagens.

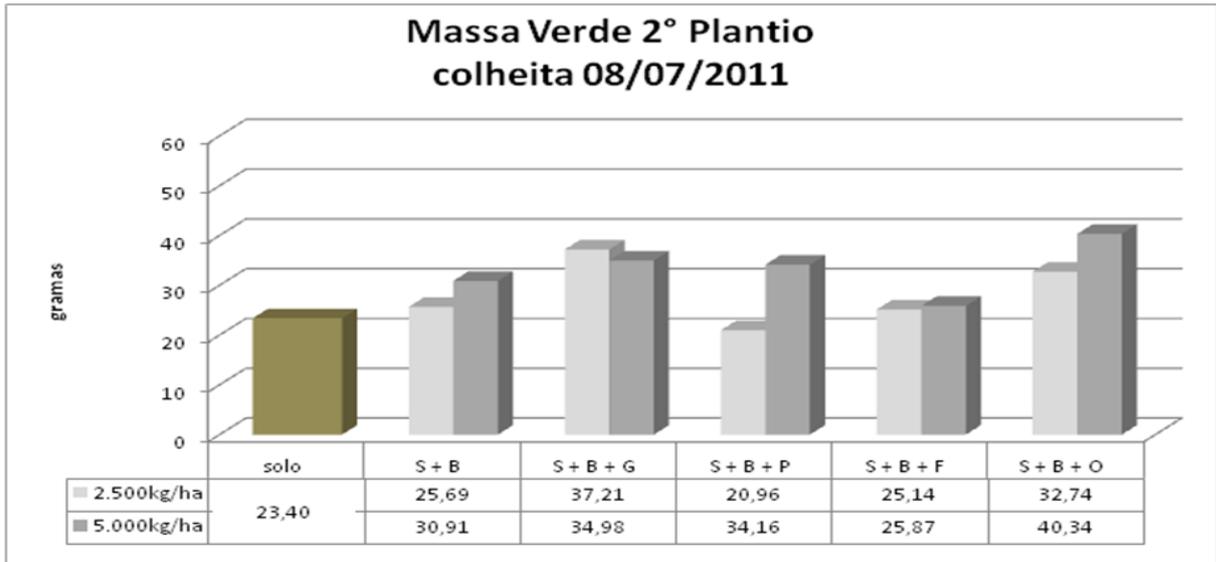


Figura 45. Representação gráfica da produtividade de MV do 2° plantio de leguminosa

Na produtividade de MS podemos observar situações semelhantes às da produção de massa verde (Figura 46).

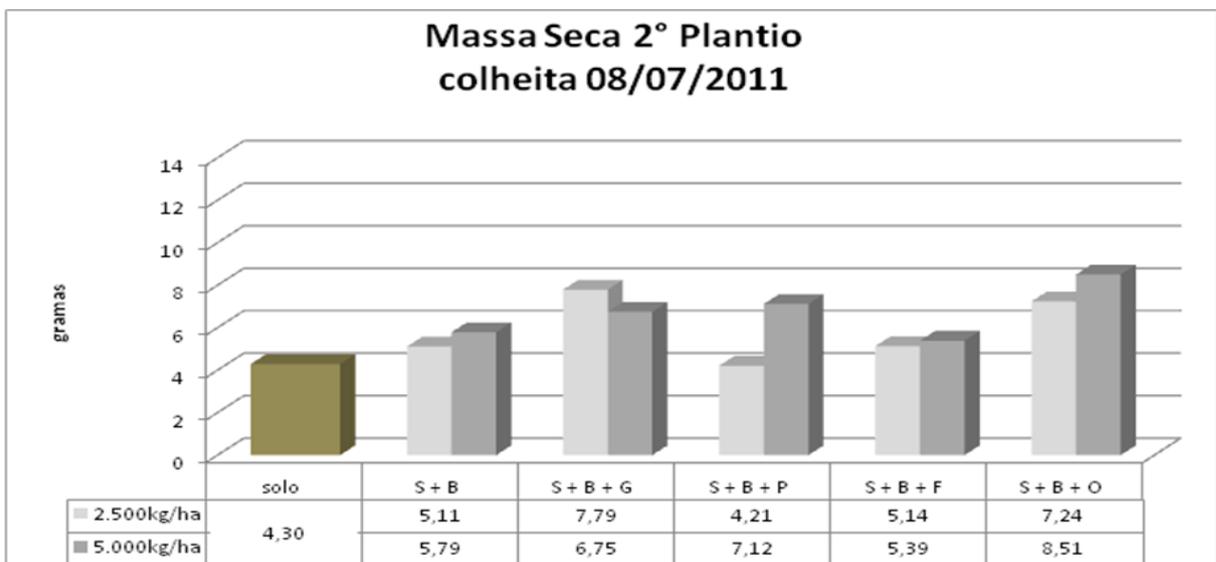


Figura 46. Representação gráfica da produtividade de massa seca (MS) do 2° plantio de leguminosa

Neste plantio não se observou a presença de pragas e insetos, dado que, no inverno, a incidência dos mesmos é menor.

4.3.3 Gramíneas

A gramínea é a segunda cultivar no experimento, sendo utilizada a espécie *Avena strigosa*, popularmente denominada aveia preta, que é uma excelente alternativa para o cultivo de inverno, proporcionando cobertura ao solo e utilizada como forrageira. O ciclo completo do plantio é de aproximadamente 108 dias, sendo que no experimento, a duração foi de 57 dias até o início da floração. Neste período, foram feitas observações semanais do desenvolvimento das plantas, como germinação das sementes, a cor das folhas, presença de pragas e insetos, conforme ilustradas nas Figuras 47, 48 e 49.



Figura 47. Plantio observado na data de 24/08/2011, germinação não foram uniformes nos vasos.



Figura 48. Plantio observado na data 02/09/2011, rodízios entre os vasos e cor das plantas mais esverdeadas



Figura 49. Plantio observado na data 21/09/2011, ausência de pragas e insetos neste plantio e cores das plantas mais amareladas.

A germinação das sementes não foi igual em todos os vasos, o que determina que na avaliação da MV e MS produzida, seja feita uma correção para

eliminar o efeito do maior ou menor número de plantas em cada vaso. Na Figura 50, estão apresentadas as percentagens de germinação das sementes, sendo que em cada vaso foram semeados 3,00 gramas de sementes de aveia preta. As fotos na Figura 51 mostram o desenvolvimento da gramínea em cada tratamento na data da coleta.

