

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

THAYANNE BARBOSA TEIXEIRA

**PÓ DE ROCHAS BASÁLTICAS PARA UTILIZAÇÃO COMO REMINERALIZADOR
DE SOLO EM CULTIVO DE *Zea mays* L.**

**Caçapava do Sul
2021**

THAYANNE BARBOSA TEIXEIRA

**PÓ DE ROCHAS BASÁLTICAS PARA UTILIZAÇÃO COMO REMINERALIZADOR
DE SOLO EM CULTIVO DE *Zea mays* L.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory

Coorientadora: Prof. Dra. Caroline Wagner

**Caçapava do Sul
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

T369p Teixeira, Thayanne Barbosa
Pó de rochas basálticas para utilização como
remineralizador de solo em cultivo de Zea mays L. / Thayanne
Barbosa Teixeira.

51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2021.

"Orientação: Tiago Rafael Gregory ".

1. Resíduos de mineração . 2. Remineralizadores . 3. Solos.
4. Zea mays L.. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

THAYANNE BARBOSA TEIXEIRA

**PÓ DE ROCHAS BASÁLTICAS PARA UTILIZAÇÃO COMO REMINERALIZADOR DE SOLO
EM CULTIVO DE Zea mays L.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Geologia da Universidade Federal
do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

07 de maio de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Tiago Rafael Gregory

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Me. Luiz Delfino Teixeira Albarnaz

UNIPAMPA

Prof. Pós-Dr. Rafael Matias Feltrin

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **TIAGO RAFAEL GREGORY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/05/2021, às 10:07, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUIZ DELFINO TEIXEIRA ALBARNAZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/05/2021, às 10:22, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **RAFAEL MATIAS FELTRIN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/05/2021, às 10:22, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0525886** e o código CRC **AD44541B**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

A todos que vieram antes de mim,
cientistas e familiares.

“Querer-se livre é também querer livre os outros.”

Simone De Beauvoir

RESUMO

Tendo em vista a demanda por fertilizantes no cenário brasileiro e a problemática de resíduos de mineração, esta pesquisa, através de análise do comportamento da cultura de milho, procurou comparar e compreender a influência da adição de pó de rocha ao solo. Foram utilizadas 3 amostras de pó de rocha: um é o resíduo do processo de britagem de mineração de agregados para construção civil; outro é extraído com fim comercial para utilização como remineralizador de solos; e o terceiro pó trata-se de resíduo do processo de britagem de extração de ametistas. Para tanto, foi necessário avaliar a potencialidade dos pós de rocha em promover maior taxa de crescimento e floração em *Zea mays* L. em casa de vegetação, bem como comparar o efeito da adição de pó de rocha em três fases de desenvolvimento da planta; avaliar o efeito de diferentes concentrações de pó de rocha no desenvolvimento da cultura e determinar as potencialidades de uso e melhores proporções de pó de rocha. Com isso, obtivemos a conclusão de que o pó de rocha oriundo do resíduo de extração de ametistas, quando aplicado em proporções referentes à 5 ton/ha, apresentou a menor variabilidade de tamanho e os melhores resultados quanto a fase reprodutiva da planta.

Palavras-Chave: Resíduos de mineração, Remineralizadores, Solos, *Zea mays* L.

ABSTRACT

In view of the demand for fertilizers in the Brazilian scenario and the problem of mining residues, this research, through analysis of the behavior of the corn crop, sought to compare and understand the influence of the addition of rock dust to the soil. Three rock dust samples were used: one is the residue from the aggregate mining crushing process for civil construction; another is extracted for commercial use for use as a soil remineralizer; and the third powder is a residue from the amethyst extraction crushing process. Therefore, it was necessary to evaluate the potential of rock powders to promote a higher growth and flowering rate in *Zea mays* L. in a greenhouse, as well as to compare the effect of adding rock dust in three stages of plant development; evaluate the effect of different concentrations of rock dust on the development of the culture and determine the potential for use and better proportions of rock dust. With that, we concluded that the rock powder from the amethyst extraction residue, when applied in proportions referring to 5 ton / ha, presented the least size variability and the best results regarding the reproductive phase of the plant.

Key words: Mining residues, Remineralizers, Soils, *Zea mays* L.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Mapa de localização da coleta das amostras de pó de rocha. | 5 |
| Figura 2 – Aspectos de campo dos pontos visitados na Mina de Ametista..... | 7 |
| Figura 3 – Aspecto de campo dos pontos visitados na Pedreira do grupo Carollo. ... | 9 |
| Figura 4 – Domínios Tectônicos do Estado do Rio Grande do Sul. | 11 |
| Figura 5 – Mapa de localização da Bacia do Paraná no Brasil. | 12 |
| Figura 6 – Mapa de localização da coleta de solo..... | 16 |
| Figura 7 – Mapa de solos do Rio Grande do Sul..... | 17 |
| Figura 8 - Gráfico de evolução de área plantada e produção no cenário agrícola brasileiro..... | 18 |
| Figura 9 – Procedimentos para cultivo em casa de vegetação..... | 27 |
| Figura 10 – Cultivo de milho em casa de vegetação.. | 29 |
| Figura 11 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 1, Fase 1. | 32 |
| Figura 12 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de rocha 2, Fase 1. | 34 |
| Figura 13 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 3, Fase 1. | 36 |
| Figura 14 – Gráfico de média e desvio padrão da Fase 1. | 37 |
| Figura 15 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 1, Fase 2. | 39 |
| Figura 16 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 2, Fase 2. | 41 |
| Figura 17 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 3, Fase 2. | 43 |
| Figura 18 – Gráfico de média e desvio padrão da Fase 2. | 44 |
| Figura 19 – Gráficos de desempenho na Fase 3, espécimes com adição de 3 ton/ha. | 45 |
| Figura 20 – Gráficos de desempenho na Fase 3, espécimes com adição de 5ton/ha. | 46 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Macronutrientes, suas funções e fontes..... | 233 |
| Tabela 2 – Estágios vegetativos e reprodutivos da planta de milho..... | 24 |
| Tabela 3 – Organização e distribuição de amostras conforme tipo, tonelagem e espécime..... | 288 |
| Tabela 4 – Controle de rega..... | 30 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|----------|---|
| ANDA | Associação Nacional para Difusão de Adubos |
| Ca | Cálcio |
| CBR | Congresso Brasileiro de Rochagem |
| Cl | Cloro |
| CPRM | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| Cu | Cobre |
| DMAS | Distrito Mineiro de Ametista do Sul |
| Ha | Hectares |
| K | Potássio |
| Km | Quilômetros |
| LATRAM | Laboratório de Tratamento de Minérios |
| MAPA | Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento |
| Mg | Magnésio |
| Mn | Manganês |
| N | Nitrogênio |
| P | Fósforo |
| RS | Rio Grande do Sul |
| S | Enxofre |
| SGB | Serviço Geológico do Brasil |
| Si | Silício |
| UNIPAMPA | Universidade Federal do Pampa |
| Zn | Zinco |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Gerais | 3 |
| 2.2 Específicos | 3 |
| 3. JUSTIFICATIVA | 3 |
| 4. ÁREA DE ESTUDO | 4 |
| 4.1. Mina Subterrânea de extração de geodos de ametistas em Ametista do Sul-RS..... | 6 |
| 4.2. Pedreiras de extração de brita e material em pó para fins agrícolas em Montenegro-RS | 7 |
| 4.3. Contexto Geológico | 10 |
| 4.3.1. Bacia do Paraná..... | 10 |
| 4.3.2. Formação Serra Geral..... | 13 |
| 4.4. Atividade mineira na região de Ametista do Sul-RS | 14 |
| 4.5. Atividade mineira na região de Montenegro-RS | 15 |
| 4.6. Contexto Pedológico..... | 15 |
| 5. ESTADO DA ARTE | 17 |
| 5.1. Agricultura no Brasil e a necessidade por fertilizantes | 17 |
| 5.2. Rochagem | 18 |
| 5.2.1. Técnica de rochagem..... | 19 |
| 5.2.2. Estudos de Rochagem com rochas basálticas no Estado do Rio Grande do Sul..... | 21 |
| 5.3. Fertilidade do Solo | 22 |
| 5.3.1. Minerais e fontes de macronutrientes | 23 |
| 5.4. Critérios para remineralizadores de solo | 23 |
| 5.5. <i>Zea mays</i> L., estágios de crescimento e desenvolvimento..... | 24 |
| 6. MATERIAIS E MÉTODOS | 25 |
| 6.1. Escolha e coleta do material pó de rocha | 25 |
| 6.1.1. Manejo das amostras | 26 |
| 6.2. Experimento em casa de vegetação..... | 26 |
| 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 31 |
| 7.1 Fase 1: Germinação e Desenvolvimento inicial | 31 |
| 7.2. Fase 2: Desenvolvimento final..... | 37 |
| 7.3. Fase 3: Reprodução | 44 |
| 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 46 |
| REFERÊNCIAS | 48 |

1. INTRODUÇÃO

A agricultura moderna, dependendo do tipo de cultura e manejo, causa enormes transformações no meio, pois necessita de extensas áreas para tornar-se uma atividade lucrativa. Além disso, necessita transformar e adaptar as condições de fertilidade dos solos, de forma a sustentar os padrões de produção de larga escala (THEODORO *et al.*, 2006). A necessidade de fertilizantes deve continuar aumentando, tendo em vista que está ocorrendo a conversão de usos marginais do solo, como pastagens extensivas, para sistemas de produção mais intensivos, com a integração lavoura e pecuária (JUNIOR *et al.*, 2006).

Segundo Martins (2008), o território brasileiro é constituído, em sua maioria, por solos ácidos e pobres em nutrientes e para torná-los produtivos, são utilizadas quantidades elevadas de fertilizantes, que englobam cerca de 40% dos custos variáveis de produção. O modelo agrícola moderno apresenta uma dependência de insumos com elevada concentração e alta solubilidade para alterar as condições de fertilidade, o que limita a sustentabilidade da produção. Além de consistir em fertilização de curta duração, demandando aplicações sequenciais, o uso de fertilizantes altamente solúveis traz consigo o alto índice de lixiviação dos produtos. O esgotamento de solos de forma acelerada e a contaminação de corpos hídricos e do lençol freático são resultados desse processo que, ao longo do tempo e em função da característica solúvel do produto, permite que os elementos sejam facilmente carregados pelas águas.

Com o objetivo de reduzir e transformar a tendência insustentável do sistema convencional de agricultura atual, surge a técnica de “rochagem” (ou remineralização), na qual o pó de rocha é utilizado para rejuvenescer solos pobres em busca de equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produtividade sustentável. Theodoro (2000) disserta que a redescoberta e readaptação da antiga prática de remineralização através de pó de rocha pode-se configurar como uma tecnologia alternativa capaz de auxiliar na recuperação e preservação dos solos, além de reduzir ao mínimo o uso de produtos químicos, especialmente aqueles incorporados em formas altamente solúveis, como é o caso das formulações Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) de adubos agrícolas.

A prática de “rochagem” ou remineralização de solos consiste na incorporação de rochas e/ou minerais no solo na prática agrícola. A técnica está conceitualmente

fundamentada no que Straaten (2002) refere como agrogeologia, ou estudos dos processos geológicos na formação dos solos, na manutenção dos agroecossistemas e na utilização de rochas no manejo da fertilidade dos solos e como fonte de nutrientes para as plantas. Conforme Strateen (2002, 2007) menciona, a transferência de nutrientes das rochas para os solos e dos solos para as culturas, é o caminho natural para o crescimento das plantas, sendo essencial para a compreensão do cultivo e da produção utilizando recursos nutricionais naturalmente disponíveis.

Uma das características da técnica de remineralização de solos com pó de rocha é o tempo de liberação dos nutrientes. Os minerais possuem lenta solubilização e conseqüentemente, lenta liberação de nutrientes para as plantas. Sendo assim, a prática proporciona maior autonomia e também economia aos agricultores, já que a aplicação do material permite intervalos maiores de tempo comparado aos insumos altamente solúveis e, conseqüentemente, economia com mão de obra (DE SOUSA *et al.*, 2010). A técnica apresenta ao agricultor caminhos que demandam cada vez menos a utilização de agroquímicos, especialmente em função dos custos, também sustentam a saúde ambiental e a segurança alimentar. Segundo Görden *et al.* (2011), além da validação técnica, a lucratividade da tecnologia é condicionada por aspectos regionais, particularmente do custo do deslocamento, sendo mais adequado a utilização de rochas localizadas mais próximas à atividade agrícola.

Bergmann *et al.* (2009) explicam que, segundo o pressuposto da técnica de rochagem, dentre as litologias mais adequadas ao uso agrícola, as rochas vulcânicas de composição básica, e secundariamente as ácidas, se destacam pela sua constituição mineralógica e por suas características texturais. Os materiais silicáticos são fontes de liberação controlada e apresentam um grande potencial nutricional. Os macronutrientes mais importantes encontrados nesse tipo de material são o potássio (K) e o fósforo (P), ocorrendo também nutrientes secundários essenciais, como cálcio (Ca), magnésio (Mg), silício (Si) e enxofre (S) (STRAATEN, 2006, 2007; FERNANDES *et al.*, 2010).

A região Sul do Brasil é constituída em boa parte de seu território por rochas vulcânicas basálticas e dacíticas da Formação Serra Geral, sendo também os próprios terrenos vulcânicos os sítios mais destacados de agricultura em função da sua fertilidade e do relevo suave, nos platôs, a suavemente ondulado nas encostas dos vales fluviais (BERGMANN *et al.*, 2009).

Tendo em vista a atual legislação dos remineralizadores e seus critérios para avaliação de qualidade, o presente estudo trata-se de um experimento de cultivo em casa de vegetação. O projeto foi conduzido de forma a observar a resposta do cultivo da cultura de milho com aplicação de três amostras de pós de rocha ao solo, sendo dois deles rejeitos de mineração.

2. OBJETIVOS

2.1 Gerais

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a potencialidade do uso de pó de rocha proveniente de três diferentes localidades, como remineralizador de solo.

2.2 Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Comparar o efeito de adição de pó de rocha em três fases de desenvolvimento da espécie *Zea mays* L.;
- Avaliar o efeito de diferentes concentrações de pó de rocha no desenvolvimento da cultura;
- Determinar as potencialidades de uso e melhores proporções de pó de rocha.

3. JUSTIFICATIVA

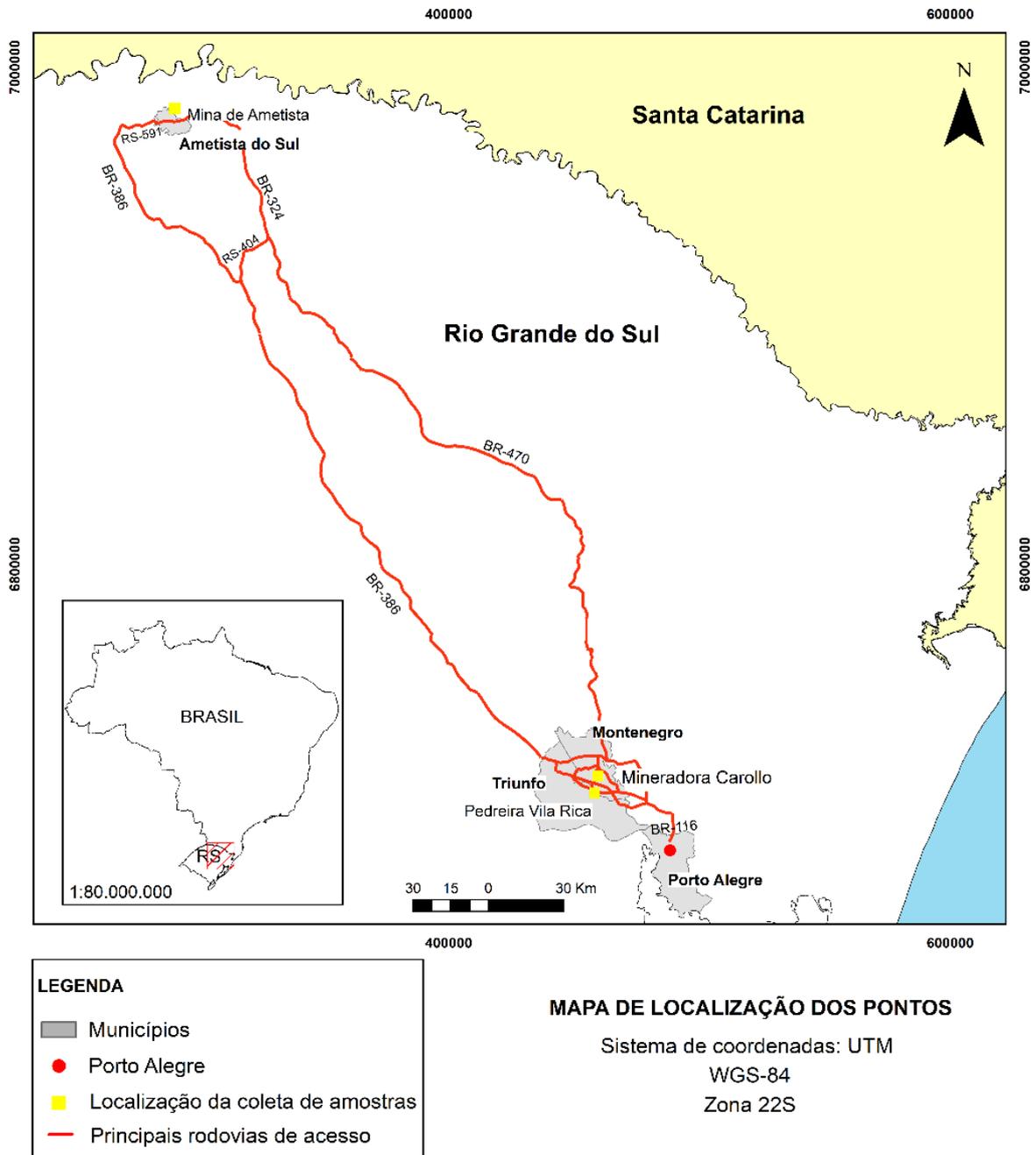
O noroeste do estado do Rio Grande do Sul, além da mineração, destaca-se também pela atividade de agricultura intensiva e pequenas propriedades. A região é responsável pela exploração de ametista e outras gemas e, associadamente, a extração mineral vêm gerando grandes volumes de rejeitos, que são dispostos em encostas de vales, causando conflitos de uso do solo e grandes impactos ambientais, como pilhas de rejeito encobrendo cabeceiras de drenagem e avançando sobre mata nativa reliquiar na região (BERGMANN, 2009), bem como em outras localidades do Estado. Bergmann (2009) também salienta que o esgotamento de jazidas vem deslocando garimpeiros para a agricultura e atividade turística. A possibilidade de utilização dos rejeitos gerados pela atividade mineira para viabilizar a recuperação dos níveis de fertilidade dos solos, por meio da tecnologia da rochagem, aponta uma excelente oportunidade de geração de outro produto, pois tais materiais já se encontram parcialmente desagregados. Além do sentido de redução de impactos gerados na área por pilhas de rejeito, a contribuição agrícola como potencial

fornecedor de insumos é de grande valia como cooperação para sistemas agrícolas mais sustentáveis. Outro ponto é o fator econômico, pois o efeito de remineralização através da adição de pó de rocha pode se estender por vários anos, representando uma redução de custos de produção.

