



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE CRATEÚS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS**

**ANA GLÓRIA BARBOSA MACHADO**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA DIORÍTICA COMO  
RECONDICIONADOR DE SOLO AGRÍCOLA DO MUNICÍPIO DE CRATEÚS**

**CRATEÚS**

**2024**

ANA GLÓRIA BARBOSA MACHADO

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA DIORÍTICA COMO  
RECONDICIONADOR DE SOLO AGRÍCOLA DO MUNICÍPIO DE CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas do Campus Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Kennedy da Silva Ramos

CRATEÚS

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M129e Machado, Ana Glória Barbosa.

Estudo da utilização de pó de rocha diorítica como condicionador de solo agrícola do município de Crateús / Ana Glória Barbosa Machado. – 2024.  
91 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2024.

Orientação: Prof. Me. Kennedy da Silva Ramos.

1. Pó de rocha. 2. Pós de rocha tratados. 3. Crescimento de plantas . I. Título.

CDD 622

---

ANA GLÓRIA BARBOSA MACHADO

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA DIORÍTICA COMO  
RECONDICIONADOR DE SOLO AGRÍCOLA DO MUNICÍPIO DE CRATEÚS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas do Campus Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Minas.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Kennedy da Silva Ramos (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Thayres de Sousa Andrade  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Me. Kerollan da Silva Ramos  
Engenheiro de Minas

À Deus.

Aos meus pais, Antonia Vieira e Gonçalo Machado, e à minha irmã Ana Clara por sempre me apoiarem e serem minha fortaleza. E à minha avó Gonçala Vieira (*in memoriam*) por sempre ter acreditado em mim.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me abençoado e me dado forças para chegar até esse momento. Sem a força do senhor nada seria possível.

Agradeço à minha mãe, Antonia Vieira, por sempre ter acreditado e me incentivado em todos os momentos. Mãe, tudo isso é por você.

Agradeço ao meu pai, Gonçalo Machado, por todo o esforço em me oferecer a oportunidade de poder seguir no caminho dos estudos, com muita garra, força e determinação.

Agradeço a minha irmã, Ana Clara, que em todos os momentos esteve comigo, mesmo buscando atenção, entendia que todo o esforço era necessário para realizar nosso grande sonho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Kennedy da Silva Ramos pela belíssima orientação. Obrigado pelo esforço e dedicação com este trabalho, sem dúvidas os conhecimentos adquiridos foram fundamentais para minha carreira profissional.

Agradeço aos técnicos de laboratório, Wolker e Rubens, pela ajuda para que fosse possível a realização de todos os ensaios laboratoriais deste trabalho. Minha eterna gratidão.

Agradeço ao meu companheiro, Ray Aguiar, por nunca ter medido esforços para me ajudar nas várias etapas desse trabalho. Sua compreensão e carinho foram fundamentais para que eu pudesse manter o equilíbrio emocional e alcançar a conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus tios, tias, avós, primos e primas que sempre torceram por mim.

Agradeço aos meus companheiros de curso por toda a parceria durante esses anos. Nossos momentos juntos com toda a certeza foram muito importantes para descontração em momentos difíceis. Obrigado pelas risadas, troca de experiências e por compartilhar grandes conquistas.

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente com a realização deste trabalho. Muito obrigado!

“Quem me oferece sua gratidão como sacrifício, honra-me, e eu mostrarei a salvação de Deus ao que anda nos meus caminhos.”

*Salmos 50:23*

## RESUMO

Diante da problemática de solos agrícolas com deficiências em nutrientes inorgânicos, da dependência de importações de fertilizantes químicos, das restrições econômicas dos produtores à aquisição destes e do seu impacto ambiental, busca-se a alternativa da utilização de pós de rochas como fonte de adubação inorgânica, regional, acessível e sustentável. Contudo, a utilização de pós de rochas demanda de maior tempo para liberação dos nutrientes, comparando-se a fertilizantes convencionais. Na tentativa de contribuir na resolução da problemática mencionada e com foco na aceleração da liberação dos nutrientes, o presente trabalho teve como objetivo analisar, em escala de laboratório, a aplicação de pó de rocha natural, com tratamento térmico e térmico/químico em solo agrícola com cultivo de feijão. Inicialmente, foi realizada a coleta de rochas e solos no município de Crateús, posteriormente realizou-se a caracterização. Logo após, a rocha foi britada e moída e uma fração foi submetida a ataque térmico, chegando à temperatura média de 290°C, e uma fração desta, sofreu o ataque químico com ácido acético. Os experimentos foram realizados em duplicatas, alocados em copos descartáveis de 300 mL e, em todos os testes, utilizou-se 130 gramas de solo. Inicialmente utilizou-se pó de rocha natural, pó de rocha térmico e pó de rocha térmico/químico nas concentrações de 200, 100 e 50 gramas. Também se utilizou NPK e sulfato de amônia nas concentrações de 50, 25 e 5 gramas e 65, 32,5 e 13 gramas de calcário, para se comparar os resultados dos pó de rochas com produtos químicos. Ao todo foram realizados 39 experimentos, cada um regado com 50 mL de água todos os dias durante a realização dos experimentos. Durante o tempo de desenvolvimento foram medidos, a cada 3 dias, o peso e a altura das mudas. De acordo com os ensaios de caracterização, a rocha coletada foi classificada como um diorito, e a granulometria do pó de rocha utilizado foi de 81% passante na peneira de 0,6 mm. Quanto à análise do desenvolvimento das mudas, os dados de peso foram descartados por apresentarem inconsistência nos dados e os dados de altura foram analisados estatisticamente com *software* IBM SPSS. Com a análise dos dados foi possível observar que os tratamentos utilizando NPK e sulfato de amônia não apresentaram respostas e o tratamento com calcário agrícola apresentou discrepâncias nos experimentos, sendo ambos descartados. Os tratamentos com pó de rochas apresentaram boas respostas, sendo, o pó de rocha *in natura* 200g teve a melhor resposta ao crescimento final da planta e os pós de rochas térmico e térmico/químico apresentaram boas respostas em dosagens menores. O térmico 50 g se apresenta como o mais vantajoso em questão de crescimento por quantidade de material utilizado. O tratamento químico do experimento prejudica o tratamento térmico. Portanto,

notou-se que o pó de rocha contribui com o crescimento final e com a taxa de crescimento, sendo que o tratamento térmico ajudou na redução do consumo de pó de rocha para pequenas dosagens.

