



**FRANCIELLE DA SILVA NIEWINSKI**

**DO PÓ DE ROCHA À FERTILIDADE: UMA EXPERIÊNCIA NOS SOLOS DE  
MONTENEGRO/RS**

Porto Alegre

2017

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitor:** Jane Fraga Tutikian

## INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Niewinski, Francielle Da Silva

Do pó de rocha à fertilidade: uma experiência nos solos de Montenegro/RS. / Francielle Da Silva Niewinski. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.  
[75 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientador(es): Maria Lidia Medeiros Vignol-Lelarge  
Teresinha Guerra

1. Rochagem. 2. Fertilidade 3. Pó de rocha. 4. Solo. I. Título.

CDU 551

---

Catlogação na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

**FRANCIELLE DA SILVA NIEWINSKI**

**DO PÓ DE ROCHA À FERTILIDADE: UMA EXPERIÊNCIA NOS SOLOS DE  
MONTENEGRO/RS**

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 Bacharelado em Geologia.

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Lidia Medeiros Vignol-Lelarge

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Teresinha Guerra

**Supervisor:** Prof. Dr. Alberto Vasconcellos Inda Junior

Porto Alegre

2017

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**DO PÓ DE ROCHA À FERTILIDADE: UMA EXPERIÊNCIA NOS SOLOS DE MONTENEGRO/RS**”, elaborado por **FRANCIELLE DA SILVA NIEWINSKI**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia

**Comissão Examinadora:**

---

**Profa. Dr<sup>a</sup>. Cassiana Roberta Lizzoni Michelin**

---

**Prof. Dr. Clovis Gonzatti**

---

**Prof. Dr. Noberto Dani**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Hélio e Ana, por todo amor incondicional, dedicação e apoio para que eu atingisse meus objetivos. A vocês, todo meu amor!

À minha irmã, Daniele, que me presenteou por sua existência e por todo companheirismo e amizade que temos. Te amo!

À Maria Lidia Vignol-Lelarge, por ser a melhor orientadora que eu podia ter. Nos últimos cinco anos tu foste minha bússola de conhecimento, que contribuiu para minha evolução acadêmica. Obrigada por toda compreensão, dedicação e por sempre acreditar no meu potencial, mesmo quando eu não acreditava. Merci mille fois!

Ao Alberto Vasconcellos Inda, pela paciência de compartilhar, com uma quase geóloga, sua sabedoria em uma ciência tão vasta que é a agronomia. Muito obrigada!

À Teresinha Guerra pelas ideias para construir este trabalho. Obrigada!

Aos amigos que a geologia me trouxe: Dioni, Redivo, Janio, Kathê, Mury, Gabo, Vinícius. Ju Jobs e Milena, pelas conversas, cantorias e por compartilharem esses últimos anos comigo, sejam em momentos de alegrias ou de dificuldade. Ao Luciano Cardone e Augusta Oliveira, que nunca mediram esforços para me ajudar e que sempre confiaram na minha capacidade. Muito obrigada a todos, vocês foram essenciais nessa jornada. Amo vocês!

A todos os amigos que fiz no Colégio Militar, em especial ao Douglas Euzebio, meu fiel escudeiro e João Henrique Aguiar, meu ombro amigo. Obrigada por toda parceria e por essa amizade que atravessa o tempo. Amo vocês!

Aos amigos que de geologia nada entendem, mas que muito me conhecem, Athos e “Galego”. Obrigada pela irmandade ao longo desses anos. Amo vocês!

Aos amigos da Secretária do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Venícius, Daniela, Luíz Felipe, Marina, Ellen “Beneduzza” e Rejane, pelo coleguismo, apoio e por toda compreensão nos momentos finais do TCC. Vocês deixaram meus dias ainda mais alegres e tornaram o estágio uma experiência maravilhosa. Um agradecimento especial à minha chefe, Rejane Beatriz de Abreu e Silva, pela confiança e oportunidade que me foi dada de colocar em prática o meu conhecimento. Muito obrigada!

Aos guris da rochagem, Max Albers e João Ilha, pelas rodas de conversas sobre a rochagem. Muito obrigada!

Ao Luís Laux e Albari Pedroso, que disponibilizaram a sua propriedade e tempo para realização das coletas das amostras. Muito obrigada pela colaboração.

A todos que contribuíram, de alguma forma, para que este trabalho fosse possível, minha eterna gratidão.

*“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.”*

*(João Guimarães Rosa, em Grande Sertão: Veredas)*

## RESUMO

A agricultura e a mineração podem ser consideradas como grandes setores produtivos de base da economia brasileira. Entretanto, esses setores produtivos modificam e impactam profundamente o ambiente. Por um lado, a agricultura pelo uso excessivo de insumos, água e pelas práticas de manejo do solo, que nem sempre são adequadas. Por outro, a mineração, pela geração de rejeitos que são alocados de forma aleatória nas áreas de exploração provocando assoreamento dos cursos d'água, dispersão de rejeitos e formação de drenagens ácidas, além de desperdício de matéria-prima. Uma tecnologia já utilizada há anos traz soluções a estes problemas citados: a rochagem. O objetivo principal deste trabalho é verificar se a fertilização do solo de uma das propriedades de citricultores de Montenegro/RS aumentou com a aplicação da tecnologia da rochagem. Para isso foi selecionado uma área piloto na qual foi aplicado, há 4 anos, pó de rocha, com objetivo de remineralizar solos utilizados com citricultura. A caracterização do solo foi efetuada através de análises petrográficas da rocha, de difração de raios X, fluorescência de raios X e análises de fertilidade do solo. Os resultados mostram que a adição do pó de rocha no solo ocasionou diferenças na composição mineralógica e química elementar, quando comparado com o solo sem aplicação do pó de rocha. Os dados produzidos no presente trabalho apontam para uma tendência de aumento da fertilidade quando há aplicação do pó de rocha no solo.

**Palavras-chaves:** Rochagem. Fertilidade. Solos.



## **ABSTRACT**

Agriculture and mining are considered to be large productive sectors of the Brazilian economy. Nonetheless, these activities profoundly modify and affect the environment. Agriculture does so via the excessive utilization of chemicals and water and soil management practices that are not always appropriate. On the other hand, mining generates waste products, which are randomly allocated in the exploration area, causing silting of water bodies, waste dispersion and acid drainage, beside waste of raw materials. Rock dust is a technology that has been applied for years in order to address the abovementioned issues. The main objective of this study lies in verifying whether the soil fertility of a citriculture farm in Montenegro/RS increased with the application of this technology. An area of the property was specially selected four years ago for the application of rock dust, aiming to remineralize soils utilized for citriculture. Soil samples were characterized via petrographic analysis, X-ray diffraction, X-ray fluorescence and fertility analyses. Our results show that the application of rock dust resulted in different mineralogical and chemical compositions when compared to the soil that was not disturbed. Data produced in this study point towards a tendency to increasing fertility when rock dust was applied to the soil.

**Keywords:** Rock Dust. Agriculture. Fertility.

## RESUMÉ

L'agriculture et l'exploitation minière peuvent être considérées comme les grands secteurs productifs de la base de l'économie brésilienne. Toutefois, ces secteurs productifs modifient et impactent profondément l'environnement. D'une part, l'agriculture par l'utilisation excessive de fertilisants, d'eau et par les méthodes de gestion du sol qui ne sont pas toujours adéquates. D'autre part, l'exploitation minière, par la production de résidus miniers qui sont déposés de forme aléatoire dans les zones d'exploitation, ce qui conduit à l'envasement des cours d'eau, à la dispersion des résidus et à la formation de drenages acides, sans compter le gaspillage de matières premières. Une technologie, déjà utilisée il y a plusieurs années, apporte des solutions aux problèmes ci-dessus cités: l'application de poudre de roche. Le principal objectif de ce travail est de vérifier si la fertilisation du sol d'une des propriétés de citriculteurs de Montenegro/RS a augmenté avec l'utilisation de la technologie de la poudre de roche. Pour cela une zone pilote a été sélectionnée dans laquelle la poudre de roche a été appliquée pendant 4 ans, avec l'objectif de reminéraliser le sol utilisé en citriculture. La caractérisation du sol a été effectuée par des analyses pétrographiques, de diffraction de rayons X, Fluorescence de Rayons X et de fertilité de sols. Les résultats montrent que l'addition de la poudre de roche au sol a provoqué des différences dans la composition minéralogique et chimique élémentaire lorsque l'on compare avec le sol sans cette application. Les données produites dans ce travail indiquent une tendance à l'augmentation de la fertilité lors de l'application de la poudre de roche dans le sol.

**Mot-clé:** Poudre de Roche. Agriculture. Fertilité

## LISTA DE FIGURAS

Mapa 1. Localização do Município de Montenegro com detalhes das vias de acesso à região dos pontos amostrados.....	22
Mapa 2. Mapa Geológico da área estuda com os pontos de coleta de amostras. ....	23
Figura 1. Os maiores consumidores mundiais de NPK em 2012. ....	27
Figura 2. Ponto de coleta da amostra de rocha na Pedreira Alfama. Amostra do Basalto da Fácies Gramado. ....	34
Figura 3. Central de Britagem Itaúna da Pedreira Alfama no Município de Montenegro. ....	34
Figura 4. Ponto de coleta do rejeito oriundo da britagem do Basalto na Pedreira Alfama. ....	34
Figura 5. Área de coleta do solo com o plantio de cítricos. ....	35
Figura 6. Croqui da coleta das amostras de solo SSR e SCR em uma área de 144m <sup>2</sup> . ....	36
Figura 7. Coleta de solo com o trado holandês. Retira-se o excesso de amostra coletada pelo trado, antes do armazenamento da mesma .....	37
Figura 8. Perfil do solo Argissolo Vermelho Distrófico arênico/espessoarênico, substrato Arenito Botucatu e Formação Serra Geral, mostrando o horizonte A e horizonte Bt.....	38
Figura 9. Microfotografia com textura fanerítica fina com fenocristais de plagioclásio e opacos no basalto. Objetiva de 2,5 X à nicóis paralelos (A) e cruzados (B).....	43
Figura 10. Microfotografia da lâmina B1 mostrando um material de baixa cristalinidade de coloração castanha à nicóis paralelos (A). Observa-se à nicóis cruzados (B) o material de baixa cristalinidade preenchendo os interstícios. Nota-se também os opacos. Objetiva de 10X.....	44
Figura 11. Microfotografia mostrando esmectita preenchendo os interstícios em nicóis paralelos (A) e cruzados (B) na lâmina B1, com objetiva de 4X. ....	44

Figura 12. Microfografia mostrando a textura subofítica com plagioclásio subédrico à nicóis paralelos (A) e cruzados (B), na objetiva de 4X na lâmina B1. ....	45
Figura 13. Fotomicrografia mostrando a zonação do plagioclásio de textura glomeroporfírica à nicóis paralelos (A) e cruzados (B) na lâmina B1. Objetiva 10X. ....	45
Figura 14. Difratoograma de raios-X do pó de rocha retirado da Pedreira Alfama. O eixo x representa $2\theta$ e o y representa a intensidade dos reflexos. ....	46
Figura 15. Difratoograma de raios-X da fração argila ( $<2\mu\text{m}$ ) do pó de rocha da Pedreira Alfama. O eixo x representa o ângulo $2\theta$ e o eixo y representa a intensidade dos reflexos. ....	47
Figura 16. Difratoogramas de raios-X de solo total de amostras compostas. O eixo x representa o $2\theta$ e o y representa a intensidade dos reflexos. Os difratogramas foram sobrepostos para melhor visualização das mudanças de fases minerais ao longo da coleta (0-40cm) ....	50
Figura 17. Comparação da composição mineralógica do solo na profundidade de 0-20cm, entre as amostras SSR e SCR e o pó do basalto. Observa-se que na amostra SSR não há calcita, enquanto que nas amostras SCR e pó de basalto estes minerais são presentes. ....	58
Figura 18. Sequência de alteração mineral. ....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados dos elementos maiores (em % em peso de óxidos) na amostra de basalto extraído da pedreira Alfama. ....	47
Tabela 2. Resultados dos elementos traços (em ppm) na amostra de basalto extraído da pedreira Alfama. ....	48
Tabela 3. Comparação dos valores das fácies de baixo TiO <sub>2</sub> da FSG determinadas por Peate (1990) com a amostra do Basalto da Pedreira Alfama. ....	48
Tabela 4. Resultados dos elementos maiores (em % em peso de óxidos) das amostras do solo sem aplicação do pó de rocha(SSR) e com aplicação (SCR) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. ....	51
Tabela 5. Diferença entre os teores de elementos maiores das amostras de solo com aplicação de pó de rocha SCR e sem aplicação SSR para as duas profundidades de coleta. ....	52
Tabela 6. Resultados dos elementos traços (em ppm) das amostras do solo com e sem aplicação do pó de rocha em profundidades de 0-20 e 20-40 cm. ....	53
Tabela 7. Diferença entre os teores de elementos traços das amostras de solo com aplicação de pó de rocha SCR e sem aplicação SSR para as duas profundidades de coleta. ....	54
Tabela 8. Resultados obtidos pelas análises de Matéria Orgânica (MO), Argila e pH em água com seus desvios padrões. ....	55
Tabela 9. Resultados do Complexo Sortivo (CTC) com seus desvios padrões. (1) Acidez Potencial; (2) Percentagem de Saturação de Bases em relação ao total de cátions no complexo; (3) Percentagem de Saturação por Alumínio. ....	56
Tabela 10. Mobilidade relativa de alguns íons em solução nas águas de drenagem. ....	60
Tabela 11. Resultados das análises químicas das amostras e valores de referência de qualidade estabelecidos pela FEPAM, valores de prevenção e usos do solo segundo Resolução CONAMA N°420. ....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

MOS – Matéria Orgânica do Solo

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

SSR – Solo sem Rocha

SCR – Solo com Rocha

DRX – Difractometria de raios X

FRX – Fluorescência de raios X

TFSA – Fração Terra Fina Seca ao Ar

CPGq - Laboratório de Microsonda Eletrônica do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica

ppm – Partes por Milhão

ASE – Área Superficial Específica

H+Al – Acidez Ativa

V - Percentagem de Saturação de Bases em relação ao total de cátions no complexo

m - Percentagem de Saturação por Alumínio

VRQ – Valores de Referência de Qualidade

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\varnothing$  - Diâmetro

$\lambda$  - Comprimento de Onda

$\theta$  - Ângulo de Incidência dos raios x

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
1.1. Caracterização do Problema e Hipóteses.....	18
1.2. Objetivos e Metas .....	19
1.3. Justificativa.....	20
1.4. Localização da Área de Estudo .....	21
1.4.1.Contexto geológico.....	24
<b>2. ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>27</b>
2.1. Agricultura no Brasil e sua Necessidade por Fertilizantes .....	27
2.2. Rochagem .....	28
2.3. Implicações e consequências do uso da Rochagem.....	29
2.4. Histórico da Evolução de Projetos de Adubação e Calagem no Rio Grande Do Sul.....	30
2.5. Estudos de Rochagem no Rio Grande do Sul.....	31
2.6. Solos .....	31
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1. Coletas da rocha e do pó de rocha .....	33
3.2. Coleta de Solo.....	35
3.3. Procedimentos e técnicas .....	38
3.3.1. Análise petrográfica.....	39
3.3.2. Análises mineralógicas por difratometria de raios x (DRX) .....	39
3.3.3. Análises químicas por fluorescência de raios x (FRX) .....	40
3.3.4. Análise do solo associado ao pó de rocha por análises de rotina .....	41



<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>43</b>
4.1. Rocha .....	43
4.1.1. Caracterização Petrográfica e mineralógica da rocha fresca .....	43
4.1.2. Caracterização mineralógica por DRX do pó de rocha .....	46
4.1.3. Caracterização química de elementos maiores e traços do pó de rocha por FRX.....	47
4.2. Solo .....	48
4.2.1. Caracterização mineralógica do Solo por DRX.....	49
4.2.2. Caracterização química no solo por FRX.....	51
4.2.3. Análise do solo associado ao pó de rocha por análises de fertilidade convencionais ....	55
<b>5. DISCUSSÕES</b> .....	<b>57</b>
5.1. Comparação mineralógica do solo com e sem adição do pó de rocha .....	57
5.2. Comparação química do solo com o pó de rocha.....	59
5.3. Fertilidade do solo com pó de rocha.....	61
5.4. Qualidade dos solos .....	62
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>65</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>66</b>
<b>Apêndice A – Difractogramas</b> .....	<b>73</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Sabe-se que o agronegócio, caracterizado por um conjunto de diversas práticas ligadas a agricultura e a pecuária, é um dos pilares da economia brasileira. Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), 23% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional deve-se ao agronegócio.

Os solos brasileiros, alicerce para o progresso do agronegócio, são ácidos e de forma geral, de baixa fertilidade e requerem um manejo correto para sua fertilização. Inclusive os solos mais férteis, após intensa exploração agrícola, necessitam de uma adubação para repor os nutrientes fundamentais para os vegetais, papel atribuído aos fertilizantes químicos e orgânicos. Entretanto, o agronegócio brasileiro é dependente de 75% de fertilizantes importados, os quais tiveram um aumento de 8,6% no período de janeiro a outubro deste ano em comparação ao mesmo período de 2016, conforme a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2017)

Uma alternativa para aumentar a fertilidade dos solos seria a aplicação de novas tecnologias, tal como a rochagem, de baixo custo e mais sustentável. Está alternativa, já utilizada por pequenos agricultores, ocasiona uma via de mão dupla: descarta corretamente os rejeitos da mineração e oferece a fertilização de solos agrícolas (THEODORO et al., 2006).

### **1.1. Caracterização do Problema e Hipóteses**

O uso de rochas moídas como fontes de agrominerais com fins de fertilização do solo é conhecido como rochagem. E agrominerais é o termo aplicado para descrever matérias-primas de origem mineral, como resíduos de mineração, garimpo e metalurgia, passíveis de serem utilizados na agropecuária com efeitos benéficos em solos empobrecidos, degradados pelo uso inadequado e para fertilização dos mesmos.

A rochagem, apesar de parecer novidade, já é praticada há vários anos, tendo como exemplos as práticas agrícolas da calagem e fosfatagem (MEERT et al., 2009). Essa prática de fertilização também pode ser compreendida como uma espécie de banco de nutrientes de baixa dissolução, ao qual as plantas recorrem à medida que seu desenvolvimento o exija (THEODORO; LEONARDOS; ALMEIDA, 2010).

São necessários mais estudos sobre quais materiais são mais promissores e quais métodos são mais adequados para a aplicação do pó de rocha em função das culturas, dos tipos de solos, características climáticas, dosagem e granulometria ideal para que se possa aumentar a solubilidade destes materiais. O Brasil tem grande potencial para este fim e, especificamente, o Rio Grande do Sul, que tem já um histórico na aplicação da calagem. Entretanto, o País ainda utiliza extensivamente as fontes convencionais de fertilizantes.

Em Montenegro, região de citricultores do estado do Rio Grande do Sul, os pequenos agricultores, organizados em cooperativas, têm historicamente utilizado o pó de rocha como forma de fertilização dos solos altamente intemperizados da região. A escolha se deve por um lado ao baixo custo, pois os fertilizantes convencionais são onerosos, e por outro lado, por razões culturais.

Nesta monografia têm-se como hipótese de trabalho que a adição de pó de rocha aos solos da região de Montenegro (RS) tenha aumentado a reserva nutricional da fase sólida e os teores de cátions básicos no complexo de troca dos solos.

## **1.2. Objetivos e Metas**

O objetivo principal deste trabalho é verificar se a fertilização do solo de uma das propriedades de citricultores de Montenegro (em associação com a cooperativa ECOCITRUS) aumentou com a aplicação da tecnologia da rochagem. Para isso foi selecionada uma área piloto na qual foi aplicado, há 4 anos, pó de rocha, com objetivo de remineralizar solos utilizados com citricultura.

Para atingir o objetivo principal, várias metas foram definidas após as caracterizações da rocha-mãe não alterada da região e uma das principais componentes de formação dos solos locais; da farinha de rocha utilizada para a fertilização; do composto orgânico ali aplicado; e dos solos presentes na área de estudo.