4. ÁREA DE ESTUDO

As amostras utilizadas neste estudo estão localizadas em ocorrências de rochas vulcânicas do Magmatismo do Grupo Serra Geral e conforme a Figura 1, têm proveniência de três pontos diferentes dentro do Estado do Rio Grande do Sul. Um deles encontra-se no município de Ametista do Sul, na região do planalto da Serra Geral e dois no município de Montenegro, localizado no sopé da Serra Geral, local caracterizado por derrames mais antigos, os quais restam expostos em altos topográficos delimitados por ocorrências de rochas sedimentares da Bacia do Paraná.

Figura 1 – Mapa de localização da coleta das amostras de pó de rocha.



Fonte: Autora

Ametista do Sul é caracterizada por uma região com extração de geodos de ametistas e está a 440 km de distância da capital do estado. O acesso se dá a partir de Porto Alegre pela BR-386, com direção geral NW até a RS-404 em Sarandi, seguindo-se pelas RS-324 e RS-591 até o município.

Montenegro é caracterizada por ter extração de materiais agregados (britas) e também por possuir beneficiamento de material em pó para fins agrícolas. O município

está localizado a 62 km de Porto Alegre e o acesso se dá pela BR-386, a partir do município de Canoas, até a RS-124 em direção a Montenegro.

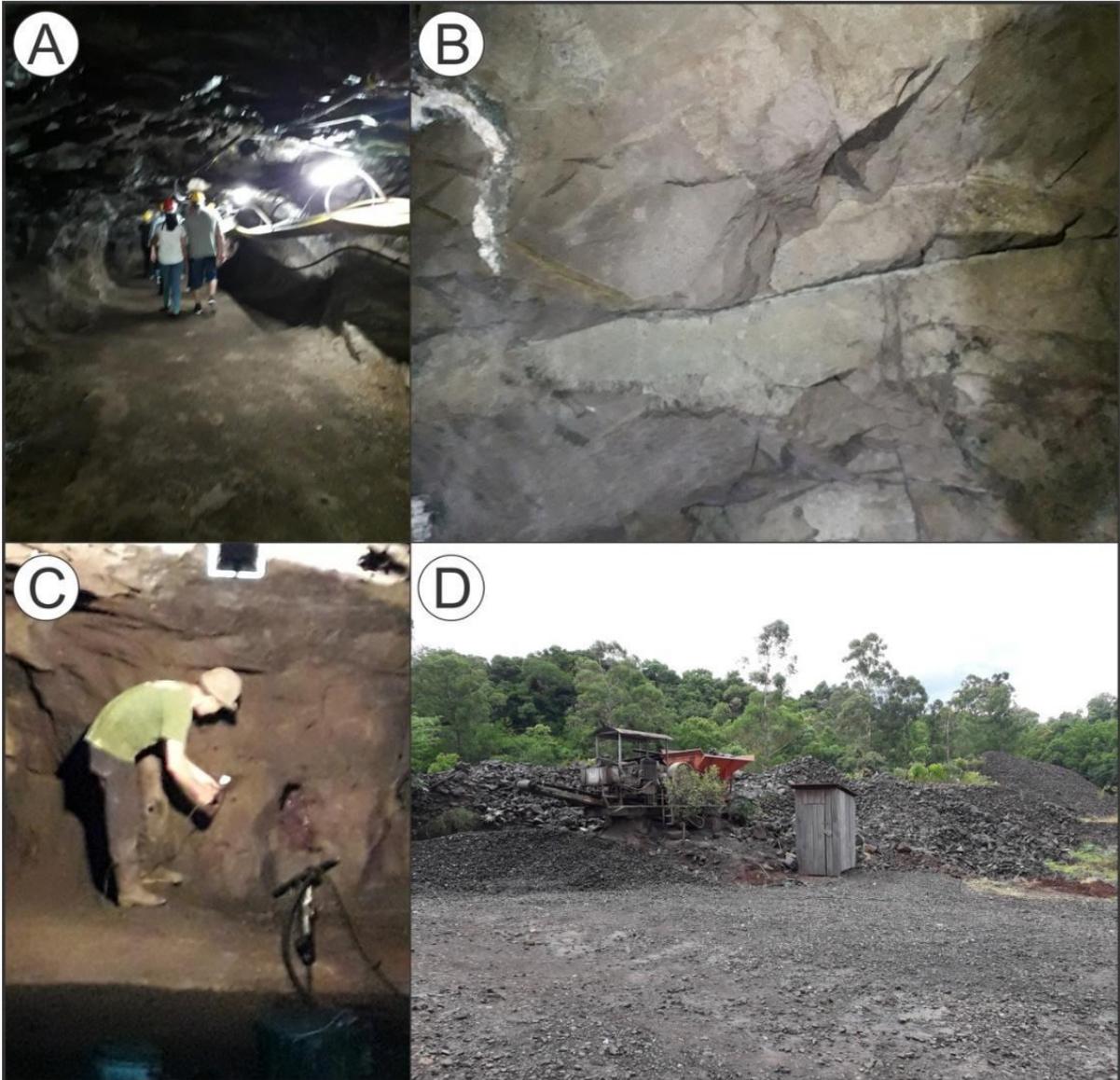
4.1. Mina Subterrânea de extração de geodos de ametistas em Ametista do Sul-RS

Localizada no planalto da Serra Geral, no extremo norte do estado do Rio Grande do Sul, o município de Ametista do Sul é conhecido pela extração de geodos de ametistas.

A região da mina é caracterizada por espessos pacotes de derrames vulcânicos (CPRM, 2008), contendo horizontes com ocorrências de ametistas, os quais são seguidos durante as perfurações e construções das galerias, constituindo camadas da ordem de dois a quatro metros de altura (Figura 2A). Neste horizonte, a presença de geodos de ametistas é evidente, marcada por diferentes formas, tamanhos e disposições, sendo possível visualizar os veios que alimentaram o preenchimento dos geodos (Figura 2B). A localização da mina encontra-se nas coordenadas 283.177 mE e 6.971.959 mS (Fuso 22J, datum WGS-84), numa altitude média de 327 metros. A mina é conhecida turisticamente na região por “Garimpo em atividade”, recebendo turistas para passeios e demonstrações de extração. É uma mina de propriedade particular, como muitas da região o são.

A característica principal da rocha neste horizonte é um intenso hidrotermalismo, cujo efeito é perceptível quando a rocha torna-se úmida, ficando extremamente friável. Disjunções colunares são comuns e muitas fraturas são aproveitadas pelos veios que preencheram os geodos. A coloração da rocha é muito parecida com os horizontes estéreis, onde não ocorrem geodos, ficando com coloração amarronzada na presença de umidade (Figura 2C). A rocha possui uma textura afanítica, com raros fenocristais de plagioclásio e piroxênio, aparentemente de composição basáltica. O acesso à mina é restrito, ficando sob autorização e acompanhamento dos proprietários.

Figura 2 – Aspectos de campo dos pontos visitados na Mina de Ametista. A) Aspecto das galerias de extração de geodos de ametistas. B) Detalhe de veio sub-horizontal (no centro da foto) alimentando geodo de ametista (à esquerda da foto). C) Operador demonstrando exploração dos geodos. Notar coloração amarronzada do horizonte hidrotermalizado de basalto, contendo os geodos de ametistas. D) Local de coleta do pó para os testes de rochagem, ao lado da britadora da mina.



Fonte: Autora

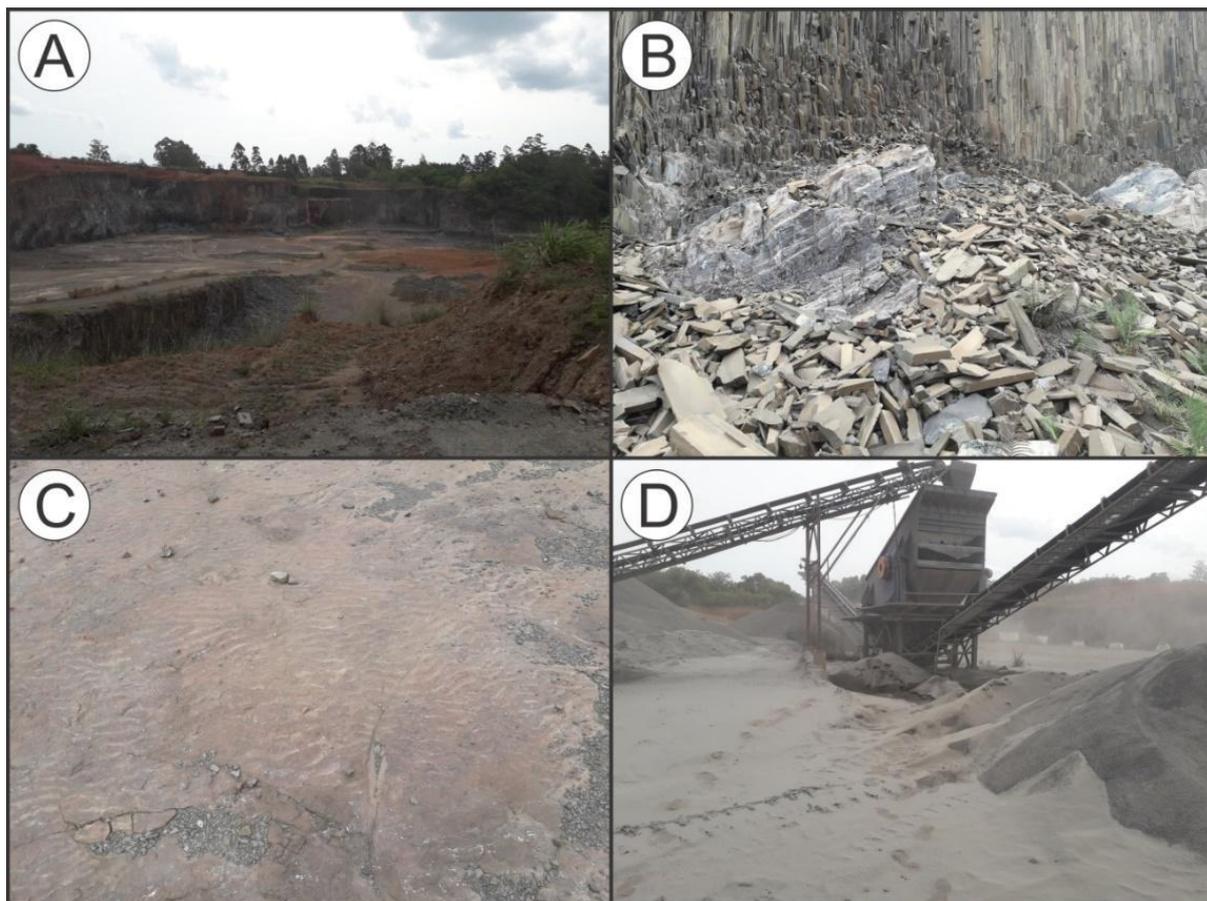
4.2. Pedreiras de extração de brita e material em pó para fins agrícolas em Montenegro-RS

A primeira pedreira visitada é uma empresa do Grupo Carollo, situada na localidade de Passo da Amora. A área de extração compreende aproximadamente 0,3

km², com dois níveis de bancada de aproximadamente 20 metros de altura cada, totalizando um desnível próximo de 40 metros (Figura 3A). A pedreira localiza-se nas coordenadas 452.769 mE e 6.708.672 mS (Fuso 22J, datum WGS-84).

A ocorrência dos basaltos nesta localidade está restrita a um topo de morro, com uma área aproximadamente circular de 1 km², entre as cotas de 30 e 70 metros. A ocorrência está limitada pelas rochas sedimentares da Formação Piramboia, estratigraficamente mais antigas e topograficamente nas áreas mais baixas (CPRM, 2008). Na pedreira afloram basaltos de cor escura e textura afanítica muito fina, com raros fenocristais de plagioclásio e piroxênio. Disjunções colunares são muito comuns, por vezes formando uma clivagem bem desenvolvida na rocha (Figura 3B). Na base da pedreira, no piso, ocorrem as rochas sedimentares da Formação Piramboia (Figura 3C). No piso verifica-se, muitas vezes, a interação das lavas com as rochas sedimentares, preservando uma foliação que é aproveitada pela intrusão do magma (Figura 3B). A principal atividade da mineradora é a produção de brita.

Figura 3 — Aspecto de campo dos pontos visitados na Pedreira do grupo Carollo. A) Vista geral da pedreira do Grupo Carollo, apresentando as principais bancadas de extração. B) Disjunção colunar dos basaltos, com desenvolvimento de clivagem de fratura bem marcada. No centro da foto (piso da pedreira) nota-se a estratificação preservada das rochas sedimentares da Formação Piramboia, apresentando interação com as lavas de modo paralelo à foliação primária. C) Rochas sedimentares da Formação Piramboia (piso da pedreira), apresentando estruturas de marcas de ondas (riples). D) Ponto de coleta do pó de brita, ao lado da esteira que alimenta as pilhas a partir do britador.



Fonte: Autora.

A Pedreira Vila Rica foi a segunda pedreira visitada e localiza-se a oeste da cabeceira do Arroio Calafate, distando aproximadamente 1,5 km a norte da BR-386 e 5,8 km a sul da pedreira do Grupo Carollo, compreendendo uma área de extração de 0,78 km². A pedreira localiza-se nas coordenadas 452.875 mE e 6.702.421 mS (Fuso 22J, datum WGS-84). A área de ocorrência de basaltos nessa região também se limita ao topo de uma elevação topográfica, compreendendo uma área de 1,5 km², entre as cotas de 60 e 100 metros. Assim como as bancadas da anterior, essas também são divididas em dois níveis de 20 metros cada. As ocorrências de basalto, nessa mineradora, também estão limitadas a topos de morros circundados por rochas sedimentares da Bacia do Paraná (Formação Piramboia; CPRM, 2008). Nesta

localidade, ocorrem basaltos semelhantes aos da pedreira anterior, também com disjunções colunares bem desenvolvidas. Em alguns pontos ocorrem termos com textura mais grossa, caracterizando termos hipabissais. Porém, a geometria e modo de ocorrência não puderam ser verificadas em função da restrição de acesso. No piso da pedreira, também se verifica a ocorrência das rochas sedimentares da Bacia do Paraná. A principal atividade da mineradora é a produção de brita e de “filler” (pó para uso como remineralizador de solos).

4.3. Contexto Geológico

A região onde as amostras deste trabalho foram coletadas encontra-se na porção sul da Bacia do Paraná. Nessa região a litologia predominante são os basaltos da Formação Serra Geral. Estas rochas vulcânicas, de origem fissural, recobrem a porção sul da Bacia do Paraná por mais de um milhão de km² (WILDNER, 2004).