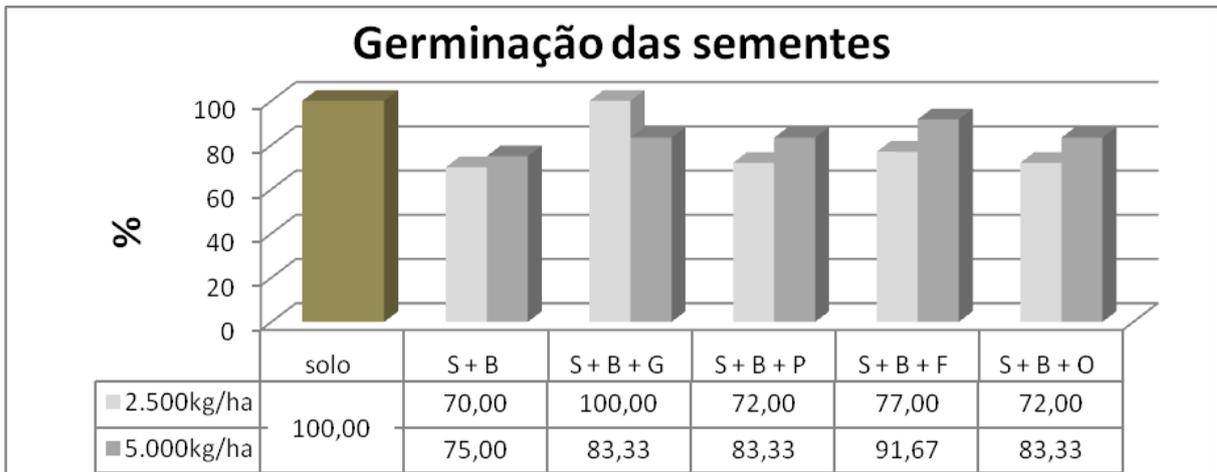


Figura 50. Diagrama representando a germinação das sementes. A percentagem de germinação foi estimada em análise visual.

Os gráficos de pesagens de MV e MS estão apresentados nas Figuras 52 e 53. Estas pesagens tiveram seus valores corrigidos por um fator de correção, em consideração à germinação. Tal correção foi aplicada para eliminar o efeito da germinação na avaliação da produtividade, já que o grau de germinação não é influenciado pelo pó de rocha aplicado. Sendo assim, a maior produção de MV foi observada no tratamento S+B+P 2.500kg/ha de 44,31 % em relação ao solo puro, os demais tratamentos obtiveram produtividade positivas.

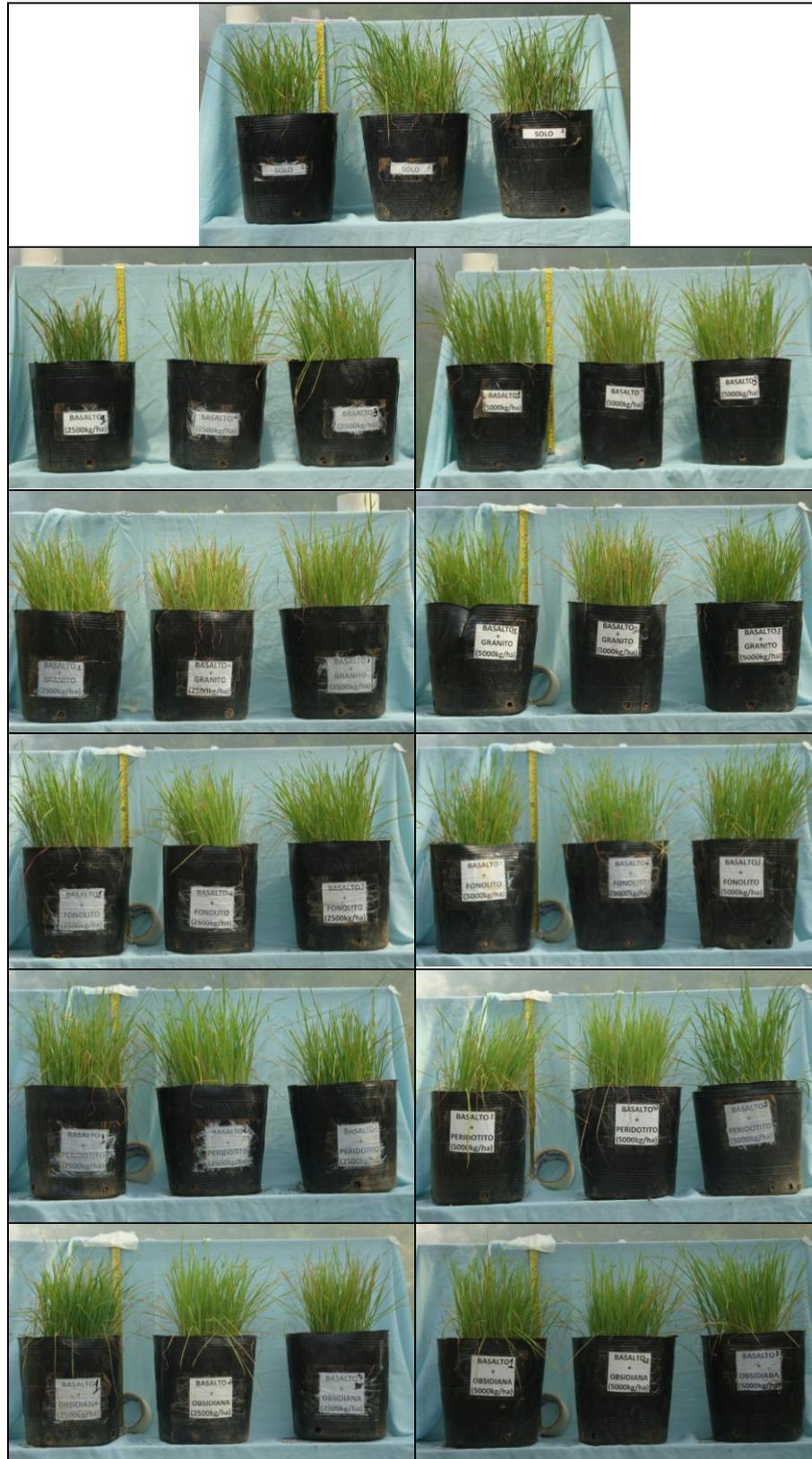


Figura 51. Fotos de todos os vasos com indicação dos seus respectivos tratamentos e dosagens utilizadas no experimento.