**Palavras-chave:** pó de rocha; pós de rocha tratados; crescimento de plantas.

## ABSTRACT

Given the problem of agricultural soils with deficiencies in inorganic nutrients, the dependence on imports of chemical fertilizers, the economic constraints of producers in acquiring these fertilizers, and their environmental impact, the alternative of using rock dust as a source of inorganic fertilization is sought. This option is regional, accessible, and sustainable. However, the use of rock dust requires more time for nutrient release compared to conventional fertilizers. In an attempt to contribute to solving the mentioned problem and focusing on accelerating nutrient release, this study aimed to analyze, at a laboratory scale, the application of natural rock dust with thermal and thermal/chemical treatment in agricultural soil with bean cultivation. Initially, rocks and soils were collected in the municipality of Crateús, followed by their characterization. Subsequently, the rock was crushed and ground, with a fraction subjected to thermal treatment, reaching an average temperature of 290°C, and a portion of this fraction underwent chemical treatment with acetic acid. The experiments were conducted in duplicates, placed in 300 mL disposable cups, and 130 grams of soil were used in all tests. Initially, natural rock dust, thermal rock dust, and thermal/chemical rock dust were used in concentrations of 200, 100, and 50 grams. NPK and ammonium sulfate were also used in concentrations of 50, 25, and 5 grams, and 65, 32.5, and 13 grams of limestone, to compare the results of rock dust with chemical products. In total, 39 experiments were conducted, each watered with 50 mL of water daily during the experiments. During the development period, the weight and height of the seedlings were measured every three days. According to the characterization tests, the collected rock was classified as diorite, and the granulometry of the used rock dust was 81% passing through a 0.6 mm sieve. Regarding the analysis of seedling development, the weight data were discarded due to inconsistencies, and the height data were statistically analyzed with IBM SPSS software. Data analysis showed that treatments using NPK and ammonium sulfate did not show responses, and the treatment with agricultural limestone showed discrepancies in the experiments, so both were discarded. Treatments with rock dust showed good responses, with the 200g natural rock dust having the best final plant growth response, and the thermal and thermal/chemical rock dusts showing good responses in smaller dosages. The 50g thermal dust appears to be the most advantageous in terms of growth per amount of material used. The chemical treatment negatively affects the thermal treatment. Therefore, it was noted that rock dust contributes to final growth and growth rate, with thermal treatment helping reduce rock dust consumption for small dosages.

**Keywords:** rock dust; treated rock dust; plant growth.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dependência externa por fertilizantes.....	19
Figura 2 - Variação nos preços de fertilizantes nos anos de 2007 a 2022.....	19
Figura 3 - Absorção de nutrientes pelos processos de interceptação, fluxo de massa e difusão..	23
Figura 4 - Perfil de alteração de um solo.....	24
Figura 5 - Relação crescimento ou produtividade e concentração de nutrientes no tecido das plantas.....	28
Figura 6 - Curva ilustrativa do crescimento sigmoidal de uma planta.....	29
Figura 7 - Produtividade em kg/ha da cultivar de soja em função das doses crescentes de pó 31 de rocha “basalto gabro” .....	31
Figura 8 - Fragmentos de rocha Diorito.....	32
Figura 9 - Feijão de corda.....	34
Figura 10 - Estágios de desenvolvimento da planta de feijoeiro.....	35
Figura 11 - Mapa Geológico da folha de Crateús.....	37
Figura 12 - Fluxograma metodológico.....	38
Figura 13 - Carta geológica Crateús com localização do ponto de coleta da rocha.....	39
Figura 14 - Coleta das rochas (a) afloramento; (b) momento da coleta.....	39
Figura 15 - Mapa do tipo de solo utilizado na pesquisa.....	40
Figura 16 - Mapa de localização dos pontos de coleta do solo.....	41
Figura 17 - Coleta dos solos (a) profundidade; (b) coleta do solo.....	42
Figura 18 - Processo realizado para determinação da massa específica do solo (a) picnômetro vazio; (b) picnômetro + amostra; (c) picnômetro + massa + água; (d) picnômetro + água.....	43
Figura 19 - Britador de mandíbula.....	44
Figura 20 - Material submetido ao processo de britagem (a) material pós fragmentação; (b) material pós britagem.....	44
Figura 21 - Moinho de barras artesanal.....	45
Figura 22 - Homogeneização e quarteamento da amostra (a) homogeneização do material; (b) divisão da pilha cônica; (c) formação da pilha cônica; (d) obtenção da amostra final para o peneiramento.....	46

Figura 23 - Conjunto de peneiras.....	46
Figura 24 - Etapas do processo de ataque térmico e químico.....	47
Figura 25 - Ataque térmico na rocha.....	48
Figura 26 - Ataque químico na rocha.....	48
Figura 27 - Preparação dos experimentos.....	49
Figura 28 - Distribuição dos experimentos.....	50
Figura 29 - Curva granulométrica da amostra de solo.....	53
Figura 30 - Curva granulométrica da amostra obtida com a britagem.....	53
Figura 31 - Curva granulométrica da amostra fina obtida com a moagem.....	54
Figura 32 - Difratoograma do pó de rocha.....	55
Figura 33 - Difratoograma do solo.....	56
Figura 34 - Desenvolvimento das mudas.....	57
Figura 35 - Desenvolvimento das mudas tal qual e duplicata no pó de rocha in natura.....	57
Figura 36 - Diagrama de boxplot com dados do pó de rocha in natura.....	58
Figura 37 - Diagrama de boxplot com dados do pó de rocha térmico e térmico/químico.....	58
Figura 38 - Gráfico com alturas resultantes das concentrações de pó de rocha in natura.....	59
Figura 39 - Gráfico com alturas resultantes das concentrações de pó de rocha térmico.....	60
Figura 40 - Gráfico com alturas resultantes das concentrações de pó de rocha térmico e químico.....	61
Figura 41 - Gráfico comparando a dosagem de 200 g em diferentes tratamentos.....	62
Figura 42 - Gráfico comparando a dosagem de 100 g em diferentes tratamentos.....	63
Figura 43 - Gráfico comparando a dosagem de 50 g em diferentes tratamentos.....	64
Figura 44 - Diferença na altura das mudas com 2 meses de experimento (a) 200 g; (b) 100 g; (c) 50 g.....	65
Figura 45 - Dendrograma de cluster dos dias de medição do experimento.....	67
Figura 46 - Dendrograma de cluster de variáveis respostas.....	70
Figura 47 - Gráfico da componente principal pelo método de rotação Varimax com normalização de Kaiser com análise de Cluster.....	71
Figura 48 - Resultado do sulfato de amônia e NPK ao final do experimento.....	72
Figura 49 - Tratamento com calcário (15 dias).....	72