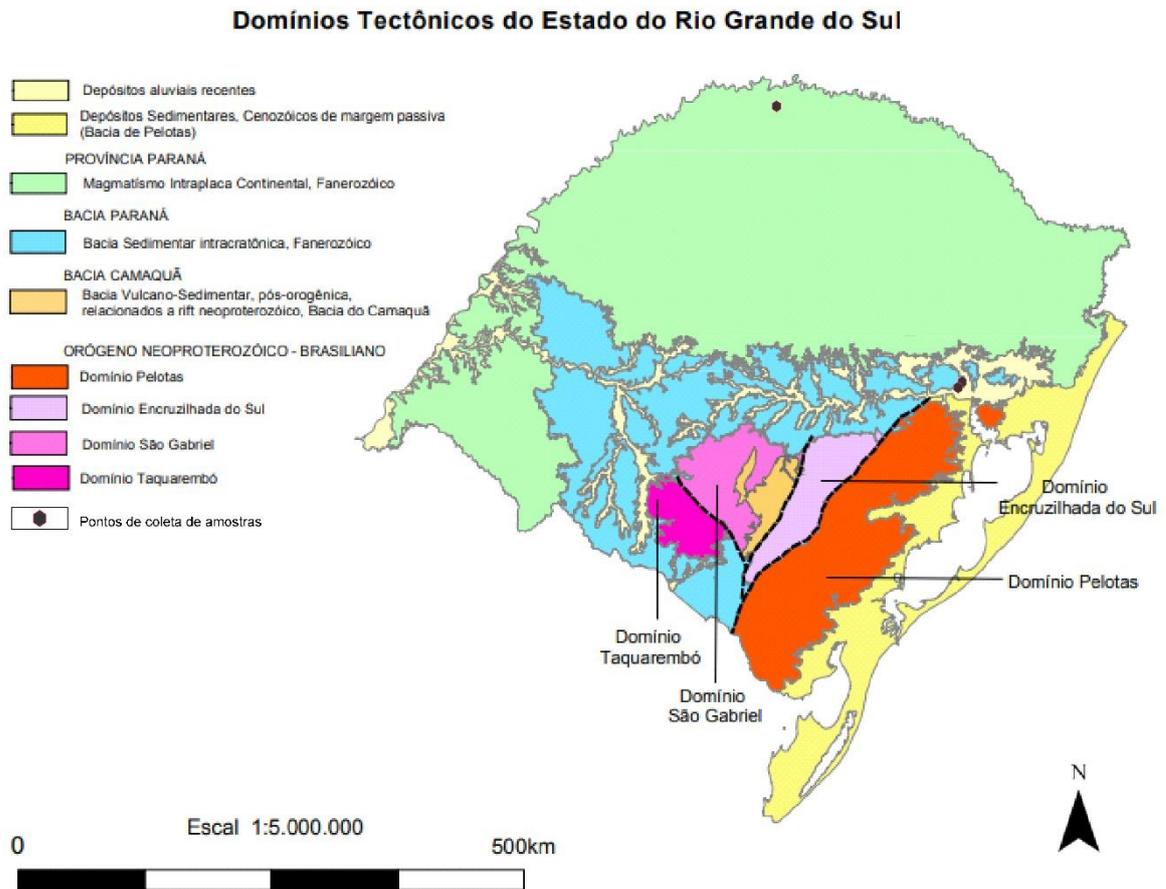
Neste item será apresentada uma síntese da geologia da Bacia do Paraná e da Formação Serra Geral, divisões nas quais ocorrem as rochas da área deste trabalho.

4.3.1. Bacia do Paraná

Segundo Gomes (1996), a Bacia do Paraná (Figura 4) trata-se de um agrupamento caracteristicamente intraplataformal, implantada sobre a crosta continental gerada ou rejuvenescida durante o Proterozoico Superior – Eopaleozoico, em resposta a episódios tectonomagmáticos produzidos pelo desenvolvimento do ciclo orogênico Brasileiro-Pan-Africano. É preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam entre o Siluriano e o Cretáceo.

A bacia do Paraná (Figura 5) exibe uma direção relativamente N-S e cobre uma área de aproximadamente 1.400.000 km², dos quais 1.100.000km² encontram-se nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, e cerca de 100.000 km² no Uruguai, Paraguai e Argentina (GOMES, 1996).

Figura 4 – Domínios Tectônicos do Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de BRASIL.

Figura 5 – Mapa de localização da Bacia do Paraná no Brasil.



Fonte: Autora.

Segundo Silva (2015), o processo evolutivo da bacia começou no Paleozoico, com os primeiros depósitos sedimentares datados no Neo-Ordoviciano e culminou com o extravasamento de um espesso pacote de lavas basálticas durante o Cretáceo, documentando um registro geológico de aproximadamente 400 milhões de anos. Conforme Zalán *et al.* (1990) e Wildner (2004), o embasamento deste pacote sedimentar é composto por um conjunto de núcleos cratônicos e cinturões móveis marginais que concentravam suas zonas de fraqueza em duas direções principais: N45°-65°W e N50°-70°E, as quais foram responsáveis pelo controle do desenvolvimento tectono-sedimentar da Bacia do Paraná durante o Paleozoico. O magmatismo representado por derrames e intrusões de rochas máficas e félsicas da Formação Serra Geral está relacionado a reativação das estruturas e dispersão no interior do agrupamento de placas, eventos de ruptura do Gondwana e abertura do Oceano Atlântico.

De acordo com Milani (2004), o registro vulcano-sedimentar da Bacia do Paraná é dividido em seis unidades estratigráficas de ampla escala ou supersequências. São caracterizados por pacotes rochosos que representam intervalos deposicionais e temporais com algumas dezenas de milhões de anos de duração, limitados por superfícies de discordância de caráter inter-regional. As supersequências descritas por Milani (2004) são: Rio Ivaí (Neo-Ordoviciano ao Eo-Triássico); Paraná (Devoniano); Gondwana I (Neo-Carbonífero ao Eo-Triássico); Gondwana II (Meso-Triássico ao Neo-Triássico); Gondwana III (Neo-Jurássico ao Eo-Cretáceo); Bauru (Eo-Cretáceo ao Neocretáceo). Conforme Milani (2004), as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, alvo deste trabalho, estão incluídas na supersequência Gondwana III.

4.3.2. Formação Serra Geral

Como cita Milani (2004), no evento de ruptura do Gondwana, o rifteamento sul-atlantiano reativou suturas antigas em movimentações diversas e criou novos conjuntos de falhas e rupturas, propiciando a injeção e extravasamento de imensos volumes de rochas ígneas.

A Formação Serra Geral é constituída por uma sucessão de rochas vulcânicas com espessura remanescente máxima de 2.000 m na região de Pontal de

Paranapanema, São Paulo, sendo principalmente representada por derrames de natureza básica e, subordinadamente, por efusivas ácidas (SILVA, 2015).

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 (NIEWISNKI, 2017).

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. A divisão de Peate *et al.* (1992) separa a antiga classificação de rochas basálticas de Baixo-Ti, Alto-Ti e Riolitos em fácies: Gramado, Esmeralda e Ribeira; Paranapanema, Pitanga e Urubici; e Palmas e Chapecó, respectivamente.

4.4. Atividade mineira na região de Ametista do Sul-RS

Historicamente, o município de Ametista do sul era habitado por índios Kaingang e começou a ser colonizado no início do século XX, por pessoas oriundas dos municípios de Palmeira das Missões e Santa Bárbara (AMETISTA DO SUL, 2019). Também no início do século XX começaram a chegar imigrantes alemães que teriam vindo da cidade de Idar – Obestein, na Alemanha.

As primeiras ametistas no município foram encontradas a céu aberto por acaso por agricultores e caçadores sob raízes das árvores e áreas lavradas. Com o término da Segunda Guerra Mundial, na década de 1940, o interesse pela exploração aumentou, devido ao grande valor comercial das pedras. Nessa época surgiram os primeiros garimpeiros, que faziam as escavações em forma de poço, com uma abertura lateral chamada de carregador, procedimento facilitado pela topografia acidentada da região (IBGE, 2019). Aos poucos surgiu o primeiro núcleo habitacional, denominado Distrito de São Gabriel, que, devido ao crescimento econômico gerado pela extração principalmente a partir da década de 1970, foi emancipado em 20 de março de 1992 com o nome de Ametista do Sul (PAGNOSSIN, 2008).

O extrativismo mineral possui grande importância para a sociedade para o crescimento econômico e qualidade de vida dos moradores. Entretanto, quando é exercida sem técnica e controle adequado, causa degradação do meio físico, como

desmatamentos, perda de solos, instabilidade de encostas, poluição, produção de rejeitos e contaminação de solos, além do impacto na saúde dos trabalhadores das minas.

Lopes *et al.* (2008) relatam as técnicas de mineração utilizadas no município de Ametista do Sul:

Apesar de sua importância como maior produtor mundial de ametistas, observamos que o trabalho dos garimpeiros é bastante rudimentar, constituindo-se da abertura de galerias subterrâneas irregulares, com altura de um a dois metros, e cuja orientação é ditada pela maior ou menor concentração provável de geodos, a partir de critérios pragmáticos locais. Na parte externa as rochas intemperizadas são removidas com trator e, em subsuperfície, são usadas furadeiras pneumáticas e outras ferramentas, sendo que as galerias são suportadas por colunas de rochas.

4.5. Atividade mineira na região de Montenegro-RS

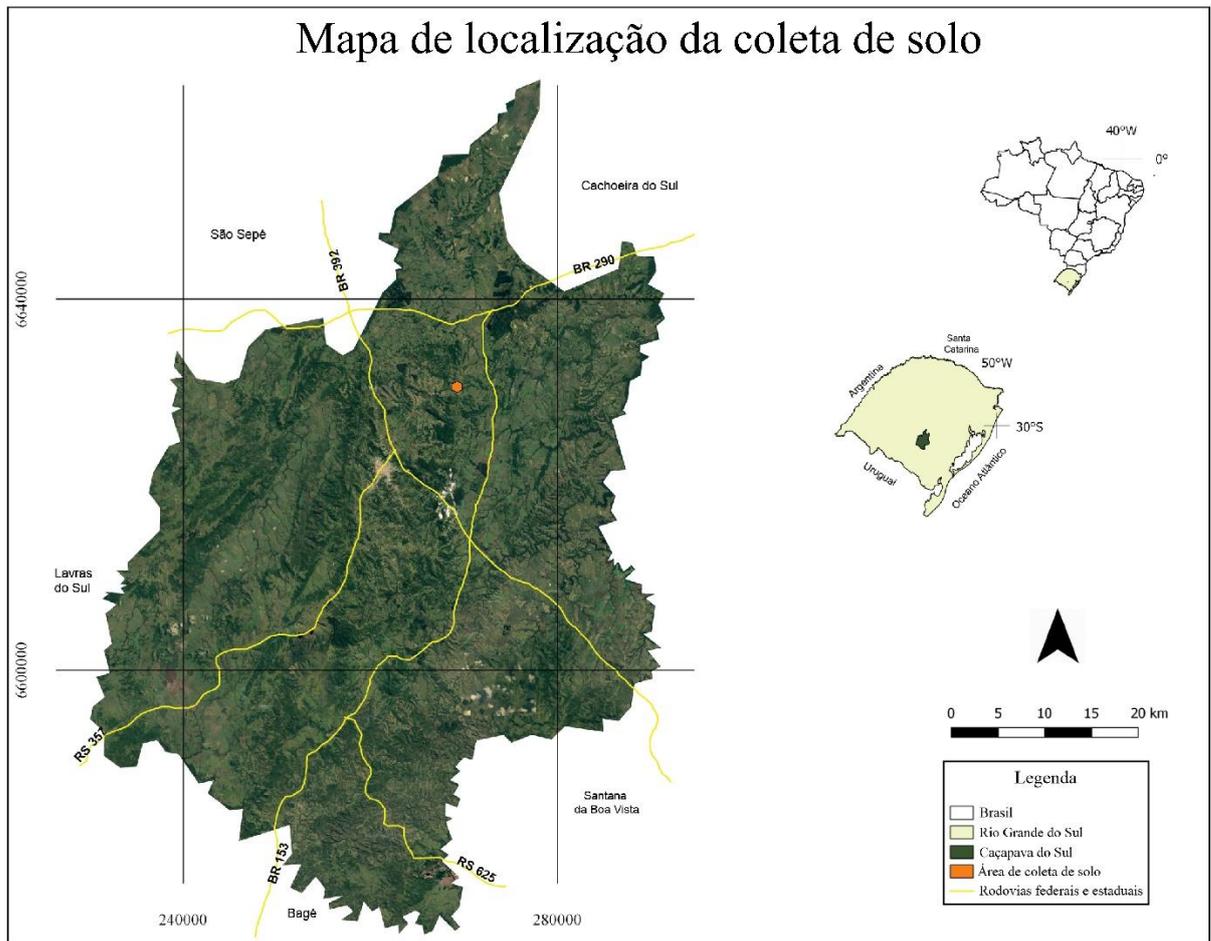
Por volta de 1635, a região onde se encontra o município de Montenegro, era habitada pelo povo Ibiraiaras. Portugueses e espanhóis, depois os bandeirantes paulistas passaram a ocupar o território e criaram invernadas, que se transformavam em estâncias (IBGE). Essa área teve enfoque principalmente para criação de gado e para engenhos de açúcar, havia mineração, porém sem muitos registros (MOTTA *et al.*, 2011).

Atualmente existem mineradoras na região de extração de rocha basáltica para utilização como agregados para construção civil e também mineradoras que fornecem material para a remineralização de solos.

4.6. Contexto Pedológico

O solo utilizado neste estudo está localizado na região da Picada das Graças, distante 15 km à NE da área urbana de Caçapava do Sul (Figura 06).

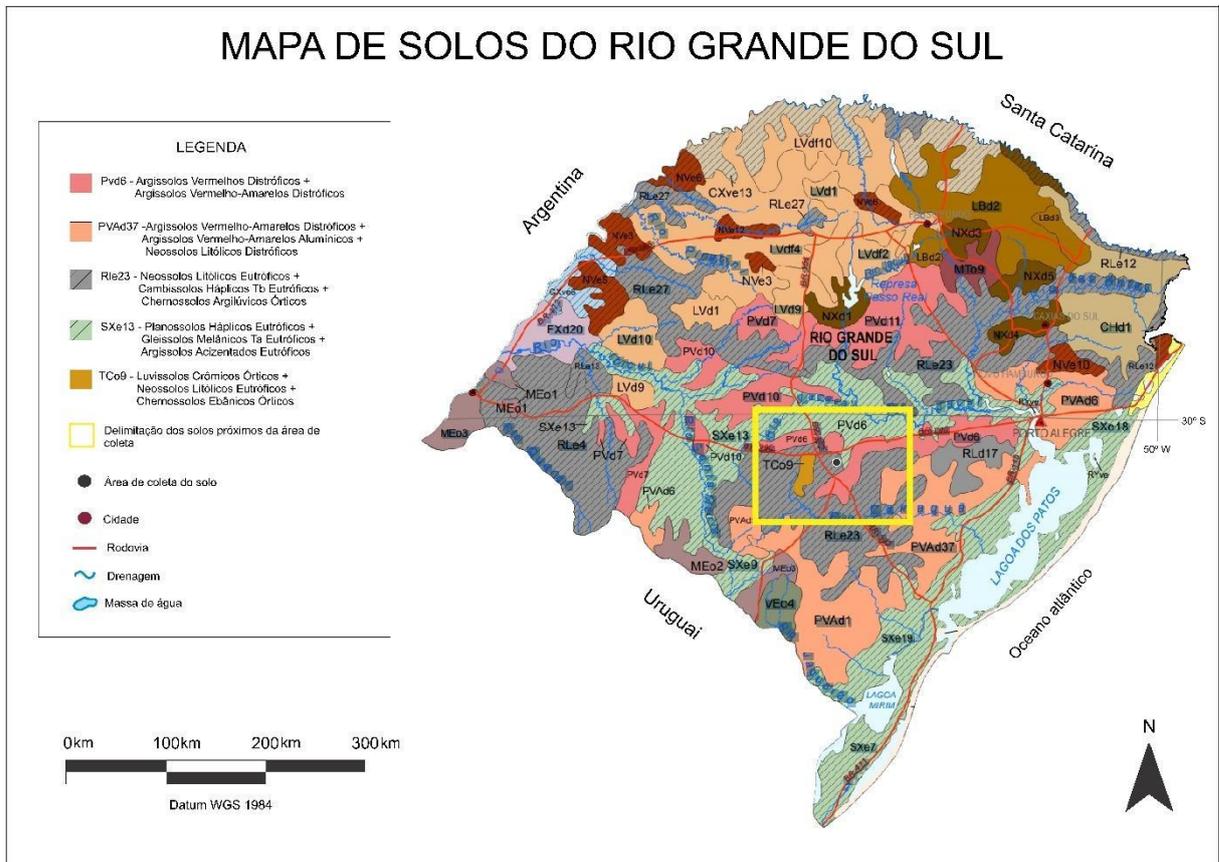
Figura 6 – Mapa de localização da coleta de solo.