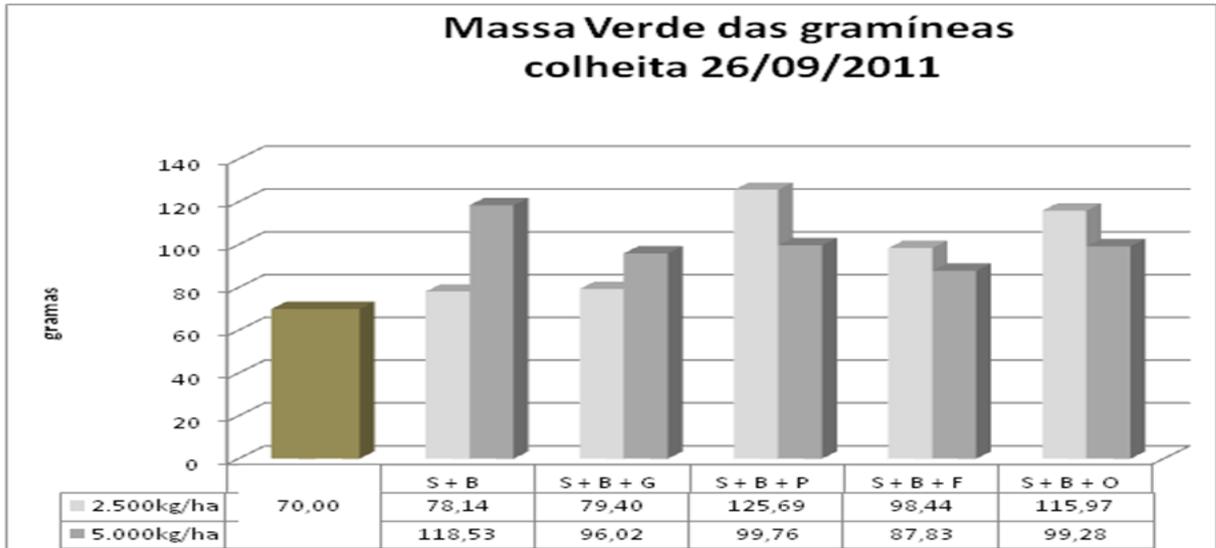


Figura 52. Representação gráfica da produção de massa verde (MV) do 1º plantio de gramíneas.

Na produção de MS podemos observar situações semelhante à da produção de massa verde, exceto no tratamento S+B+G 2.500kg/ha, conforme Figura 53.

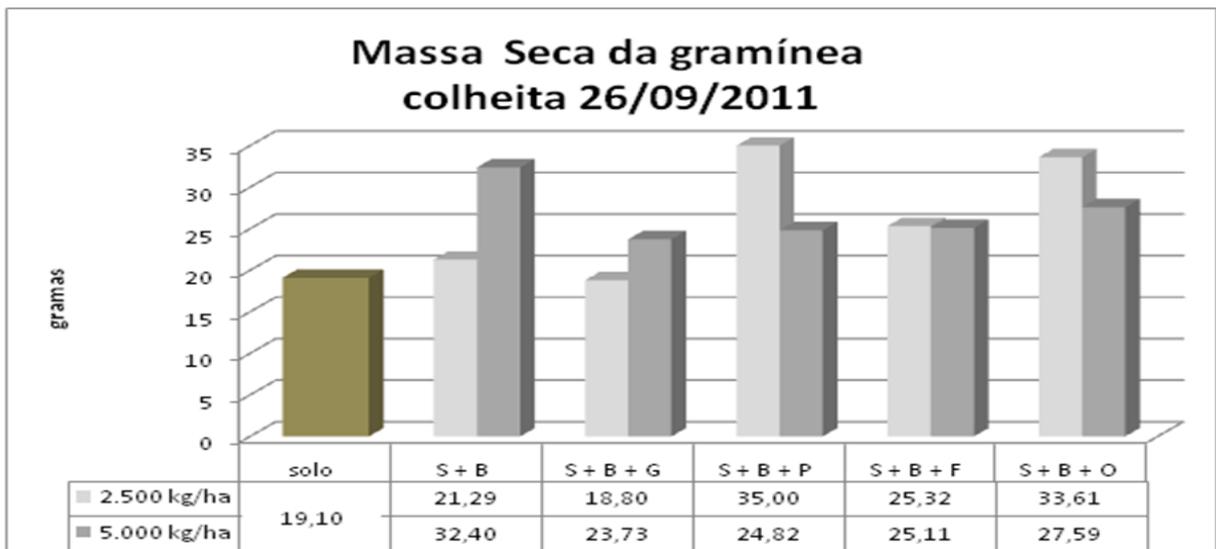


Figura 53. Representação gráfica da produção de massa seca (MS) do 1º plantio de gramíneas.

4.4 Ensaios de lixiviação/solubilização

Ao final da última colheita do plantio da gramínea, foram feitas coletas de amostras de solo puro e da dosagem de 5.000kg/ha em todos os tratamentos, para

avaliação da solubilização de alguns nutrientes, os quais ficam disponíveis para as plantas (Tabela 6).

	Amostras (g)	água deionizada (mL)	P mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Cu mg/L	Zn mg/L	pH
solo	10,0012	100	0,2	2,883	3,683	0,014	0,063	5,8
S+B 5000	10,0013	100	0,49	3,5	4,275	0,027	0,07	7,36
S+B+G 5000	10,0015	100	0,22	2,031	1,903	0,015	0,042	7,32
S+B+P 5000	10,0005	100	1,32	6,439	9,342	0,066	0,161	7,07
S+B+F 5000	10,0003	100	0,51	3,549	3,596	0,032	0,091	6,10
S+B+O 5000	10,0016	100	0,49	2,623	3,6	0,026	0,071	6,55

Tabela 6. Análises químicas do lixiviado/solubilizado das misturas de solo e pós de rochas.. S- solo, S+B – solo e basalto, S+B+G – solo, basalto e granodiorito, S+B+F – Solo, basalto e fonolito, S+B+P – solo, basalto e peridotito e S+B+O – solo, basalto e obsidiana na dosagem de 5.000 kg/ha.