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Mecanismos de absorção de nutrientes.....	23
Quadro 2 - Horizontes de alteração do solo.....	24
Quadro 3 - Nutrientes Minerais e Não Minerais.....	27
Quadro 4 - Descrição dos estágios de desenvolvimento do feijoeiro.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações de natureza física dos remineralizadores.....	23
Tabela 2 - Composição química média de algumas rochas ígneas.....	33
Tabela 3 - Quantidades utilizadas nos experimentos.....	50
Tabela 4 - Massa específica do solo obtida pelo método do picnômetro.....	56
Tabela 5 - Teste ANOVA.....	67
Tabela 6 - Matriz de correlação entre as variáveis respostas.....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cm	Centímetros
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	Gramas
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetros cúbicos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
mL	Mililitro
mm	Milímetro
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
PIB	Produto Interno Bruto
SAE	Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>17</b>
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>17</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>17</i>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Agricultura e a demanda por fertilizantes.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Rochagem.....</b>	<b>20</b>
<i>2.2.1</i>	<i>Liberção de nutrientes das rochas.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Absorção de nutrientes das rochas.....</i>	<i>22</i>
<b>2.3</b>	<b>Solos.....</b>	<b>23</b>
<i>2.3.1</i>	<i>Mecanismos de degradação dos solos.....</i>	<i>26</i>
<b>2.4</b>	<b>Necessidade das plantas.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5</b>	<b>Agrominerais.....</b>	<b>30</b>
<i>2.5.1</i>	<i>Gabro.....</i>	<i>30</i>
<i>2.5.2</i>	<i>Diorito.....</i>	<i>31</i>
<b>2.6</b>	<b>Tratamento térmico e químico em rochas.....</b>	<b>33</b>
<b>2.7</b>	<b>Cultivar de feijão.....</b>	<b>33</b>
<b>2.8</b>	<b>Geologia.....</b>	<b>36</b>
<i>2.8.1</i>	<i>Geologia regional.....</i>	<i>36</i>
<i>2.8.2</i>	<i>Geologia local.....</i>	<i>36</i>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
<b>3.1</b>	<b>Coleta das rochas.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2</b>	<b>Coleta dos solos.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3</b>	<b>Caracterização das rochas e solo.....</b>	<b>42</b>
<i>3.3.1</i>	<i>Análise macroscópica da rocha.....</i>	<i>42</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Análise granulométrica dos solos.....</i>	<i>42</i>
<i>3.3.3</i>	<i>Massa específica por picnometria a água.....</i>	<i>43</i>
<i>3.3.4</i>	<i>Análise por difração de Raios-X.....</i>	<i>43</i>

3.4	<b>Pulverização das rochas.....</b>	43
3.5	<b>Análise Granulométrica do pó de rocha.....</b>	45
3.7	<b>Ataque térmico e químico no pó de rocha.....</b>	47
3.8	<b>Preparação dos experimentos.....</b>	49
3.9	<b>Análises dos experimentos.....</b>	51
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	52
4.1	<b>Caracterização dos materiais utilizados.....</b>	52
4.1.1	<i>Análise macroscópica da rocha.....</i>	52
4.1.2	<i>Análise granulométrica do solo e pó de rocha.....</i>	52
4.1.3	<i>Massa específica por picnometria a água.....</i>	54
4.1.4	<i>Análise por Difração de Raios-X.....</i>	55
4.2	<b>Desenvolvimento do cultivar.....</b>	56
4.2.1	<i>Análise dos dados de peso.....</i>	56
4.2.2	<i>Análise gráfica dos dados de altura.....</i>	57
4.2.3	<i>Análises Estatísticas dos dados de altura com SPSS.....</i>	66
4.2.3.1	<i>Análise ANOVA.....</i>	66
4.2.3.2	<i>Análise de Agrupamentos.....</i>	67
4.2.3.3	<i>Análise da Componente principal.....</i>	70
4.2.4	<i>Tratamentos não eficazes nas dosagens utilizadas.....</i>	72
5	<b>CONCLUSÃO.....</b>	73
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	75
	<b>APÊNDICE A - DADOS DE PESO E ALTURA COLETADOS NOS EXPERIMENTOS.....</b>	81
	<b>APÊNDICE B - FOTOGRAFIAS DOS EXPERIMENTOS NOS DIAS INICIAIS.....</b>	88
	<b>ANEXO A - MATRIZ DE COVARIÂNCIA.....</b>	89
	<b>ANEXO B - PORCENTAGENS RESPONDIDAS POR CADA COMPONENTE.....</b>	89

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é considerada uma atividade essencial para a sociedade, pois garante o abastecimento de madeiras, fibras, óleos, carvão e a segurança alimentar da população e dos animais domésticos. Além de ser uma das bases da economia mundial, devido a quantidade de riqueza e empregos gerados durante todo o ano (MELO *et al.*, 2021)

No Brasil, a agricultura é um dos setores que mais influenciam no crescimento do PIB e no equilíbrio da balança comercial externa (EMBRAPA, 2020; MELO *et al.*, 2021). Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2023), no ano de 2019, o agronegócio foi responsável por 43,2% das exportações totais de vendas do país.

Apesar da vastidão da área cultivada no país e do clima favorável, a maioria dos solos do território brasileiro se apresentam como solos ácidos e pobres em nutrientes, como o potássio. Para a adequação desses solos é necessário a aplicação de certa quantidade de fertilizantes. Porém, o país não possui grandes reservas, assim tendo que importar 70% das suas necessidades de fertilizantes de países como: Marrocos, Canadá, Rússia e EUA (THEODORO *et al.*, 2006).

Por isto, muitas vezes torna-se inviável economicamente o condicionamento nutricional do solo. Portanto, ocasiona-se redução na produtividade das lavouras e assim gerando uma busca por alternativas viáveis, diferentes dos fertilizantes convencionais (MARTINS *et al.*, 2008).

Nessa perspectiva de busca por caminhos alternativos destaca-se a rochagem como uma possível técnica viável, se for melhorada a taxa de disponibilidade dos nutrientes ao longo do tempo. Esta possui evidências da sua utilização desde a Grécia antiga e caracteriza-se como a aplicação de material mineral moído diretamente ao solo, agindo como corretivos e fertilizantes, buscando o aumento da fertilidade e condicionamento físico (LUZ *et al.*, 2010; SILVEIRA, 2016).

Do ponto de vista ambiental, pode-se afirmar, que com a utilização da rochagem não tem contaminação dos solos e dos recursos hídricos pelo excesso de nutrientes solúveis nos solos e não aproveitamento das plantas. É uma técnica que disponibiliza elementos na medida necessária aos solos pobres em nutrientes ou degradados pelo seu inadequado uso. A granulometria do material é um dos pontos principais que devem ser levados em consideração para facilitar a liberação dos macro e micronutrientes necessários às plantas (THEODORO *et al.*, 2010).

Para a rochagem ter a adequada liberação de nutrientes deve ser utilizada em um período mais longo, comparado aos fertilizantes tradicionais, visto que os agrominerais liberam os nutrientes de forma mais lenta. Para aplicação do material é necessário planejamentos anteriores para analisar adequadamente os efeitos que ocasionam (PÁDUA, 2012).

Nessa perspectiva, o presente trabalho visa contribuir com informações de remineralização de solos agrícolas cansados testando a rochagem, sem tratamento e com tratamento térmico/químico, como um alternativo de adubação associada ao uso de fertilizantes solúveis, bem como, potencializar a mineração na região de realização da pesquisa. A hipótese da pesquisa parte do pressuposto de que a aplicação de pós de rocha *in natura* e tratado térmica ou térmica e quimicamente ao solo é uma alternativa viável para a melhora da sua qualidade e o seu desenvolvimento.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Analisar a aplicação de pó de rocha em amostras de solo agrícola cultivado com mudas de feijão.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- Determinar/Caracterizar propriedades físicas e químicas do pó de rochas coletadas no município de Crateús;
- Comparar o desempenho dos tratamentos de pó de rocha em relação aos fertilizantes convencionais;
- Determinar qual tratamento de pó de rocha proporciona melhor crescimento para as plantas;
- Avaliar os efeitos dos tratamentos térmico e térmico/químico na liberação de nutrientes e no crescimento das plantas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Agricultura e a demanda por fertilizantes

A agricultura é uma atividade que tem como objetivo cultivar o solo para a produção de alimentos, para o consumo humano e de animais, e matérias-primas para diversas indústrias como têxtil e madeireira. Além de remeter a arte do cultivo, também representa o trabalho e as técnicas utilizadas para a produção agrícola (CASTANHO; TEIXEIRA, 2017).