Fonte: Autora.

Segundo o Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos), o solo é classificado como Neossolo Litólico Eutrófico e está evidenciado no mapa de Solos na figura 7. Segundo EMBRAPA (2006), as características destes solos, são: solos constituídos por material mineral; são solos rasos, jovens e pouco desenvolvidos; não possuem horizonte B diagnóstico definido; solos com contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície; apresentam horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões); são solos com argila de baixa atividade, de alta fertilidade, à qual está condicionada à soma de bases e à presença de alumínio.

Figura 7 – Mapa de solos do Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de Santos, 2017.

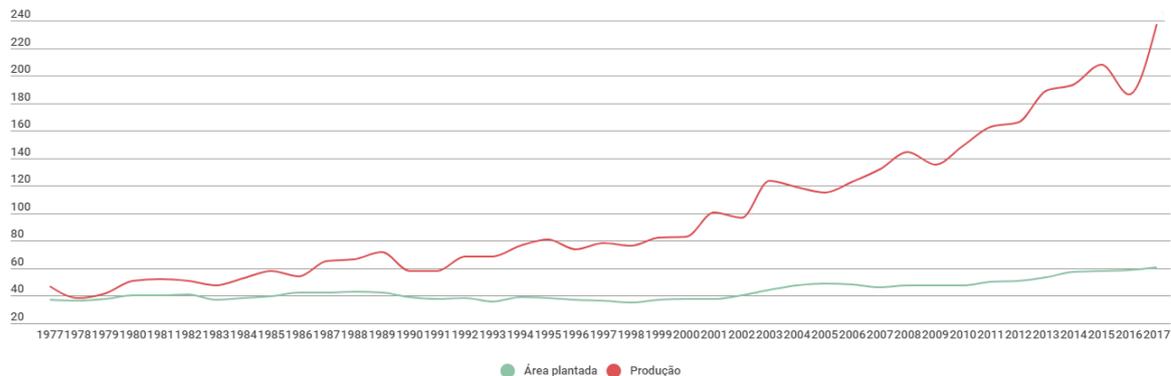
5. ESTADO DA ARTE

5.1. Agricultura no Brasil e a necessidade por fertilizantes

Na metade do século XX, com intuito de aumentar a produção e a produtividade agrícola, houve por parte do Governo, o incentivo a partir de políticas públicas através de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, extensão rural e crédito farto. Assim, a agricultura no Brasil teve início em um processo de modernização.

Nas últimas cinco décadas, o país passou de importador de alimentos para um dos mais importantes exportadores mundiais. Conforme Embrapa (2018), entre os anos de 1975 e 2017, a produção de grãos, que era de 38 milhões de toneladas, cresceu mais de seis vezes, atingindo 236 milhões de toneladas, enquanto a área plantada apenas dobrou. Na figura 8 é possível observar o gráfico de evolução da área plantada e produção no cenário agrícola brasileiro entre os anos de 1977 e 2017.

Figura 8- Gráfico de evolução de área plantada e produção no cenário agrícola brasileiro.



Fonte: Embrapa (2018).

O crescimento da agricultura inclui o uso intensivo de fertilizantes, além de outros fatores como melhoramento genético e utilização de maquinários. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), somente no ano de 2020 o Brasil importou 3,28 milhões de toneladas de fertilizantes. O custo da adubação constitui parcela significativa no custo total da produção agrícola. Portanto, os preços e quantias são importantes determinantes no retorno econômico da atividade agrícola e no valor final ao consumidor.

Diante da expectativa de crescimento da demanda em um ambiente com recursos naturais finitos, crescentes requerimentos legais ambientais pressionam a produção agrícola pela busca contínua por processos mais intensivos e sustentáveis (EMBRAPA, 2018).

5.2. Rochagem

A rochagem é uma técnica de fertilização baseada na adição de pó de determinados tipos de rocha ou minerais, a qual tem a capacidade de alterar positivamente a fertilidade dos solos empobrecidos pelo intemperismo ou devido ao uso abusivo de atividades agropecuárias, sem afetar o equilíbrio do meio ambiente. Conforme Theodoro & Leonardos (2006), o uso dos agrominerais é uma técnica que tem sido indicada para pequenos agricultores e agricultura alternativa, principalmente para agricultura orgânica.

Apesar de parecer uma prática nova, existem relatos do uso de rochas para melhoria de colheitas desde tempos muito antigos. Plínio (23-79 d.C.), por exemplo, apresentou um relato detalhado das práticas de calagem usadas na Gália (RUSSEL, 1961 *apud* LEONARDOS, 1987). No século XVIII, James Hutton não só recomendou, mas usou rochas como calcário para aumentar a fertilidade do solo de sua fazenda na Escócia (BAILEY, 1967 *apud* LEONARDOS, 1987).

No Brasil esta técnica vem sendo proposta e incentivada por Othon Leonardos, pesquisador da Universidade Nacional de Brasília (UnB). A técnica também é bastante incentivada, desde meados de 1998, por Éder Martins, geólogo na EMBRAPA Cerrados. Em consequência da maior visibilidade e aprofundamento no tema, em 2009 foi realizado o primeiro Congresso Brasileiro de Rochagem, que unificou o conhecimento sobre a aplicação do pó de rocha com a publicação de trabalhos sobre esta temática em 2010 (MARTINS et al, 2010).

Muitas das rochas e fertilizantes minerais têm o potencial de fornecer aos solos uma grande variedade de macro e micronutrientes, necessários para o desenvolvimento de plantas (LEONARDOS *et al.* 1987). Este tipo de fertilização é mais eficaz por propiciar nutrientes em quantidade e solubilização mais apropriada para o solo (STRAATEN, 2006).

Em países em desenvolvimento, conforme Nunes (2012), o alto custo de fertilizantes industrializados e o baixo poder financeiro do pequeno agricultor, têm acentuado a utilização da rochagem como alternativa para o aumento da fertilidade dos solos. Devido à baixa solubilidade dos minerais e o efeito residual prolongado, não é necessário a adubação frequente, reduzindo a dependência destes fertilizantes e gerando economia com mão-de-obra.

5.2.1. Técnica de rochagem

Rochagem ou *Remineralização de solo* são termos utilizados para a técnica de aplicar pó de rocha ao solo de modo a devolver nutrientes e a transformar a fertilidade do solo. Esta técnica incorpora ao meio frações minerais pulverizadas, permitindo recompor os nutrientes minerais em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo uso inadequado e intensivo pela agricultura (NUNES, 2012).

Os pós de rochas são fontes de macro e micronutrientes de liberação lenta. Desta forma, a tendência é que a fertilização seja menos responsiva em curto prazo, quando comparada aos fertilizantes de alta solubilidade (DE CARVALHO, 2013). Straaten (2006) cita que, em comparação aos fertilizantes químicos que são altamente solúveis e concentrados, as partículas minerais liberam de forma gradativa uma variedade de nutrientes em uma concentração dependente da composição mineral da rocha. Conforme Theodoro & Leonardos (2006), alguns mecanismos podem acelerar o processo de dissociação da estrutura mineral, tais como o uso de bactérias inoculantes e fixadoras de nitrogênio, o uso de material orgânico compostado com a rocha e a adubação verde incorporada ao solo junto com as partículas de rocha. Desta forma, a taxa de degradação dos minerais e liberação de nutrientes também se relaciona com o clima, temperatura, pH do solo e atividade biológica.

A remineralização com pó de rocha traz vantagens, tais como: correção do pH do solo, possibilitando seu reequilíbrio; a não salinização do solo, evitando que a planta absorva potássio e nitrogênio em excesso, como ocorre com o uso de adubos solúveis; diminuição da fixação do fósforo solúvel pela presença de sílica e óxidos de ferro e alumínio (NUNES, 2012); e aumento da capacidade de troca catiônica dos solos, devido à formação de novos minerais de argila. A reestruturação do solo contribui para a atividade biológica, restituindo condições de desenvolvimento para microorganismos e minhocas, aumentando a reserva nutricional do solo e a quantidade e qualidade do húmus e da matéria orgânica. A regeneração do solo mineral e biologicamente reflete no melhor desenvolvimento de culturas e dá subsídio à formação de plantas de maneira que se desenvolvam com maior resistência à ação de secas, geadas, pragas e doenças, diminuindo assim o uso de pesticidas e herbicidas.

Assim, Nunes (2012) cita que a técnica constitui uma alternativa viável economicamente e ecologicamente devido ao baixo custo de processo de beneficiamento que envolve apenas moagem das rochas usadas na composição do produto, além da gradual liberação de nutrientes, a qual diminui as perdas por lixiviação e favorece a ação de longo prazo do insumo aplicado. Os produtos podem ser utilizados após sofrerem apenas redução de tamanho da granulometria ou também após processos térmicos, químicos ou bioquímicos (MARTINS et al., 2015 apud SILVA, 2017)

Bolland (2000) fala sobre os efeitos negativos da rochagem. Estes estariam relacionados ao uso inadequado de solos agrícolas, exploração e uso inadequado de insumos sintéticos, além de possível aplicação inapropriada de Agrominerais incompatíveis a um determinado tipo de solo.

5.2.2. Estudos de Rochagem com rochas basálticas no Estado do Rio Grande do Sul

Bergmann *et al.* (2010) abordam no 1º Congresso Brasileiro de Rochagem (CBR) o uso de rochas moídas provenientes de rejeitos gerados pela atividade mineral no Distrito Mineiro de Ametista do Sul (DMAS). O trabalho tratou-se de um estudo preliminar de investigação de uso de rejeitos de mineração como potenciais insumos de remineralização de solos agrícolas. Neste estudo, Bergmann *et al.* (2010) buscam determinar a mineralogia de alteração hidrotermal de rochas encaixantes da mineralização de ametistas e outras gemas, por meio de radiometria espectral, e também identificar petrograficamente as amostras de rejeito e analisar quimicamente o material de forma a verificar o grau de fertilidade da rocha.

Discutindo resultados do projeto Agrominerais da Bacia do Paraná-RS da CPRM-Serviço Geológico do Brasil e ensaios agronômicos elaborados na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, a mesma autora e colaboradores continuaram trabalhos na área do Distrito Mineiro de Ametista do Sul e, em 2014, um novo estudo intitulado “Considerações sobre o potencial de uso Agronômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná” foi publicado. Neste estudo mais recente, Bergmann *et al.* (2014) apresentam brevemente a aptidão para uso agrícola de rochas basálticas e dacíticas do Grupo Serra Geral, destacando propriedades petrográficas e litoquímicas.

Ramos *et al.* (2017), na mesma linha de pesquisa, desenvolvem um estudo na região de Nova Prata, no Rio Grande do Sul, região situada também sob o vulcanismo Serra Geral, setor ao qual o presente trabalho se encontra. O estudo propõe a avaliação de propriedades químicas e mineralógicas de resíduos de mineração de modo a aferir a disponibilidade de macronutrientes e micronutrientes em água Milli-Q e soluções ácidas.

Bergmann *et al* (2010, 2014) e Ramos *et al* (2017), nos estudos aqui descritos, fundamentam-se na criação de um tratamento alternativo para rejeitos de mineração e contribuição em uma agricultura mais sustentável na região.

5.3. Fertilidade do Solo

O solo, conforme Lepsch (2016), atua em qualquer ecossistema como meio de suporte para o crescimento de plantas, proporcionando o ambiente para crescimento das raízes e fornecendo-lhes os nutrientes necessários para seu desenvolvimento. As propriedades do solo, geralmente, determinam a natureza da vegetação presente e também a quantidade e diversidade de microrganismos.

A natureza do solo é determinada pela interação de seus componentes e estes são compostos por ar, água, matéria orgânica e partículas minerais. O solo apresenta partículas minerais de diferentes tamanhos, o que descreve a textura do solo em questão, podendo ser arenoso, argiloso, argilo-siltoso entre outros (LEPSCH, 2016).

Brady & Weil (2009) mencionam que talvez o mais importante processo interativo envolvendo os quatro componentes do solo seja o fornecimento de nutrientes essenciais para as plantas. Contudo, a quantidade de nutrientes essenciais na solução do solo, em um dado momento, é suficiente para suprir as necessidades de crescimento da vegetação por determinado tempo. Como consequência, o nível de nutrientes necessita ser constantemente abastecido.

Segundo Lepsch (2016), solos são resultados da degradação de rochas por processos de alteração física e química, causado por intempéries sobre as partículas. A intemperização fragmenta rochas e minerais, altera e destrói suas características físicas e químicas e transporta, de um local para o outro, fragmentos menores e produtos solúveis (LEPSCH, 2016). Além disso, o intemperismo sintetiza novos minerais de grande importância para os solos. A natureza das rochas e dos minerais que estão sendo intemperizados determina as taxas e a natureza dos produtos resultantes de processos de decomposição e de síntese (BRADY & WEILL, 2009).

5.3.1. Minerais e fontes de macronutrientes

Elementos essenciais são todos aqueles cujas plantas absorvem do solo, podendo ser benéficos e também tóxicos. Os nutrientes desempenham funções estruturais e estão envolvidos em processos metabólicos das plantas. Desta forma, a produtividade e qualidade do ciclo de vida da planta estão diretamente ligadas à nutrição mineral (STRAATEN, 2007).

Os nutrientes que compõem o sistema planta, e estão principalmente em soluções do solo, são divididos em dois grupos: macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) (STRAATEN, 2007).

Conforme a tabela 1, podemos observar as fontes minerais e em quais processos metabólicos são utilizados P, K, Ca e Mg no desenvolvimento das plantas.

Tabela 1– Macronutrientes, suas funções e fontes.

| Elemento | Função | Minerais |
|----------|---|---|
| Fósforo | Armazenamento e transferência de energia no metabolismo. Constituinte essencial do ácido ribonucleico (RNA) e ácido desoxirribonucleico (DNA). Atua no crescimento radicular, desenvolvimento de frutos e sementes. | Grupo da Apatita, especificadamente Fluorapatitas, associada à rochas ígneas como carbonatitos e micapiroxenitos; Francolitas, encontrada em ambientes marinhos; Hidroxiapatitas, encontrada em depósitos ósseos, ambientes ígneos e metamórficos e Carbonato de Hidroxiapatita, que é encontrada basicamente em guano. |
| Potássio | Promove e regula a ativação enzimática, atua na translocação de carboidratos, aumenta a eficiência do uso da água e a resistência aos efeitos de secas e doenças. Constitui os fluidos que preenchem tecidos internos, e é também mais concentrado em caules e folhas do que em sementes. | Rochas sedimentares do tipo Evaporitos, em forma de sais solúveis como Silvita e Carlinita. Encontrado em concentrações significativas em minerais da família dos silicatos como a Leucita, biotita-flogopita, glauconita e algumas zeólitas potássicas; Apesar da abundância de feldspato potássico, este mineral não constitui uma fonte disponível em curto prazo de Potássio por ser relativamente insolúvel. |
| Magnésio | Importante para reações na fotossíntese, formação de enzimas e síntese de proteínas. | Os minerais comuns não silicatados de Mg e Ca: Calcita, Dolomita, Gipsita e Magnesita. Os minerais silicatados de Mg e Ca: Diopsidio, Epidoto, Anortita, Hornblenda, Tremolita, Actinolita, Forsterita, Serpentinita, Clorita, Talco, Flogopita e Vermiculita. |
| Cálcio | Estabilização estrutural das células, ativação enzimática e auxilia em processos nas raízes. | |

Fonte: Adaptado de Straaten, 2007.

5.4. Critérios para remineralizadores de solo

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) propõe regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para

plantas, destinados à agricultura pelo Art 1º da Instrução Normativa nº5, de 10 de Março de 2016.

As especificações e garantias do produto são descritas pela Seção III, Art 4º:

Art. 4º Os remineralizadores deverão apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas:

I - Em relação à especificação de natureza física (granulometria), nos termos do Anexo I desta Instrução Normativa;

II - Em relação à soma de bases (CaO, MgO, K₂O), deve ser igual ou superior a 9% (nove por cento) em peso/peso;

III - Em relação ao teor de óxido de potássio (K₂O), deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso/peso; e

IV - Em relação ao potencial Hidrogeniônico (pH) de abrasão, valor conforme declarado pelo registrante.

Conforme a Instrução específica, para que o material seja classificado como remineralizador de solo é necessário que esteja dentro das normas estabelecidas.

5.5. *Zea mays* L., estágios de crescimento e desenvolvimento

Segundo Magalhães & Durães (2006), todas as plantas de milho (*Zea mays* L.) seguem um mesmo padrão de desenvolvimento, porém, fases do desenvolvimento e número de folhas podem variar entre híbridos, localidade, ano agrícola e data de plantio. Magalhães & Durães (2006) também consideram que o ciclo normal do milho é quando ocorre a floração aos 65 dias após a emergência.

Conforme a tabela 2, o desenvolvimento da planta de ciclo normal divide-se em Vegetativo e Reprodutivo.