Os resultados obtidos revelam que depois, do segundo plantio, 10 meses após a aplicação do pó de rocha, a lixiviação/solubilização de nutrientes é bem superior aquela registrada no início do experimento. Isto se deve ao aumento da alteração dos minerais contidos no pó de rocha aplicado.

Os resultados da análise de fósforo total obtidos nos ensaios de lixiviação/solubilização mostram que todos os tratamentos com pó de rocha apresentam teores maiores que o solo puro, indicando uma remineralização do solo pelo pó de rocha. As dosagens de 5.000kg/ha apresentaram lixiviado/solubilizado com maiores concentrações do que as dosagens de 2.500kg/ha, com destaque para o tratamento S+B+P 5000 kg/ha. Deve ser destacado, ainda, o acréscimo na concentração das soluções do segundo ensaio em relação ao primeiro, mostrando que o tempo interfere significativamente na resposta da rochagem na fertilização de solos (Figura 54).

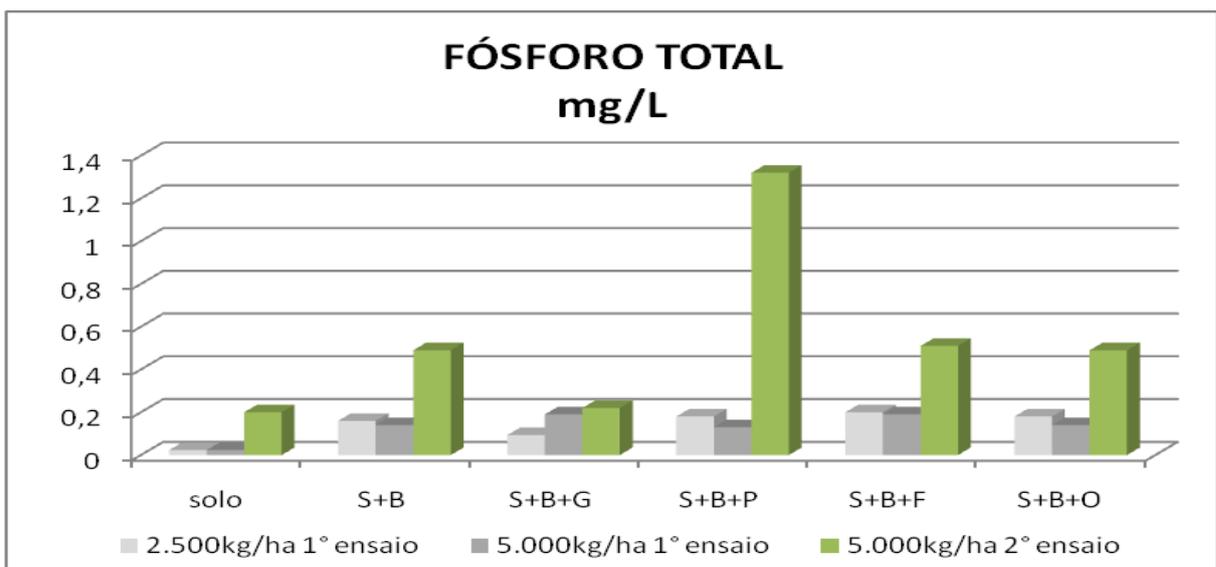


Figura 54. Representação do teor de fósforo total no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.

Os resultados da análise de potássio obtidos nos ensaios de lixiviação/solubilização mostram que todos os tratamentos com pó de rocha, exceto S+B+G, apresentam teores maiores que o solo puro, indicando uma remineralização do solo pelo pó de rocha. O tratamento S+B+P 5.000kg/ha do 2º ensaio se destaca com maior concentração. As dosagens de 5.000 kg/ha apresentaram lixiviado/solubilizado com maiores concentrações do que as dosagens de 2.500 kg/ha, com destaque os tratamentos S+B e S+B+P onde apresenta oscilação no

ensaios de dosagens 5.000kg/ha (Figura 55). Deve ser destacado, ainda, o acréscimo na concentração das soluções do 2º ensaio em relação ao 1º, mostrando que o tempo interfere significativamente na resposta da rochagem na fertilização de solos.

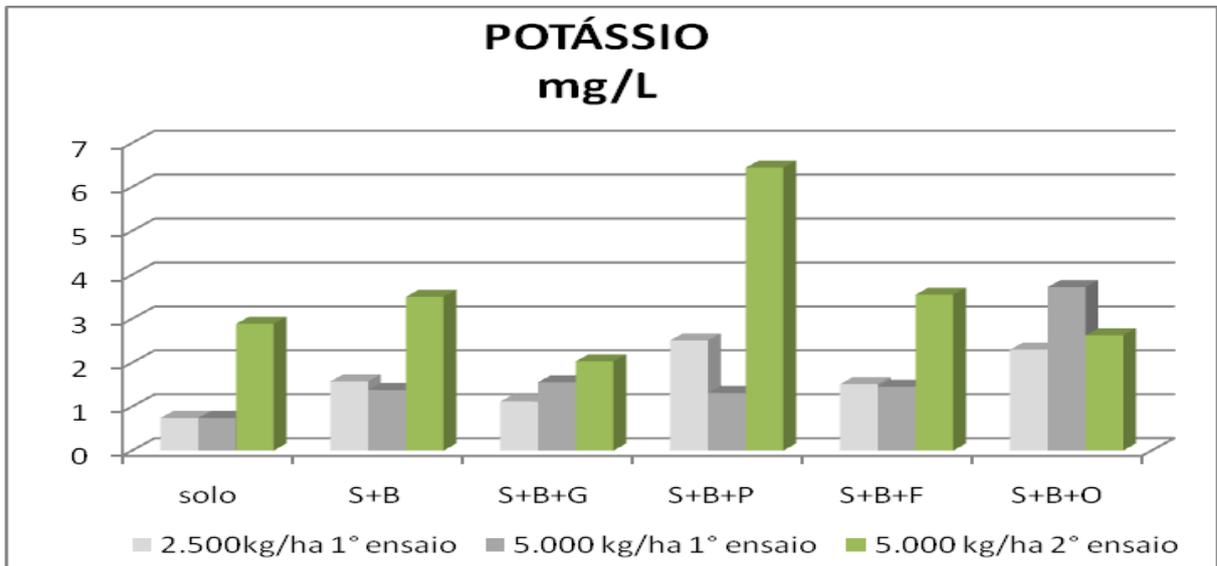


Figura 55. Representação do teor de potássio no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.