Segundo Theodoro (2020) os primeiros sistemas de cultivo se deram há cerca de 12 mil anos. A prática do cultivo se deu com a permanência do homem em certos locais, o surgimento de plantas domesticáveis, a necessidade da obtenção de grande volume de alimentos para as pessoas das cidades e para evitar as inconstâncias de fornecimento de alimentos pela natureza.

Nessa perspectiva, com o passar do tempo e o desenvolvimento em cada período histórico surgiram técnicas mais avançadas de cultivo. Boaretto (2009) destaca que já na idade antiga se utilizavam estratégias para melhorar a produtividade, como a utilização de sistemas de irrigação, escolha das melhores sementes para os plantios, uso de esterco animal para adubação e uma pausa de um ano para recuperação da fertilidade do solo.

De acordo com Nunes (2007) a agricultura, entre as décadas de 1960 e 1970, passou por um processo de modernização, denominado Revolução Verde, que consistiu na utilização de máquinas, insumos e técnicas para melhorar a produtividade do trabalho e dos cultivares. Com isso, a revolução verde gerou um aumento da oferta *per capita* mundial de alimentos.

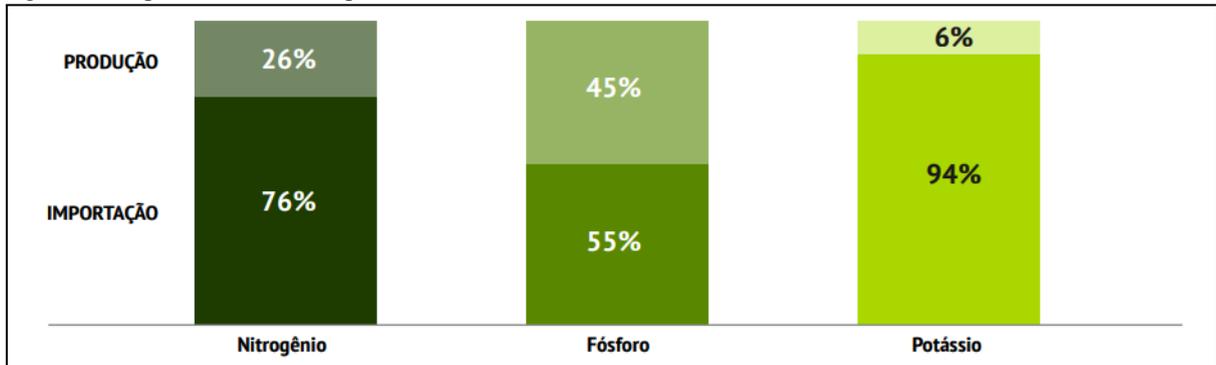
Castanho e Teixeira (2017) destacam que essa época proporcionou a melhora da genética de sementes, o uso de pesticidas, de fertilizantes solúveis, de adubos e o manuseio dos equipamentos mais potentes. Porém, estas melhorias trouxeram impacto negativo ao meio ambiente, devido a utilização desregrada destas melhorias que contribuíram com a degradação do meio ambiente (BALESTRO; SAUER, 2009 *apud* DUTRA; SOUZA, 2017).

Em âmbito nacional a busca por fertilizantes está cada vez maior, segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2021) entre 1998 e 2020 houve um crescimento de 445% das importações. Analisando este panorama é possível observar que é preocupante a dependência do Brasil por fertilizantes e a tendência dessa problemática é de se agravar, já que o país é um grande produtor de alimentos e, a cada ano, vem aumentando.

Os principais tipos de fertilizantes utilizados são a base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK). Na Figura 1 pode-se observar a porcentagem de produção e a dependência

externa por fertilizantes no Brasil no ano de 2020, apresentando uma maior dependência externa nos fertilizantes fontes de potássio com 94% de dependência externa, seguido por nitrogênio com 76% e fósforo com 55% de demanda externa (SAE, 2020).

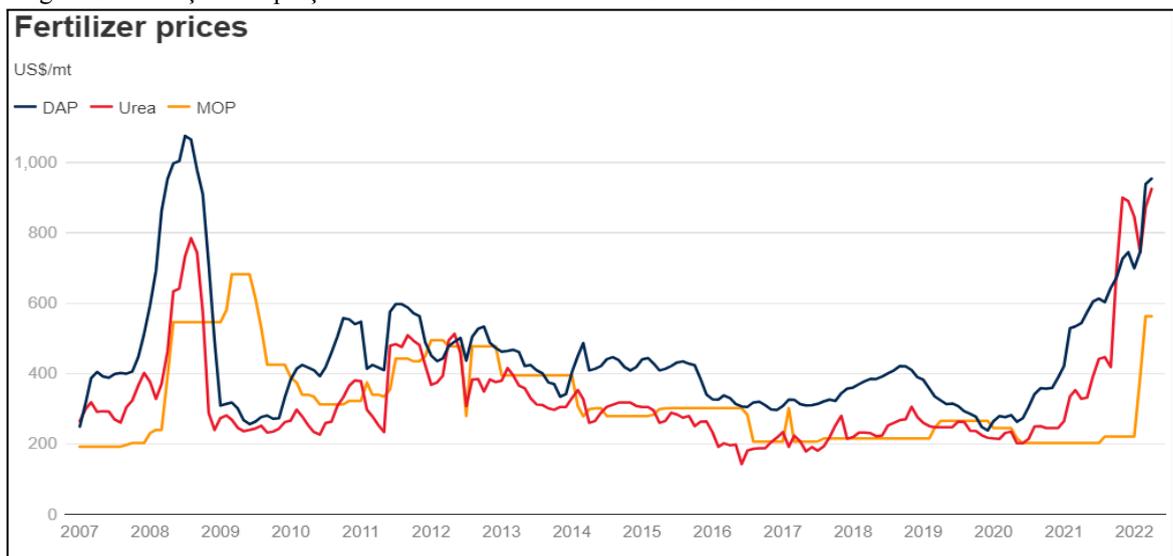
Figura 1 - Dependência externa por fertilizantes



Fonte: Adaptado de MAPA *apud* SAE, (2020).

Além da alta demanda externa, a aquisição por fertilizantes ao que se refere a custos se apresenta como um sério problema, visto que para muitos produtores, adquirir os mesmos pode ser inviável economicamente. Na Figura 2 mostra um gráfico apresentando a variação nos preços dos fertilizantes nos últimos anos. O aumento nos preços dos fertilizantes foi de quase 30% no início de 2022, após um aumento de 80% em 2021. Os preços da ureia ultrapassaram os picos de 2008 enquanto os preços do fosfato e potássio se aproximaram do pico deste referido ano (WORLD BANK, 2022).

Figura 2 - Variação nos preços de fertilizantes nos anos de 2007 a 2022



Fonte: World Bank, (2022).