Essas metas estão abaixo especificadas:

1. Caracterização petrográfica e mineralógica da rocha fresca;
2. Caracterização mineralógica por difratometria de raios-x do pó de rocha e do solo;
3. Caracterização química por fluorescência de raios-x de elementos maiores e traços do pó de rocha e do solo;
4. Caracterização e classificação do solo;

5. O estudo da fertilidade do solo foi efetuado com o auxílio das seguintes análises:
  - 5.1 Determinação do pH em água;
  - 5.2 Determinação da capacidade de troca de cátions (CTC);
  - 5.3 Determinação do teor de matéria orgânica do solo (MOS);
  - 5.4. Determinação do teor de argila.

### **1.3. Justificativa**

O emprego da rochagem, devido a menor solubilidade dos minerais que compõem as rochas, diminui os riscos de contaminação do solo e água pelo excesso de aplicação, em comparação às formulações de NPK, na qual o nitrogênio e o potássio não absorvidos pelas plantas acabam sendo lixiviados pelos sistemas hídricos. O nitrogênio é liberado, também, na forma de óxido nitroso, contribuindo para a formação do efeito estufa. Além disso, é importante salientar que o uso do pó de rocha possibilita uma grande variedade de micronutrientes, de diversas composições químicas, que geram impactos positivos para a qualidade nutricional dos alimentos (THEODORO; LEONARDOS; ALMEIDA, 2010). Entretanto é necessário que seja feita uma análise química do pó de rocha, e que se tenha conhecimento de como o pó vai reagir em cada tipo de solo, só assim a sua aplicação será eficaz e sustentável.

O Brasil tem uma grande quantidade de minerações e pedreiras, onde se acumulam os rejeitos. As pilhas de rejeito são um fator de degradação ambiental, em decorrência de seu descarte desordenado e descontrolado em encostas e drenagens. Desse modo, a utilização do pó de rocha contribui para assegurar o destino correto ao rejeito e desocupar áreas de acumulação para outras atividades.

Outra vantagem é o fator econômico, pois quando comparados com os fertilizantes convencionais, os custos de aquisição do pó de rocha são muito menores, até porque seu efeito pode se estender por vários anos devido à lenta dissolução dos minerais e disponibilização dos nutrientes. Para os pequenos agricultores, a rochagem representa uma redução dos custos de produção no campo, visto que estes não têm acesso aos grandes pacotes tecnológicos (THEODORO et al., 2013).

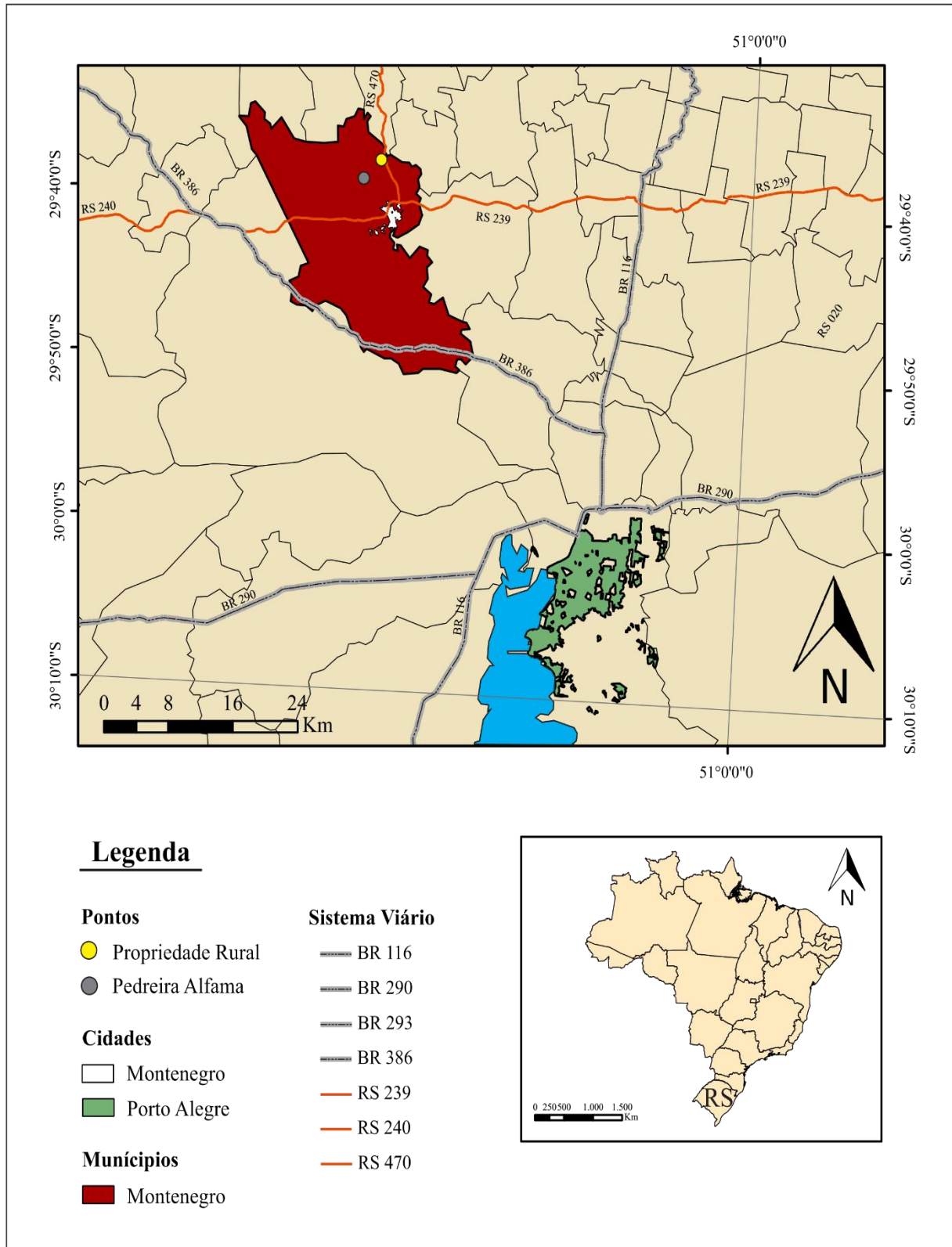
Considerando os argumentos acima apresentados, em que a técnica da rochagem reduz os riscos de contaminação de solos e mananciais, que o Brasil apresenta grande abundância de

matéria prima e o fato do pó de rocha ser economicamente mais barato e viável, a realização do presente projeto é totalmente justificável por constituir uma contribuição ao entendimento do processo de fertilização dos solos a partir de do uso do pó de rocha, conhecer as rotas dos elementos químicos desde a sua solubilização até sua disponibilidade para as plantas.

#### **1.4. Localização da Área de Estudo**

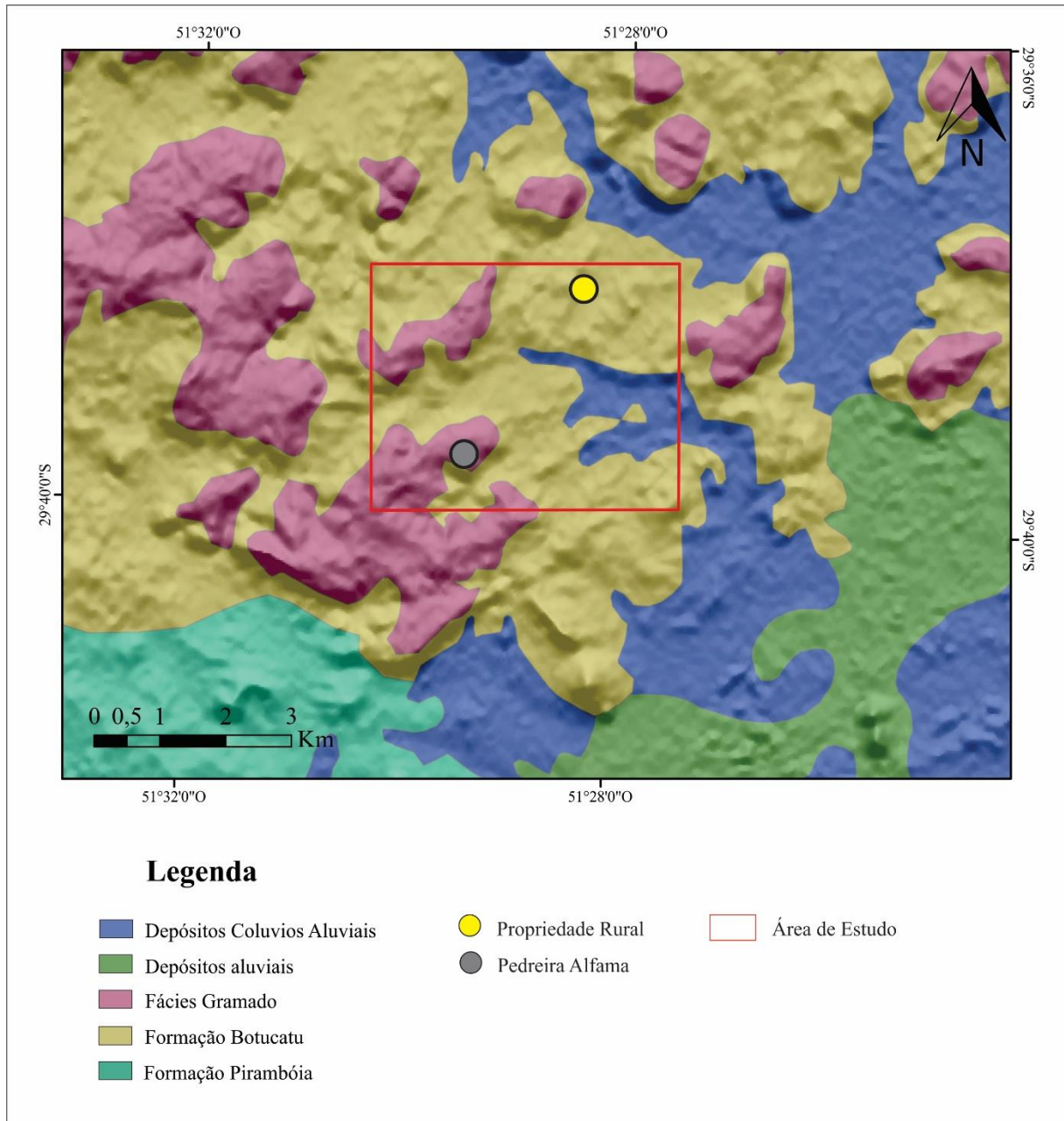
A área estudada localiza-se ao Nordeste do estado do Rio Grande do Sul, no município de Montenegro, à 61 km de Porto Alegre (Mapa 1). No mapa 1 são indicados os pontos de coleta de solo (em amarelo) na propriedade do Sr. Laux e coleta de rocha (em cinza) na Pedreira Alfama. No mapa geológico observa-se que a coleta do solo está efetuada na Formação Botucatu e que a rocha coletada está inserida na Fácies Gramado da Formação Serra Geral (Mapa 2).

Mapa 1. Localização do Município de Montenegro com detalhes das vias de acesso à região dos pontos amostrados.



Fonte: Autora.

Mapa 2. Mapa Geológico da área estudada com os pontos de coleta de amostras.



Fonte: CPRM, 2010. Modificado.

### ***1.4.1. Contexto geológico***

A Bacia do Paraná localiza-se na metade Centro-Leste da América do Sul, cobrindo uma área de aproximadamente  $1,6 \times 10^6$  km<sup>2</sup>. Almeida (1981) dividiu a evolução da Bacia em 4 estágios: os dois primeiros estágios incluem a deposição sedimentar em uma bacia subsidente sinforme, caracterizada por ciclos tectônico-sedimentares completos. O terceiro e o quarto estágios incluem antifforme, a reativação Wealdeniana (ALMEIDA, 1966), que posteriormente culminou na ruptura do megacontinente Gondwana. Neste capítulo vamos abordar as Formações Botucatu e Formação Serra Geral, sobrepostas na Bacia do Paraná.

#### ***1.4.1.1. Formação Botucatu***

A Formação Botucatu na Bacia do Paraná, compreende uma área com cerca de 1.300.00 km<sup>2</sup>, com ocorrências no Brasil, Paraguai, Uruguai e África. Conforme Almeida (1954), a idade desta formação é Juro-Cretácea. O contato em sua porção superior é dado pela Formação Serra Geral e no seu contato inferior por uma superfície erosiva. A Formação Botucatu é constituída basicamente por arenitos eólicos de granulação bimodal, de espessura variável depositados em clima desértico (ASSINE; PIRANHA; CARNEIRO, 2004). Exibem uma coloração creme a avermelhado, compostos por quartzo e, em menor proporção, por feldspato e opacos. Sua estratificação é cruzada, planar ou acanalada (SOARES, A. P.; SOARES, P. C.; HOLZ, 2008).

#### ***1.4.1.2. Formação Serra Geral***

A ruptura do Gondwana gerou uma atividade vulcânica associada a uma tectônica extensional (COX, 1980), que se iniciou a cerca de 130 milhões de anos, segundo dados de traços de fissão (GALLAGHER et al., 1994). Esta atividade vulcânica formou um magmatismo de rochas vulcânicas do tipo platô de grande expressividade no mundo, e conforme Melfi, Piccirillo & Nardy (1988), essas rochas recobrem  $1,2 \times 10^6$  km<sup>2</sup> da Bacia do Paraná. A Formação



Serra Geral estende-se pela região Centro-Sul do Brasil, e ainda abrange parte da Argentina, Uruguai e Paraguai.

A predominância na base é de derrames de composição básica, formada por basaltos e basaltos-andesíticos de afinidade toleítica, enquanto no topo a tendência dos derrames é de evoluírem para composições mais ácidas, compostos de riolitos e riodacitos. A textura das rochas desta Formação é predominantemente afírica e sub-afírica. Sua mineralogia é composta por fenocristais (0,5 – 2 mm) de plagioclásio ( $An_{83-50}$ ), augita, pigeonita, titanomagnetita e raramente olivina. Em sua matriz encontra-se plagioclásio, augita, pigeonita e ti-magnetita (WILSON, 1989).

De acordo com Roisenberg & Vieiro (2000) há separação de três setores nas rochas da Formação Serra Geral: O setor norte com maior representatividade de rochas básicas de alto  $TiO_2$ ; na porção central com rochas básicas efusivas com intercalações de rochas ácidas de baixo e alto  $TiO_2$ ; a porção sul é composta por rochas efusivas básicas e por vezes derrames ácidos e intermediários.

Segundo Peate et al. (1992) a divisão do magmatismo Serra Geral é dada em oito fácies distintas conforme as suas variações composicionais (elementos menores, traços e terras raras), texturais, dados geocronológicos e a disposição entre derrames e intrusivas na bacia. Abordaremos no próximo tópico a respeito de uma delas: A Fácies Gramado.

#### ***1.4.1.2.1. Fácies Gramado***

Com uma espessura de aproximadamente 300 metros, a Fácies Gramado é localizada na escarpa sul da Serra Geral, caracterizada com derrames basálticos. Representam os primeiros episódios de vulcanismo sobre os sedimentos arenosos, referentes da Formação Botucatu. As rochas constituintes desta fase são de baixo teor de  $TiO_2$  (PEATE, 1992).

Essa Fácies é caracterizada por derrames de basaltos maciços de espessuras entre 15 a 35 metros, com texturas de fluxo, porções vesiculares mais desenvolvidas no topo e incipientes na base, por vezes preenchidas por zeolitas e carbonatos, e sua porção central apresenta uma rocha granular homogênea. Sua textura é microfanerítica, compacta e apresenta uma cor cinza-escuro a cinza esverdeado (CPRM, 2006).

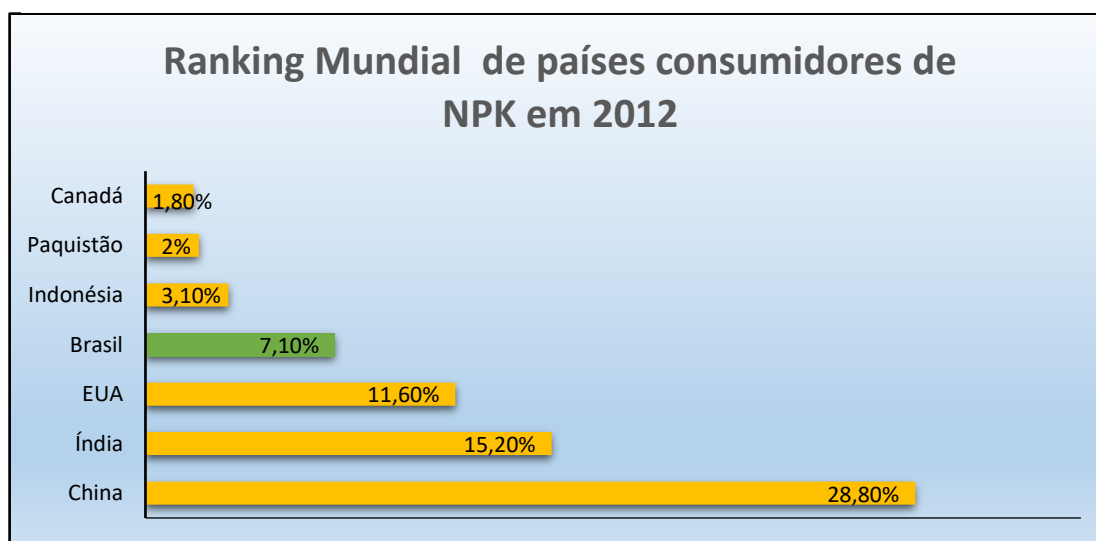
Borsatto et al. (2015) distinguiu dois tipos de basaltos da Fácies gramado em sua região de estudo: Basalto tipo I e II. O tipo I apresenta uma grande alteração, muito vesículado. Suas cavidades e vesículas são preenchidas por zeolitas, e por vezes, por feldspatos e quartzo. Ocorre a preponderância de argilominerais do grupo da esmectita. Já no tipo II apresenta pouca alteração, com disjunção colunar mais desenvolvida. Possui textura afanítica a fanerítica fina, com minerais como feldspatos alcalinos e cálcicos, piroxênios e opacos (magnetita).

## 2. ESTADO DA ARTE

### 2.1. Agricultura no Brasil e sua Necessidade por Fertilizantes

No Brasil, a escolha por uma agricultura extensiva e tradicional, visando uma grande produtividade agrícola conduziu ao uso de fertilizantes convencionais assim como o uso dos transgênicos. Salienta-se que 72% destes insumos utilizados no Brasil são oriundos de fontes de importação, que é constituído de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) de alta concentração e solubilidade (RODRIGUES, 2009). Conforme os dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2013) o Brasil está em 4º lugar no ranking mundial de maior consumidor de fertilizantes NPK, sendo terceiro em consumo de K (Figura 1).

Figura 1. Os maiores consumidores mundiais de NPK em 2012.



Fonte: Fonte: Anuário ANDA, 2013; Elaboração: Bradesco. Modificado

Segundo Lapido-Loureiro, Nascimento & Ribeiro (2009), a inconstância de preços dos fertilizantes, o alto custo de transporte e a real situação rural brasileira, que em sua grande maioria é composta por pequenos agricultores, impulsionam a procura por alternativas que suportem o crescimento da produtividade agrícola.

## 2.2. Rochagem

Há diversos termos para designar-se à rochagem, dentre eles remineralização, adição de pó e petrorremineralização são os termos encontrados na literatura para definir a mesma tecnologia de fertilização de solos (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO; RIBEIRO, 2009). Rochagem é uma técnica empregada que consiste na adição do pó de algumas rochas ou minerais, a qual tem a eficiência de elevar a fertilidade do solo empobrecido pela intemperismo ou pelo seu uso abusivo por atividades agropecuárias, sem comprometer o meio ambiente. O uso dos agrominerais é uma técnica que tem sido indicada para pequenos agricultores, principalmente para agricultura orgânica, conforme Theodoro & Leonardos (2006).

As primeiras pesquisas foram realizadas pelo francês M. Missoux (1853) e o bioquímico nutricionista alemão Julius Hensel (1880), que divulgaram trabalhos sobre a aplicação de pó de rocha como fertilizantes. Em termos históricos, há a contribuição de vários pesquisadores em estudos relacionados a rochagem (FYFE; LEONARDOS; THEODORO; 2006). Já no Brasil, os estudos, sobre o uso da técnica da rochagem, iniciaram pelo pesquisador Othon Leonardos (UnB). Em 1970 as pesquisas se intensificam devido à necessidade de fornecimento de K e outros nutrientes como novas possibilidades para obtenção de fertilizantes (CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2010). O primeiro Congresso Brasileiro de Rochagem realizado em 2009 unificou o conhecimento sobre a aplicação do pó de rocha com a publicação de trabalhos sobre esta temática em 2010.