Tabela 2 – Estágios vegetativos e reprodutivos da planta de milho.

| VEGETATIVO | REPRODUTIVO |
|---------------------------------|--------------------------------|
| V_E , emergência | R_1 , Embonecamento |
| V_1 , 1ª folha desenvolvida | R_2 , Bolha d'água |
| V_2 , 2ª folha desenvolvida | R_3 , Leitoso |
| V_3 , 3ª folha desenvolvida | R_4 , Pastoso |
| V_4 , 4ª folha desenvolvida | R_5 , Formação de dente |
| $V_{(n)}$ nª folha desenvolvida | R_6 , Maturidade Fisiológica |
| V_T , pendoamento | |

Fonte: Magalhães & Durães, 2006

Segundo estes mesmos autores, não é constatado a presença de fatores inibitórios ao processo de germinação. Neste processo ocorre a embebição da semente, com conseqüente digestão das substâncias reserva, síntese de enzimas e divisão celular. Assim, a emergência ocorre dentre de 4 a 5 dias ou em até duas semanas ou mais, em condições de baixa temperatura e pouca umidade. Duas semanas depois da emergência ocorre o estágio V3. No estágio V8, inicia-se a queda das primeiras folhas e o número de fileiras de grãos é definido; em V18, a planta do milho está próxima de florescer e do desenvolvimento da espiga continua em ritmo acelerado; VT inicia-se quando o último ramo do pendão está completamente visível e os “cabelos” não tenham ainda emergido; o tempo decorrente entre VT e R1 pode variar consideravelmente, dependendo da cultivar e das condições ambientais. (MAGALHÃES & DURÃES, 2006).

Conforme Coelho (1995), a maior exigência nutricional do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo. O milho apresenta o primeiro período de intensa absorção durante a fase de desenvolvimento vegetativo (V12 a V18), quando o número potencial de grãos está sendo definido e o segundo, durante a fase reprodutiva ou formação da espiga, quando o potencial produtivo é atingido (COELHO, 2008). Este mesmo autor cita que a máxima absorção do potássio ocorre no estágio vegetativo; e dois períodos de máxima absorção de nitrogênio e fósforo, durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação da espiga e menores taxas de absorção no período compreendido entre a emissão do pendão e o início da formação da espiga.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Escolha e coleta do material pó de rocha

O material escolhido para execução do presente estudo trata-se de pó de rochas basálticas, rochas estas com potencialidade de disponibilização de macronutrientes e micronutrientes e que estão presentes em uma grande porção do Estado do Rio Grande do Sul.

Foram coletadas 3 amostras de pó de rocha, cada uma com cerca de 30 kg, nos municípios de Ametista do Sul e Montenegro, totalizando 3 pontos diferentes. No município de Ametista do Sul a amostra de pó de rocha foi coletada na pilha de rejeito

que se localiza em frente à galeria subterrânea. A galeria se encontra em atividade e opera há algum tempo. Logo, segundo as informações dos proprietários, o rejeito é exclusivo da galeria de extração. O material foi coletado próximo à britadora (Figura 2D). No município de Montenegro-RS foram coletadas amostras de duas pedreiras diferentes. Na pedreira do Grupo Carollo, que extrai brita para utilização em obras, as amostras foram coletadas ao lado das esteiras que saem do britador e em pilhas de brita (Figura 3D). Na pedreira Vila Rica, que comercializa pó de rocha tipo 'filler' para a agroindústria, as amostras foram coletadas ao lado das esteiras que são específicas para a produção deste produto (esta empresa não permite fotos e filmagens).

6.1.1. Manejo das amostras

As amostras foram quarteadas e passaram por uma peneira ABNT nº 200 (com diâmetro de orifícios de 0,074mm) no Laboratório de Tratamento de Minérios (LATRAM) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), para que todas as amostras ficassem com o mesmo padrão de granulométrico e também porque os minerais constituintes de remineralizadores apresentam baixa solubilidade. Logo, para as características que desejou-se estudar neste projeto e tempo disponível para tal, este tamanho granulométrico teria reatividade demonstrável.

6.2. Experimento em casa de vegetação

O solo utilizado neste experimento foi coletado em uma propriedade privada, área distante 15 km a NE do centro urbano de Caçapava do Sul (Figura 6). Segundo Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos), o solo é classificado como Neossolo Litólico Eutrófico. Foram coletados 135 kg de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Foram utilizadas pás, carro de mão e baldes de 20 L para o transporte. O solo coletado foi destinado ao LATRAM, onde passou por quarteamento e homogeneização, sendo distribuído entre 36 vasos (Figura 9A), todos com aproximadamente 3,8 kg de solo (Figura 9B) e identificados conforme tipo e quantidade do pó de rocha a ser ministrado nos experimentos.

Figura 9 – Procedimentos para cultivo em casa de vegetação. A) 36 amostras de solo com etiquetas de identificação contendo tipo, quantidade de pó de rocha e espécime; B) Processo de pesagem de amostras.



Fonte: Autora.

Foram separadas e pesadas quantidades de pó de rocha que equivalem a 3 ton/ha e 5 ton/ha. Os vasos utilizados possuem área equivalente a 144 cm². Logo, as quantidades de pó de rocha que foram adicionadas superficialmente nos vasos, foram 4,32 g e 7,2 g, respectivamente, pesados em balança de precisão no Laboratório de Tratamento de Minérios do Campus Caçapava do Sul. No esquema de distribuição das amostras, conforme a tabela 3, os três pós de rocha foram separados em duas proporções de tonelagem diferentes e 5 amostras por espécime. Foram utilizadas 5 amostras por tipo e tonelagem para descartar variáveis não controláveis do experimento, como insolação ou ataque de insetos. Assim, o pó de rocha 1 representa a amostra oriunda da Mineração Grupo Carollo, o pó de rocha 2 corresponde à amostra proveniente da Pedreira Vila Rica, o pó de rocha 3 refere-se ao material proveniente de rejeito da Mina de Ametista e o Branco são as amostras que contém somente o solo, sem adição de pó de rocha.

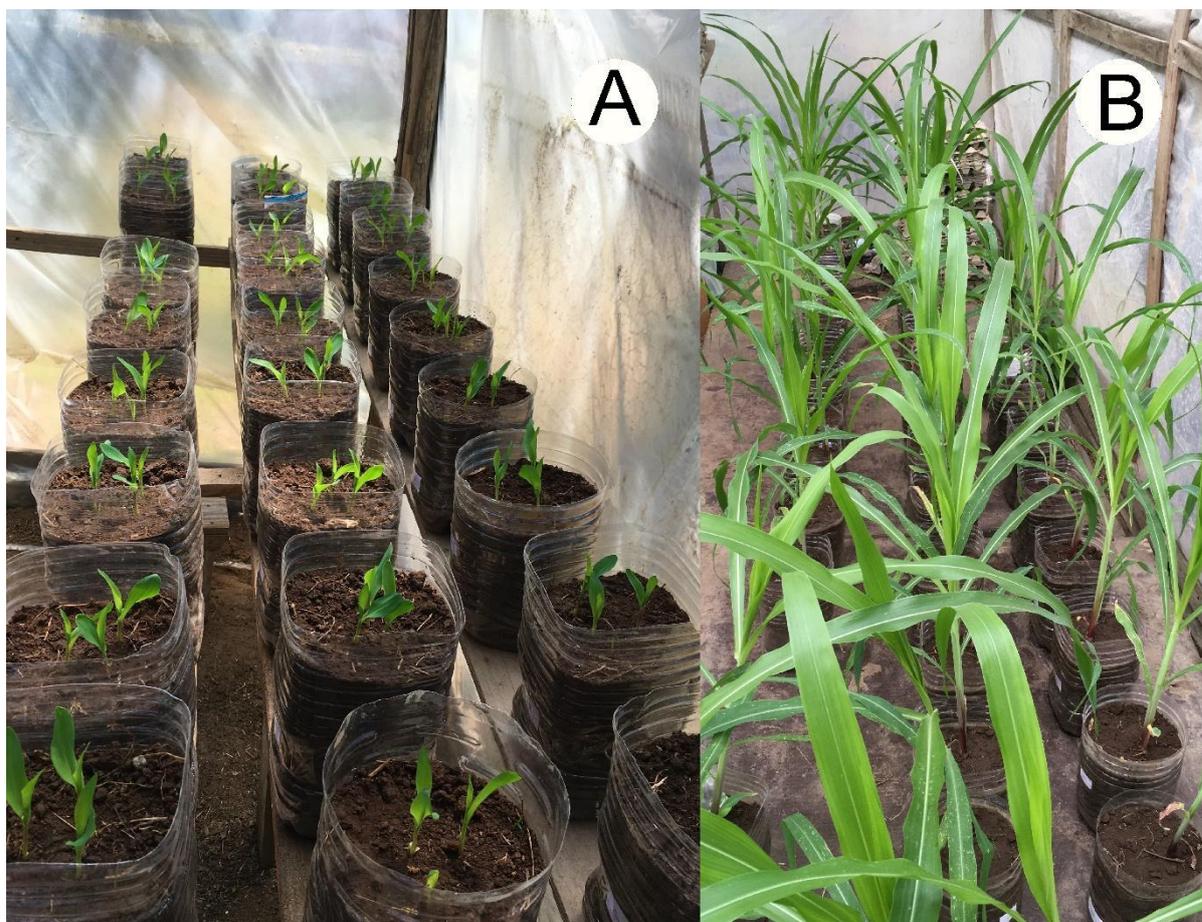
Tabela 3 – Organização e distribuição de amostras conforme tipo, tonelagem e espécime.

| | Branco | Pó de Rocha 1 | | Pó de Rocha 2 | | Pó de Rocha 3 | |
|---|--------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|
| | | 3 ton/ha | 5 ton/ha | 3 ton/ha | 5 ton/ha | 3 ton/ha | 5 ton/ha |
| Sigla referente ao tipo, tonelagem e espécime | B1 | P13A | P15A | P23A | P25A | P33A | P35A |
| | B2 | P13B | P15B | P23B | P25B | P33B | P35B |
| | B3 | P13C | P15C | P23C | P25C | P33C | P35C |
| | B4 | P13D | P15D | P23D | P25D | P33D | P35D |
| | B5 | P13E | P15E | P23E | P25E | P33E | P35E |

Fonte: Autora.

O experimento com pó de rocha foi conduzido em casa de vegetação na Unipampa, Campus Caçapava do Sul, e a planta cultivada foi o milho (Figura 10). Optou-se por plantio de milho porque, segundo Coelho (1995), a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo, nutrientes que inicialmente seriam analisados neste estudo (cancelado devido à pandemia do COVID-19), e também pelo tempo de duração do seu ciclo.

Figura 10 – Cultivo de milho em casa de vegetação. A) Fase 1; B) Fase 2.



Fonte: Autora

O experimento teve duração de 120 dias, o plantio das sementes deu-se no dia 07/02/2020 e o experimento foi finalizado no dia 06/06/2020. Foram plantadas três sementes por vaso, em profundidade de $3 \pm 0,5$ cm. Profundidade recomendada por Cruz et al. (2011) para o tipo de solo utilizado, para que as plântulas não tenham dificuldade de emergência. A planta que melhor se desenvolveu até o 5º dia foi mantida no solo para desenvolver-se no restante do período do experimento.

Durante o decorrer do experimento foram analisadas as taxas de crescimento, divididas em Fase 1 (34 dias) – Período de 06/02/2020 até 10/03/2020 – e Fase 2 (84 dias) – Período de 10/03/2020 até 04/06/2020. Na Fase 1, por dificuldade de se identificar e medir até o último entrenó, as medidas de crescimento foram tomadas da base até o ponto mais alto das folhas, utilizando-se régua ou paquímetro. Na Fase 2 as medidas foram tomadas a partir da base até a altura do último entrenó, com uma trena. As plantas foram regadas todas nos mesmos dias e com as mesmas quantias de água. A rega deu-se em dias espaçados, conforme observa-se na tabela 4, com

água deionizada fornecida pelo Laboratório de Química da UNIPAMPA Campus Caçapava do Sul, conforme observava-se a umidade no solo e temperatura média local a partir da última rega. Dentro do espaço da casa de vegetação, ao longo dos dias os vasos foram mudados de lugar em esquema de rotação. Este manuseio deu-se em prol de que todas as mudas recebessem a mesma quantia de incidência solar, já que algumas partes da casa da vegetação apresentavam-se mais sombreadas que o restante.

Tabela 4 – Controle de rega.

| Tabela de rega | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 07.02 | 100ml | 08.03 | 200ml | 07.04 | x | 07.05 | x |
| 08.02 | 100ml | 09.03 | x | 08.04 | 200ml | 08.05 | x |
| 09.02 | x | 10.03 | x | 09.04 | x | 09.05 | 200ml |
| 10.02 | 100ml | 11.03 | x | 10.04 | x | 10.05 | x |
| 11.02 | x | 12.03 | 200ml | 11.04 | x | 11.05 | x |
| 12.02 | 200ml | 13.03 | 300ml | 12.04 | x | 12.05 | x |
| 13.02 | x | 14.03 | 250ml | 13.04 | 200ml | 13.05 | x |
| 14.02 | 100ml | 15.03 | x | 14.04 | x | 14.05 | 200ml |
| 15.02 | x | 16.03 | 200ml | 15.04 | x | 15.05 | x |
| 16.02 | x | 17.03 | x | 16.04 | x | 16.05 | x |
| 17.02 | x | 18.03 | x | 17.04 | x | 17.05 | x |
| 18.02 | 100ml | 19.03 | x | 18.04 | 300ml | 18.05 | x |
| 19.02 | x | 20.03 | 200ml | 19.04 | x | 19.05 | 300ml |
| 20.02 | x | 21.03 | x | 20.04 | x | 20.05 | x |
| 21.02 | 200ml | 22.03 | x | 21.04 | x | 21.05 | x |
| 22.02 | x | 23.03 | x | 22.04 | x | 22.05 | x |
| 23.02 | x | 24.03 | 200ml | 23.04 | 200ml | 23.05 | 100ml |
| 24.02 | x | 25.03 | x | 24.04 | x | 24.05 | x |
| 25.02 | 100ml | 26.03 | x | 25.04 | x | 25.05 | x |
| 26.02 | x | 27.03 | x | 26.04 | x | 26.05 | x |
| 27.02 | x | 28.03 | 100ml | 27.04 | x | 27.05 | 150ml |
| 28.02 | x | 29.03 | x | 28.04 | 200ml | 28.05 | 200ml |
| 29.02 | 200ml | 30.03 | x | 29.04 | x | 29.05 | x |
| 01.03 | x | 31.03 | x | 30.04 | x | 30.05 | x |
| 02.03 | x | 01.04 | 300ml | 01.05 | 150ml | 31.05 | x |
| 03.03 | x | 02.04 | x | 02.05 | x | 01.06 | x |
| 04.03 | 200ml | 03.04 | x | 03.05 | x | 02.06 | 250ml |
| 05.03 | x | 04.04 | 100ml | 04.05 | 300ml | 03.06 | x |
| 06.03 | x | 05.04 | x | 05.05 | x | 04.06 | x |
| 07.03 | x | 06.04 | x | 06.05 | x | | |

Fonte: Autora.