Visto este cenário, verifica-se que o Brasil é extremamente dependente de fertilizantes químicos produzidos externamente, comparando aos seus valores de produção e como agravante tem a disparada nos preços dos fertilizantes, devido a demanda aquecida, guerras e custo dos combustíveis. Logo, entende-se que a busca por alternativas que reduzam esta dependência externa por insumos é de fundamental importância para a garantia da sustentabilidade da agricultura do país, a redução de dependência externa por esses insumos e equilíbrio da balança comercial.

## **2.2 Rochagem**

A rochagem é uma técnica que busca, de forma alternativa, a recomposição dos nutrientes perdidos durante as colheitas, para a redução dos insumos químicos. A mesma atua como um processo de rejuvenescimento ou recondicionamento dos solos por meio de adição de pó de rocha. Essa técnica tem capacidade de alterar positivamente a fertilidade do solo (THEODORO *et al.*, 2006).

A técnica de utilização de rocha pulverizada como fonte de nutrientes já vem sendo estudada há algum tempo. No Brasil, surgiu na década de 1950 por Josué Guimarães e Vladimir Ilchenko, logo depois, o professor da Universidade de Brasília, Othon Leonardos, realizou diversas pesquisas relacionadas ao tema, sendo considerado o grande pioneiro da rochagem no país.

Com o passar do tempo, as pesquisas foram se intensificando e realizando os testes para analisar os efeitos com diferentes tipos de rochas. Um fator que gerou outras pesquisas na área foi encontrar fontes minerais de determinados nutrientes que suprissem a necessidade específica do mercado brasileiro, como o potássio (MARTINS; THEODORO, 2010).

Os solos brasileiros apresentam carecimento de potássio. Além disso, apresentam baixa capacidade de troca catiônica (CTC), que pode ser entendida como a quantidade total de cátions retidos na superfície do material, em estado permutável. Assim, os solos brasileiros possuem uma baixa capacidade de armazenagem de potássio e, para agravar, o potássio é um elemento facilmente solubilizado e lixiviado (KINPARA, 2003; RONQUIM, 2010).

Segundo Souza *et al.* (2010) o potássio é um dos nutrientes mais importantes e demandados pelas cultivares agrícolas. E para suprir a demanda urgente do setor agrícola por fertilizantes potássicos, se busca novos produtos ou fontes de matérias-primas. Portanto, o uso de rochas moídas apresenta grande potencial para atender esta demanda.

Martins e Theodoro (2010) destacam que a geodiversidade no Brasil é um fator que pode viabilizar o uso de diferentes tipos de rocha em diferentes regiões e adquirir os padrões de fertilidade requeridos com as necessidades de cada região e ainda facilitar o desenvolvimento com padrões sustentáveis.

É importante destacar que as plantas precisam de diferentes elementos químicos para sobrevivência, os principais são nitrogênio, fósforo e potássio, que possuem uma extrema importância. Cálcio e magnésio são necessários em dosagens altas, enquanto que zinco, ferro, manganês, cobre, boro, molibdênio e cloro são necessários em quantidades menores. Todos esses elementos precisam estar contidos no solo, e a aplicação do pó de rocha pode gerar a disponibilização desses macro e micronutrientes (CHAVES, 2010).

Theodoro *et al.* (2010) explica que apesar das rochas possuírem uma grande capacidade de nutrientes para o desenvolvimento das plantas, a velocidade de solubilização dos mesmos ainda é um fator que precisa ser melhorado. Alguns testes já vêm sendo analisados, como o uso de bactérias inoculantes e fixadoras de nitrogênio, uso de material orgânico compostado com rocha e adubação verde incorporada ao solo junto com pós de rocha. Os testes têm sido muito positivos em relação à liberação de nutrientes de maneira mais rápida.

### ***2.2.1 Liberação de nutrientes das rochas***

As rochas necessitam de condições físicas ou químicas para liberar seus nutrientes. Uma das técnicas principais é a moagem, para que se possa obter diferentes granulometrias para os macro e micronutrientes serem liberados com maior facilidade, pois, com a diminuição da granulometria do material, tem-se um aumento na superfície de contato e da energia superficial, e estas auxiliam os processos químicos, físicos e biológicos, e, então, aumentam a solubilidade mineral (THEODORO *et al.*, 2010).

De acordo com o MAPA (2016), a granulométrica dos remineralizadores é classificada em filler, pó ou farelado. Na Tabela 1 apresenta as especificações de cada denominação.

Tabela 1 - Especificações de natureza física dos remineralizadores

Especificações de natureza física	Garantia granulométrica	
	Peneira	Partículas passantes (peso/peso)
Filler	0,3 mm (ABNT n.º50)	100%
	0,2 mm (ABNT n.º10)	100%
Pó	0,84 mm (ABNT n.º20)	70% mínimo
	0,3 mm (ABNT n.º50)	50% mínimo
	4,8 mm (ABNT n.º4)	100%
Farelado	2,8 mm (ABNT n.º7)	80% mínimo
	0,84 mm (ABNT n.º20)	25% mínimo

Fonte: MAPA, (2016).

Rochas ígneas e metamórficas se formam em condições com menor teor de água e com pressão e temperatura mais altas do que ocorrem em ambientes de sedimento, logo, na superfície estas são instáveis. Conforme os minerais dessas rochas entram em contato com a atmosfera, água e a variação de temperatura, ocorre o intemperismo e os minerais iniciam a liberação dos nutrientes para as plantas. Esses nutrientes podem ter diversas reações e o processo geral dessas reações envolve a liberação dos nutrientes na solução do solo como íons simples, complexos ou colóides (HARLEY; GILKES, 2000).

Os minerais que contêm maior teor de sílica apresentam maior resistência ao intemperismo, já os minerais compostos por cátions de potássio, magnésio e cálcio apresentam menor resistência (LIMA, 2020).

Além dos processos físicos (variação de temperatura) e químicos (ataque ácido ou básico), de redução de granulometria para liberação de nutrientes, de acordo com Garcia (1991) uma outra alternativa para liberação de nutrientes das rochas é a solubilização biológica. Vários microrganismos conseguem solubilizar os nutrientes através da decomposição do mineral. Essa liberação se deve, principalmente, à ação de ácidos orgânicos e inorgânicos gerados no processo biológico (HARLEY; GILKES, 2000).

### **2.2.2 Absorção de nutrientes das rochas**

De acordo com Faquin (2005) para que os nutrientes sejam absorvidos deve haver uma interação entre íon-raiz que ocorre através dos seguintes processos: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. No Quadro 1 estão descritos as definições de cada processo.