A utilização do pó de rocha apresenta uma grande variedade de nutrientes: rochas metamórficas e ígneas são as que mais compõem os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e micronutrientes. Este tipo de fertilização é mais eficaz por propiciar nutrientes em quantidades e solubilização mais apropriadas para o solo (STRAATEN, 2006). Mesmo que os efeitos de solubilização das rochas, por vezes, sejam mais lentos, há a vantagem no uso de áreas com altas taxas de lixiviação (LEONARDOS; THEODORO; ASSAD, 2000). Para Souza et al. (2010), a baixa solubilidade pode promover a quantidade necessária para geração de argilas, que aumentam a capacidade de troca catiônica do solo.

Conforme Martins et al. (2008), o uso benéfico dos rejeitos da mineração, os quais são passivos ambientais, é uma forma de obtenção de vários agrominerais. Como destacado por Theodoro et al. (2006), este seria uma solução para o descarte dos rejeitos para as mineradoras, propiciando um impacto econômico e social, além da facilidade de obtenção dessa fonte de

nutrientes e agilização dos processos produtivos. Segundo a mesma, se tornam de grande valia para os pequenos agricultores, que não tem acesso aos insumos de maior custo.

### **2.3. Implicações e consequências do uso da Rochagem**

Conforme Campbell (2009) a aplicação do pó de rocha pode agir na correção de acidez dos solos, dependendo da composição do pó da rocha, como por exemplo as rochas básicas, das quais têm ação de alcalinizar os solos, quando comparadas a rochas ácidas. Para o autor o uso da rochagem pode prover nitrogênio e carbono para o solo, o que facilitaria o ciclo bioquímico para produção de microorganismos. A aplicação do pó de rochas ultramáficas em solos com deficiência em potássio indicaram resultados positivos: além do aumento de potássio e fósforo no solo, houve a elevação do pH, com isso constatou-se o uso destas rochas como corretivos (RIBEIRO et al., 2010).

Para Resende et al. (2006), há muitos benefícios para o uso de agrominerais, como a retenção de água no solo e o aumento da produção de matéria orgânica, que conseqüentemente, desenvolve uma maior resistência das plantas a fatores climáticos. Salienta-se que para maior eficácia do uso de agrominerais, é de grande valia a alternância de culturas usadas no mesmo solo (Smalberger et al., 2010).

Segundo Moreira et al. (2006) é importante definir parâmetros para a composição do pó de rocha aplicados nos solos. Em alguns estudos, realizados pelo autor, mostraram que ocorrem concentrações elevadas de alguns elementos que podem acarretar um desequilíbrio nutricional do solo. Para Oliveira et al. (2006), as concentrações mais alarmantes podem ser relacionadas aos metais pesados e elementos traços, por consequência do desconhecimento destes na composição dos agrominerais. Não há informações quanto a toxidez e contaminação em solos brasileiros com o uso da rochagem (RESENDE et al., 2006).

Para Bolland & Baker (2000) os efeitos negativos da rochagem podem estar relacionados ao uso inadequado dos solos agrícolas, pela sua ampla exploração e demasiadas adições de insumos sintéticos, além dos aspectos naturais dos solos ou até mesmo pela aplicação inapropriada de agrominerais incompatíveis a um determinado tipo de solo.

Por fim, para que o uso do pó de rocha seja exequível, é essencial que o local de aplicação seja próximo da fonte dos agrominerais. Theodoro & Rocha (2005) sugerem que a

distância, do local de aplicação e origem, não deve ultrapassar dos 500 km, pois isto comprometeria a viabilidade econômica da rochagem.

#### **2.4. Histórico da Evolução de Projetos de Adubação e Calagem no Rio Grande Do Sul**

Mohr (1950) sugeriu a primeira recomendação de adubação em solos do Rio Grande do Sul, que definiu quatro regiões fisiográficas que são: planalto norte, região sedimentar central, escudo sul-rio-grandense e planície costeira. Ele estabeleceu valores de referência para análises de solo para cada uma destas regiões (CQFS RS/SC, 2004). De acordo com Ludwick (1968), Volkweiss & Klamt (1969, *apud* CQFS RS/SC, 2004) mudanças mais significativas, na agricultura e nas recomendações de adubação, ocorreram entre a década de 1960 e 1970, ressaltando a execução da “Operação Tatu”, um projeto de melhoramento da fertilidade do solo realizado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Conforme Volkweiss & Klamt (1969, *apud* CQFS RS/SC, 2004), este projeto foi de grande importância, pois introduziu o princípio da calagem para corrigir a acidez do solo.

Em 1968 ocorreu a criação da ROLAS (Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e Tecido Vegetal do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina) que é uma organização vinculada à Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas, no Núcleo Regional Sul (NRS) da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, que tem como finalidade congrega laboratórios cuja atividade principal seja a análise de solos, plantas, fertilizantes e corretivos, para fins de avaliação da fertilidade do solo e recomendação de corretivos e fertilizantes, bem como, da qualidade dos mesmos. Já na década de 80 foi iniciado no estado o Projeto Integrado de Uso e Conservação do Solo (PIUCS) visando à diminuição da intensidade de preparo e aumento da cobertura vegetal do solo (CQFS RS/SC, 2004).

Na década de 1990 a Embrapa Trigo conduziu o Projeto METAS, de pesquisa e difusão do sistema plantio direto no RS, em conjunto com a EMATER-RS e de empresas privadas e de assistência técnica, que enfatizou o sistema de plantio direto em vários aspectos como adubação, calagem, semeadoras, controle de invasoras, manejo da palha, entre outros, conforme Denardin & Kochhann (1999, *apud* CQFS RS/SC, 2004).

## 2.5. Estudos de Rochagem no Rio Grande do Sul

Alguns estudos já foram realizados sobre a caracterização de pós de rocha para uso agronômico com rochas Rio Grande do Sul com a caracterização de fontes de agrominerais no escudo do Rio Grande do Sul (TONIOLO, 2013). Trabalhos mais específicos sobre os basaltos amigdalóides da Formação Serra Geral, mostraram a diversidade de composição mineralógica e química como fonte de nutrientes, revelando o potencial do uso agronômico no Estado (BERGMANN, 2013). Em experimento em cultivos de leguminosas e gramíneas, com a adição de pó em mistura de basaltos com peridotito, mostraram que foram mais eficazes para produção vegetal (BENEDUZZI, 2011).

Atualmente, a Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS) juntamente com a CPRM tem desenvolvido projetos para o setor sul do estado com o uso da tecnologia da rochagem visando fertilizar os solos destinados às culturas do Arroz e no setor centro-oeste. No ano de 2016 ocorreu o III Congresso de Rochagem em Pelotas, RS.

## 2.6. Solos

Os estudos para a compreensão dos processos de formação dos solos foram iniciados no final do século XIX através das pesquisas do cientista Vassili Dokuchaev. Dokuchaev introduziu a noção de formação dos solos em função das interações entre fatores ambientais, tais como: material de origem, clima, relevo e organismos vivos atuando ao longo do tempo, além do produto de alteração das rochas. As alterações ocorrem nas rochas através de reações químicas, físicas e biológicas, geradas pelo desequilíbrio entre as condições em que as mesmas são formadas. Este processo de alteração das rochas, por desagregação e decomposição, é denominado de intemperismo. O intemperismo ocorre de duas formas: quimicamente e fisicamente (TOLEDO, M. C. M. et al., 2000).

Conforme Toledo, M. C et al. (2000) o intemperismo físico é produto, como por exemplo, da temperatura, pressão e passagem da água na estrutura da rocha, resultando na mudança da composição química. Já o intemperismo químico vai ser o conjunto de reações que alteram a estrutura dos minerais, quimicamente, gerando novos minerais e liberando íons. Estes minerais se tornam vulneráveis quando expostos as condições ambientes, como percolação de

água, teor em oxigênio e  $\text{CO}_2$ , buscando o equilíbrio, sendo a água um dos principais agentes do intemperismo químico. As reações no intemperismo químico do solo definidas por consistem em:

- **Solução e Dissolução:** Os minerais sofrem esta reação a partir da penetração de água nos poros. Este tipo de reação solubiliza o Ca, por exemplo, promovendo sua mobilidade. A variação de solubilidade vai depender do pH da solução.
- **Hidrólise:** É a reação de decomposição e/ou alteração provocada pela água, modificando a estrutura do mineral por meio dos íons  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$ . A hidrólise é responsável na transformação e formação de minerais a partir do resíduo da reação, principalmente de argilominerais, onde ocorre a remoção de cátions básicos ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) e de  $\text{Si}^{+4}$ .
- **Oxidação:** Ocorre nos minerais com teores de  $\text{Fe}^{+2}$  ou  $\text{Mn}^{+2}$ , como os ferromagnesianos. Quando ocorre na estrutura mineralógica, o aumento de cátions oxidados é compensado por outros cátions presentes. Os cátions oxidados se tornam óxidos de ferro, como hematita e goethita, por precipitação. Quando os solos apresentam cores avermelhadas ou amareladas, estes indicam um ambiente de oxidação.
- **Redução:** Quando ocorre a saturação do meio através da água, acontece a redução, na qual ocorre a difusão do oxigênio do ar para o solo. Esta reação é potencializada pela ação de microorganismos anaeróbicos, após a ação de microorganismos aeróbicos na decomposição de matéria orgânica.
- **Complexação:** Ocorre a partir da decomposição da matéria orgânica que geram ácidos que ligam a íons metálicos como  $\text{Fe}^{+2,+3}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{+2}$ .

No que diz a respeito da estabilidade dos minerais à alteração é definida pela composição da rocha e solo em diferentes ambientes. O grau de resistência dos minerais primários (Goldich, 1938) e secundários (Jackson, 1968) ao intemperismo é determinado por suas características, tais como: estrutura cristalina, grau de cristalinidade, tamanho da partícula, composição química e grau de solubilidade mineral.



### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

No presente capítulo, são apresentados a escolha da área de estudo, a estratégia e os procedimentos de coleta das amostras de rocha, pó de rocha e solos. Cabe salientar que as boas práticas da tecnologia da rochagem orientam para que seja aplicado pó de rocha oriundo de áreas próximas daquelas de cultivo, visando redução de custos, que este deve possuir os agrominerais necessários para uma melhoria dos solos empobrecidos, em teores adequados às necessidades do solo e, com vistas a aumentar sua fertilidade e produção agrícola. Seguindo a orientação de adequado uso da tecnologia da rochagem, foi escolhida uma propriedade rural, que faz parte da associação de Citricultores (ECOCITRUS) na cidade de Montenegro – RS (Fig. 1). A propriedade pertence ao Sr. Laux e familiares. Tratam-se de pequenos agricultores e cuja família dedica-se a citricultura há 40 anos. Segundo relatos do proprietário e familiares, sempre foi utilizado pó de rocha na propriedade, visando uma melhoria dos solos. A aplicação do pó de rocha e a observação dos resultados sempre foram feitos de forma aleatória, sem uma sistematização e quantificação dos resultados da metodologia.

Para este trabalho foi escolhida uma parcela do terreno, na qual nunca tinha sido feita aplicação de pó de rocha anteriormente e distante das demais áreas em que houve uso da tecnologia da rochagem. O pó de rocha utilizado foi proveniente de uma pedreira de basalto, situada nas proximidades da propriedade.

#### **3.1. Coletas da rocha e do pó de rocha**

As amostragens da rocha e do pó de rocha foram feitas na Central de Britagem Itaúnas da Pedreira Alfama (Figura 2), muito próxima a região de experimento deste trabalho, no município de Montenegro. Foram coletadas amostras de rocha para laminação e descrição petrográfica, assim como o pó de rocha, rejeito derivado da estação de britagem, como mostram as Figuras 3 e 4.

Figura 3. Central de Britagem Itaúna da Pedreira Alfama no Município de Montenegro.



Figura 2. Ponto de coleta da amostra de rocha na Pedreira Alfama. Amostra do Basalto da Fácies Gramado.

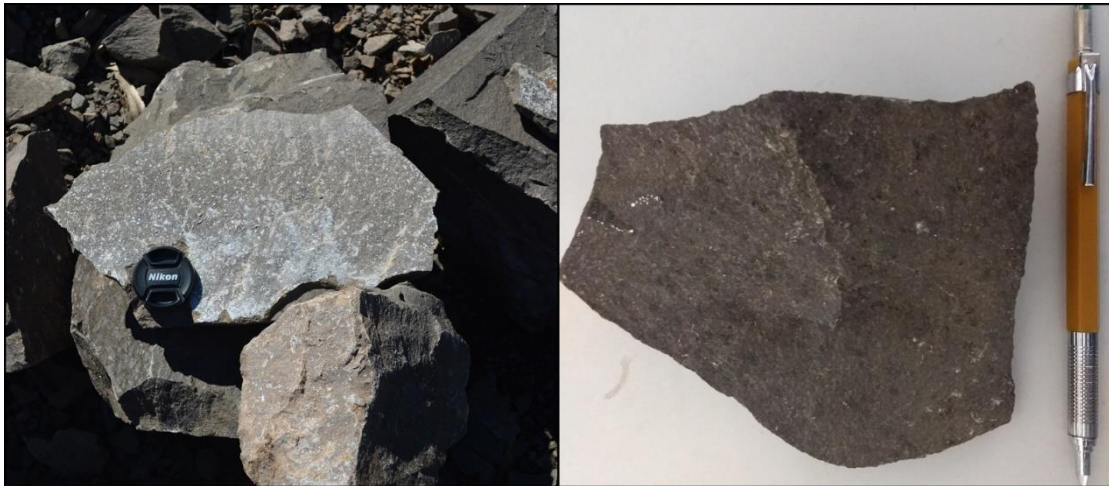


Figura 4. Ponto de coleta do rejeito oriundo da britagem do Basalto na Pedreira Alfama.





### 3.2. Coleta de Solo

O local escolhido para a realização do estudo foi uma propriedade rural, que faz parte da associação de Citricultores (ECOCITRUS) na cidade de Montenegro – RS, localizada na região fisiográfica Encosta Inferior Nordeste do Rio Grande do Sul. Houve nesta propriedade o uso de pó de rocha, proveniente da Pedreira Alfama, há 2,6 km de distância da propriedade.

A determinação das características do solo e as coletas de amostras foram feitas em uma área de 144 m<sup>2</sup> (Figura 5), na qual a aplicação do pó de rocha foi realizada em junho de 2013 em uma quantidade de 5 toneladas por hectare, ou seja, a concentração de pó na área do experimento é de 0,5 kg m<sup>-2</sup>.

Figura 5. Área de coleta do solo com o plantio de cítricos.



Em um pomar de citros de 3 anos de estabelecimento, foram coletadas amostras em duas camadas de solo (0 a 20 e 20 a 40 centímetros de profundidade). Em cada camada foram coletadas quatro amostras de solo sob duas condições: (i) nas linhas de cultivo (local de adição de pó de rocha) e (ii) nas entrelinhas de cultivo (local sem adição de pó de rocha) como mostrado no croqui na Figura 6, totalizando 16 amostras, de aproximadamente 1 quilo cada, nas quais foram realizadas as análises necessárias. A coleta foi realizada com auxílio um trado holandês como mostra a Figura 7.

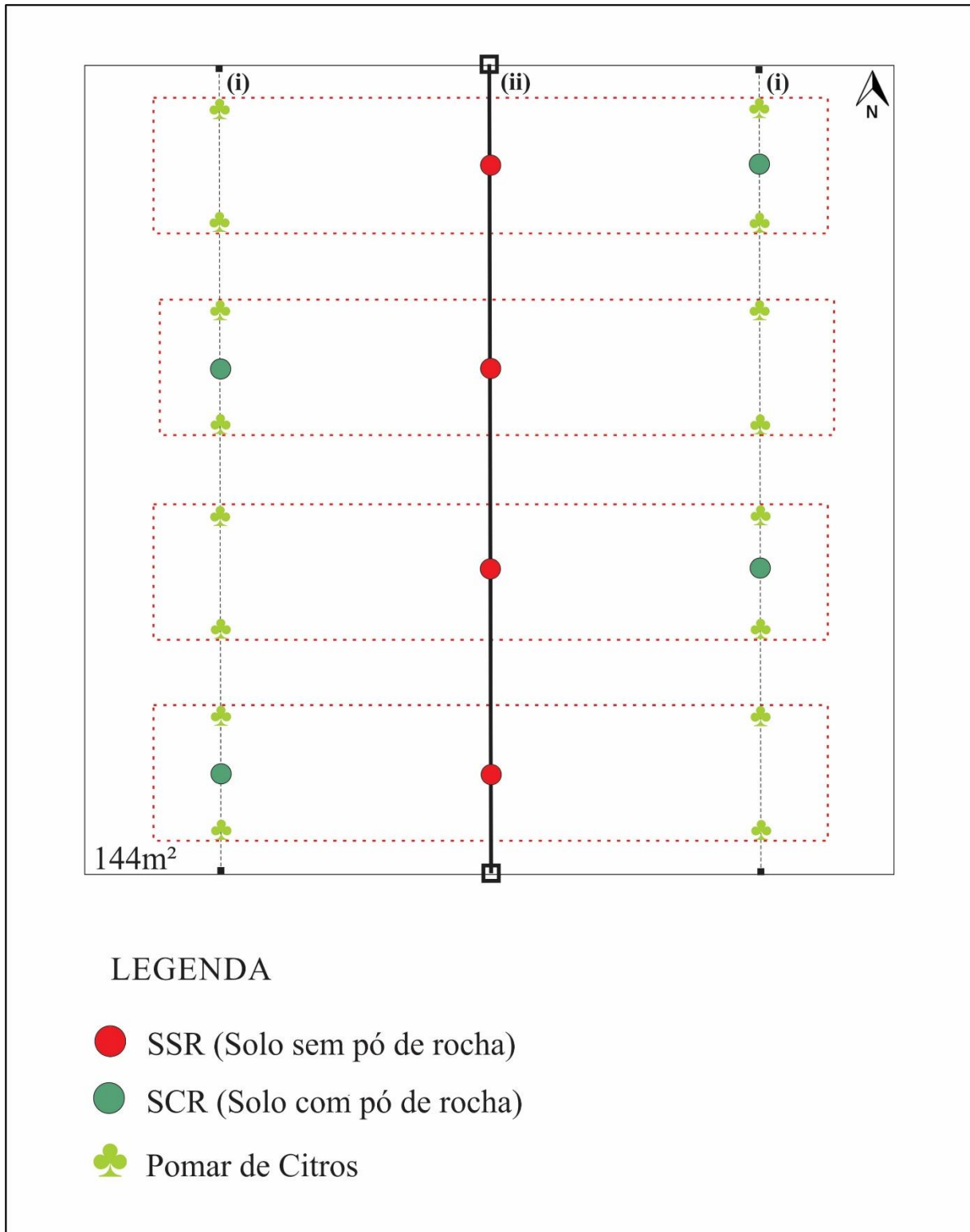
Figura 6. Croqui da coleta das amostras de solo SSR e SCR em uma área de 144m<sup>2</sup>.