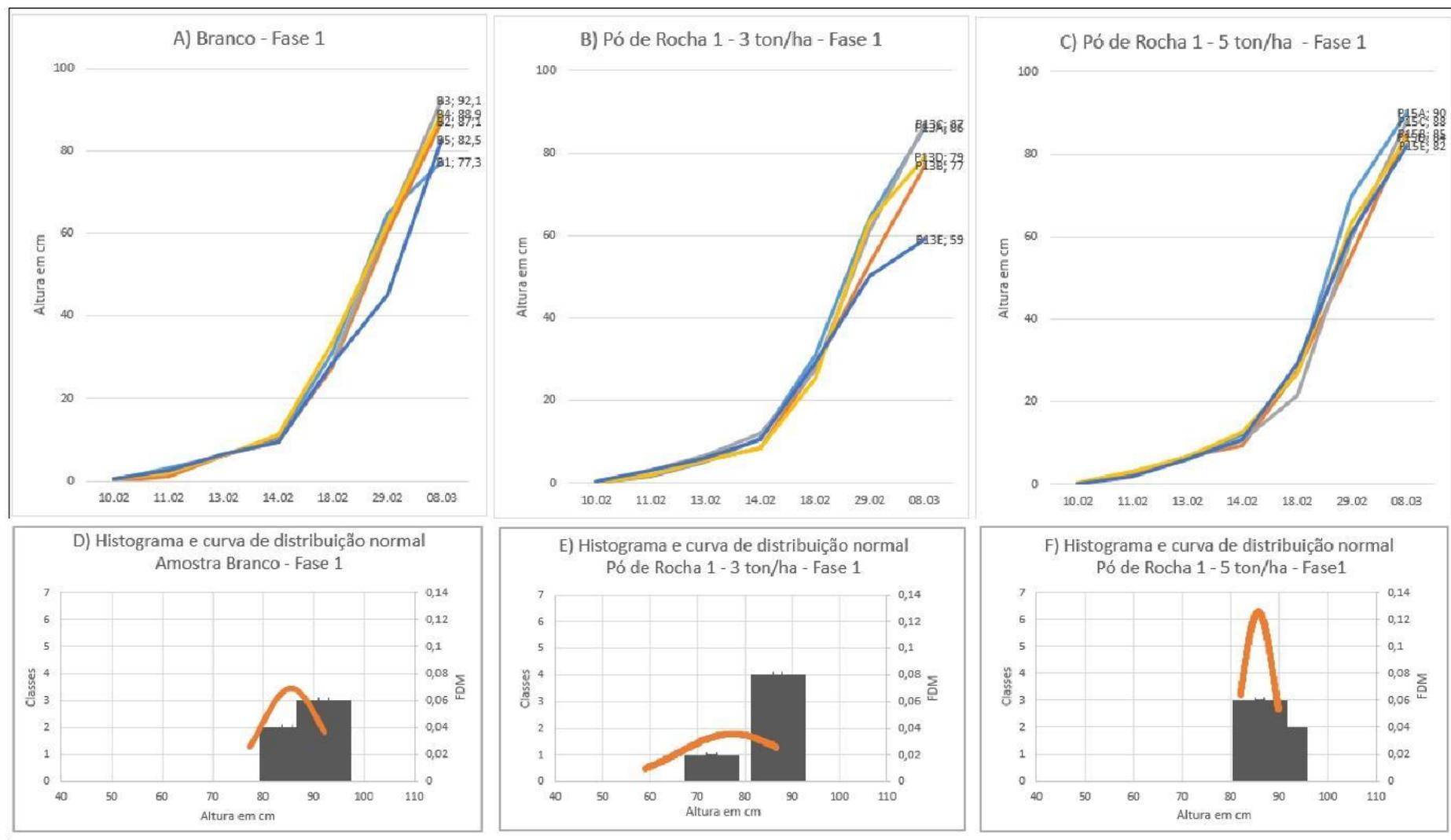
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O crescimento, desenvolvimento, floração e surgimento de frutos são um reflexo da disponibilidade de nutrientes, luminosidade e disponibilidade de água para as plantas. Assim, foi acompanhado o desenvolvimento da cultura de milho em casa de vegetação a fim de estabelecer correlações entre os solos remineralizados com os três tratamentos de pó de rocha basáltica e o tratamento branco, com o objetivo de verificar a influência da remineralização no desenvolvimento das plantas do experimento (milho). O acompanhamento dos resultados foi dividido em 3 etapas: Fase 1, referente à germinação e desenvolvimento inicial, fase em que pôde-se analisar o arranque e o desenvolvimento das plantas até o 34º dia; Fase 2, referente ao período de 34º ao 120º, onde acompanhou-se o desenvolvimento até o final do ciclo; e a Fase 3, observada entre o 80º e o 120º dia, correspondente a fase reprodutiva da cultura.

7.1 Fase 1: Germinação e Desenvolvimento inicial

O comportamento das mudas que foram adicionadas o pó de rocha 1 são observadas na Figura 11. Nos gráficos podemos observar a comparação entre o desenvolvimento das amostras que não tiveram adição de pó (amostra branco, Figura 11A e 11D) com as amostras que tiveram adição de quantia equivalente à 3 ton/ha (Figura 11B e 11E) e 5 ton/ha (Figura 11C e Figura 11F).

Figura 11 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 1, Fase 1.

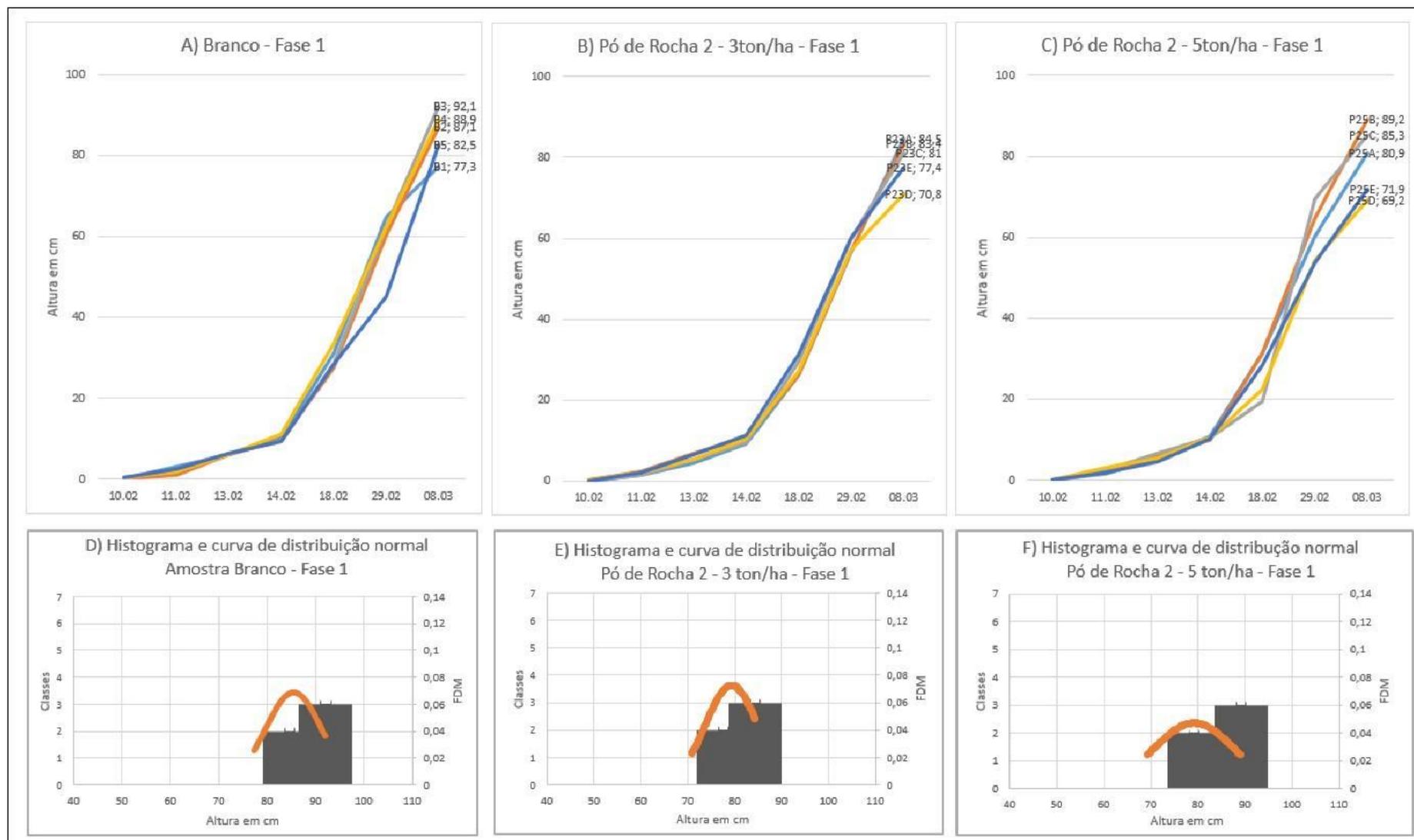


Fonte: Autora

Nesta fase as amostras do pó de rocha 1 que tiveram a quantia de 3 ton/ha adicionadas, apresentaram grande variação final de tamanho quando comparadas à amostra branco e as amostras de quantia 5 ton/ha.

As amostras referentes à utilização de pó de rocha 2 tem seus dados finais desta fase demonstrados na figura 12. Observa-se os dados de desenvolvimento das amostras que não tiveram adição de pó (amostra branco, Figura 12A e 12D) com as amostras que tiveram adição de quantia equivalente à 3 ton/ha (Figuras 12B e 12E) e 5 ton/ha (Figura 12C e Figura 12F). As amostras, nesta fase, não tiveram grande variação nos valores finais de altura. Os valores referentes às amostras que tiveram 3 ton/ha adicionadas à cultura tiveram valores abaixo das amostras branco.

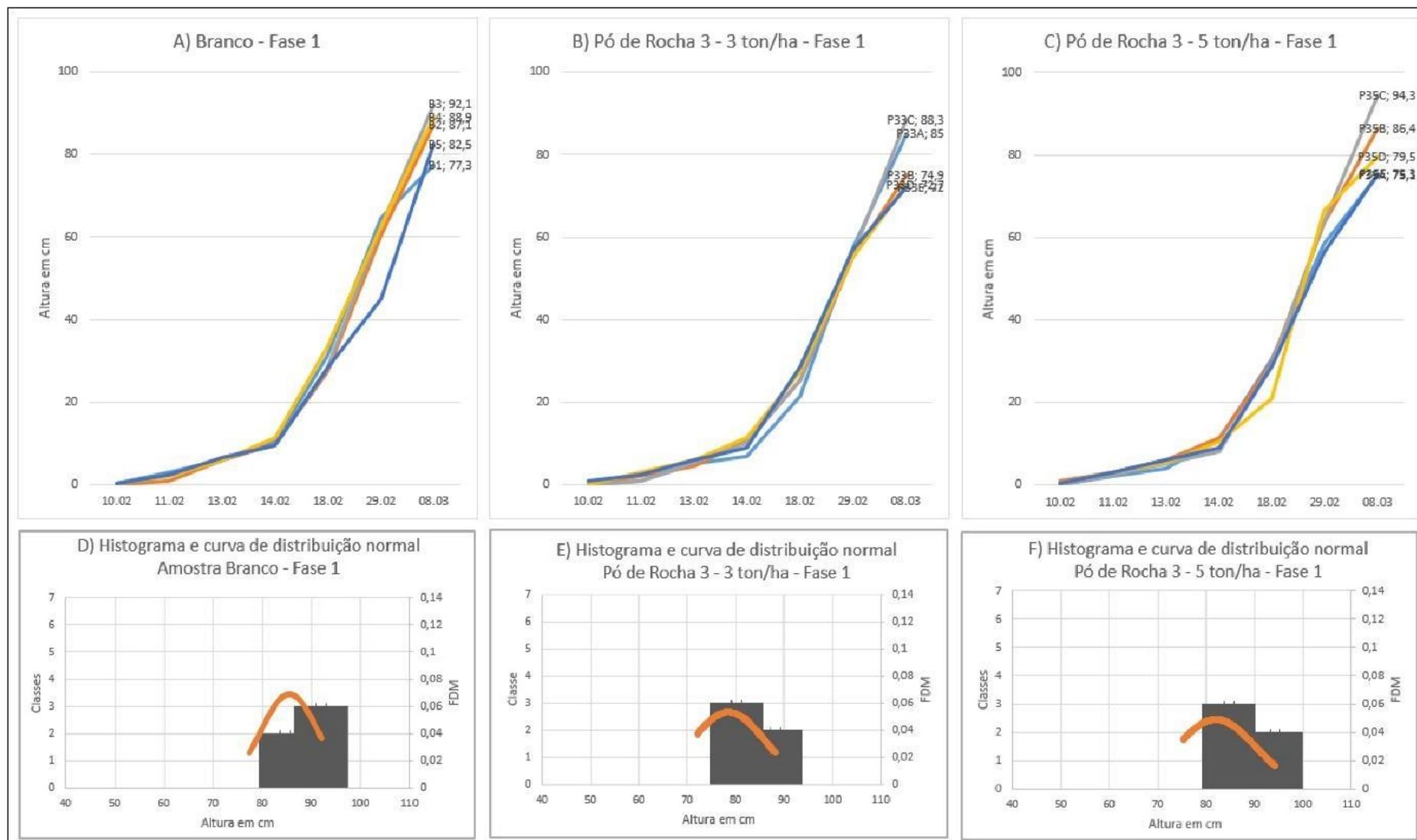
Figura 12 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 2, Fase 1.



Fonte: Autora

Os dados que representam a atividade das amostras referentes à adição de pó de rocha 3 estão demonstrados na figura 13. Observa-se o desenvolvimento das amostras que não tiveram adição de pó (Figura 13A e 13D) com as amostras que tiveram adição de quantia equivalente à 3 ton/ha (Figura 13B e 13E) e 5 ton/ha (Figura 13C e Figura 13F). As amostras nesta fase não tiveram grande variação nos valores finais de altura. As maiores alturas registradas são referentes às amostras que contém quantia de pó de rocha equivalente à 5 ton/ha.

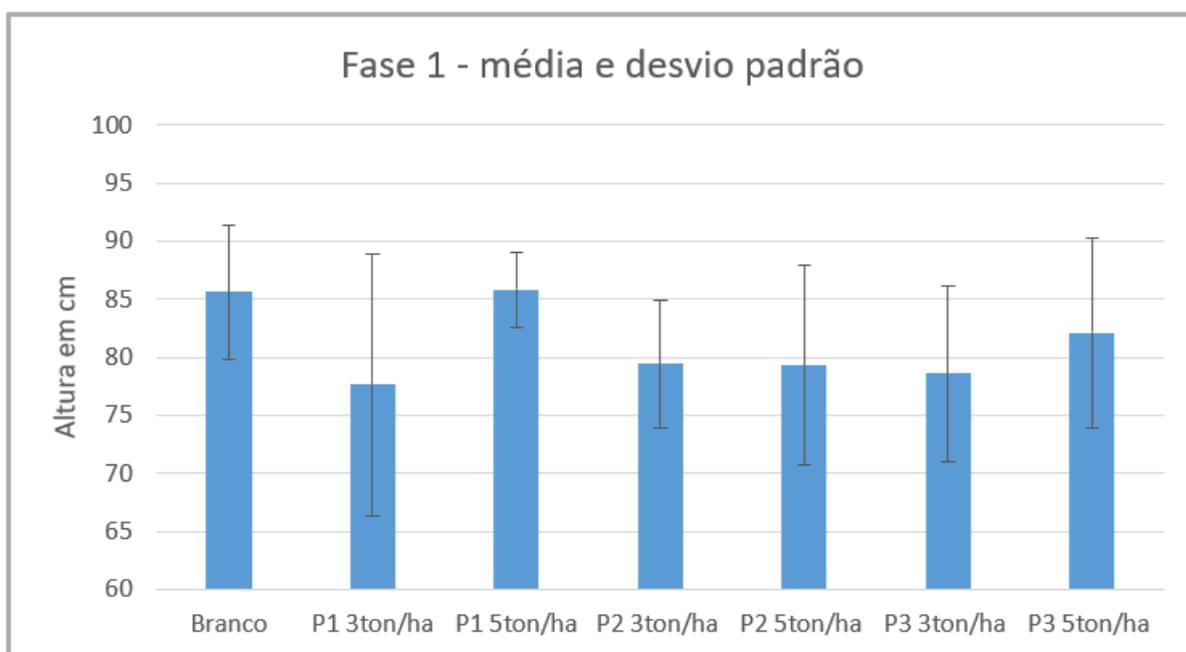
Figura 13 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 3, Fase 1.



Fonte: Autora.

O gráfico de média e desvio padrão (Figura 14) demonstra como foi o crescimento médio da Fase 1 entre as amostras branco, pó de rocha 1 - 3 ton/ha (P1 3 ton/ha), pó de rocha 1 - 5 ton/ha (P1 5 ton/ha), pó de rocha 2 - 3 ton/ha (P2 3 ton/ha), pó de rocha 2 - 5 ton/ha (P2 5 ton/ha), pó de rocha 3 - 3 ton/ha (P3 3 ton/ha) e pó de rocha 3 - 5 ton/ha (P3 5 ton/ha). Observou-se que nesta fase os espécimes referentes à adição de pó de rocha 1 - 5 ton/ha teve média semelhante aos espécimes das amostras branco e todos os demais tiveram médias inferiores comparados à amostra branco. Comparado entre todas amostras de pós de rocha da Fase 1, os espécimes referentes à adição de pó de rocha 1 - 5 ton/ha tiveram o menor desvio padrão e as amostras de pó de rocha 1 - 3 ton/ha tiveram o maior desvio padrão.

Figura 14 – Gráfico de média e desvio padrão da Fase 1.



Fonte: Autora.