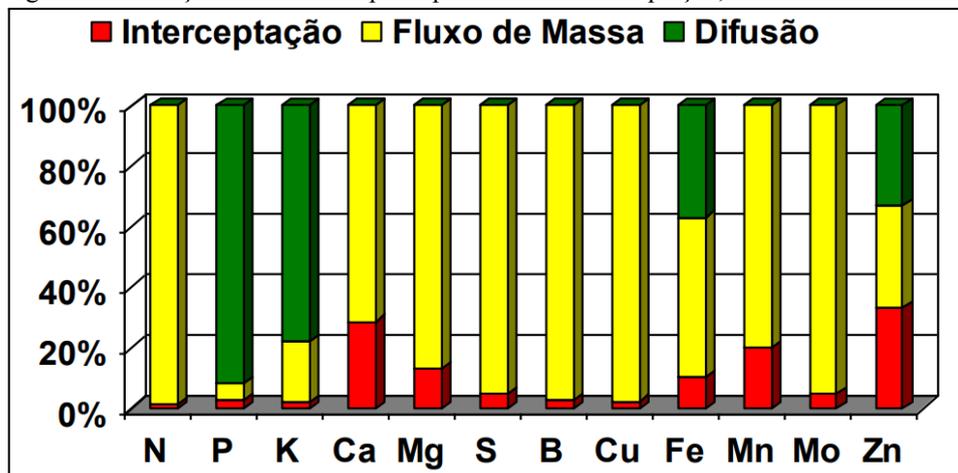
Quadro 1 - Mecanismos de absorção de nutrientes

<b>Processos de contato íon-raiz</b>	
Interceptação radicular	Conforme desenvolve a raiz ocorre a interação entre os íons da fase sólida e líquida do solo.
Fluxo de massa	O processo ocorre pelo deslocamento do íon na fase aquosa, no movimento da água para a superfície da raiz.
Difusão	Ocorre quando existe um gradiente de concentração, de um ponto maior para um de menor concentração, ou seja, os nutrientes buscam permanecer com concentrações de nutrientes semelhantes, então ocorre deslocamento de íon.

Fonte: Adaptado de Pauletti, (2012).

Malavolta (1980 *apud* Pauletti 2012), destaca as quantidades relativas de nutrientes absorvidos por cada processo, como se pode observar na Figura 3. Segundo este autor, o processo de fluxo de massa é o responsável pela maior quantidade de diferentes nutrientes absorvidos. O processo de difusão é responsável pela absorção do fósforo, potássio, ferro e zinco. O processo de interceptação é o responsável pela absorção de pequenas quantidades de todos os macro e micronutrientes presentes no gráfico.

Figura 3 - Absorção de nutrientes pelos processos de interceptação, fluxo de massa e difusão



Fonte: Malavolta, (1980) *apud* Pauletti, (2012)

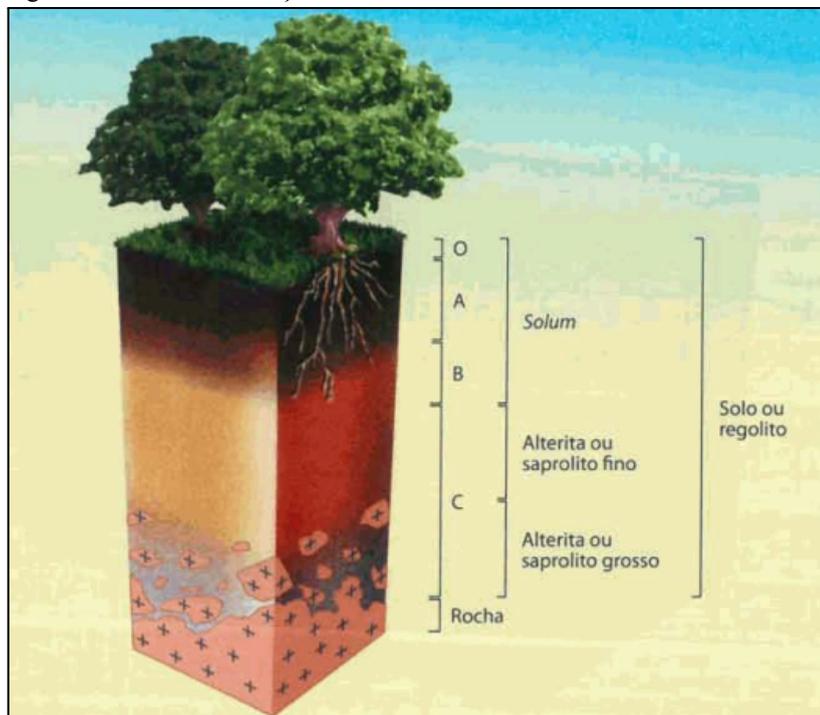
### 2.3 Solos

Santos *et al.* (2018) define solo como um conjunto de corpos naturais, no qual predominam partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais e dinâmicas, compostas por materiais orgânicos, mineralóides e minerais. Estes ocupam a maior parte da superfície do planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados.

O solo apresenta variação em três dimensões. A face ou conjunto de seções é denominado de perfil do solo e podem ser observados em cortes de estrada. As camadas que podem ser observadas diferenciando cada perfil, pelos processos formadores de solos, são chamadas de horizonte, caso contrário são apenas camadas (REZENDE *et al.*, 2007).

O perfil de um solo quando bem desenvolvido apresenta quatro horizontes principais, chamados de O, A, B e C. Os horizontes O, A e B são formados pela ação da pedogênese e o horizonte C se caracteriza como saprólito, como ilustrado na Figura 4. O Quadro 2 está definindo cada horizonte típico de um solo de acordo com Teixeira *et al.* (2009).

Figura 4 - Perfil de alteração de um solo



Fonte: Teixeira *et al.*, (2009).

Quadro 2 - Horizontes de alteração do solo

HORIZONTES	DESCRIÇÃO
O	Formado pela matéria orgânica em decomposição.
A	Formado por matéria orgânica e substâncias minerais com alta atividade biológica.
B	Formado por acumulação de argilas procedentes de horizontes superiores e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.
C	Formado por rocha alterada.

Fonte: Adaptado de Teixeira *et al.*, (2009).

No Brasil a classificação dos solos para levantamentos pedológicos se dá por meio do SiBCS, elaborado pela EMBRAPA.

O solo é um recurso natural essencial para as plantas, pois atuam como meio de suporte para o seu crescimento, bem como fornece um meio de crescimento para as raízes e nutrientes essenciais para o desenvolvimento destas (BRADY; WEIL, 2009).

Segundo Valquimi Lima e Marcelo de Lima (2007), os solos são resultantes de ações em conjunto do clima e organismos que atuam em um material de origem pétreo que ocupa determinada paisagem ou relevo durante um determinado período de tempo. Esse conjunto de ações são os chamados fatores de formação dos solos. O solo durante o seu desenvolvimento sofre processos de formação como perdas, transformações, transporte e adições, nas quais são responsáveis pela transformação da rocha em solo.

A classificação de um solo é estabelecida a partir de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Os principais parâmetros físicos são: granulometria, densidade do solo, compactação, porosidade, resistência à penetração de raízes, velocidade de infiltração de água e estabilidade de agregados. Entre os principais parâmetros químicos destacam-se: acidez, teor de carbono orgânico, saturação por base, capacidade de troca catiônica, teores de fósforo e potássio disponíveis. Já os parâmetros biológicos são: carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo, presença de micorrizas e atividade enzimática (XAVIER, 2021).

Segundo Xavier (2021) os solos apresentam uma série de funções no meio ambiente como o fornecimento de nutrientes para as plantas e organismos, regulação da dinâmica da água no ambiente, atuação como tampão em ações de contaminantes, regular a emissão de gases no efeito estufa, fundação para as plantas, dentre outros. Destaca-se ainda que monitorar essas funções é muito importante para garantir a produtividade de um sistema agrícola e cada função a ser monitorada depende das condições da região e da atividade agrícola praticada.