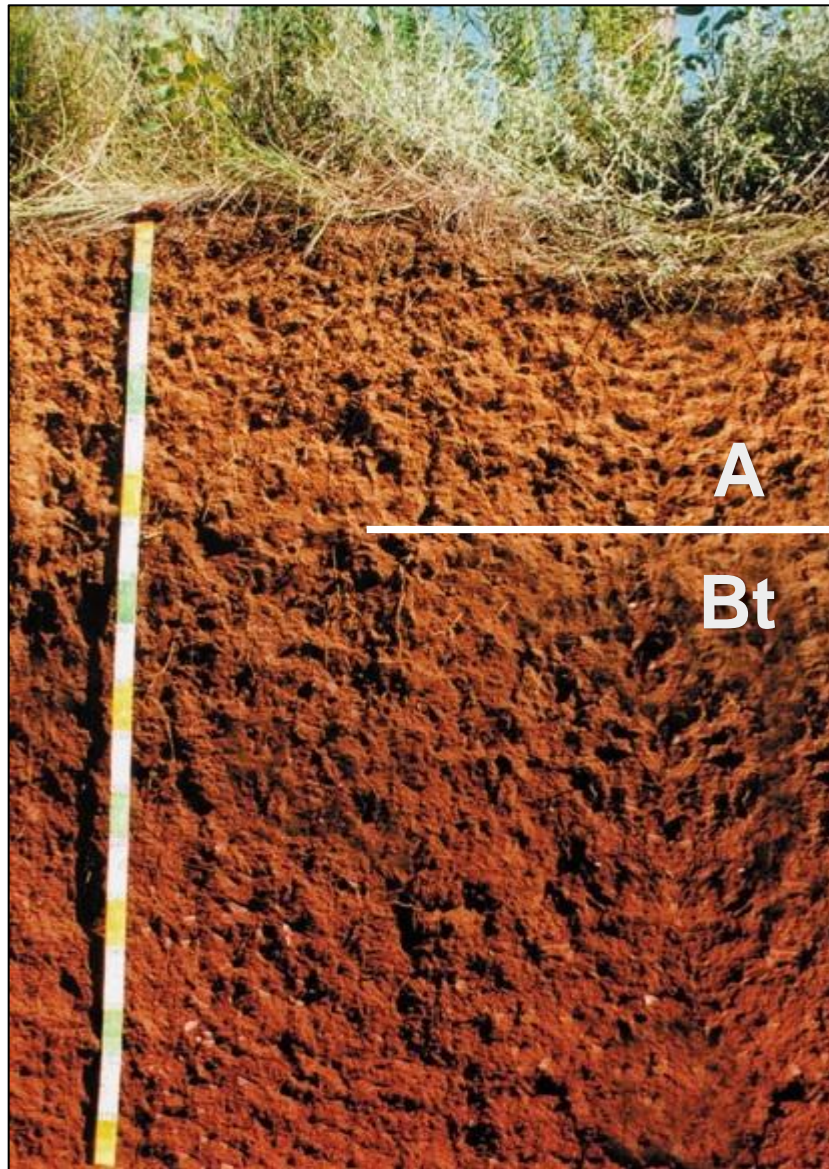
Figura 7. Coleta de solo com o trado holandês. Retira-se o excesso de amostra coletada pelo trado, antes do armazenamento da mesma



O solo da região foi classificado como Argiloso Vermelho Distrófico arênico/espessoarênico, substrato do Botucatu, da unidade de solo do Bom Retiro (BRASIL, 1973; STRECK et al., 2008), como mostra a Figura 8.



Figura 8. Perfil do solo Argissolo Vermelho Distrófico arênico/espessoarênico, substrato Arenito Botucatu e Formação Serra Geral, mostrando o horizonte A e horizonte Bt



Fonte: (Streck et al., 2008).

### 3.3. Procedimentos e técnicas

A seguir são apresentados os diferentes procedimentos e técnicas analíticas utilizados para o desenvolvimento da presente monografia.

### ***3.3.1. Análise petrográfica***

A confecção da lâmina de rocha foi realizada no Laboratório de Laminação do Instituto de Geologia da UFRGS para caracterização mineralógica e textural. A preparação de lâminas delgadas se dá em um corte de uma chapa de 2mm de espessura, aproximadamente, que é colada numa lâmina de vidro. Após faz-se o lixamento e polimento da lâmina até a espessura de 0,03 mm. A análise petrográfica da rocha foi efetuada por microscopia óptica no microscópio ZEISS Axio M2 com objetivas de x10 e x20 e oculares x10 cuja magnificação total foi de até 200 vezes em luz natural e refletida, do Laboratório de Microsonda Eletrônica do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) do Instituto de Geociências da UFRGS.

### ***3.3.2. Análises mineralógicas por difratometria de raios x (DRX)***

A Difratometria de raios x (DRX) foi utilizada para identificação da composição mineralógica do pó de rocha e dos solos. As análises foram realizadas no laboratório de Difratometria de raios x do CPGq do Instituto de Geociências da UFRGS.

A DRX corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos. Tendo em vista a importância da técnica, devemos entender alguns princípios da mesma. Funcionando da seguinte maneira: ao incidirmos um feixe de raios x em um material cristalino, este interage com os átomos presentes, originando o fenômeno de difração.

A condição para existência de raios x difratados, de comprimento de onda  $\lambda$  por um plano cristalino de distância interplanar “d” é expressa pela equação, conhecida como Lei de Bragg, onde “n” é um número inteiro e  $\theta$  é o ângulo de incidência dos raios x:

$$\mathbf{n\lambda = 2 d \text{ sen } (\theta)}$$

Com o auxílio da Lei de Bragg, usando raios x de comprimento de onda conhecido e determinado experimentalmente o ângulo  $\theta$ , calcula-se “d” para os planos do cristal. Como as distancias interplanares são características de cada substância cristalina, os diversos valores de “d” poderão identificar o mineral analisado.

Feixes de raios x são gerados por uma fonte e incidem na amostra. Ao incidir na amostra os feixes são difratados. Estes feixes difratados incidem no detector, cujo movimento de  $2X$  é acompanhado pela rotação de  $X$  da amostra, o que assegura que o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão serão iguais à metade do ângulo de difração. A intensidade do feixe difratado é medida pelo contador, que pode varrer toda a faixa de ângulos com velocidade constante ou pode ser posicionado manualmente.

Os difratômetros são acoplados a programas computacionais que possibilitam registro simultâneo dos picos de difração e gera difratogramas como produto final para interpretação.

### ***3.3.3. Análises químicas por fluorescência de raios x (FRX)***

A fluorescência de raios x (FRX) foi a técnica analítica utilizada na determinação dos elementos maiores e traços das amostras de rocha, do pó de rocha aplicado para a fertilização e os solos. As análises foram realizadas no Laboratório de Geoquímica CPGq do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no espectrômetro de fluorescência de raios- X RIGAKU 2000, com tubo de ródio. O erro analítico do aparelho está na ordem de 2%.

A análise por fluorescência de raios-X pode apresentar resultados qualitativos ou quantitativos e se baseia na medição das intensidades dos raios-X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas, além do processo mais utilizado que é através de tubos de raios-X (MELO JÚNIOR, 2007).

A fluorescência de Raios-X consiste em uma técnica versátil na determinação de elementos maiores e menores, com baixa detecção (partes por milhão).

As amostras de rocha e solo e foram moídas e peneiradas (200 mesh) e a partir disto, foram confeccionadas pastilhas fundidas. A perda ao fogo (pf), ou seja, a determinação do teor de  $H_2O$  e matéria orgânica do solo (MOS) das amostras foram obtidos a partir de métodos gravimétricos.



### ***3.3.4. Análise do solo associado ao pó de rocha por análises de rotina***

Esta análise foi realizada no Laboratório de Análises de solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS e segundo critérios comumente utilizados para caracterizar o solo. Consistiu com auxílios das análises citadas a seguir.

#### ***3.3.4.1. Determinação do teor de argila do solo***

Na fração terra fina seca ao ar (TFSA) ( $\varnothing < 2\text{mm}$ ), foi determinado o teor de argila ( $\varnothing < 0,002\text{mm}$ ) pelo método do densímetro de Bouyoucos. O método baseia-se no princípio de que a matéria em suspensão (silte e argila) confere determinada densidade ao líquido. Com a ajuda de um densímetro e de relações que consideram a densidade das partículas com o tempo de sedimentação e com a temperatura, são determinados os teores de argila.

Primeiramente, a fração TFSA é dispersa com o uso de um dispersante químico (NaOH  $1\text{ mol}^{-1}$ ) e de agitação mecânica da amostra. Após a fração argila é determinada pelo tempo de sedimentação das partículas menores que  $0,002\text{ mm}$ , segundo a Lei de Stokes. O procedimento da análise consiste na pesagem de 50 gramas de TFSA, adição deste em um copo plástico, adição de 100mL de água destilada e 10 mL de NaOH  $1\text{ mol L}^{-1}$ . A suspensão é agitada por 3 horas no agitador mecânico. O material é transferido para uma proveta de 1000 mL e agita-se manualmente por 1 minuto. Após 90 minutos de sedimentação realiza-se a leitura do teor de argila na amostra com densímetro.

#### ***3.3.4.4. Determinação do pH do solo***

Para a determinação do pH em água, adicionou-se 10 gramas de solo em um Becker, 25 mL do líquido (água ou KCl), agitou-se a amostra com um bastão de vidro e deixou-se em repouso durante 1 hora. Decorrido este tempo, foi realizado uma nova agitação e procedeu-se a leitura do pH, a partir do aparelho Digimed Medidor (pH DMPH-2), mergulhando os eletrodos na suspensão.

### 3.3.4.2. Determinação da capacidade de troca de cátions (CTC)

É definido como sendo a capacidade de troca de cátions da superfície coloidal das amostras. Estes cátions são removidos por soluções salinas de amônio, cálcio, bário e soluções de ácidos diluídos e posteriormente determinados por métodos volumétricos de emissão ou absorção atômica. Os cátions determinados são:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ . A partir desses dados são calculados a soma de bases ( $S = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$ ), a saturação da CTC por cátions básicos ( $V = (S/\text{CTC}) \times 100$ ), e a saturação da CTC por Al ( $m = (\text{Al} \times 100) / (\text{Al} + S)$ ).

### 3.3.4.3. Determinação do teor de matéria orgânica (M.O) ou carbono orgânico (C%)

Para sua determinação foi aplicado o método Walkeley-Black, modificado por Tedesco et al. (1995), que consiste na adição de 1 grama de solo em erlenmeyer de 300 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $1,25 \text{ mol L}^{-1}$  e 20 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. O erlenmeyer foi aquecido com auxílio do bico de Bunsen durante 1 minuto até uma temperatura de  $150^\circ\text{C}$ . Depois de frio, adicionou-se 50 mL de água deionizada e transferiu-se o conteúdo para uma proveta de 100 mL (ajustando o volume para 100 mL). A amostra retornou para o frasco de erlenmeyer e foi homogeneizada. Após 30 minutos, 50 mL da solução foi transferida do frasco de erlenmeyer para um Becker, adicionou-se 3 gotas do indicador Ferroin e iniciou-se a titulação com  $\text{FeSO}_4$   $0,25 \text{ mol}^{-1}$ . A titulação consiste na adição de  $\text{FeSO}_4$   $0,25 \text{ mol}^{-1}$  no becker com uma bureta digital até a cor da solução mudar de verde para vermelho.

A partir desta quantidade (em mL) de  $\text{FeSO}_4$   $0,25 \text{ mol}^{-1}$  adicionando calcula-se a normalidade da prova em branco, pela fórmula:

$$N = 12,5/\text{mL FeSO}_4 \times 2$$

Para obter-se o valor de carbono orgânico utiliza-se os cálculos:

$$\%C = (\text{me Cr}_2\text{O}_7^{-2} - \text{Fe}^{+2}) \times 0,003 \times 100 \times 1,12 / \text{grama de solo}$$

Onde  $\text{me Cr}_2\text{O}_7^{-2} = 12,5$  (porque foi utilizado  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $1,25 \text{ mol}^{-1}$ ) e  $\text{me Fe}^{+2} = (\text{mL de FeSO}_4 \text{ gastos na titulação da amostra} \times 2) \times \text{mol}^{-1} \text{ FeSO}_4$ .

## 4. RESULTADOS

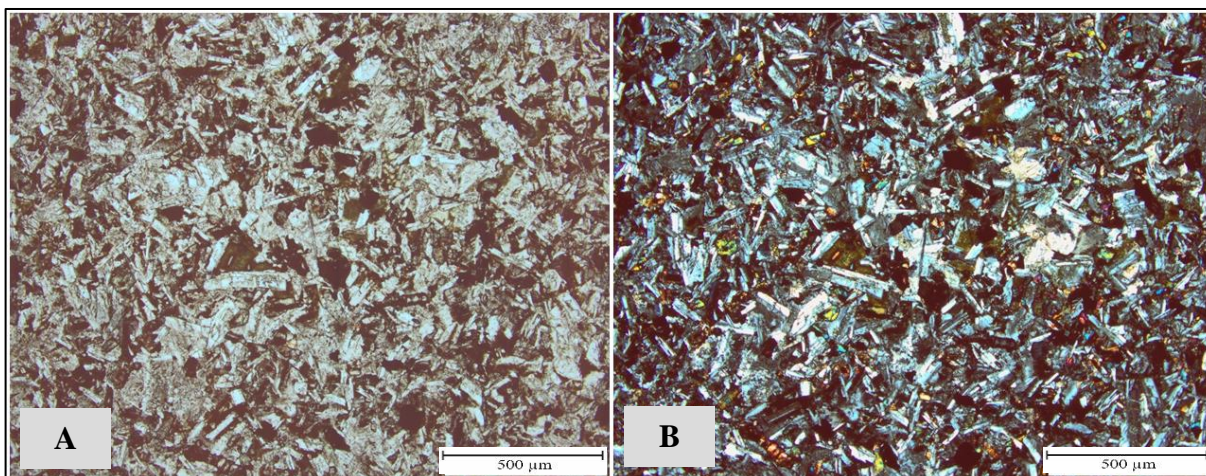
### 4.1. Rocha

Foram realizadas análises na rocha e no pó de rocha coletados na Pedreira Alfama e Central de Britagem Itaúna respectivamente, para identificar a sua mineralogia e composição química para avaliação de seus efeitos no solo.

#### *4.1.1. Caracterização Petrográfica e mineralógica da rocha fresca*

O basalto descrito no presente estudo apresenta uma textura fanerítica fina composta, basicamente, por minerais de plagioclásio, piroxênios e opacos (Figura 9). Observou-se, através de uma análise modal, 50-55% de plagioclásio, 27-33% de piroxênio (augita) e 9% de opacos (magnetita). Os cristais de plagioclásio são subédricos, cujo tamanho varia de 0,06 a 0,4 mm e fenocristais de 0,8 a 2,2 mm, e possuem maclas. Os cristais de piroxênio possuem tamanhos que variam de 0,02 a 0,4 mm e opticamente é identificado como augita. Os opacos variam de eudétricos a anédricos e estão associados aos piroxênios, com uma aureola de alteração.

Figura 9. Microfotografia com textura fanerítica fina com fenocristais de plagioclásio e opacos no basalto. Objetiva de 2,5 X à nicóis paralelos (A) e cruzados (B)





Notou-se a presença de um material de baixa cristalinidade em uma análise óptica de cristalito à luz paralela (LP), identificado como prováveis zeolitas. Além disto, observou-se também outro material de baixa cristalinidade à luz natural (LN) de coloração castanha. Ambos materiais podem ser identificados como resíduos de cristalização (Figura 10). Foi identificada esmectita, como mineral secundário, resultado de alteração da fase máfica (Figura 11).

Figura 10. Microfotografia da lâmina B1 mostrando um material de baixa cristalinidade de coloração castanha à nicóis paralelos (A). Observa-se à nicóis cruzados (B) o material de baixa cristalinidade preenchendo os interstícios. Nota-se também os opacos. Objetiva de 10X.

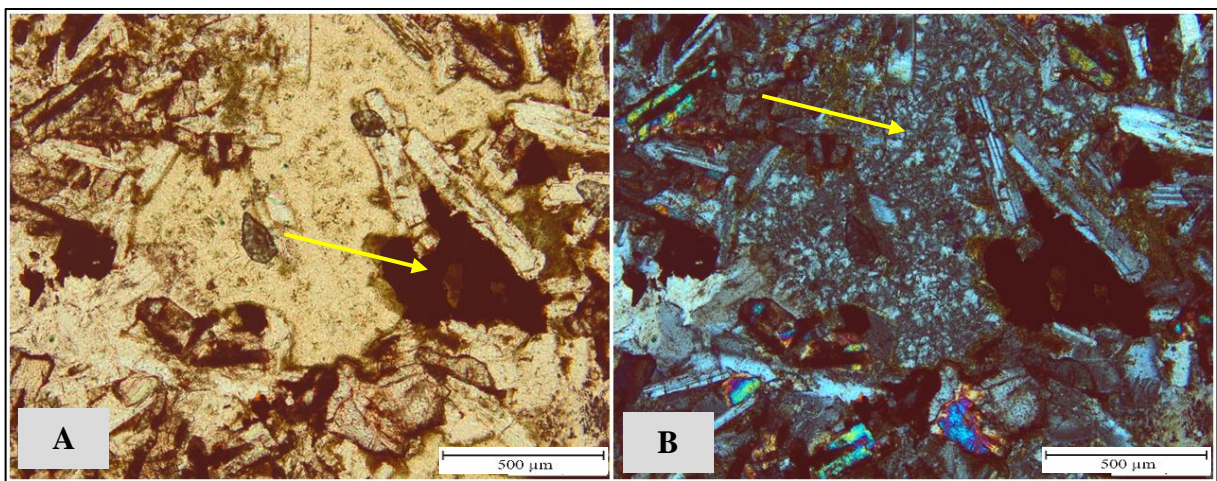
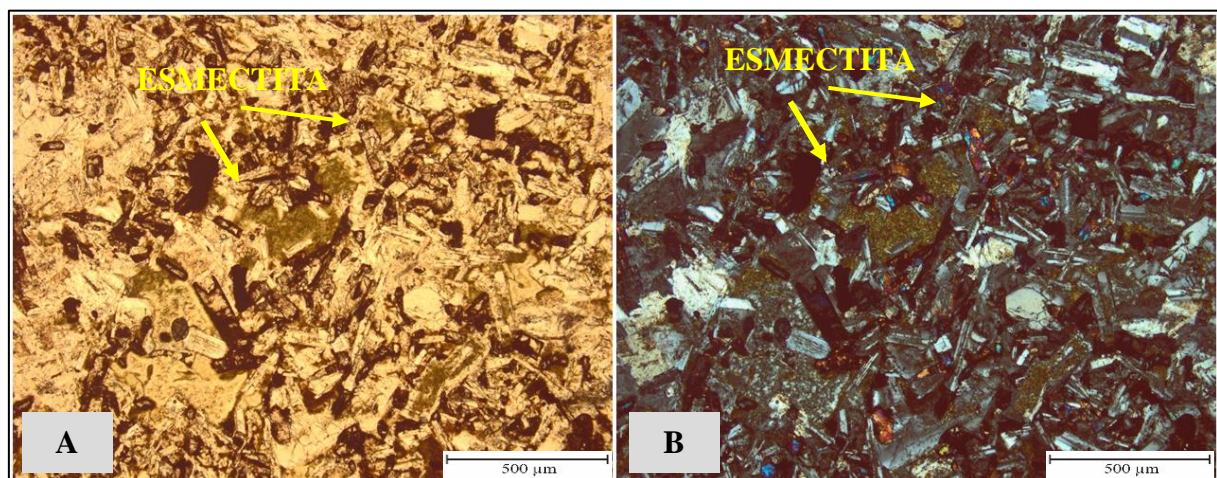


Figura 11. Microfotografia mostrando esmectita preenchendo os interstícios em nicóis paralelos (A) e cruzados (B) na lâmina B1, com objetiva de 4X.





As texturas observadas são a subofítica, onde cristais subédricos de plagioclásio constituem uma malha (Figura 12). Entre estes cristais estão presentes clinopiroxênio (augita) magnetita. É também comum, a ocorrência de textura glomeroporfirítica, caracterizada por agrupamentos de fenocristais de plagioclásio, que por vezes, apresenta-se zonado (Figura 13).

Figura 12. Microfografia mostrando a textura subofítica com plagioclásio subédrico à nicóis paralelos (A) e cruzados (B), na objetiva de 4X na lâmina B1.