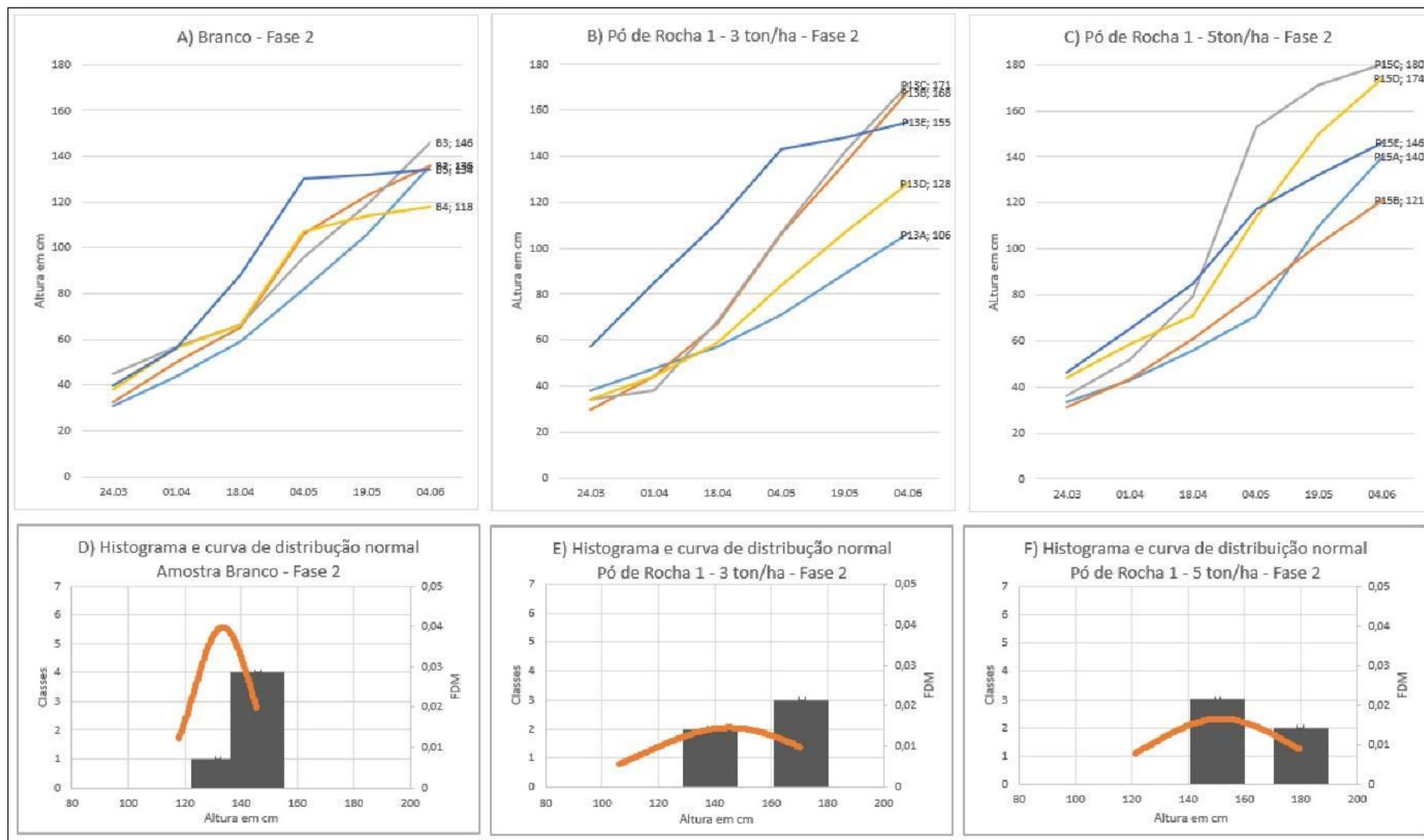
7.2. Fase 2: Desenvolvimento final

A Fase 2 abrangeu um período de observação do desenvolvimento de 84 dias, desde o 36º até o 120º dia. As medidas de altura foram coletadas a partir da base do caule até o último entrenó.

O desenvolvimento das mudas que foram adicionadas quantias equivalentes à 3 ton/ha e 5 ton/ha do Pó de Rocha 1 durante a fase 2 são observadas na figura 15.

Nos gráficos visualizamos o desenvolvimento das amostras que não tiveram adição de pó (figura 15A e 15D), amostras que tiveram adição de quantia equivalente à 3 ton/ha (figura 15B e 15E) e 5 ton/ha (figura 15C e figura 15F). Observou-se que a curva de distribuição normal referentes às amostras de 3 e 5 ton/ha, possuem padrão semelhante, porém as amostras referentes à 3 ton/ha possuem mais amostras com tamanhos entre 160cm e 180cm (3 espécimes) do que as amostras referentes à 5 ton/ha (2 espécimes).

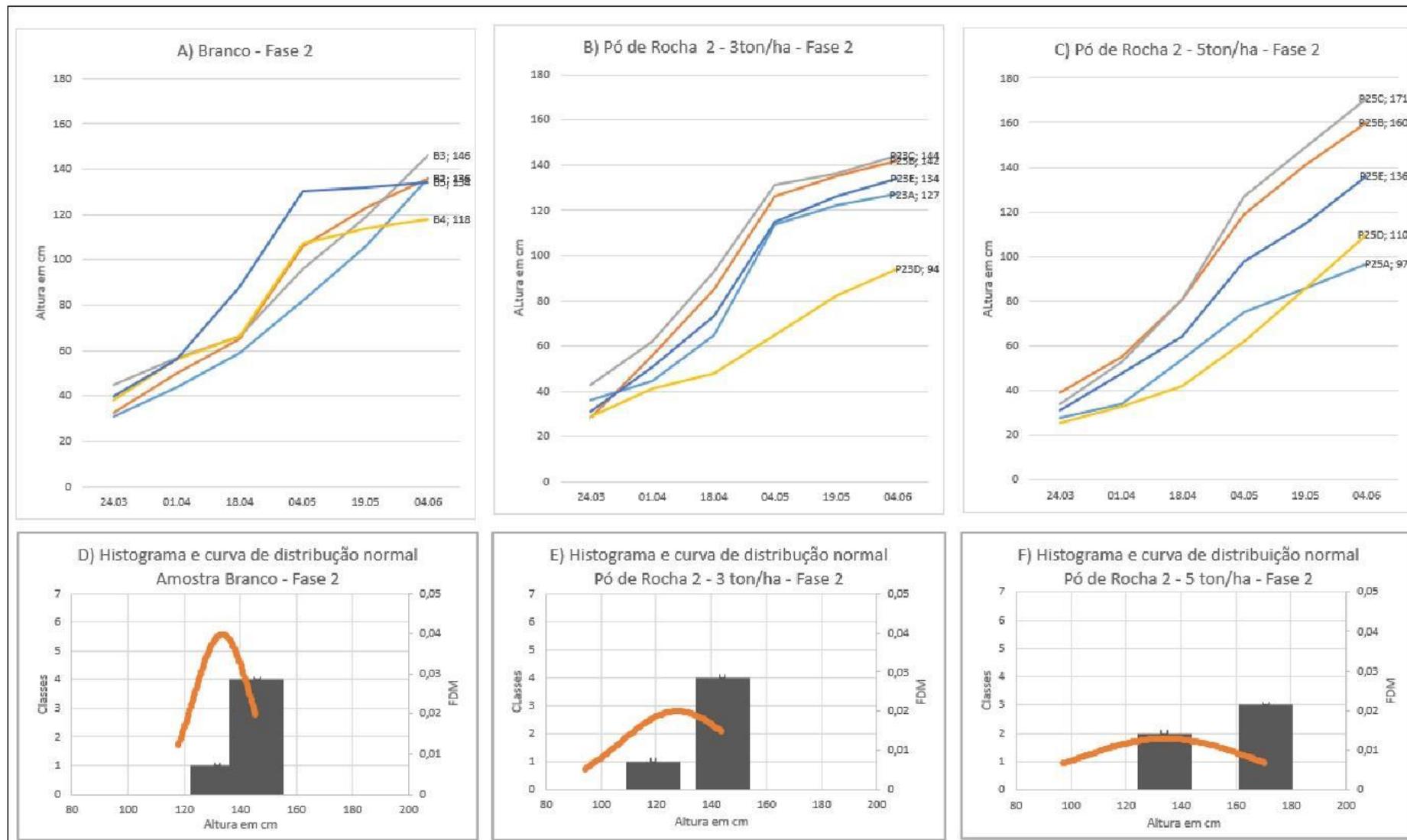
Figura 15 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 1, Fase 2.



Fonte: Autora.

A figura 16 contém gráficos que demonstram o desenvolvimento durante a Fase 2 das mudas que foram adicionadas o Pó de Rocha 2. Nos gráficos visualizamos o desenvolvimento das amostras que não tiveram adição de pó (Figura 16A e 16D), amostras que tiveram adição de quantia equivalente à 3 ton/ha (Figura 16B e 16B) e 5 ton/ha (Figura 16C e Figura 16F). Nestas amostras observou-se que as amostras referentes às quantias equivalentes à 3 ton/ha tiveram uma variação de tamanho menor em comparação com as amostras de 5 ton/h, esta última teve duas espécimes com as maiores alturas deste tipo de pó durante esta fase.

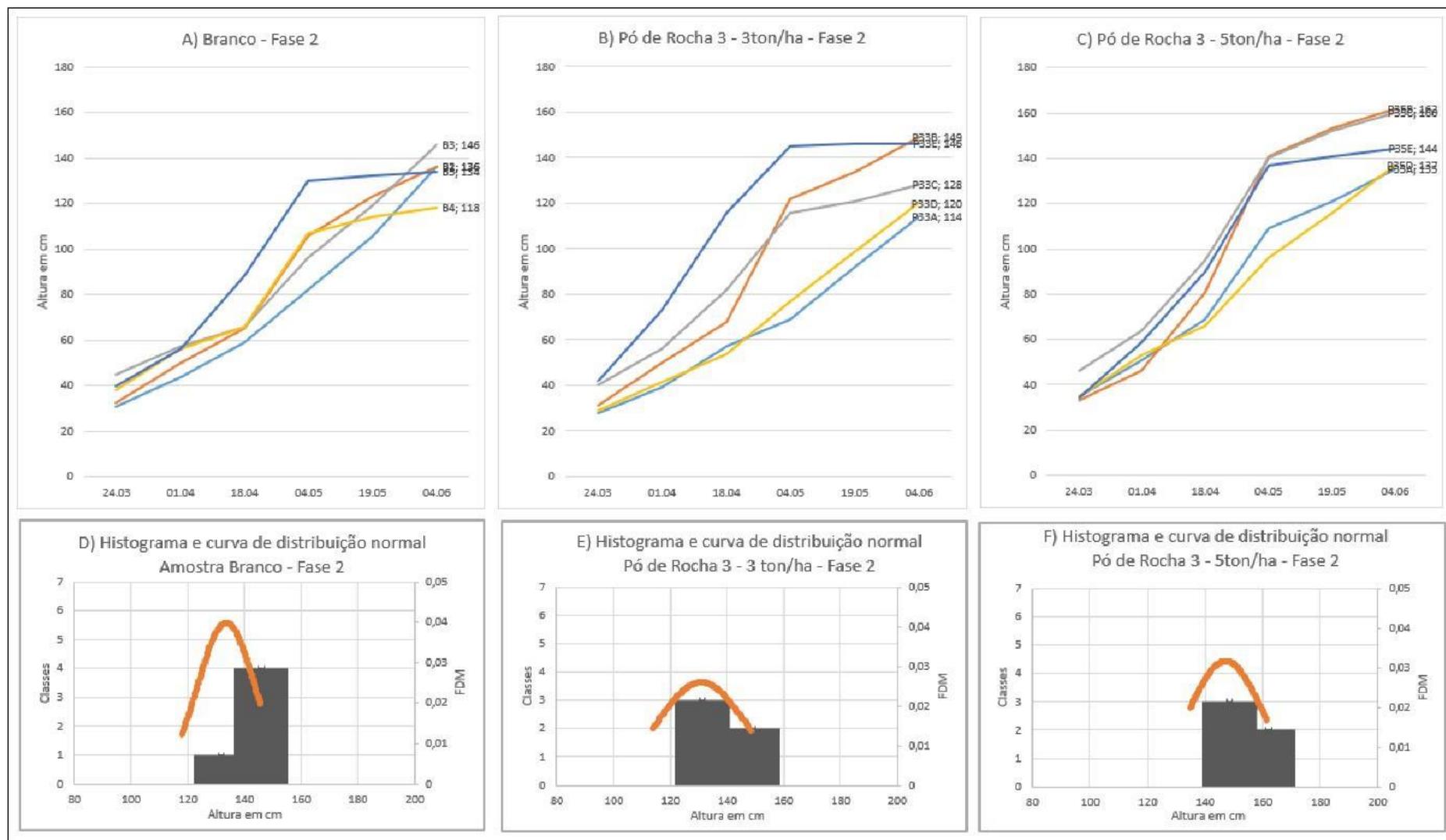
Figura 16 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 2, Fase 2.



Fonte: Autora.

Amostras que não tiveram adição de pó de rocha 3 (Figura 17A e 17D), amostras que tiveram adição de quantia equivalente à 3 ton/ha de pó de rocha 3 (Figura 17B e 17E) e 5 ton/ha (Figura 17C e Figura 17F), tem seus comportamentos comparados nos gráficos abaixo. Os espécimes com adição de quantia equivalente à 5 ton/ha tem variância de dados menor que os espécimes as quais foram adicionadas quantia equivalente 3 ton/ha, possuem também duas espécimes com as maiores alturas desta fase com este pó de rocha.

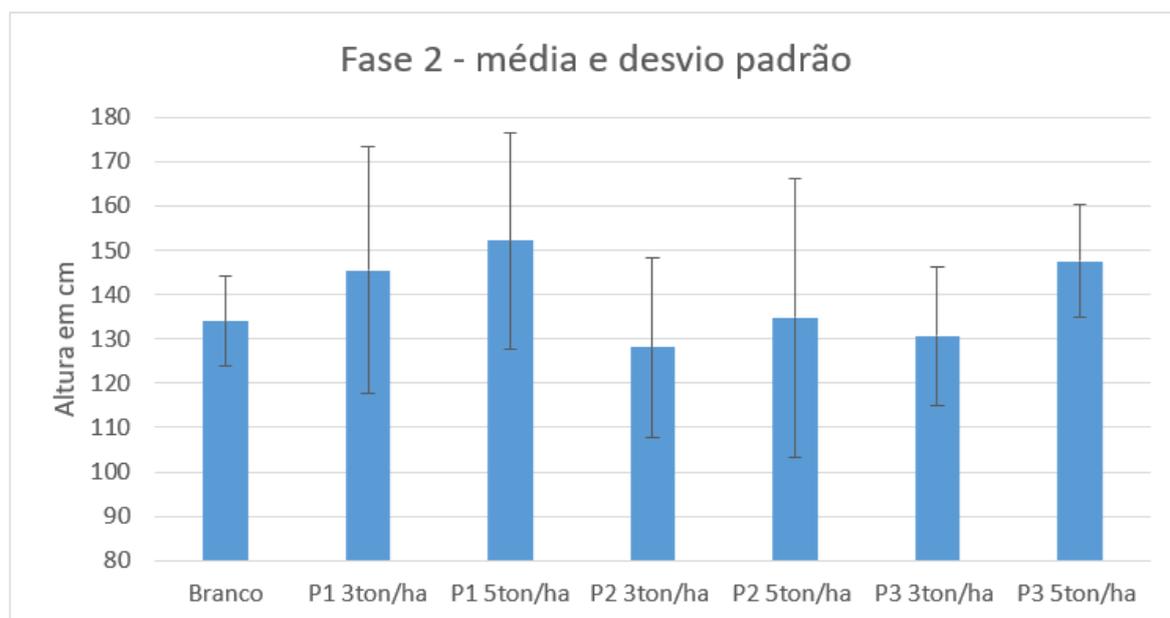
Figura 17 – Gráficos de crescimento das plantas onde foi adicionado o Pó de Rocha 3, Fase 2.



Fonte: Autora.

O gráfico de média e desvio padrão (Figura 18) demonstra como foi o crescimento médio da Fase 2 entre as amostras branco, pó de rocha 1 - 3 ton/ha (P1 3 ton/ha), pó de rocha 1 - 5 ton/ha (P1 5 ton/ha), pó de rocha 2 - 3 ton/ha (P2 3 ton/ha), pó de rocha 2 - 5 ton/ha (P2 5 ton/ha), pó de rocha 3 - 3 ton/ha (P3 3 ton/ha) e pó de rocha 3 - 5 ton/ha (P3 5 ton/ha). Observou-se que nesta fase os espécimes referentes a amostra branco apresentaram o menor desvio padrão. Os espécimes com adição de pó de rocha 1 - 5 ton/ha, teve a maior média final, porém o segundo maior desvio padrão. Os espécimes com adição de pó de rocha 3 - 5 ton/ha teve a segunda maior média entre os tipos e dentre as amostras com pó de rocha, o menor desvio padrão. Os espécimes representantes da adição de pó de rocha 1 - 3 ton/ha tiveram a segunda maior média, mas também o segundo maior desvio padrão. As amostras referentes ao pó de rocha 2 - 3 e 5 ton/ha e pó de rocha 3 - 3 ton/ha tiveram médias abaixo do valor da amostra branco.

Figura 18 – Gráfico de média e desvio padrão da Fase 2.