Os resultados da análise de cálcio obtidos nos ensaio de lixiviação/solubilização mostram que todos os tratamentos com pó de rocha, exceto o S+B+G, apresentam teores maiores que o solo puro, indicando uma remineralização do solo pelo pó de rocha. As dosagens de 5.000 kg/ha apresentaram lixiviado/solubilizado com maiores concentrações do que as dosagens de 2.500 kg/ha, com exceção os tratamentos S+B+G e S+B+O nos dois ensaios de dosagens 5.000kg/ha apresentaram concentrações menores (Figura 56). Deve ser destacado, também, o acréscimo na concentração das soluções do 2º ensaio em relação ao 1º ensaio, mostrando que o tempo interfere significativamente na resposta da rochagem na fertilização de solos.

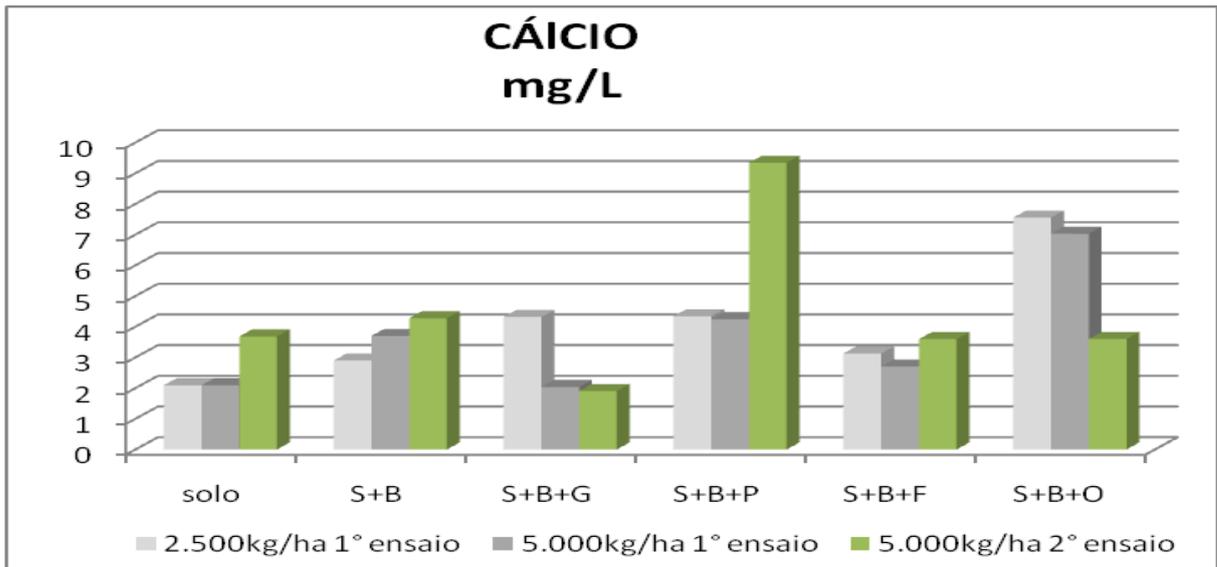


Figura 56. Representação do teor de cálcio no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.

Os resultados da análise de cobre obtidos nos ensaios de lixiviação/solubilização mostram que todos os tratamentos com pó de rocha apresentam teores maiores que o solo puro, indicando uma remineralização do solo pelo pó de rocha. As dosagens de 5.000 kg/ha apresentaram lixiviado/solubilizado com maiores concentrações do que as dosagens de 2.500 kg/ha, exceto nos tratamentos S+B e S+B+O nos dois ensaios de dosagens 5.000kg/ha apresentaram concentrações menores. O tratamento S+B+P 5.000kg/ha do 2º ensaio se destaca com maior concentração (Figura 57). Deve ser destacado, nos tratamentos S+B+P e S+B+F ocorrem acréscimo na concentração das soluções do 2º ensaio em relação ao 1º ensaio, mostrando que o tempo interfere significativamente na resposta da rochagem na fertilização de solos.

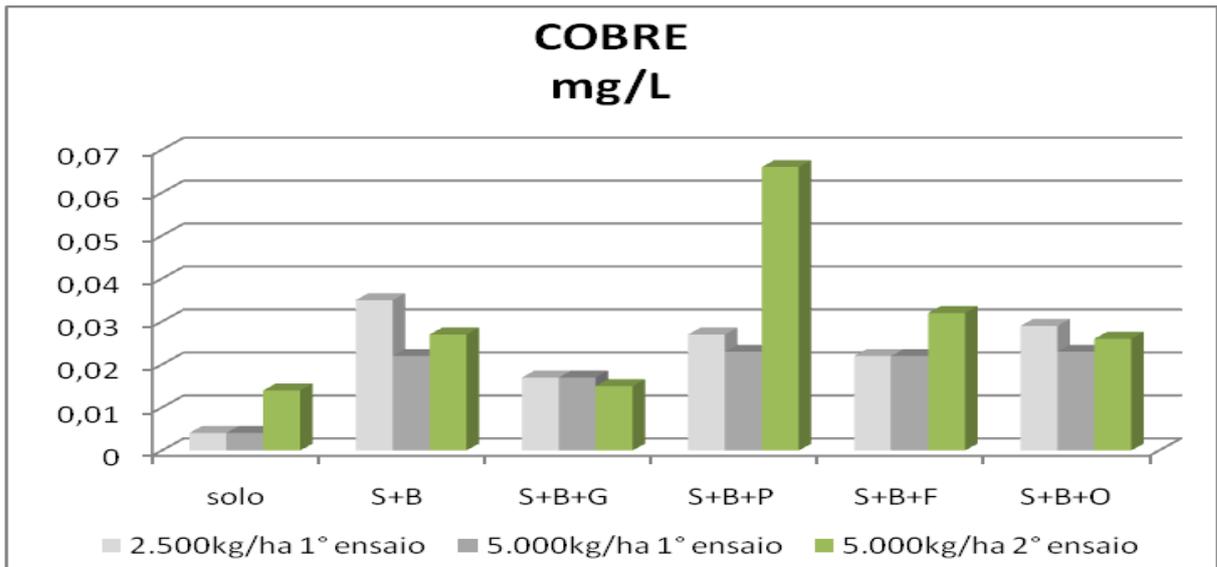


Figura 57. Representação do teor de cobre no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.