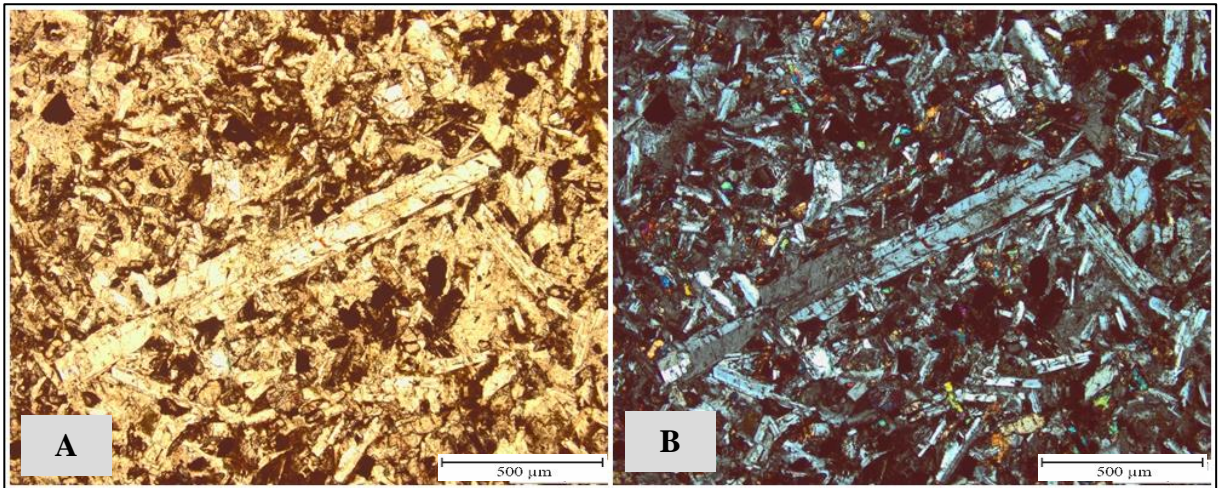
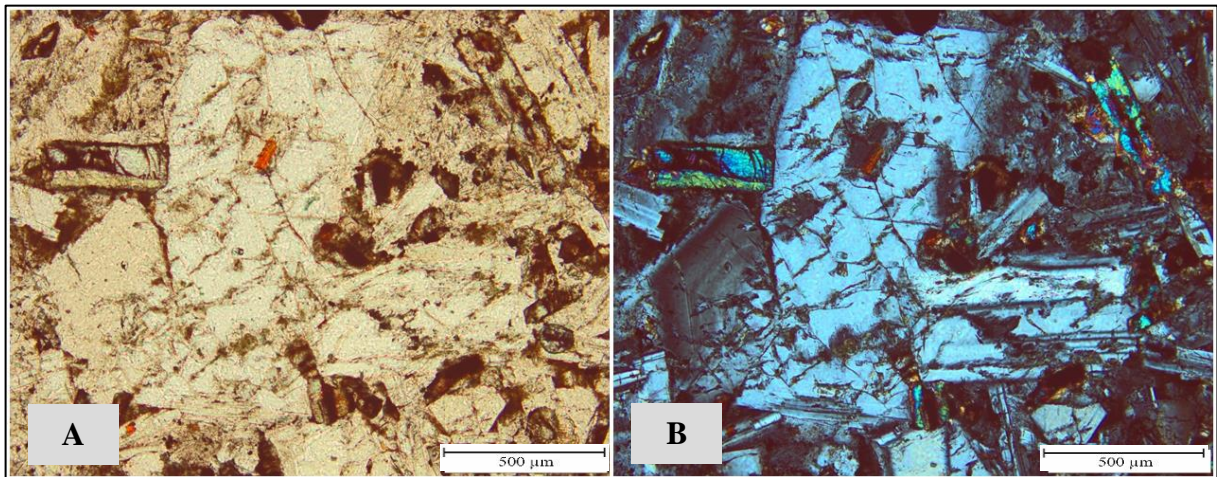


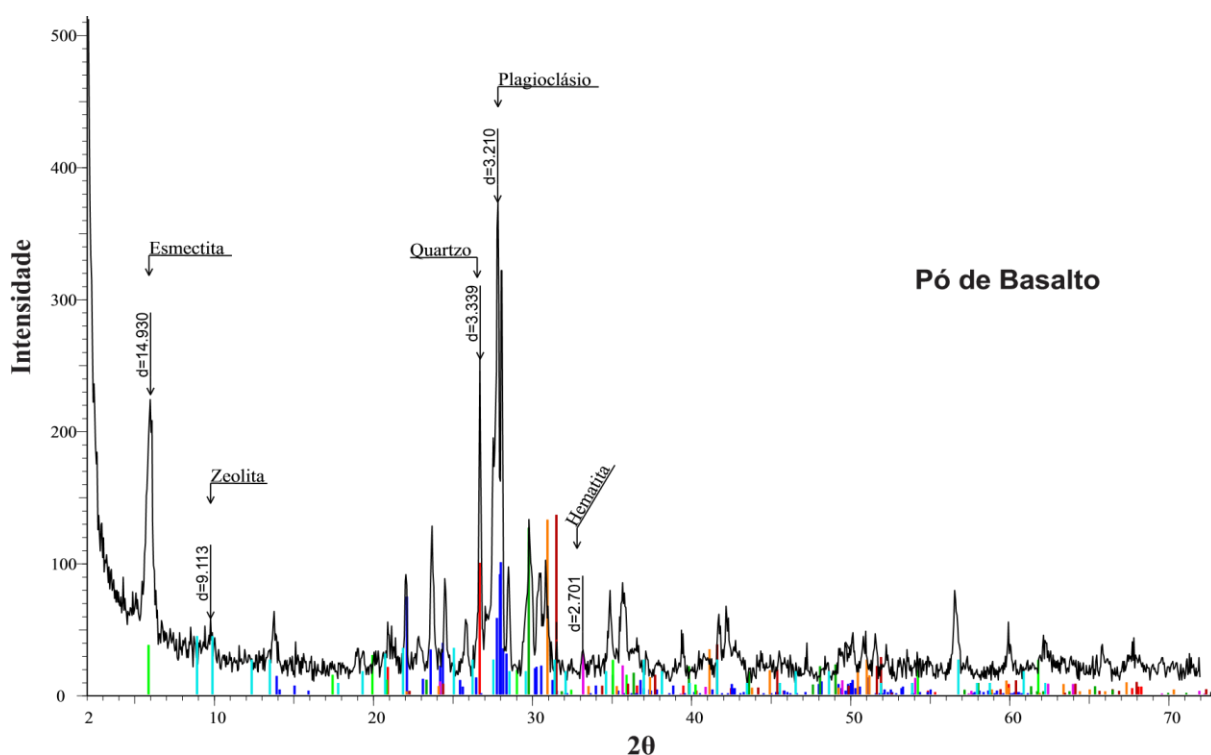
Figura 13. Fotomicrografia mostrando a zonação do plagioclásio de textura glomeroporfirítica à nicóis paralelos (A) e cruzados (B) na lâmina B1. Objetiva 10X.



#### 4.1.2. Caracterização mineralógica por DRX do pó de rocha

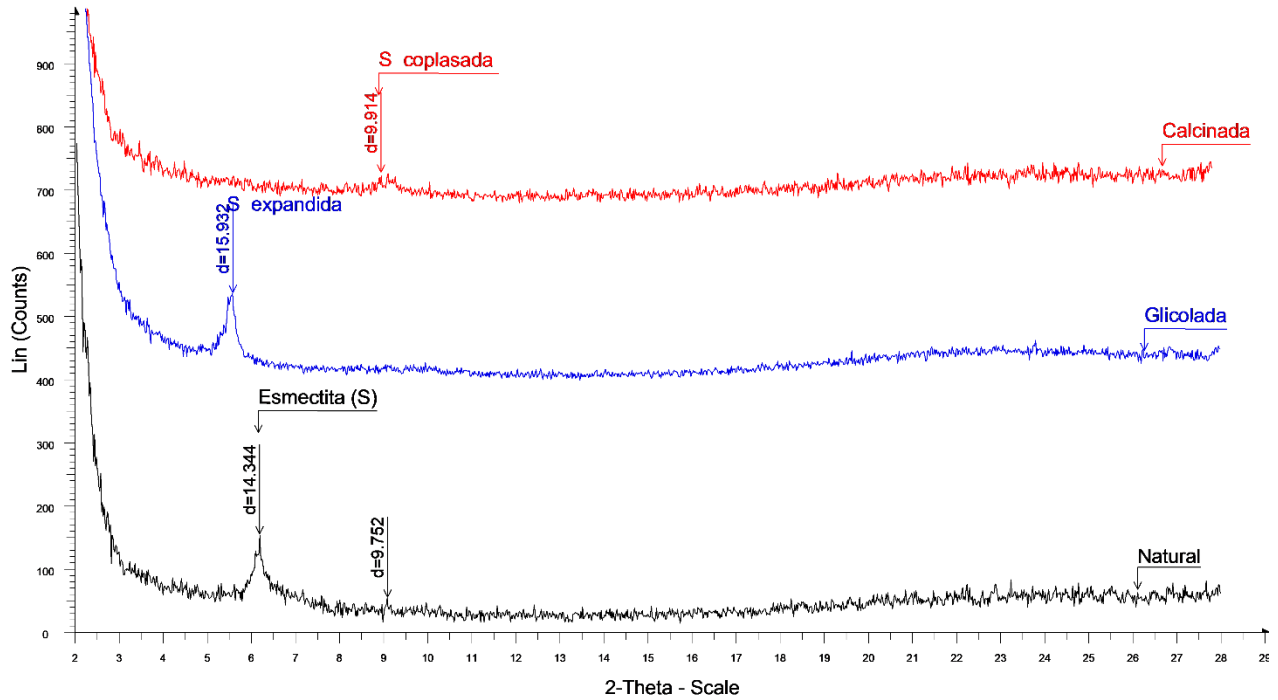
Na análise por difratometria de raios X foram identificadas as fases minerais e os argilominerais presentes no que é conhecido como rocha total (RT) e na fração argila ( $<2\mu\text{m}$ ), respectivamente. Na interpretação do difratograma de raios-X da rocha total (RT) foi possível identificar: Plagioclásio, quartzo, zeolita e esmectita (Figura 14).

Figura 14. Difratograma de raios-X do pó de rocha retirado da Pedreira Alfama. O eixo x representa  $2\theta$  e o y representa a intensidade dos reflexos.



A interpretação do difratograma das lâminas orientadas (natural), calcinada e glicolada na fração argila ( $<2\mu\text{m}$ ) mostrou uma quantidade importante de esmectita. Os picos de esmectita deslocaram-se para ângulos maiores (espaçamento  $d$  menor) com a calcinação, devido a contração das entrecamadas (Figura 15).

Figura 15. Difratoograma de raios-X da fração argila (<math><2\mu\text{m}</math>) do pó de rocha da Pedreira Alfama. O eixo x representa o ângulo 2theta e o eixo y representa a intensidade dos reflexos.



#### 4.1.3. Caracterização química de elementos maiores e traços do pó de rocha por FRX

A análise dos elementos maiores (Tabela 1) e elementos traços (Tabela 2) do pó de basalto foram obtidas a partir da fluorescência de raios x.

Tabela 1. Resultados dos elementos maiores (em % em peso de óxidos) na amostra de basalto extraído da pedreira Alfama.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	Total
							%					
Basalto	54,58	14,43	1	10,68	0,16	4,51	7,63	1,48	2,08	0,23	2,16	98,94

LOI: Perda ao fogo.

Tabela 2. Resultados dos elementos traços (em ppm) na amostra de basalto extraído da pedreira Alfama.

Elementos	Y	Pb	Ni	Co	Cu	Ga	Sr	Zr	Zn	Nb	Rb	As	Cr	Ba
	ppm													
<b>Basalto</b>	59,2	7,5	14,9	61,5	34,7	19,5	329,9	136,4	127,3	23,6	100,2	8,7	43,5	577,9

Em comparação com a composição de elementos maiores e traços dos magmas-tipo baixo TiO<sub>2</sub>, conforme determinado por Peate (1990), observa-se que, de fato, trata-se do basalto fácies Gramado, como mostra a tabela 3.

Tabela 3. Comparação dos valores das fácies de baixo TiO<sub>2</sub> da FSG determinadas por Peate (1990) com a amostra do Basalto da Pedreira Alfama.

<b>Baixo TiO<sub>2</sub> (Peate, 1990)</b>				
	Esmeralda	Ribeiro	Gramado	Basalto (Pedreira Alfama)
<b>SiO<sub>2</sub></b>	48-55	49 - 52	49 - 60	54,58
<b>TiO<sub>2</sub></b>	1,1 – 2,3	1,5 – 2,3	0,7 – 2,0	1
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,1 – 0,35	0,15 – 0,50	0,05 – 0,40	0,23
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	12 - 17	12 - 16	9 - 16	10,68
<b>Sr</b>	<250	200 - 375	140 - 400	329,9
<b>Ba</b>	90 – 400	200 - 600	100-700	577,9
<b>Zr</b>	65 - 210	100 - 200	65 - 275	136,4

Fonte: Peate (1990). Modificado.

## 4.2. Solo

Este capítulo aborda os resultados das análises composicionais em elementos maiores e traços do solo coletado. Para isso, foram preparadas amostras compostas de quatro repetições coletadas no experimento. Esta abordagem foi motivada devido a uma preocupação de redução



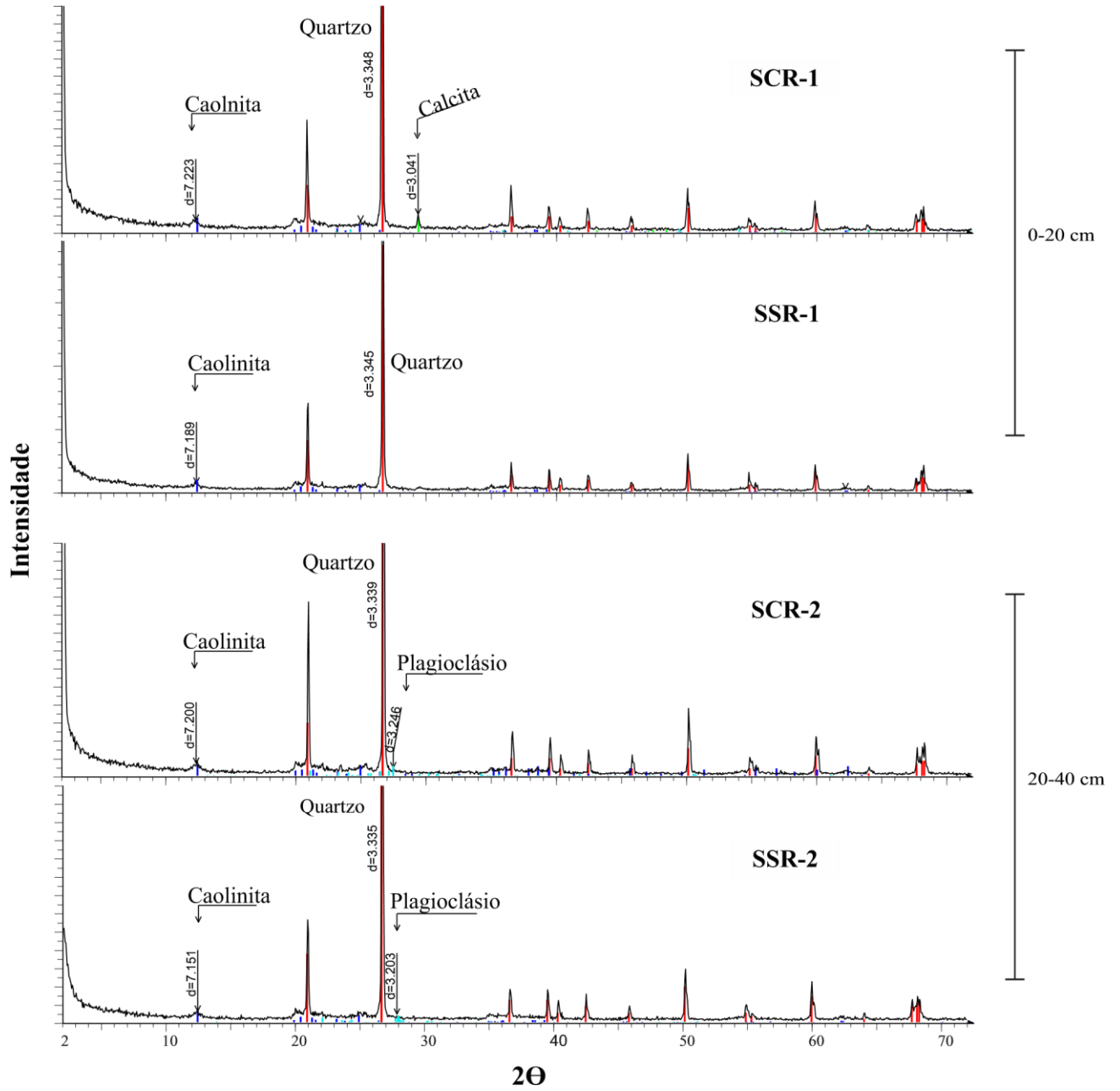
de custos e de tempo de análise. A nomenclatura das amostras está relacionada com a adição do pó de rocha. Assim as amostras coletadas em um mesmo nível e mesma linha compuseram as amostras SSR-1 (Solo Sem Rocha entre 0-20 cm de profundidade) e SSR-2 (Solo sem Rocha entre 20-40cm). Para os solos em que foi aplicado o pó de rocha foram compostas as amostras SCR-1 (Solo Com Rocha entre 0-20 cm de profundidade) e SCR-2 (Solo Com Rocha entre 20-40 cm de profundidade).

#### ***4.2.1. Caracterização mineralógica do Solo por DRX***

Nas análises por difratometria por raios x foram identificadas as fases minerais presentes no solo sem adição do pó de rocha, amostras SSR-1 e SSR-2, e no solo com pó de rocha, amostras SCR-1 e SCR-2, nas profundidades de coleta de 0-20 cm e 20-40 cm. Na fração argila ( $<2\mu\text{m}$ ) foram identificados argilominerais em ambas amostras.

A interpretação dos difratogramas de raios-X do solo total na camada 0-20 sem adição de pó de rocha permitiu identificar na amostra SSR-1 os minerais quartzo e caulinita enquanto que na amostra SSR-2 foram identificados quartzo, plagioclásio e caulinita. Já no solo com adição do pó de rocha foi possível identificar outras fases minerais. Na amostra SCR-1 foram encontrados Quartzo, caulinita e calcita e na amostra SCR-2 foram observados quartzo, caulinita e plagioclásio (Fig. 16). Os difratogramas na fração argila ( $<2\mu\text{m}$ ) de ambas amostras apresentaram caulinita, quartzo e feldspato, mas em ambas profundidades não expressaram nenhum contraste (apêndice A).

Figura 16. Difratogramas de raios-X de solo total de amostras compostas. O eixo x representa o  $2\theta$  e o y representa a intensidade dos reflexos. Os difratogramas foram sobrepostos para melhor visualização das mudanças de fases minerais ao longo da coleta (0-40cm)



#### 4.2.2. Caracterização química no solo por FRX

A análise dos elementos maiores no solo com e sem adição do pó de rocha nas profundidades de 0-20 e 20-40 centímetros, obtida a partir da Fluorescência de raios-X, apresentou um incremento dos teores de SiO<sub>2</sub>, CaO e MgO com a adição do pó de rocha na profundidade de 0-20 centímetros. Ainda nessa camada, os teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> decresceram, enquanto os demais elementos não demonstraram alterações importantes (Tabela 4). A adição de pó de rocha ao solo não alterou os teores de elementos maiores na camada 20-40 centímetros.

Tabela 4. Resultados dos elementos maiores (em % em peso de óxidos) das amostras do solo sem aplicação do pó de rocha(SSR) e com aplicação (SCR) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

Amostras	SSR-1 (0-20 cm)	SCR-1 (0-20 cm)	SSR-2 (20-40 cm)	SCR-2 (20-40 cm)
	%			
SiO <sub>2</sub>	69,63	78,54	75,29	77,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,09	7,35	9,94	9,39
TiO <sub>2</sub>	1,85	1,49	2,00	1,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,86	3,43	4,10	3,95
MnO	0,15	0,13	0,15	0,11
MgO	0,31	0,52	0,21	0,18
CaO	1,27	3,14	0,50	0,43
Na <sub>2</sub> O	nd	nd	nd	nd
K <sub>2</sub> O	0,37	0,38	0,35	0,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3	0,34	0,20	0,15
LOI	14,6	19,54	8,51	7,42
Total	101,43	98,98	101,24	101,17

A Tabela 5 apresenta as variações observadas nos teores dos elementos, as porcentagens relativas que expressam redução ou enriquecimento de elementos entre as amostras com e sem pó de rocha, na qual valores negativos representam redução e valores positivos representam enriquecimento, em que Valores (%) = SCR-SSR.

Tabela 5. Diferença entre os teores de elementos maiores das amostras de solo com aplicação de pó de rocha SCR e sem aplicação SSR para as duas profundidades de coleta.