O manejo inadequado do solo aumenta o potencial de degradação deste. Ações como gradeamento a favor da declividade, pressão elevada dos pneus dos equipamentos agrícolas, assoreamento, utilização de fertilizantes solúveis e queimadas de limpeza causam erosão, compactação, perda de drenagem de água, acidificação, redução da matéria orgânica, diminuição de nutrientes, lixiviação, redução da biota e aumento de patógenos (XAVIER, 2021)

### **2.3.1 Mecanismos de degradação dos solos**

O solo se apresenta como um grande reservatório de nutrientes para as plantas, entretanto algumas causas podem ocasionar a perda de nutrientes. Em áreas agrícolas, as quais são produzidas frutas e grãos, pode haver uma exaustão de nutrientes, visto que as plantas absorvem os nutrientes mais rapidamente do que estes são naturalmente repostos. Como a colheita é exportada para fora da área de cultivo, isso causa perda na disponibilidade de nutrientes nos próximos plantios, logo, para se ter um solo produtivo, há a necessidade de reposição de nutrientes (CERETTA; AITA, 2010).

As perdas dos nutrientes no solo podem se dar devido a volatilização e lixiviação, a qual nesses dois processos, o nitrogênio é o nutriente mais afetado. Este elemento presente na matéria orgânica do solo tem como resultado formas nitrogenadas como o amônio, que está em equilíbrio com a amônia e o nitrato. A amônia tem sua forma volátil, logo, pode ser perdida para a atmosfera, se a adubação não for realizada da maneira correta. O nitrato pode ser perdido por lixiviação no perfil do solo, devido sua baixa capacidade de adsorção nos grupos funcionais do solo, além da perda deste nutriente, este pode causar a contaminação de rios e aquíferos (CERETTA; AITA, 2010).

A erosão é outra perda que pode ocorrer na qual a água e os ventos são responsáveis pela remoção dos solos, logo, os nutrientes juntamente com as partículas minerais e orgânicas são arrastados da área de cultivo. Segundo a Embrapa (2024), estima-se que uma camada de 1 cm de solo pleno para agricultura leve 400 anos para ser formado. Com isso, tem-se uma diminuição da fertilidade do solo, além de poder causar problemas ambientais de longa duração. Araújo *et al.* (2007) destaca que a camada de solo removida reduz a fertilidade, pois com o solo mais fino as raízes ficam menos penetráveis e mais superficiais, reduz a capacidade do solo de reter água para as plantas e os nutrientes são lavados conforme as partículas de solo são erodidas. Esse processo pode ser acelerado com a utilização de práticas agrícolas, como: aração, desmatamento e uso não controlado da água.

A acidificação é um outro impacto negativo gerada quando o pH do solo diminui, logo, ocorre decaimento de produtividade e pode impossibilitar o cultivo da maioria dos vegetais. Araújo *et al.* (2007) menciona que a acidificação pode ocorrer por conta da aplicação excessiva de fertilizantes ácidos, como também pela drenagem em determinados tipos de solo. Lopes (1998) destaca que, em solos ácidos, o ferro, manganês e alumínio podem atingir níveis tóxicos, pois a sua solubilidade aumenta devido a acidez. Além disso, os

organismos, nesse caso, se apresentam em menores quantidades, dificultando a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nitrogênio, fósforo e potássio.

O processo de irrigação com água apresentando elevados teores de sais e a ausência de drenagem pode levar à salinização, que se caracteriza como um processo que ocorre pelo acúmulo de sais solúveis ou sódio trocável no complexo de troca do solo. Este processo ocorre mais frequentemente em regiões áridas e semiáridas, onde a evaporação é maior que a precipitação. O uso de água com altos teores de salinidade pode acarretar em danos aos solos (SAMPAIO *et al.*, 2005).

## 2.4 Necessidade das plantas

As plantas necessitam de alguns elementos para o seu crescimento. Seguindo a definição inicial, tratada por Arnon e Stout (1939), um elemento é considerado essencial quando atende três critérios, estes são: o elemento deve estar envolvido no metabolismo da planta; a planta não deve completar seu ciclo de vida na ausência do elemento; cada um tem suas funções específicas, ou seja, nenhum outro elemento pode substituí-lo.

De acordo com Lopes (1998) estes elementos necessários são divididos em dois grupos: os não minerais e os minerais. Os não minerais são elementos encontrados na atmosfera e na água, os nutrientes minerais são os fornecidos pelo solo e são divididos em nutrientes primários, secundários e micronutrientes. No Quadro 3, pode-se observar os elementos de cada grupo, os nutrientes primários geralmente se exaurem antes dos demais, pois as plantas utilizam esses nutrientes em grandes quantidades, já os demais são utilizados em menores quantidades, mas não são menos importantes que os primários, pois as plantas precisam para a sua adequada fertilidade.

Quadro 3 - Nutrientes Minerais e Não Minerais

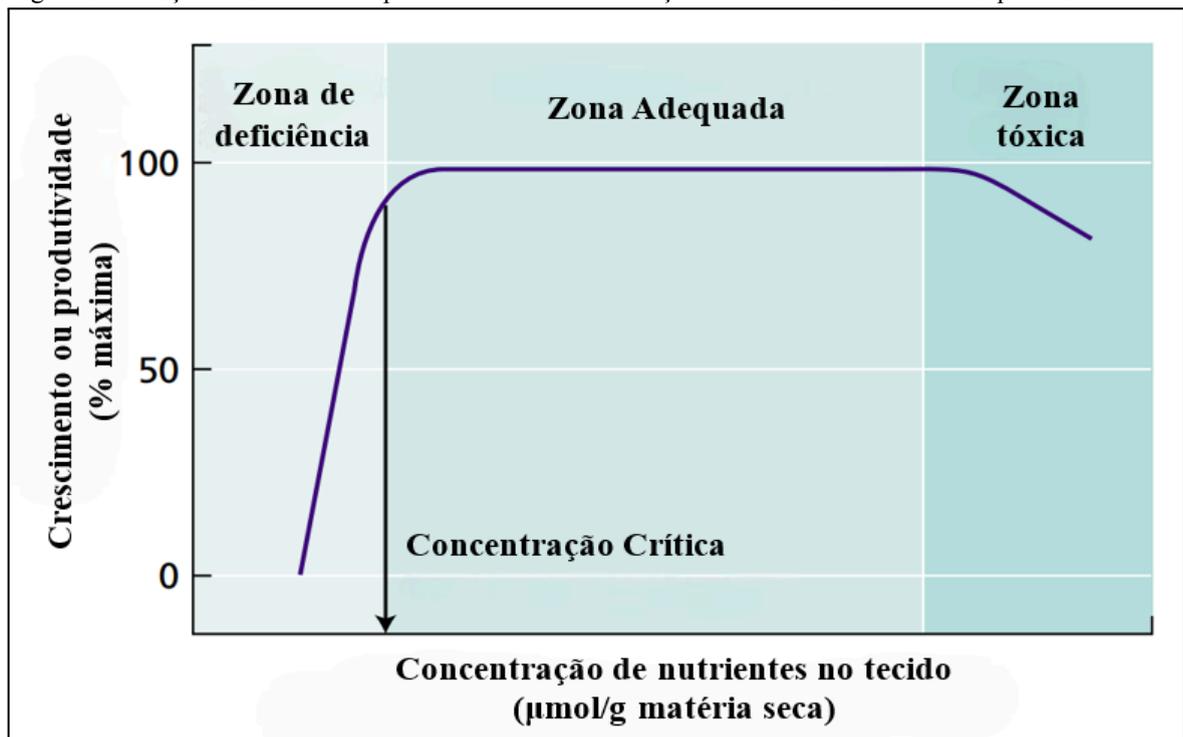
Nutrientes não minerais	Nutrientes Minerais			
	Nutrientes Primários	Nutrientes Secundários	Micronutrientes	
Carbono (C)	Nitrogênio (N)	Cálcio (Ca)	Boro (B)	Ferro (Fe)
Oxigênio (O)	Fósforo (P)	Magnésio (Mg)	Cloro (Cl)	Manganês (Mn)
Hidrogênio (H)	Potássio (K)	Enxofre (S)	Cobre (Cu)	Molibdênio (Mo)