Os resultados da análise do zinco obtidos nos ensaios de lixiviação/solubilização mostram que todos os tratamentos com pó de rocha, exceto S+B+G, apresentam teores maiores que o solo puro, indicando uma remineralização do solo pelo pó de rocha. As dosagens de 5.000 kg/ha apresentaram lixiviado/solubilizado com maiores das concentrações do que as dosagens de 2.500 kg/ha, com destaque ao tratamento S+B+P. (Figura 58).

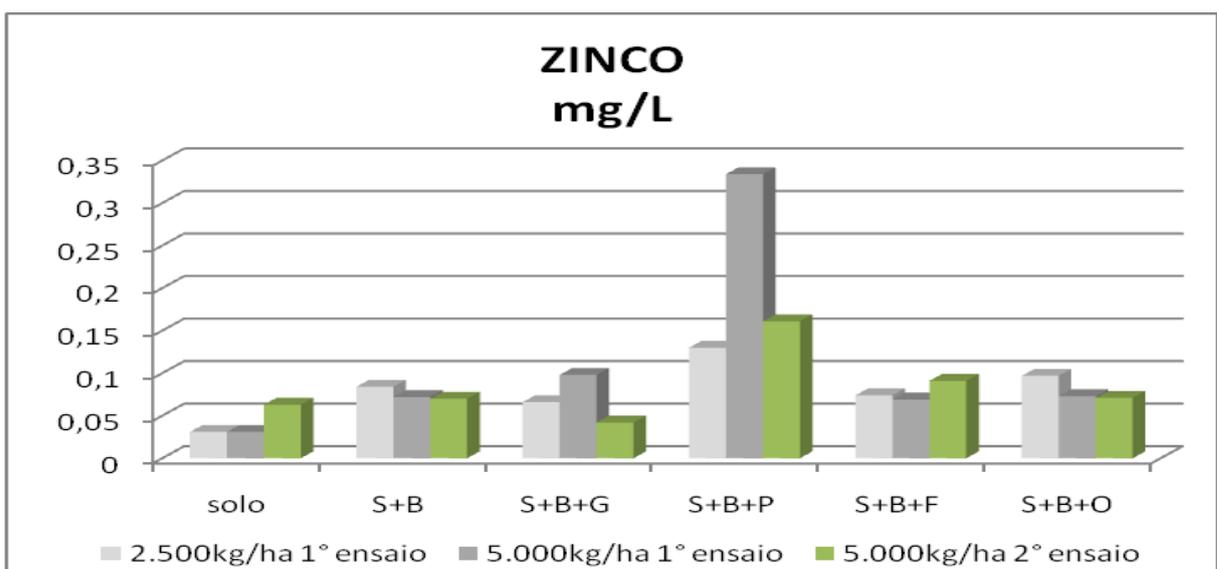


Figura 58. Representação do teor de cobre no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios feitos no experimento.

O pH relacionado com o 1º ensaio apresenta acréscimo nos tratamentos com pó de rocha em relação ao 2º ensaio, sendo que no 1º ensaio tem uma variação de 5,4 a 5,8 e no 2º ensaio 6,1 a 7,3.

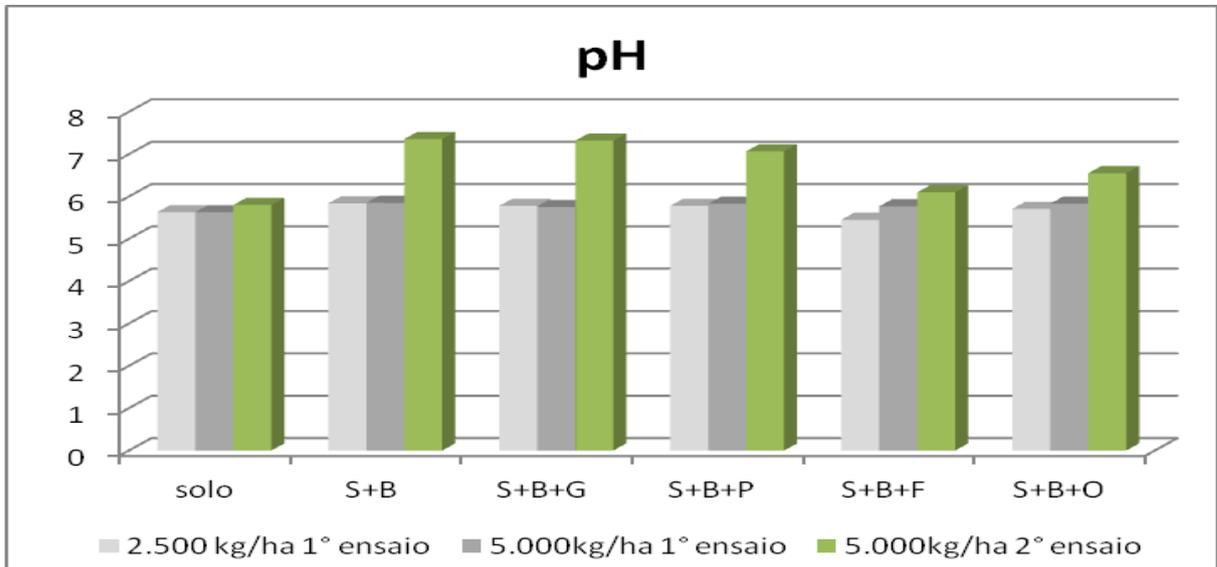


Figura 59. Valore de pH no lixiviado/solubilizado nas diferentes dosagens dos ensaios no experimento.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no estudo permitem concluir que:

- A técnica de rochagem aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo, conforme resultados dos ensaios de lixiviação/solubilização;
- A concentração de nutrientes na solução do solo aumenta ao longo do tempo após a aplicação do pó de rocha, sendo que o pó de rocha, ao contrario dos adubos solúveis, não é prontamente solubilizado e não sofre fortemente a lixiviação e com essas condições pode ser considerado um adubo agroecológico;
- Os ensaios com leguminosa mostraram que os tratamentos com S+B 5.000kg/ha, S+B+P 5.000kg/ha, S+B+O 2.500 kg/ha e S+B+O 5.000kg/ha apresentaram maior produtividade de massa verde e massa seca nos dois plantios em relação ao solo sem o adicional de pó de rocha. Comprovando que a aplicação de pó de rocha no solo aumenta a produtividade da cultivar;
- Os resultados da análise química da massa verde calcinada (cinzas) apontaram aumento dos parâmetros: cálcio no tratamento S+B 2.500kg/ha, S+B 5.000kg/ha e S+B+P 5.000kg/ha; magnésio no tratamento S+B+P 5.000 kg/ha; ferro no tratamento S+B+O 2.500 kg/ha; cobre no tratamento S+B+G 5.000 kg/ha e zinco nos tratamentos S+B+O 5.000 kg/ha e S+B+G 5.000 kg/ha relacionado ao solo puro Na maioria dos casos, a concentração dos parâmetros analisados é menor nos tratamentos com pó de rocha em relação ao solo puro. A redução observada na concentração dos parâmetros analisados é compensada pelo crescimento na concentração de outros parâmetros, os quais não foram analisados. Logo, a avaliação correta do comportamento da composição mineral de culturas produzidas com rochagem requer a análise de todos os macro e micronutrientes da planta.

- A aplicação do pó de rocha no solo altera a composição mineral da planta. Contudo, os parâmetros avaliados não permitem caracterizar precisamente todas as modificações;
- No ensaio de gramínea, todos os tratamentos com pó de rocha apresentaram massa verde e massa seca maiores que o solo puro. Deve ser destacado que no tratamento S+B+P 2.500kg/ha obteve-se a maior produtividade, onde a massa verde é 44,13% superior ao solo puro;
- A mineralogia da rocha é um fator de eficácia da rochagem, vide os resultados dos tratamentos S+B+G e S+B+O, fato que a obsidiana apresentou resultados superiores que o granito sendo que ambos têm a mesma composição química.
- Todas as rochas utilizadas neste estudo são encontradas no território gaúcho onde à disponibilidade da sua exploração como matéria-prima na técnica de rochagem;
- O basalto como o peridotito são rochas viáveis para a utilização da técnica de rochagem devido a sua produtividade e a sua composição mineralógica observadas nos ensaios.
- Os resultados obtidos indicam que a técnica de rochagem pode ser uma alternativa viável como uso de fertilizantes, apresentando vantagem econômica na dependência brasileira de importação de fontes externas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, J., Navarro Z. 1998. **Reconstruindo a agricultura**: idéias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável. Porto Alegre: UFRGS.
- Almeida, E.; Silva, F. J. P. Da; Ralisch, R. 2007. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. **Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 4, n.1, p.7-10.
- Amparo, A. 2003. Farinha de rocha e biomassa. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, n.20, p. 10-12.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. 1987. **Lixiviação de resíduos**: NBR 10005. Rio de Janeiro, 10p.
- Associação Brasileira de Normas e Técnicas. 1987. **Solubilização de resíduos**: NBR 10006. Rio de Janeiro, 2p.
- Bakey, E. B. 1967. **James Hutton – The founder of modern Geology**, New York, Elsevier.
- Blum, W. *et al.* 1989a. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. Chemischmineralogische Zusammensetzung und Eignung von Gesteinsmehlen als Düngemittel. **Zeitschrift Pflanzenernährung Bodenkunde**, v. 152, p.421-425,.
- Blum, W. *et al.* 1989b. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. Wirkung von Gesteinsmehlen als Bodenverbesserungsmittel. **Zeitschrift Pflanzenernährung Bodenkunde**, v. 152, p. 427-430,
- Bolland, M.D.A.; Baker, M.J. 2000. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.56, p.59-68.
- CPRM. 2005. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, RJ. 1 CD-ROM. Escala 1:750.000.
- Cunha, N. G. da; Silveira, R. J. C. da; Severo, C. R. S.; Soares, M. J.; Santos, C. N. dos; Fontoura Junior, E. R.; Silva, C. R. da, 1998. **Estudo dos Solos do Município de Pinheiro Machado**. Pelotas: Embrapa – CPACT, Ed. UFPel, 79p (EMBRAPA – CPACT. Documentos, 45/98).
- D'hotman de Vulliers, O. 1947. Sur des resultants d' etudes relatives à la rejuvenation de nos sols épuisés dès region humides par incorporation de poussière basaltique. **Revue Agricole de l'île de Maurice**, v.26, n.4.
- Erhart, J. 2009. Efeito do pó de basalto nas propriedades químicas do solo e nutrição da videira (*Carbnet sauvignon*), 71p. Dissertação (Mestrado), Centro de Ciências Agroveterinárias/ UDESC.

Escosteguy, P.A.V. & Klant, E. , 1998. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.11-20.

Evans, H. 1947. Investigations on the fertilizer value of crushed basaltic rock. In: Mauritius sugar cane research station, **Annual report**, v.18, 227p.

Frayha, R. 1950. **Rochas Potássicas do Planalto de Poços de Caldas**. Rio de Janeiro. Divisão Fomento Produção Mineral.

Frayha, R. 1952. Rochas Potássicas - possibilidades de Aproveitamento para a Indústria de Adubos. **Min. Metal**. Rio de Janeiro.

Formoso, M.L.L. 1980. **Técnicas Analíticas e Instrumentais aplicadas à Geologia**. In.: Congresso Brasileiro de Geologia, 31.1980. Camboriú, SC. SBG. V.4, 111p

Graham, E.R. 1941. Colloidal organic acids as factors in the weathering of anorthite. **Soil Science**, v.52, p.291-295.

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

Goedert, W.J. 1983. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. **Journal of Soil Science**, v.34, p.405-428

Hensel, J. **Pães de pedra**. Pesquisa e tradução: Landgraf, H.; Rivera, J.R.; Pinheiro, S. 2003. São Paulo, Salles Editora. Tradução de Brota us Steinen, durch mineralische Bündigung der Ferder.

Ilchenko, W. ; Guimarães, D. 1953. **O processo de decomposição das rochas alcalinas do planalto de Poços de Caldas**. Universidade Minas Gerais, Instituto de Pesquisa Radioativas.