<b>Elementos</b>	<b>SCR – SSR (0-20cm)</b>	<b>Valores (%)</b>	<b>SCR – SSR (20-40 cm)</b>	<b>Valores (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	8,91	11,34	1,97	2,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1,74	-23,67	-0,55	-5,86
TiO <sub>2</sub>	-0,36	-24,16	-0,08	-4,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,43	-12,54	-0,15	-3,80
MnO	-0,02	-15,38	-0,04	-36,36
MgO	0,21	40,38	-0,03	-16,67
CaO	1,87	59,55	-0,07	-16,28
Na <sub>2</sub> O	nd	nd	nd	nd
K <sub>2</sub> O	0,01	2,63	0,01	2,78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04	11,76	-0,05	-33,33
LOI	4,94	25,28	-1,09	-14,69

Embora os teores absolutos sejam grandezas pequenas, as diferenças são bastante expressivas quando expressas em porcentagem. Dessa forma observa-se que há redução dos teores dos elementos Al, Ti, Fe e Mn na amostra com aplicação do pó de rocha, entre 12,5% (Fe) e 24,67% (Ti). Normalmente Fe, Al e Ti são elementos conservativos e pouco móveis e neste caso provavelmente expressa uma diluição dos teores devido ao acréscimo do pó de rocha.

Os teores Si, Mg e Ca tiveram um aumento importante no solo com aplicação de pó de rocha, de 11,34% para Si e de 40,38% e 59,55 % para Mg e Ca, respectivamente.

Resultado interessante e talvez o de maior interesse no presente trabalho, mesmo com elevações pequenas, foram os resultados para K e P. Os teores tiveram um acréscimo de 2,63% para o potássio e de 11,76% para o fósforo. Também se observou que o valor de perda ao fogo aumentou de 35% quando comparado com a amostra sem pó de rocha, demonstrando um aumento da humidade do solo quando da aplicação do pó de rocha.

Para as amostras coletadas na profundidade 20-40 cm as diferenças são atenuadas entre SSR e SCR e apresentam variações menores. Todavia observou-se que para a maioria dos elementos há perdas exceto em Si e K onde há um aumento de 2,55% e 2,78% respectivamente. As reduções mais expressivas são em Mn e P.

A análise dos elementos menores do solo sem e com aplicação do pó de rocha, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, realizada por Fluorescência de raios-X indicou alteração dos teores dos elementos no solo (Tabela 6).

Tabela 6. Resultados dos elementos traços (em ppm) das amostras do solo com e sem aplicação do pó de rocha em profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

Amostras	SSR-1(0-20 cm)	SCR-1 (0-20 cm)	SSR-2 (20-40 cm)	SCR-2 (20-40 cm)
	(ppm)			
Y	31	24,3	34,5	31,6
Pb	36,8	37,3	32,6	30,2
Ni	6	4,70	6	5,7
Co	19,6	18,8	20,8	18
Cu	95	162,8	39,2	29,6
Ga	8,1	7,5	8,9	8,2
Sr	96,3	244,7	60,7	53,1
Zr	543,3	454,3	554,6	697,5
Zn	89,4	110,7	52,7	46,8
Nb	35,2	26,9	37,2	34,4
Rb	47,5	39,9	46,8	43,9
As	20,2	16,1	20,8	18,7
Cr	71,7	75,1	75,6	76,1
Ba	315,3	577,1	267,1	223,8

Como efetuado para a análise dos resultados dos elementos maiores, a apresentação dos resultados dos elementos traços também seguirá a mesma ordem, ou seja, a partir da análise de aumento ou diminuição dos elementos nas amostras sem aplicação e com aplicação de pó de rocha. A tabela 7 apresenta as variações dos teores dos elementos entre a amostra com pó de rocha SCR e sem pó SSR (SCR-SSR) e respectivo valor em porcentagem.

Tabela 7. Diferença entre os teores de elementos traços das amostras de solo com aplicação de pó de rocha SCR e sem aplicação SSR para as duas profundidades de coleta.

Elementos	SCR – SSR (0-20cm)	Valores (%)	SCR - SSR (20-40 cm)	Valores (%)
Y	-6,7	-27,57	-2,9	-9,18
Pb	0,5	1,34	-2,4	-7,95
Ni	-1,3	-27,66	-0,3	-5,26
Co	-0,8	-4,26	-2,8	-15,56
Cu	67,8	41,65	-9,6	-32,43
Ga	-0,6	-8,00	-0,7	-8,54
Sr	148,4	60,65	-7,6	-14,31
Zr	-89	-19,59	142,9	20,49
Zn	21,3	19,24	-5,9	-12,61
Nb	-8,3	-30,86	-2,8	-8,14
Rb	-7,6	-19,05	-2,9	-6,61
As	-4,1	-25,47	-2,1	-11,23
Cr	3,4	4,53	0,5	0,66
Ba	261,8	45,36	-43,3	-19,35

Observou-se que na profundidade de 0-20 cm houve o enriquecimento de Cu, Sr, Zn, Cr e Ba. Os aportes mais importantes foram em Cu com 41,65%, Ba (45,36%) e Sr com 60,65%. O Pb teve uma elevação menor, da ordem de 1,34% considerada praticamente nula. Todavia, nesta profundidade verificou-se que ocorreu o empobrecimento dos elementos Y, Ni, Co, Ga, Zr, Nb, Rb e As, com porcentagens que variam de 4,26% para o Co até 30,86% para o Nb.

Nas profundidades compreendidas entre 20-40 cm ocorreu o empobrecimento de quase todos os elementos analisados (Y, Pb, Ni, Co, Cu, Ga, Sr, Zn, Nb, Rb, As e Ba), exceto pelos elementos Zr com um aumento importante de 20,49% e Cr de 0,66%.

Observou-se que na profundidade de 0-20 cm houve o enriquecimento de Cu, Sr e Ba. Ressalta-se que este último teve um aumento abrupto no solo com pó de rocha. Por outro lado, nessa profundidade verificou-se que ocorreu um empobrecimento do Zr.

Na profundidade de 20-40 cm ocorreu o empobrecimento dos elementos Cu e Ba, e um incremento do teor de Zr.

#### 4.2.3. Análise do solo associado ao pó de rocha por análises de fertilidade convencionais

Este capítulo tratará dos resultados de análises químicas do solo coletado em área com e sem adição do pó de rocha. Os dados desta análise foram tratados estatisticamente, obtendo um desvio padrão.

O carbono no solo pode estar em formas inorgânicas (carbonato e bicarbonato) e orgânicas. O carbono orgânico do solo (matéria orgânica, MO) é constituído por microorganismos, húmus estabilizado, resíduos vegetais e animais em vários estágios de decomposição. A rochagem incrementou o teor de MO na camada 0-20, mas não afetou os teores na camada 20-40 cm, já a quantidade de argila mostrou uma tendência de aumento bem significativa em ambas profundidades, principalmente em 0-20 cm. Observou-se que, em comparação, o pH em água, que indica a acidez ativa, não se alterou com a adição do pó de rocha, quando considerado o desvio padrão. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 8.

Tabela 8. Resultados obtidos pelas análises de Matéria Orgânica (MO), Argila e pH em água com seus desvios padrões.

Amostra	MO	ARGILA	pH-H <sub>2</sub> O
	%		
SSR-1	2,2 ± 0,94	13,0 ± 0,00	6,4 ± 0,37
SCR-1	2,8 ± 1,58	14,8 ± 1,26	6,3 ± 0,29
SSR-2	0,8 ± 0,14	13,0 ± 0,00	6,4 ± 0,51
SCR-2	0,7 ± 0,17	15,3 ± 1,71	6,5 ± 0,31

Alguns fatores principais afetam a Capacidade de Troca de Cátions (CTC), tais como área superficial específica (ASE), o pH da solução do solo, adsorção específica de íons e a matéria orgânica.

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos acerca do complexo sortivo, da CTC, acidez potencial e saturação de bases. A maioria dos teores no solo (Ca, Mg, acidez potencial (H+Al)

e CTC), não mostraram efeitos significativos, considerando os desvios padrões, com a adição do pó de rocha. Já o K e a percentagem de saturação por bases (V) mostraram que a adição de rocha no solo, expressam uma tendência de aumento. O Al e a percentagem da saturação por alumínio foram nulos na análise. O fósforo apresentou uma anomalia dentre as amostras: diminuiu em ambas profundidades, principalmente na profundidade de 20-40 cm, onde mostrou uma grande variação.

Tabela 9. Resultados do Complexo Sortivo (CTC) com seus desvios padrões. (1) Acidez Potencial; (2) Percentagem de Saturação de Bases em relação ao total de cátions no complexo; (3) Percentagem de Saturação por Alumínio.

Amostra	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al <sup>(1)</sup>	CTC	V <sup>(2)</sup>	m <sup>(3)</sup>
	—— (mg/dm <sup>3</sup> ) ——				—— (cmolc/dm <sup>3</sup> ) ——			—— % ——	
SSR-1	75,5 ± 26,1	55,0 ± 9,02	0,0	8,2 ± 5,96	0,7 ± 0,14	1,5 ± 0,42	10,5 ± 5,52	81,3 ± 12,9	0,0
SCR-1	61,8 ± 38,7	69,0 ± 16,8	0,0	9,7 ± 6,25	0,8 ± 0,22	1,5 ± 0,22	12,1 ± 6,21	84,5 ± 7,94	0,0
SSR-2	47,0 ± 21,6	35,3 ± 6,75	0,0	4,7 ± 3,19	0,4 ± 0,08	1,4 ± 0,30	6,6 ± 2,86	74,5 ± 15	0,0
SCR-2	26,8 ± 8,42	45,3 ± 28,6	0,0	4,6 ± 1,36	0,3 ± 0,13	1,3 ± 0,43	6,3 ± 1,24	78,8 ± 7,50	0,0



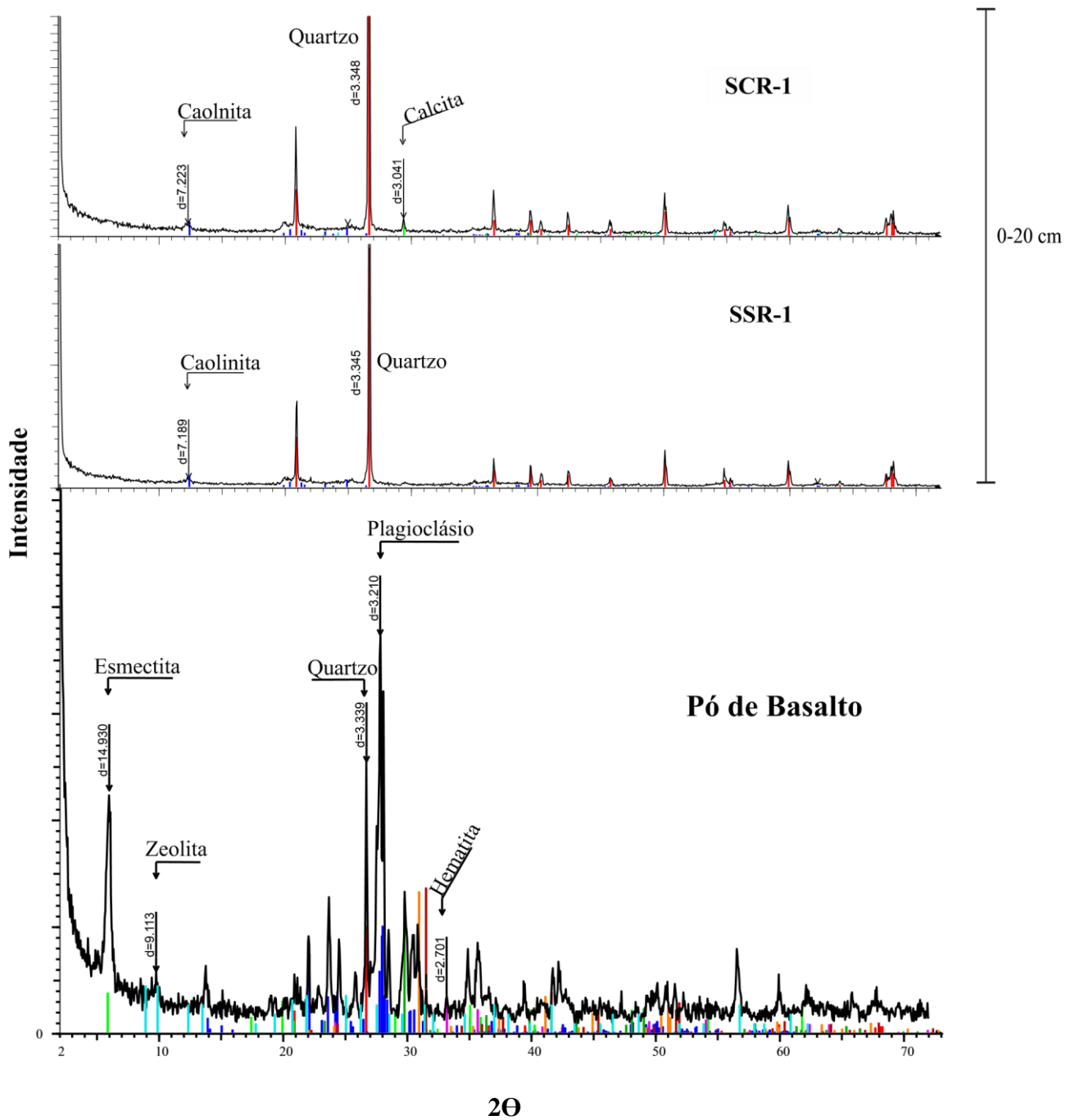
## **5. DISCUSSÕES**

Este capítulo tem como objetivo associar os diferentes resultados obtidos no presente trabalho visando um maior entendimento sobre a aplicação da técnica da rochagem. Tanto a difratometria de raios x quanto a fluorescência de raios x e as análises de fertilidade mostraram que as amostras coletadas na profundidade entre 20-40cm não apresentam uma resposta efetiva quanto à um aumento dos elementos químicos e nutrientes.

### **5.1. Comparação mineralógica do solo com e sem adição do pó de rocha**

A análise petrográfica da lâmina delgada da amostra de basalto identificou a presença de plagioclásio, piroxênio (augita) e opacos (magnetita), além de esmectitas e zeolitas. Em comparação, os difratogramas das amostras SSR-1, SCR-1 e pó de rocha (Fig. 21) permitiu identificar a presença de calcita na amostra SCR e também no pó de rocha oriundo do basalto.

Figura 17. Comparação da composição mineralógica do solo na profundidade de 0-20cm, entre as amostras SSR e SCR e o pó do basalto. Observa-se que na amostra SSR não há calcita, enquanto que nas amostras SCR e pó de basalto estes minerais são presentes.



Embora ocorram reflexões claras de esmectita no difratograma do pó de rocha, não foram detectadas esmectitas nos difratogramas tanto do solo sem aplicação de pó de rocha quanto no solo com aplicação de pó de rocha. Houve diluição do sinal. Já o quartzo apresentou um comportamento inverso: os picos secundários têm maior intensidade no solo com aplicação,

devido a uma baixa dissolução deste mineral e a sua quantidade já presente no solo sem aplicação, ou seja, mesmo que o basalto tenha pouca quantidade de quartzo, este se soma ao quartzo que já estava presente nos solos, além da resposta da quantidade de sílica presente em outros minerais presentes na rocha. O plagioclásio não é identificado nas profundidades de 0-20 cm, pois este foi facilmente intemperizado na mistura do solo com o pó de rocha.

## 5.2. Comparação química do solo com o pó de rocha

Assim como os resultados da difração de raios X, notou-se que os maiores contrastes se deram na profundidade de 0-20 cm. Dentre os elementos maiores o  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  foram os que mais obtiveram influência significativa do pó de rocha. Os elementos maiores que obtiveram uma queda na relação das amostras SSR-1 e SCR-1 foram o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mesmo com adição destes pelo pó da rocha. Na natureza Al, Fe e Ti são considerados como elementos de comportamento conservativo. Se aqui neste trabalho houve um comportamento diferente é devido a um processo de diluição devido a mistura com o pó de rocha. É a contribuição da rochagem. Não se deve dizer que o comportamento desses elementos é móvel. Aqui é apenas uma questão de aumento ou diminuição dos teores devido a ação humana de uso dos solos.

Nota-se que a quantidade de alguns elementos, mesmo que sejam maiores na rocha, como o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$ , que têm 14,43% e 7,63%, respectivamente, não têm a mesma resposta de concentração no solo. Isto ocorre devido a mobilidade relativa de alguns íons em solução nas águas de drenagem como apresentado na tabela 10. Nota-se que o Ca e Mg têm maior mobilidade que o Fe e o Al, com isso constata-se que houve uma resposta, conforme as influências naturais do solo e do pó de rocha.

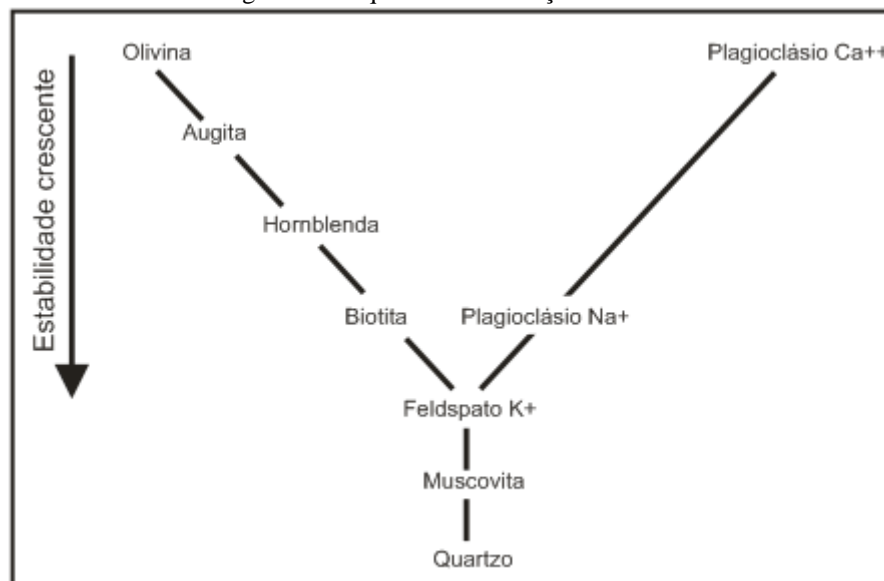
Tabela 10. Mobilidade relativa de alguns íons em solução nas águas de drenagem.

Íon	Mobilidade
Cl <sup>-</sup>	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Ca <sup>2+</sup>	Forte
Na <sup>+</sup>	
Fe <sup>2+</sup>	
Mg <sup>2+</sup>	Moderada
K <sup>+</sup>	
Si <sup>4+</sup>	Fraca
Fe <sup>3+</sup>	
Al <sup>3+</sup>	Muito fraca

Fonte: Ollier (1969).

O cálcio disponibilizado no solo é oriundo do plagioclásio e augita, presentes na rocha em uma grande quantidade. De acordo com a sequência de alteração mineral (Figura 18) de Goldich (1938) o plagioclásio cálcico e a augita têm uma resistência menor ao intemperismo, ou seja, liberam seus cátions com mais facilidade para o ambiente. A tendência de aumento de K provém da zeolita, que além deste elemento estar presente em sua composição, também reduz as perdas por lixiviação dos cátions trocáveis, principalmente do K<sup>+</sup> (ALLEN et al., 1995; BARBARICK; LAI; EBERL, 1990).

Figura 18. Sequência de alteração mineral.



Fonte: Goldich (1938).

Segundo Gupta (1991), o melhor critério para julgar a extensão de acumulação ou escassez de um determinado metal no solo é a análise de concentração de elementos traços. Os elementos traços que adquiriram uma maior concentração no presente estudo, na profundidade de 0-20 cm, são Pb, Cu, Sr, Zn, Cr e Ba, e demonstram claramente a associação com a adição da farinha de basalto. O único elemento que obteve um ganho na profundidade de 20-40 cm foi o Zircônio, o qual teve empobrecimento na profundidade de 0-20 cm. Conforme Pérez et al. (1997) o zircônio tende a se concentrar em horizontes mais profundos em solos brasileiros. O empobrecimento dos elementos Y, Ni, Co, Ga, Zr, Nb, Rb e As é devido à baixa concentração destes na rocha.