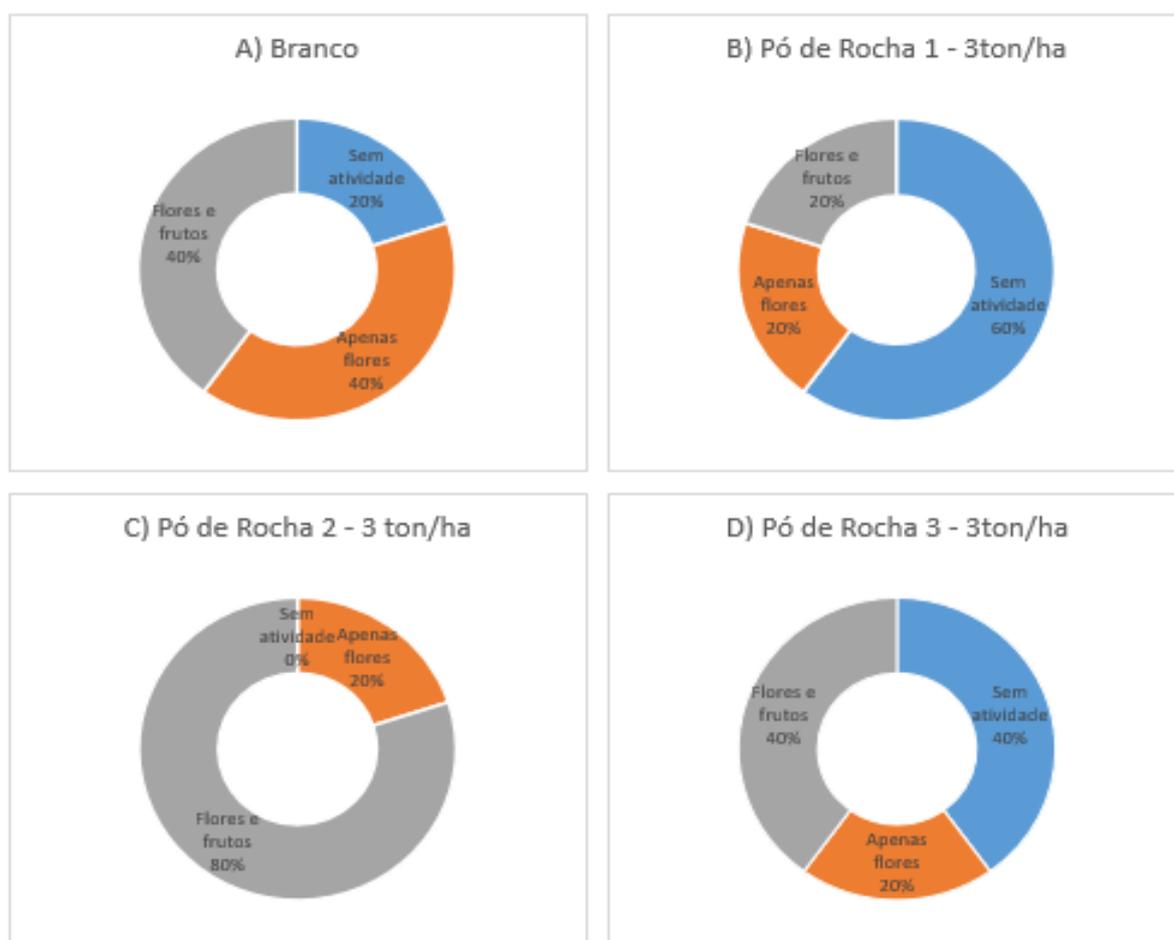
Fonte: Autora

7.3. Fase 3: Reprodução

As primeiras observações da fase reprodutiva ocorreram a partir do aparecimento de pendões no 80º dia de cultura e deu-se até o 120º dia do experimento. Observa-se nos gráficos em rosca na figura 19 o desenvolvimento das

plantas que tiveram os tipos 1, 2 e 3 com quantias de 3 ton/ha adicionados no solo. Estes dados demonstram que as amostras com adição de pó de rocha 1 tiveram 60% das plantas sem o aparecimento de pendão e frutos, classificado aqui como inatividade quanto à fase reprodutiva; as amostras de pó de rocha 2 tiveram todas as plantas com resposta à esta fase e as amostras correspondentes à adição de pó de rocha 3 tiveram 40% de inatividade. Assim, os melhores resultados deram-se nas amostras branco e pó de rocha 2, onde tiveram os menores índices de inatividade.

Figura 19 – Gráficos de desempenho na Fase 3, espécimes com adição de 3 ton/ha.

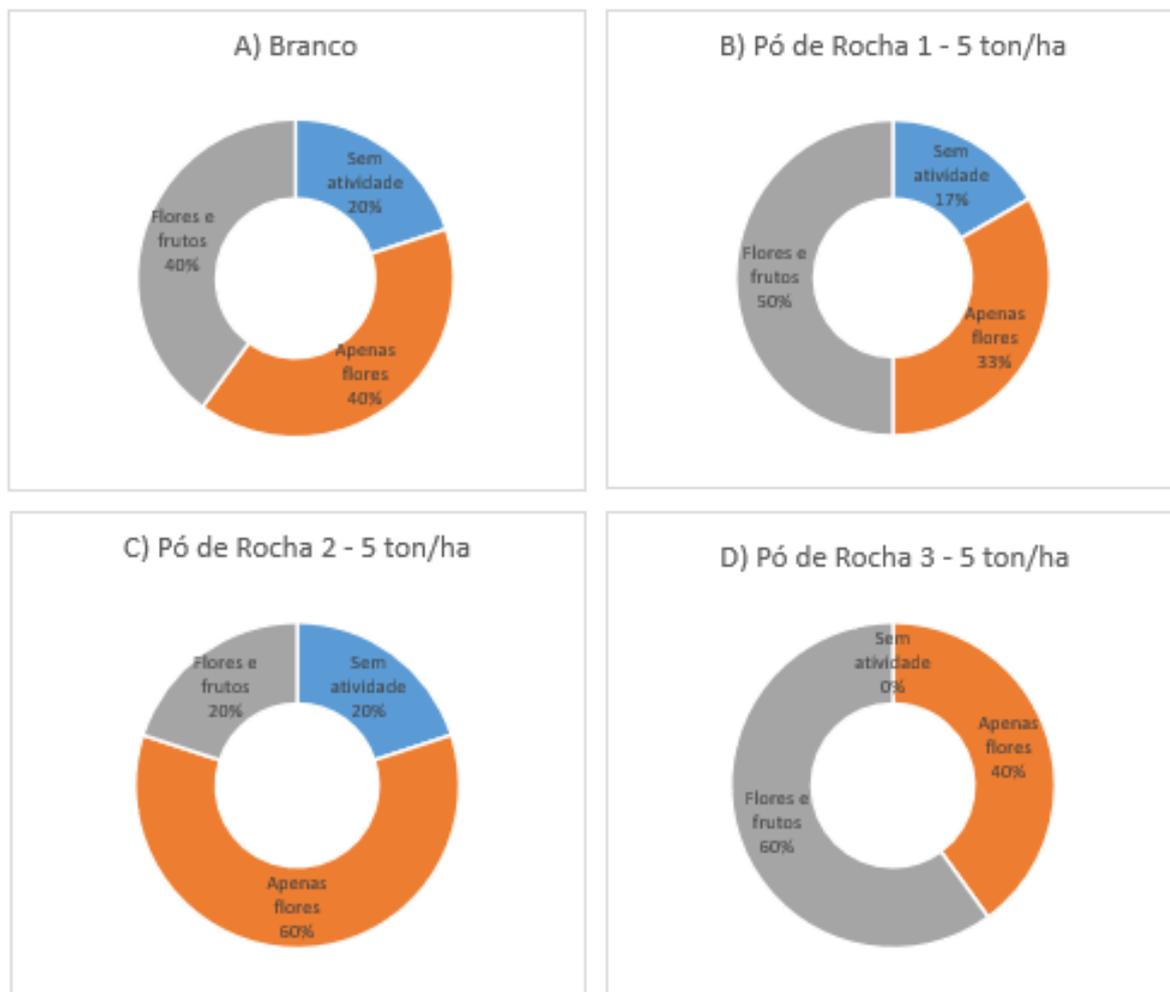


Fonte: Autora

O desempenho na fase reprodutiva da cultura à qual foi incorporado ao solo a quantia de pó de rocha equivalente à 5 ton/ha, está representado na figura 20. Os pós de rocha 1 e 2 tiveram 17% e 20% de inatividade quanto à fase reprodutiva, respectivamente. As plantas que receberam o pó de rocha 3 – 5 ton/ha tiveram todas os espécimes com resposta na fase reprodutiva. Nestes espécimes aqueles que

receberam pó de rocha 3 - 5 ton/ha e pó de rocha 1 - 5 ton/ha, tiveram as melhores respostas em comparação a amostra branco e amostra com pó de rocha 2 - 5 ton/ ha.

Figura 20 – Gráficos de desempenho na Fase 3, espécimes com adição de 5ton/ha.



Fonte: Autora

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados obtidos neste trabalho, pode-se perceber que, embora com as diferenças entre crescimento e fase reprodutiva, a utilização de um pó de rocha que já é utilizado como remineralizador (Pó 2) e um pó que é rejeito (Pó 1 e 3), trazem resultados muito semelhantes, demonstrando a viabilidade da utilização de pó de rocha proveniente de resíduos de mineração como remineralizador. A comparação entre os pós que são oriundos de rejeito, o Pó 3 mostrou ter menor variabilidade em altura nos finais da fase 1 e fase 2 e também em relação à fase reprodutiva. Também

se atenta para as quantias de 5 ton/ha, que em todas as fases, teve a melhor contribuição. O momento de pendoamento é quando o milho tem mais necessidade de K, N e P (CIAMPITTI, 2011). Com isso, a hipótese que se levanta é que o fato de ter mais material adicionado ao solo a resposta é mais rápida, pois há mais minerais e nutrientes disponíveis às plantas. Também se tem a hipótese de que o fato do Pó de Rocha 3 ter proveniência de um horizonte hidrotermalizado poderia indicar que os nutrientes estivessem mais prontamente disponíveis quando comparado aos demais pós.

As reações hidrotermais, que são os processos de alterações dos minerais pré-existentes (WINGE, M. et. al. 2001) que ocorreram com o material do Pó 3, assemelham-se ao tratamento de calcinação, processo de reação química de decomposição térmica que alguns materiais são submetidos para tornarem-se potenciais fertilizantes. Os minerais tem sua estrutura cristalina fragilizada, como por exemplo a biotita, que ao perder sua cristalinidade favorece a solubilidade de cátions Na^+ e K^+ (DOS SANTOS, 2015).

Através deste estudo, percebeu-se que a utilização de rejeitos de mineração é viável como remineralizador de solo e a proporção de 5 ton/ha mostrou-se mais efetiva, neste caso. Este trabalho estimula desenvolver mais estudos com perspectiva de comprovar e remanejar rejeitos de mineração como um subproduto, gerar/manter empregos nas áreas exploradas e, principalmente, tornar a atividade de agricultura menos dependente de fertilizantes químicos.

Seria relevante, a fim de aprofundar as conclusões deste estudo, a realização de: análises de solo, com intenção de detalhar qual é a necessidade nutricional; análises de teores de elementos das amostras de pó de rocha, para que se saiba qual quantia aplicar e à qual tipo de solo o pó pode ser aplicado; testes de incubação a fim de dimensionar o tempo de disponibilização dos elementos; e também análises foliares da cultura, para acompanhar o aproveitamento dos nutrientes disponibilizados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (**ANDA**). Estatísticas. Disponível em: <<http://anda.org.br>>. Acesso em: 04 abr. 2021.

BERGMANN, M. et al. **Stonemeal: Enabling the sustainable use of discarded mining wastes in the district of Miner South Amethyst (DMAs), RS, BRAZIL**. In: Anais I Congresso Brasileiro de Rochagem, Brasília, DF, 21 a 24 de setembro de 2009. Embrapa Cerrados, 2009. p. 137-145.

BERGMANN, M. et al. Considerações sobre o potencial de uso agrônomo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: **Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: HARTMANN, LA; SILVA, J; T. DA; DONATO, M..(Org.). Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração. Porto Alegre: UFRGS, 2014, p. 119-126., 2014.

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

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

CIAMPITTI, Ignacio A .; ELMORE, Roger W .; LAUER, Joe. **Crescimento e desenvolvimento do milho**. Dent , v. 5, n. 75, 2011.

COELHO, Antônio Marcos; FRANÇA, GE de. **Seja o doutor do seu milho**. Piracicaba: Potafos, 1995.

COELHO, Antônio Marcos et al. **Amostragem de solos: a base para a aplicação de corretivos e fertilizantes**. Embrapa Milho e Sorgo-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2002.

COELHO, Antonio Marcos et al. Fertilidade de solos: nutrição e adubação do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2008.

COELHO, Antônio Marcos et al. **Planejamento da Adubação e Calagem – EMBRAPA**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_2_298200581532.html#> Acesso em: 12/11/2019

CRUZ, José Carlos et al. Produção de milho na agricultura familiar. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2011.

DE CARVALHO, André Mundstock Xavier. **Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo.** Sustentabilidade e inovações no campo, 2013.

DE SOUSA, Luciano Caetano et al. **Aplicação de rejeitos de lavra mineral como fonte alternativa de potássio para uso agrícola.** FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DO TOCANTINS Reitor, p. 8.2010

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** 2.ed – Rio de Janeiro: EMBRAPA – SPI, 2006.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira.** – Brasília, DF : Embrapa, 212 p. 2018.

FERNANDES, Francisco Rego Chaves et al. **Agrominerais para o Brasil.** CETEM/MCT, 2010.

GOMES, Marcia Elisa Boscato. **Mecanismos de resfriamento, estruturação e processos pós-magmáticos em basaltos da Bacia do Paraná: região de Frederico Westphalen (RS)-Brasil.** 1996.

GÖRGEN, Claudia Adriana et al. **Arranjo Produtivo Local de base mineral no Sudoeste Goiano: uso de rochas regionais na agricultura.** Francisco Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enríquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino.(Org.). Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, v. 2, p. 45-68, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Cidades@.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 07/10/2019.

INTRUÇÃO NORMATIVA Nº5, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2016.

JÚNIOR, Geraldo Bueno Martha et al. **Benefícios bioeconômicos e ambientais da integração lavoura-pecuária.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006.

LEONARDOS, Othon Henry; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. **The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers?.** Chemical Geology, v. 60, n. 1-4, p. 361-370, 1987.

LOPES, AR de BC et al. **Relatório de Excursão: Geologia, Estratigrafia, Evolução Petrográfica e Mineralização de gemas da Formação Serra Geral na Região Sul do Brasil.** 2008.

LEPSCH, Igo F. **19 lições de pedologia.** Oficina de textos, 2016.

MAGALHAES, Paulo C.; DURÃES, Frederico OM. Fisiologia da produção de milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006.

MARTINS, Éder de Souza et al. **Agrominerais-Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura**. 2008.

MARTINS, E.S., Theodoro, S.H. (eds.) **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, 322 p. (2010).

MILANI, Edison José. **Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná**. Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR, p. 265-291, 2004.

MOTTA, Lisiane da et al. **Patrimônio arqueológico de Montenegro/RS: dialogando com a arqueologia e o compromisso social**. 2011.

NUNES, Jéssica Maria Gregory. **Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem**. 2012.

PAGNOSSIN, Elaine Medianeira; DA FONSECA PIRES, Carlos Alberto. **Silicose em garimpeiros de ametista do sul, Brasil**. Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, v. 4, n. 7, 2008.

PEATE, David W.; HAWKESWORTH, Chris J.; MANTOVANI, Marta SM. **Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution**. Bulletin of Volcanology, v. 55, n. 1-2, p. 119-139, 1992.

PronaSolos - **Programa Nacional de Solos do Brasil**. Disponível em <<https://geoportail.cprm.gov.br/pronasolos/>> Acessado em: 13 de maio de 2021

RAMOS, Claudete Gindri et al. **Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer**. Journal of cleaner production, v. 142, p. 2700-2706, 2017.

SANTOS, Humberto & Carvalho, Waldir & Dart, Ricardo & Aglio, Mário & Sousa, José & Peres, Jerônimo & Fontana, Ademir & Martins, Alba & De Oliveira, Aline. . **O Novo Mapa de Solos do Brasil - Legenda atualizada- escala 1:5.000.000**. 2017.

SILVA, FABIO CESAR DA SILVA (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, Luis Felipe de Sales Dorneles et al. **Formação Serra Geral (Cretáceo, Bacia do Paraná): um modelo análogo para reservatórios não convencionais fraturados**. 2015.

SILVA, Carla Cristina Alves da. **Avaliação da liberação de potássio de rochas silicáticas por extrações seletivas**. 2017.

STRAATEN, Peter van. **Rocks for crops: agrominerals of sub-Saharan Africa**. Nairobi: Icrاف, 2002.

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

STRAATEN, Peter van. **Agrogeology: the use of rocks for crops**. Ontario, CA: Enviroquest, 2007.

THEODORO, Suzi Maria de Cordova Huff. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000.

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

THEODORO, Suzi Huff et al. **Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes**. Revista Espaço e Geografia, v. 9, n. 2, 2006.

WILDNER, Wison. **Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná—Conceitos básicos e divisão faciológica**. Reunião Aberta da Comissão Brasileira de Estratigrafia, p. 62-77, 2004.

WINGE, M. et. al. 2001. Glossário Geológico Ilustrado. Disponível em <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/hidrotermal.htm>> Acessado em: 20 de Abr de 2021.