Kavarleridze, W. C. 1978. **Nossos solos: formação, vida dinâmica, tratamento e conservação**. Curitiba.

Kern, M. L. ; Viero, A. P. ; Machado, G. 2008. The fluoride in the groundwater of Guarani Aquifer System: the origin associated with black shales of Paraná Basin. *Environmental Geology* (Berlin), v. 55, p. 1219-1233.

Kiehl, E. J. 2002. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do compost**. Piracicaba, E. J. Kiehl.

Keller, W. D. 1950. **The principles of chemical weathering**. Colombia, Lucas Bros.

Knapik, J. G. 2005. Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de *Mimosa scabrella* BENTH e *Prunus*

sellowii KOEHNE, 149p. Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias - UFP

Kronberg, B. I. Leonardos, O H. Fyfe, W.S. Mattoso, S. Q. & Santos, A. M. 1976. Alguns dados geoquímicos sobre solos do Brasil: Uso potencial do pó de pedra como fonte de nutrientes críticos em solos altamente lixiviados – com atenção à geoquímica de alguns solos da Amazônia. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 19. **Anais...**Ouro Preto: SBG, v. 1, p. 147-149.

Lacroix, A. 1922. Mineralogie de Madagascar. Tomei-Geologie, **Mineralogie Descriptive**: 1- 624:Tome *ii* Mineralogies Applique, Lithologie.

Leonardos, O H. Kronberg, B. I. & Fyfe, W.S. 1976. Rochagem: método de aumento de fertilidade em solos lixiviados e arenosos. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **Anais...**Ouro Preto: SBG, v. 1, p. 137-145.

Leonardos, O H.; Kronberg, B. I. & Fyfe, W.S. 1987. The use of ground rocks in laterite systems: na improvement to the use conventional soluble fertilizers. **Chemical Geology**, n. 60, p. 361-370.

Leonardos, O. H. Theodoro, S. C. H. & Assad, M. L. 2000. **Remineralization for sustentable agriculture**: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. Nutrient Cycling in agroecosystems – Formely Fertilizer Research, n. 56.

Luchese, E. B.; Favero, L. O. B.; Lenzi, E. 2002. **Fundamentos da química do solo, teoria e prática**. 2ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 182 p.

Maar, J. R. Justus Von Liebig, 1803-1873. 2006. Parte 1: vida, personalidade, pensamento. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n.5, p. 1129-1137.

Lima E Cunha, M.C. 2007. Métodos biológicos de prospecção mineral - biogeoquímica e geobotânica. Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não metálicos, óleo e gás. Rio Janeiro – SBGq/CPRM, p.333-344.

Malavolta, E. 1989. **ABC da Adubação**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda., 292 p.

Martinez, H. E. P. 2004. Distúrbios nutricionais em hortaliças cultivadas em substratos com baixa atividade química. In: **BARBOSA, J.G, et al**. Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato: palestras realizadas e resumos apresentados no IV ENSUB - Encontro Nacional sobre Substrato para Plantas, 4., Viçosa, p. 129-157.

Melamed, R.; Gaspar, J.C.; Mierkeley, N. 2007. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, v. 72.

Melamed, R.; Gaspar, J. C. **Eficiência de pó de rocha na bio-disponibilidade de potássio em sistemas de produção agrícola sustentáveis (2005)**. In: ENTMME, 21., 2005, Natal, RN. **Anais...**Natal, RN: [s.n.], 2005. v. 2. p. 546-552. Disponível em:

<<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-123-00>.
HYPERLINK"<<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/%20CT2005-123-00.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2008.

Moraes, V. *Pó de rocha será nova fonte de potássio para agricultura (2004)*. Disponível em:< <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2004/novembro/bn.2004-12-10.8734344609>>. Acesso em: 30 jul. 2008.

Motta, A. C. V.; Feiden, A. 1992/3. Avaliação do P em LE submetido a diferentes doses de basalto. **Agrárias**, Curitiba, v. 12, n. 1/2, p. 47-54.

Nardi, L. V. S.; Frantz, J. C. 1995. The Cordilheira Intrusive Suite: Late-precambrian peraluminous granitoids from south Brazil.. JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES, Great Britain, v. 8, n. 1, p. 55-63.

Pinheiro, S. 2003. A exumação do cadáver no armário. In: Rochagem-I: adubação com rochas silicatadas moídas. **Revista Agroecologia Hoje**, n.20.

Pinheiro, S.; Barreto, S. B. 1996. **"MB-4": agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes**. Porto Alegre, Fundação Junqueira Candiru.

Philipp, R. P. ; Machado, R. , 2005 . The Neoproterozoic to Cambrian granitic magmatism of Pelotas Batholith, Southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, Londres, v. 19, p. 461-478.

Phillip, R. P. ; Viero, A. P. ; Chomin-Chiaramonti, P. ; Gomes, C. B. 2005. Mesozoic Alkaline Rocks of Rio Grande do Sul. In: Comin-Chiaramonti, P. and Barros Gomes, C. (Org.). Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Plataform. São Paulo, v. , p. 573-590.

Primavesi, A. 1990. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo, 549 p.

Osterroht, M. V. 2003. Rochagem Para Quê? Revista Agroecologia Hoje, Botucatu, nº 20, p. 12-15. Ago/set 2003.

Rego, I. T. S. F. ; Viero, A. P. ; Chies, J. O. 1994. Aspectos petrológicos do Gabro Mata Grande.. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camboriú.. Boletim de Resumos Expandidos, v. 3,p. 12-14.

Sanches, P. A.; Salinas, J. G. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**, v.34, p.279-406.

Schmok, A. A. **Dynamics of Nutrients in Soil**. Moscow (in Russian), 1950.

Tilman, D. et al. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v.418,p.671-677.

Theodoro, S. C. H. 1983. **A fertilização da terra pela terra**: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. Brasília/DF, 2000. 225 f. Tese (Doutorado) -Universidade de Brasília - Centro de Desenvolvimento Sustentável.

Viero, A.P. 1998. Petrologia e geoquímica do magmatismo máfico alcalino no Rio Grande do Sul. f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul .

von Fragstein, P.; Pertl, W. & Vogtmann, H. 1988. Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 151, p. 141-146.

Vose, P.B. Rationale of selection for specific nutritional characters in crop improvement with *Phaseolus vulgaris* L. as a case of study. **Plant and Soil**, v.72, p.351-364, 1983.