### **5.3. Fertilidade do solo com pó de rocha**

O Complexo Sortivo do solo, que é a capacidade de troca de cátions e de ânions, no qual reflete o comportamento das argilas e da matéria orgânica e quem nelas está adsorvido, mostrou que não houve um aumento significativo dos atributos analisados (Al, Ca, Mg, acidez potencial (H+Al), m, e CTC.). Nesse sistema a adição do pó de rocha ainda não se manifestou, devido a sua baixa solubilidade e, principalmente, pelo tempo. Entretanto no que se refere a saturação de bases em relação ao total de cátions no complexo e ao K<sup>+</sup> (cátions básicos na superfície dos minerais), mostraram que houve uma significativa tendência de aumento quando adicionado o pó de rocha. O fósforo expressou uma anomalia em relação ao padrão das amostras: notou-se que ocorreu uma diminuição do teor deste cátion na profundidade de 20-40 cm, onde não houve influência do pó de rocha, uma vez que o comportamento do fósforo nos solos é bastante complexo e que normalmente tem tendência a imobilidade. Com efeito, o comportamento do fósforo nos solos depende de vários fatores tais como teor de fósforo do solo, textura e saturação em fósforo do solo (argiloso ou arenoso), localização da parcela agrícola em relação a rede de drenagem, práticas agrícolas e condições climáticas (POMERLAU, 2013).

O pH não indicou alteração, quando há aplicação do pó de rocha, porém o teor da matéria orgânica e teor de argilas foram mais expressivas. Conforme Souza et al., aumento de teor de argila é consequência da baixa solubilidade do pó de rocha, provocando o aumento da CTC. O incremento da matéria orgânica é proveniente da deposição de resíduos orgânicos, principalmente de origem vegetal. Quando ocorre a fotossíntese, as plantas recolhem o CO<sub>2</sub>

presente na atmosfera, fixando-se em matéria vegetal. A partir de exsudatos radiculares no solo, durante a produção vegetal, parte do carbono é estabelecido pela fotossíntese e por fim depositado no solo. O restante é incorporado pela adição ao solo de tecido vegetal, após a sua senescência. Este é um dos principais indicadores de fertilidade do solo, pois há relação com outros fatores como retenção de água, CTC, pH, e ação microbiana (GIONGO; MENDES; CUNHA, 2011). Com isso, observou-se que o solo com adição do pó de rocha atingiu uma maior produção vegetal, aumentando a fertilidade do solo.

#### **5.4. Qualidade dos solos**

Para fins de comparação dos teores obtidos nas análises químicas das amostras coletadas com os valores de referência de qualidade e de prevenção definidos pela Resolução 420 de 28 de dezembro de 2009 do CONAMA, foi elaborada a tabela 11. Nesta tabela são apresentados apenas os elementos cujos teores são previstos por lei e que representam riscos em função dos usos do solo. Cabe ressaltar que a Resolução 420 do Conama estabelece teores de prevenção e intervenção, sendo sempre necessário apresentar os teores de referência de qualidade do solo em estudo, o que corresponde a estabelecer o background local, como determinado na Resolução 460 de 30 de dezembro de 2013 do CONAMA, na qual os valores de referência de qualidade (VRQ) do solo para substâncias químicas naturalmente presentes serão determinados pelos órgãos ambientais competentes dos Estados. São apresentados os valores de referência de qualidade de solos determinados pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS, FEPAM, que por meio da PORTARIA FEPAM N.º 85/2014, dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul (Tabela 11). Não foram estabelecidos os valores de VQR para Bário pela Fepam. Todavia a Resolução do Conama estabelece valores de prevenção e intervenção. As análises foram realizadas nas mesmas condições do presente estudo: Fração Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Tabela 11. Resultados das análises químicas das amostras e valores de referência de qualidade estabelecidos pela FEPAM, valores de prevenção e usos do solo segundo Resolução CONAMA N°420.

Elemento	VQRb <sup>a</sup>	Usos do solo – VQR <sup>b</sup>		Teores das amostras			
		Prevenção	Intervenção Agrícola	SSR-1	SCR-1	SSR-2	SCR-2
				mg.Kg <sup>-1</sup>			
Pb	36	72	180	36,8	37,3	32,6	30,2
Ni	47	30	70	6	4,7	6	5,7
Co	75	25	35	19,6	18,8	20,8	18
Cu	203	60	200	95	162,8	39,2	29,6
Zn	120	300	450	89,4	110,7	52,7	46,8
As	-	15	35	20,2	16,1	20,8	18,7
Cr	94	75	150	71,7	75,1	75,6	76,1
Ba	-	150	300	315,3	577,1	267,1	223,8

a- Médias estabelecidas segundo valores da PORTARIA FEPAM N.º 85/2014

b- Segundo Resolução 420 do CONAMA

Como parâmetro para os teores de Pb, Ni, Co, Cu, Zn e Cr, foi-se utilizada a Portaria FEPAM N.º 85/2014. Já para os teores dos elementos de As e Ba, respeitou-se a Resolução 420 do CONAMA.

A comparação dos resultados das análises químicas com os valores de referência de qualidade VRQ<sup>a</sup> da FEPAM, indica que quase todas as amostras apresentam teores aceitáveis ao de referência de qualidade para todos os metais pesados analisados, exceto as amostras SSR-1 e SCR-1 no teor de chumbo, que apresentaram teores elevados em relação ao estipulado pela VRQ<sup>a</sup>. Ressalta-se que houve um aumento de chumbo da amostra sem aplicação de pó (SSR-1) para a amostra com aplicação (SCR-1).

Em comparação aos valores de referência de qualidade VRQ<sup>b</sup> do CONAMA, os teores de Arsênio nas amostras foram superiores ao valor de prevenção em todas as amostras, mas os

teores das amostras SCR-1 e SCR-2 são menores, e se mostram dentro dos parâmetros estabelecidos para intervenção agrícola. Os teores de bário sinalizaram, em todas as amostras, um teor muito superior ao VRQ<sup>b</sup> para prevenção. Para as amostras SSR-1 e SCR-1 tiveram valores superiores quanto aos de intervenção agrícola. Observa-se que o teor de bário aumenta significativamente no solo com aplicação de pó de rocha (SCR-1).



## 6. CONCLUSÕES

A partir das diferentes análises realizadas nos solos naturais e solos nos quais foi aplicada a técnica da rochagem com aplicação de pó de basalto, pode-se concluir que:

A mineralogia do solo foi modificada com a adição do pó de rocha, mostrando presença de minerais que estão presentes no basalto, que serão futuros provedores de nutrientes no solo. Ressalta-se que o pó de rocha não tem grande penetração vertical, com isso constata-se que para uma caracterização mineralógica mais detalhada é aconselhável que a coleta de amostras seja mais estratificada e com intervalos de profundidade de coleta de amostras menores do que aquelas aqui efetuadas.

Quanto a composição química, notou-se uma maior concentração, no solo com adição do pó de rocha, de alguns elementos maiores como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{CaO}$ , e de elementos traços como o  $\text{Cu}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cr}$  e  $\text{Ba}$ , teores análogos ao pó de rocha da Pedreira Alfama. O teor de chumbo excede os padrões da Portaria da FEPAM N.º 85/2014, mas em teores pouco expressivos, influenciado pela rochagem. Entretanto é importante frisar que o alto teor de Bário é consequente da aplicação da rochagem e que extrapolam os limites estabelecidos pela Resolução 420 do CONAMA. Observa-se que é necessário estabelecer um background dos teores de Bário para os solos do Rio Grande do Sul, com o objetivo de estabelecer os valores limites de qualidade de solos e assim poder definir e classificar adequadamente os usos do solo e verificar se há ou não contaminação.

Embora os resultados de fertilidade do solo não tenham sido significativos para maioria dos atributos, devido ao tempo e solubilidade de aplicação, uma tendência mais clara foi observada para o  $\text{K}^+$ , saturação por bases, teor de argila e matéria orgânica, que indicam uma construção de fertilidade nos solos a partir da adição do pó de rocha.

Pela análise global dos resultados conclui-se que, a aplicação do pó de rocha aporta elementos mineralizadores que serão biodisponibilizados ao longo do tempo e que contribuem para uma melhoria dos solos, inclusive em termos de retenção de água reduzindo gastos em irrigação.

## 7. REFERÊNCIAS

ALLEN, E.; MING, D.; HOSSNER, L.; HENNINGER, D.; GALINDO, C. Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate. *Agronomy Journal*, Madison, v. 87, n. 6, p. 1052- 1059, 1995.

ALMEIDA, F. F. M. de 1954. Botucatu, um deserto triássico da América do Sul. *Div. Geol. Miner./Dp. Nac. Prod. Miner. Notas Prel. Estud. n.º. 86*, 21 p.

ALMEIDA, F.F.M. de. 1966. Origem e evolução da plataforma brasileira. *SEDEGEO*, Porto Alegre (2), Porto Alegre: Univ. Rio Grande do Sul, p. 45- 89.

ALMEIDA, F. F. M. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: *SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA*, 3, 198, São Paulo. Atas do... São Paulo: SBG, 1981. v. 1, p.1-20.

ASSINE, M.L.; PIRANHA, J.L.; CARNEIRO, C.D.R. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: NETO, V.M.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.; BRITO-NEVES, B.B.de. (Coordenadores), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Editora Beca, 2004, p. 77-92.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2012. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Mercado de Fertilizantes - Janeiro – Outubro/2017. São Paulo, 2017.

BARBARICK, K. A.; LAI, T. M.; EBERL, D. D. Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghumsudangrass. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 54, n. 3, p. 911-916, 1990.

BENEDUZZI, E. B. Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação de solos. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS. Porto Alegre, 2011.

BERGMANN, M.; SILVEIRA, C. A. P.; BANDEIRA, R. ; BAMBERG, A. ; MARTINAZZO, R. Basaltos amigdalóides à zeolitas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná: Potencial para uso agrônômico.. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2013, Poços de Caldas. II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2013. p. 168-180.

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

BORSATTO, S.; DANI, N.; BRESSANI, S. A.; LISBOA, N.A. Mapeamento geológico da área urbana de Caxias do Sul como etapa da cartografia geotécnica. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves, RS. Anais..., v. 15, 2015.

BRASIL Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Recife, 1973, 431 p. (Boletim Técnico nº 30).

CAMPBELL, N.S. The use of rockdust and composted materials as soil fertility amendments. 2009. 402p. Thesis- University of Glasgow, Glasgow, 2009.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. PIB do agronegócio brasileiro no PIB do Brasil: 1995 A 2015. Disponível em: [www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea\\_PIB\\_BR\\_junho16.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_PIB_BR_junho16.pdf). Acesso em: 5 de outubro de 2016.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. Escala: 1:750.000.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília. Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Brasília: EMBRAPA Cerrados, 2010. 322 p.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2010, Pelotas. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2016, 45 p.

COX, K. G. A model for flood basalt volcanism. *Journal of Petrology*, v. 21, p.629-650, 1980

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no Semiárido brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 3, p. 611-618, jul-set, 2011.

FYFE, W. S.; LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 715-720, 2006.

GALLAGHER, K; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M.S.M. The denudation history of the onshore continental margin of SE Brazil inferred from apatite fission track data. *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 18117 – 18145, 1994.

GOLDICH, S.S. A study in rock-weathering. *J. Geol.*, 46: 17-58, 1938.

GUPTA, S.K. Assessment of ecotoxicological risk of accumulated metals in soils with the help of chemical methods standardized through biological tests. In: VERNET, J.P. Heavy metals in the environment. Amsterdam: Elsevier, 1991. p.55-65.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V; NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. *Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade*. Rio de Janeiro: CETEM/Petrobrás, 2009. p. 81-132.

LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V; RIBEIRO, R.C.C. Fertilização Natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto: breve síntese conceitual. *Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade*. Rio de Janeiro: CETEM/Petrobrás, 2009. p. 149-172.

LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian Viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 3-9. Março de 2000.

LUDWICK, A. E. Report to the soil fertility - soil testing technical committee. In: *SILO soil fertility - Soil Testing Technical Committee Meeting*. Rio de Janeiro: USAID/Brasil, 1968. v. 1, p. 63-75.

MARTINS, E. S. et al. Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. Rochas e minerais industriais. 2. Ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. P. 205-223.

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. Geological and magmatic aspects of the Parana Basin: an introduction. In: PICCIRILLO E. M. & MELFI, A. J. (Eds.). The Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: USP, 1988. p. 1-14. 9.

MELO JÚNIOR, A. S. Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncrotron. Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

MOHR, W. Análises de solos para fins de assistência aos agricultores: sua técnica e interpretação. In: Reunião Brasileira de Ciência do Solo, 1. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1950. p. 185-215.

MOREIRA, A. et al. Efeito residual de rochas brasileiras como fertilizantes e corretivos da acidez do solo. Espaço & Geografia, Brasília, v.9, n. 2, p. 163-177, 2006.

OLLIER, C. Weathering and landforms. Impresso. Macmillan, 1974, Universidade da Califórnia. P. 31, 1974.

OLIVEIRA, F. A. et al. Efeito residual da adubação com rochas brasileiras como fontes de potássio para a cultura da soja. Espaço & Geografia, Brasília, v. 9, n. 2, p. 247-262, 2006.

PEATE, D.W. Stratigraphy and petrogenesis of the Paraná continental flood basalts, southern Brazil. Tese (Doutorado em Geologia). Milton Keynes, The Open University, 1990.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. SM. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): Classification of magma types and their spatial distribution. Bulletin of Volcanology, Berlin, v. 55, n.1, p. 119-139, 1992.

POMELEAU, S. La gestion du phosphore dans les terres saturées. Maîtrise en environnement. Université de Sherbrooke, Canadá 2013; 85p.

RESENDE, A. V. et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. Espaço & Geografia, Brasília, v. 9, n. 2, p. 135-161, 2006.

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

RODRIGUES, A. F. S. Agronegócio e mineral negócio: relações de dependência e sustentabilidade. Informe mineral: desenvolvimento e economia mineral. Brasília: DNPM, 2009. p. 28.

ROISENBERG, A; VIERO, A. P. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L. F. Geologia do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, Pag. 335-374, 2000.

SMALBERGER, S. A. et al. Relative Agronomic Effectiveness of Phosphate Rock Compared with Triple Superphosphate for Initial Canola, Wheat, or Ryegrass, and Residual Wheat in Two Acid Soils. Soil Science, v. 175, n. 1, p. 36-40, janeiro de 2010.

SOARES, A. P. ; SOARES, P. C. ; HOLZ, M. . Correlações conflitantes no limite Permo-Triássico no sul da Bacia do Paraná: o contato entre duas Superseqüências e implicações na configuração espacial do Aquífero Guarani.. Pesquisas em Geociências (UFRGS. Impresso) , v. 35, p. 115-133, 2008.

SOUZA, F. N. S. et al. Potencial de rejeito mineral na produção de grãos. CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília. Anais... Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. P. 289-295.

STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 222 p.

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

THEODORO, S. C. H.; ROCHA, E. L.; Rochagem: equilíbrio do solo e vigor para as plantas. In: III Congresso Brasileiro de Agroecologia e III seminário Estadual sobre Agroecologia de SC., 2005, Florianópolis. CD- ROM III Congresso Brasileiro de Agroecologia e III seminário Estadual sobre Agroecologia de SC.. Florianópolis, 2005. v. 1.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H.; ROCHA, E.L.; REGO, K.G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. Espaço & Geografia, Brasília, v. 9, n. 2, p. 263-292, 2006.

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

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília. Anais... Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. P. 173-181.

THEODORO, S. C. H. ; TCHOUANKOUE, J. P. ; GONCALVES, A. O. ; LEONARDOS, O. H. ; HARPER, J. . A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais :The Importance of a Stonemeal Technological Network for Sustainability in Tropical Countries. Revista Brasileira de Geografia Física , v. 5, p. 1390-1407, 2012.

THEODORO, S. C. H.; LEONARDOS, O. H.; REGO, K. G.; SANTOS, F.; TALINI, N. L.; OLIVEIRA, M. N. Efeito do uso da técnica de rochagem e adubação orgânica em solos tropicais. In: II Congresso Brasileiro de Rochagem, 2013, Poços de Caldas. Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem. Visconde do Rio Branco/MG: SUPREMA. v. 1. p. 322-42, 2013.

TOLEDO, M. C. M. et al. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, Wilson et al. org. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568p. il. p. 140-166.

TONIOLO, J. A. ; PARISI, G. N. ; BERGMANN, Magda ; SILVEIRA, C. A. P. ; BAMBERG, A. L. ; MARTINAZZO, R. ; GRECCO, M. . Potencial de agrominearsi no escudo do Rio Grande do Sul. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2013, Poços de Caldas. Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem. v. 1. p. 141-148.

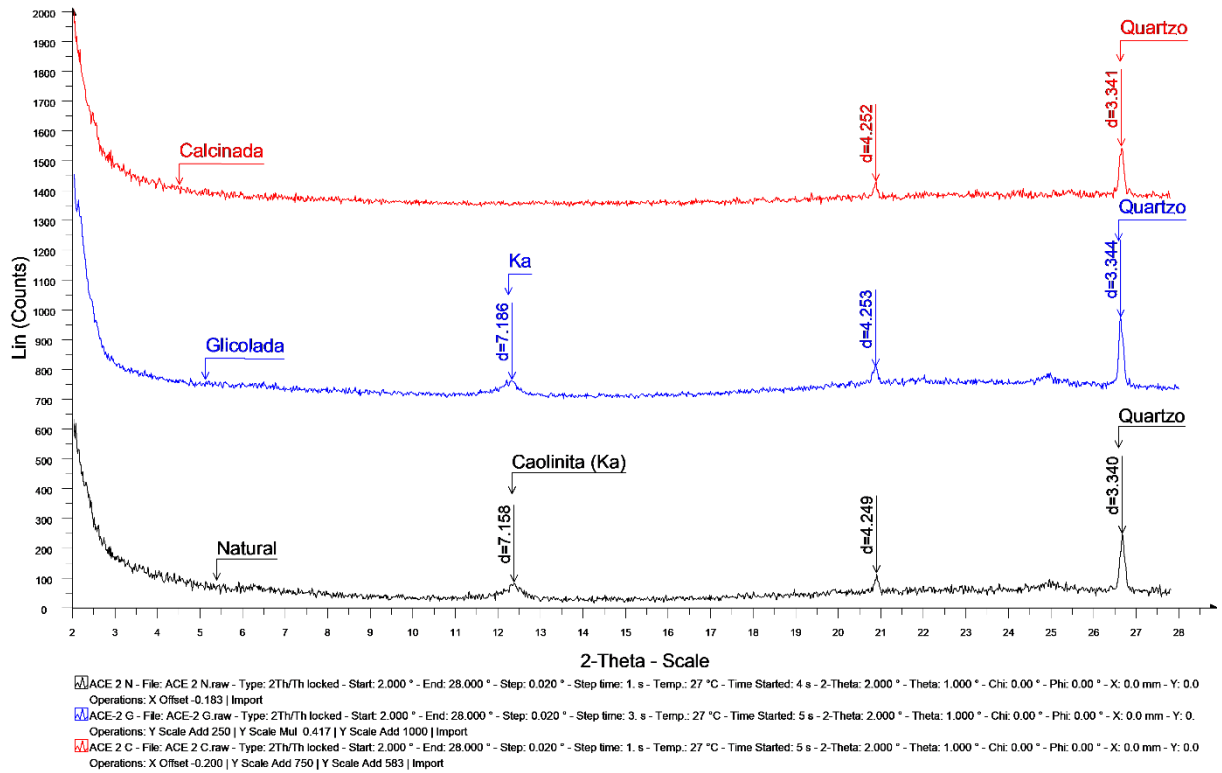
VOLKWEISS, S.J. & KLAMT, E. "Operação Tatu": um programa de aumento da produtividade. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, v. 22, n. 250, p. 37-41, 1969.

WILSON, M. *Igneous Petrogenesis*. London: Unwin Hyman, 1989. 466p.

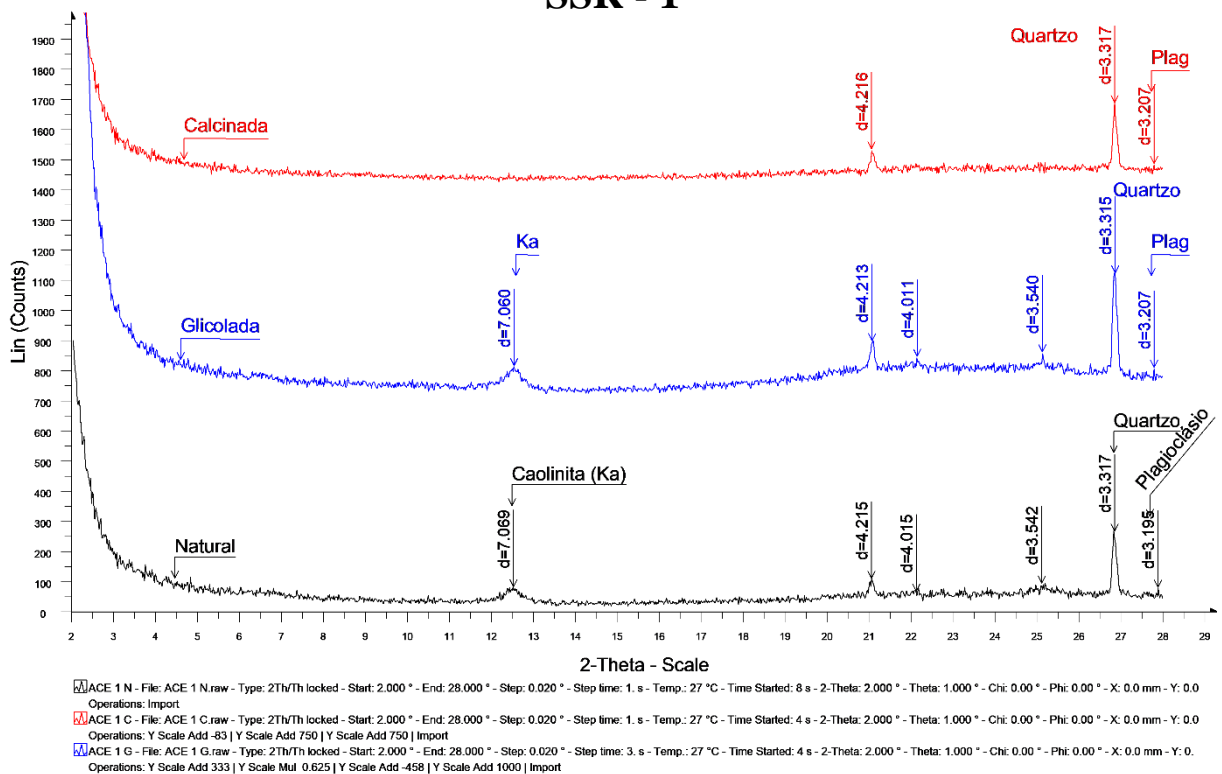


Apêndice A – Difratomogramas

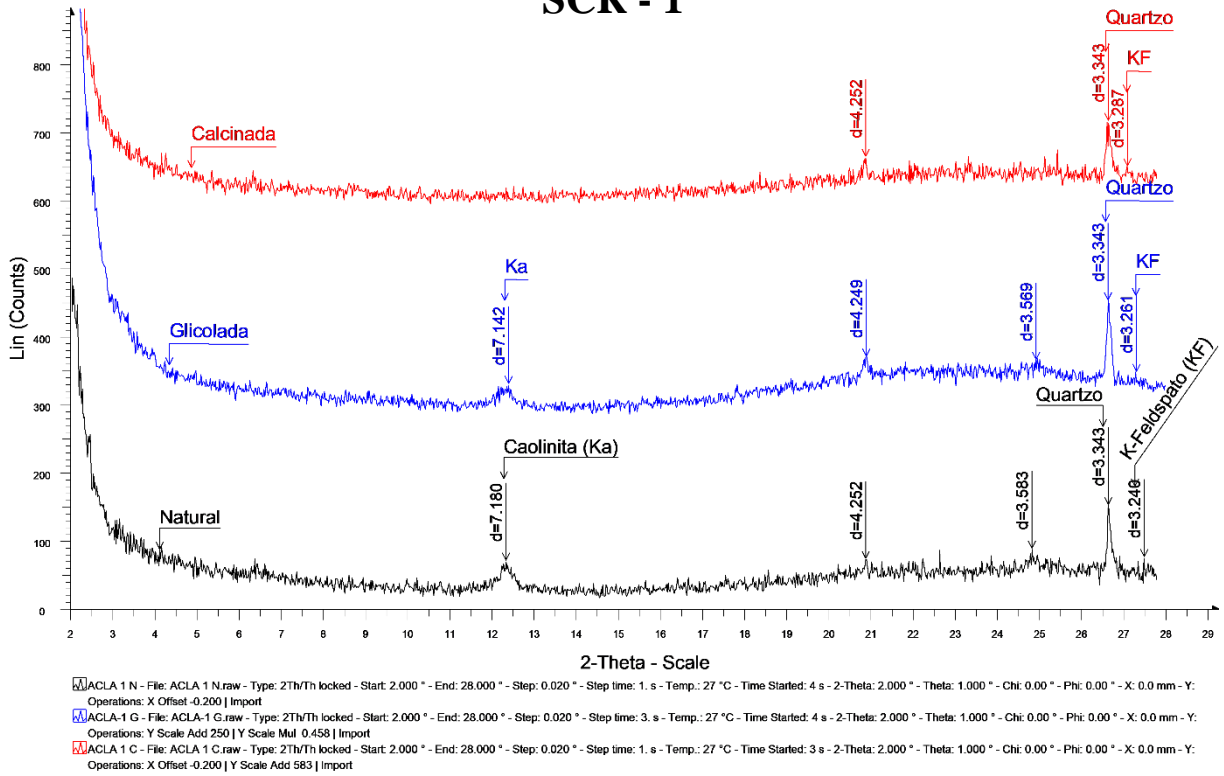
SSR - 2



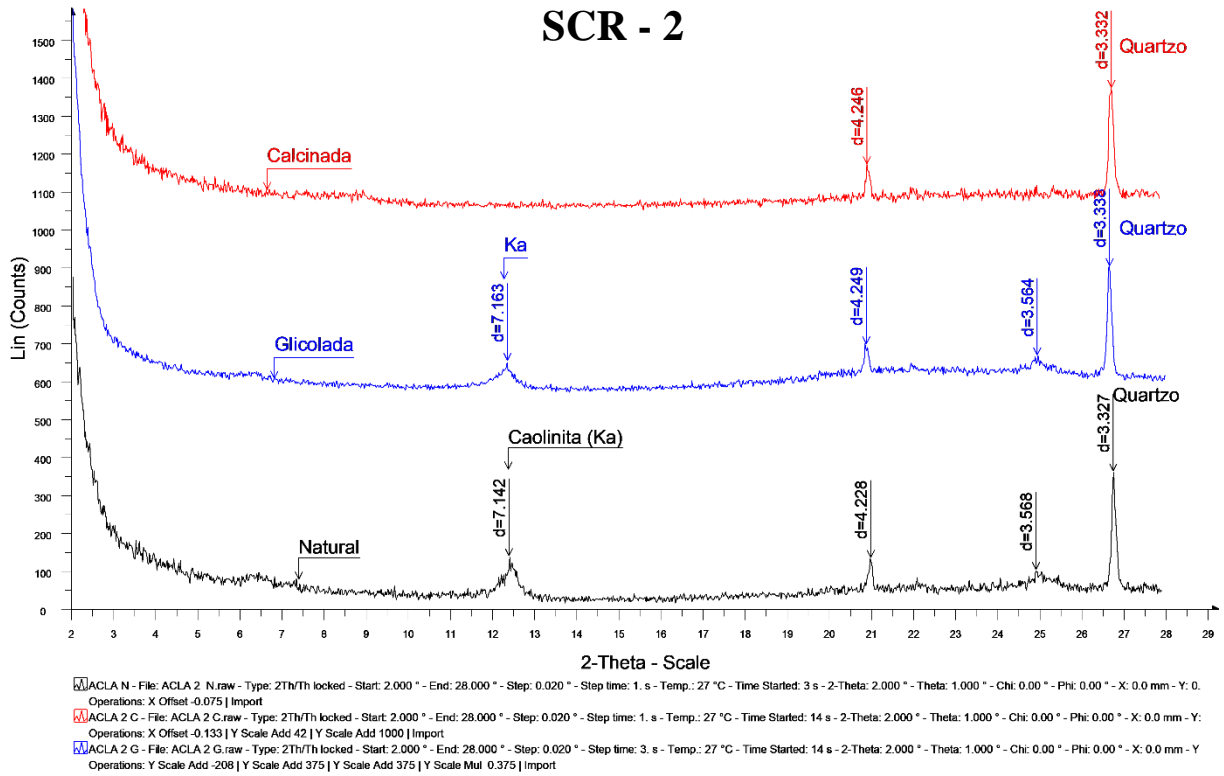
SSR - 1



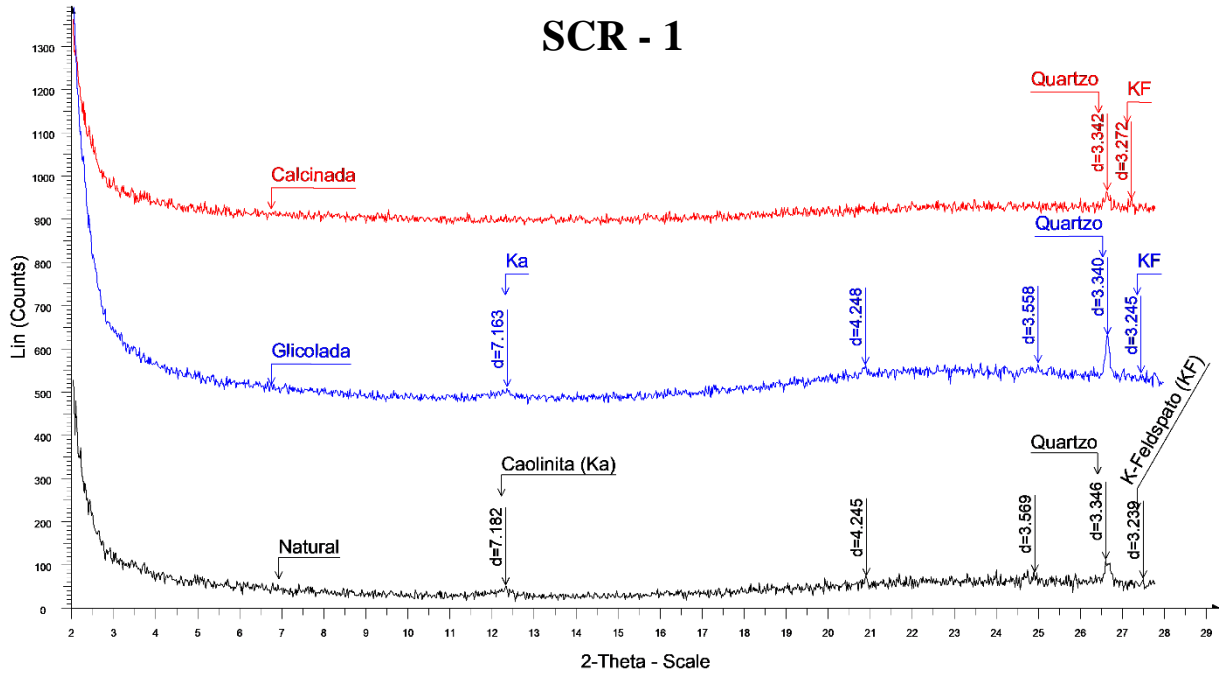
### SCR - 1



### SCR - 2



### SCR - 1

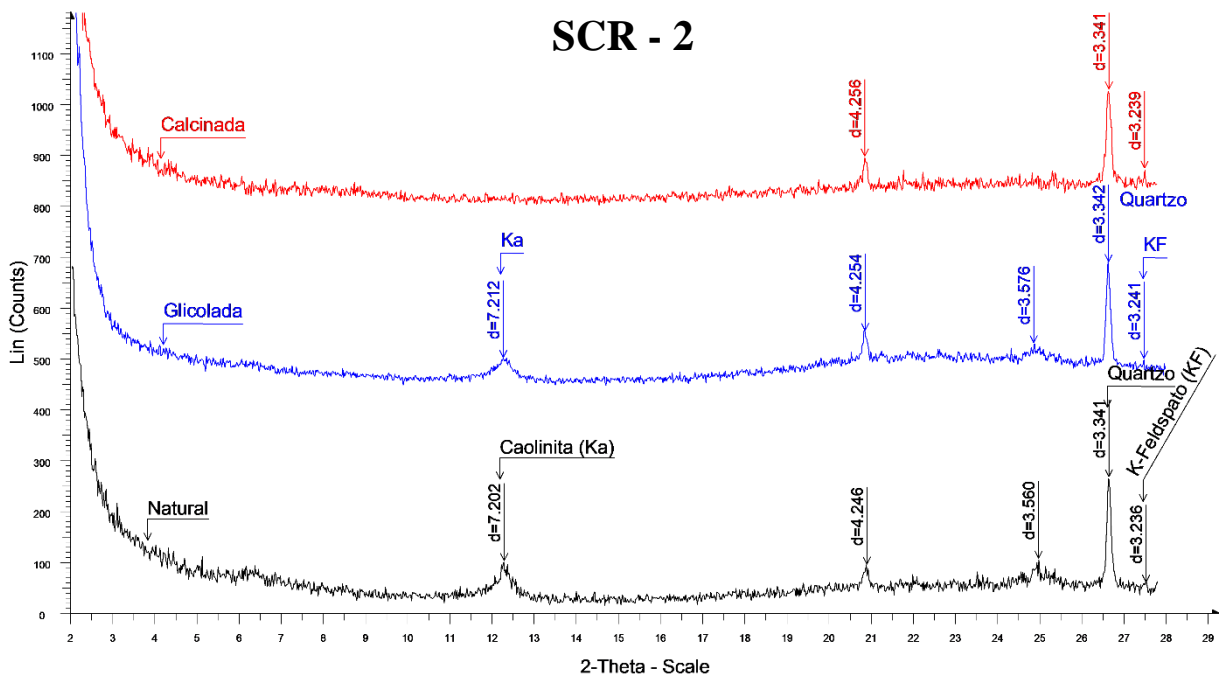


ACL B 1 N - File: ACLB 1 N.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 27 °C - Time Started: 4 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm - Y: Operations: X Offset -0.200 | Import

ACL B 1 C - File: ACLB 1 C.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 27 °C - Time Started: 5 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm - Y: Operations: X Offset -0.200 | Y Scale Add -250 | Y Scale Add -208 | Y Scale Add 125 | Y Scale Add 208 | Y Scale Add 1000 | Import

ACL B 1 G - File: ACLB 1 G.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 3. s - Temp.: 27 °C - Time Started: 4 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm - Y: Operations: Y Scale Add 208 | Y Scale Mul 0.542 | Y Scale Add -250 | Y Scale Add 667 | Import

### SCR - 2



ACL B 2 N - File: ACLB 2 N.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 27 °C - Time Started: 5 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm - Y: Operations: X Offset -0.183 | X Offset -0.183 | Import

ACL B 2 C - File: ACLB 2 C.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 1. s - Temp.: 27 °C - Time Started: 4 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm - Y: Operations: X Offset -0.200 | Y Scale Add 792 | Import

ACL B 2 G - File: ACLB 2 G.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 28.000 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 3. s - Temp.: 27 °C - Time Started: 14 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - Phi: 0.00 ° - X: 0.0 mm - Y: Operations: Y Scale Add 417 | Y Scale Mul 0.375 | Import

## GEO 03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA 111

Título da Monografia: DO PO DE ROCHA A FERTILIDADE: UMA EXPERIÊNCIA NOS SOLOS DE MONTENEGRO/RS				
Autor: FRANCIELLE DA SILVA NIEWINSKI				
Orientador(es): Profa. Dra. Maria Lidia Medeiros Vignol-Lelarge; Profa. Dra. Teresinha Guerra; Supervisor: Prof. Dr. Alberto Vasconcellos Inda Junior				
Nota final 1 até 10 : 9,5				
Examinador: Profa. Dra. Cassiana Roberta Lizzoni Michelin Data: 21/12/2017				
		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?	X		
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?	X		
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?	X		
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	X		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?	X		
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?	X		

Este estudo fornece dados conclusivos a respeito o uso da rochagem como fonte de remineralização de solos. Os dados obtidos são compatíveis com a metodologia de trabalho empregada. Considero que os objetivos propostos para esta dissertação foram alcançados. Abaixo, alguns apontamentos que considero importantes para a complementação do material

de

Página	Correções obrigatórias
Resumo	Foram utilizadas análises petrográficas para a caracterização do solo?
18	Substituir o termo farinha por pó.
20	Indicar que as unidades em estudo estão inseridas no contexto da Bacia do Paraná.
21	Neste mapa, tem-se a impressão que o município de Montenegro é

excelente qualidade apresentado. Parabenizo a autora e seus orientadores pelo ótimo trabalho desenvolvido.

	territorialmente maior que Porto Alegre.
25	A sigla, na primeira vez que aparece no texto, deve estar por extenso com a sigla ao lado dentro de parênteses, P. Ex.: NPK
31	Substituir figura 1 por mapa 1.
31	Retirar a "apresentação da área em estudo" do primeiro parágrafo, já que esta informação já foi anteriormente discutida.
31	Inserir figura 2. Não consta no corpo do texto.
31	Sugiro neste item o acréscimo de mais informações sobre o pó de rocha que foi utilizado, como por exemplo, a granulometria, forma das partículas, neste item também seria interessante uma fotografia de detalhe do pó.
33	As informações contidas no primeiro parágrafo do item coleta de solo estão repetidas.
33	Inserir fonte da figura 5
33	Para melhor entendimento, seria conveniente acrescentar no as siglas utilizadas no croqui da página 34 na descrição das camadas de coleta do solo. (SSR- solo sem pó de rocha e SCR — solo com pó de rocha).
34	Como o assunto é relativamente pouco conhecido e ainda não se estabeleceu uma metodologia de análise de solo remineralizado, seria interessante a autora relatar a quantidade de amostra coletada para as diferentes etapas de análise.
36	Acrescentar na legenda da figura o significado das letras "A" e "Bt" contidas na figura 8
41	Acrescentar as letras A e B para a referência das figuras 9, 10, 11, 12 e 13, utilizando siglas nas fotomicrografias para facilitar o reconhecimento por parte dos leitores.
57	Rever a informação de que o basalto tem quartzo.
58	Tabela IO - poderia ser inserida no estado da arte.
58	Figura 18 - poderia ser inserida no estado da arte.

### GEO 03015 PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA 111

Título da Monografia: 3; z no de rocha parte lixada: sem

experiência em labor do Monturo São RS				
Autor: Francielle de Silva Niculinski				
Orientador(es): Maria Lides Medeiros Bisnol-De Lenc. Teresinha Azevedo, Alberto Bonacceller Gude "Azevedo"				
Nota final 1 até 10): 9,0				
Examinador:		e,io DANI		Data: 2
		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?	X		
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?	X		
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?	X		
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	X		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?	X		
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?	X		
Página	Correções obrigatórias			
	Ficou incompleta. Deixar sempre de			
	incompleta.			
	Bibliografia no bloco (Ex. THEODORO			
	et al. 2013?)			

Título da Monografia: <i>DO PO DO AÉ ROCHA A FERTILIDADE: UMA EXPERIÊNCIA SOLTA MONTENEGRO</i>				
Autor: <i>FRANCIELLE</i>		;SW//O		
Orientador(es): <i>IBRAHEIM L. WIDL, TERESINHA GUERRA, ALBERTO VASCONCELOS INSA JUNIOR</i>				
Nota final 1 até 10): 9,0				
Examinador: <i>CCOI, IS GONZ</i>			Data: <i>21/12/20</i>	

		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?	X		
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?	X		
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?	X		
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	X		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?	X		
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?	X		

Página	Correções obrigatórias
32	<i>As identificações das figuras 2 e 3 estão invertidas em relação ao foto.</i>
52	<i>O empolamento da 2ª está relacionado no texto o (Fig. 20). Dever ser (Tabela 7).</i>
58	<i>A chamada o (Figura 24) deve ser (Figura 18).</i>
UMA	<i>Identificar o autor da monografia!</i>