Fonte: Adaptado de Lopes, (1998).

A absorção de água e de íons minerais para as plantas ocorre por meio de um sistema radicular que é o responsável pela conexão entre a planta e o solo. A raiz desenvolvida no solo deve apresentar mecanismos que controlam a quantidade suficiente de nutrientes que a planta necessita para seu crescimento (LACERDA *et al.*, 2007).

O crescimento e a concentração dos nutrientes no tecido das plantas estão relacionados. De acordo com a Figura 5, existem três zonas. A primeira é a zona de deficiência, que apresenta uma concentração abaixo da concentração crítica de nutrientes, ou seja, as plantas não conseguem se desenvolver. A zona adequada representa uma alta no teor de nutrientes e o crescimento e produtividade nessa faixa é o máximo, pois se apresenta em uma faixa adequada de nutrientes. E a zona de toxicidade é uma concentração bem acima da concentração crítica, que representa um excesso de nutrientes causando decréscimo para as plantas (TAIZ; ZEIGER, 2002).

Figura 5 - Relação crescimento ou produtividade e concentração de nutrientes no tecido das plantas



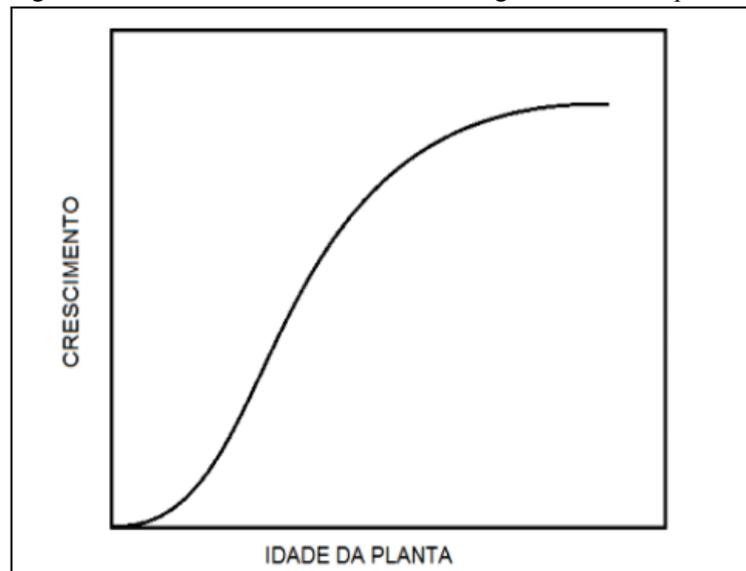
Fonte: Adaptado de Taiz; Zeiger, (2002).

O excesso ou deficiência de um nutriente pode resultar em um desarranjo nutricional tóxico que pode ser observado por meio de sintomas nas plantas. Esses sintomas são provocados por desordem metabólica decorrente do suprimento irregular de determinado elemento que se relaciona com a função deste no funcionamento normal da planta (LACERDA *et al.*, 2007).

A análise de crescimento de plantas vêm sendo analisadas por diversos pesquisadores a fim de explicar as diferenças no crescimento, de ordem genética ou resultante de modificações no ambiente.

As fases de crescimento de uma planta podem ser observadas na Figura 6, em que representa suas modificações de tamanho, seja na massa ou no volume, em relação ao tempo. Nessa curva de crescimento pode-se observar que na fase inicial apresenta um crescimento bem lento, posteriormente passa a uma fase exponencial, em seguida, um crescimento linear e um novo período de crescimento lento, até finalizar o processo de crescimento (MAGALHÃES, 1985 *apud* PEIXOTO, 2020).

Figura 6 - Curva ilustrativa do crescimento sigmoidal de uma planta



Fonte: Magalhães, (1985) *apud* Peixoto, (2020).

Peixoto (2020) explica que essas diferentes fases de crescimento podem ser compreendidas da seguinte forma:

- No início a planta depende das reservas das sementes para a produção dos diferentes órgãos, os espaços ainda não foram preenchidos. A taxa de crescimento relativa é constante e a cultura é principalmente vegetativa, caracterizando a fase exponencial;
- Na sequência, após o desenvolvimento do sistema radicular e a expansão das folhas, a planta retira água e nutrientes do substrato em que se desenvolve e inicia os processos anabólicos dependentes da fotossíntese. As folhas são gradualmente auto sombreadas, aumentando o índice de área foliar, passando a uma fase de crescimento linear, com o maior incremento na taxa de matéria seca;

- Ao atingir o tamanho definitivo, a planta entra para a fase de envelhecimento, diminuindo o índice de área foliar, com menor interceptação da energia luminosa, resultando em redução no acúmulo de matéria seca com a translocação desta para os órgãos de reservas, e conseqüente degeneração do sistema fotossintético.

## 2.5 Agrominerais

Agrominerais são as matérias-primas vindas de origem mineral e são insumos indispensáveis para que a agricultura e a pecuária sejam viabilizadas, podendo fornecer elementos para indústria de fertilizantes ou aplicação direta na agricultura. A utilização de agrominerais ampliam fortemente o fornecimento de nutrientes, principalmente micronutrientes, e possuem influência positiva na qualidade nutricional dos alimentos (FERNANDES *et al.*, 2010; THEODORO; ALMEIDA, 2013).

Nos subtópicos seguintes são descritas as características das rochas da formação geológica utilizada na presente pesquisa, a mineralogia e os possíveis nutrientes que podem ser liberados.

### 2.5.1 Gabro

O gabro é uma rocha ígnea intrusiva, ou seja, resulta do magma solidificado no interior da crosta, portanto, permite a formação de cristais mais grossos. Possui estrutura maciça, textura fanerítica, se caracteriza como uma rocha máfica e densidade média 2,85 a 3,05 g/cm<sup>3</sup>. Sua composição mineral é equivalente a do basalto (KLEIN *et al.*, 2009; SCHUMANN, 2008).

Em rochas máficas, como o gabro, os minerais presentes são pobres em sílica, mas ricos em magnésio e ferro. O gabro é constituído por feldspatos plagioclásios ricos em cálcio, olivinas, augita, hornblenda (GROTZINGER *et al.*, 2013; SCHUMANN, 2008).

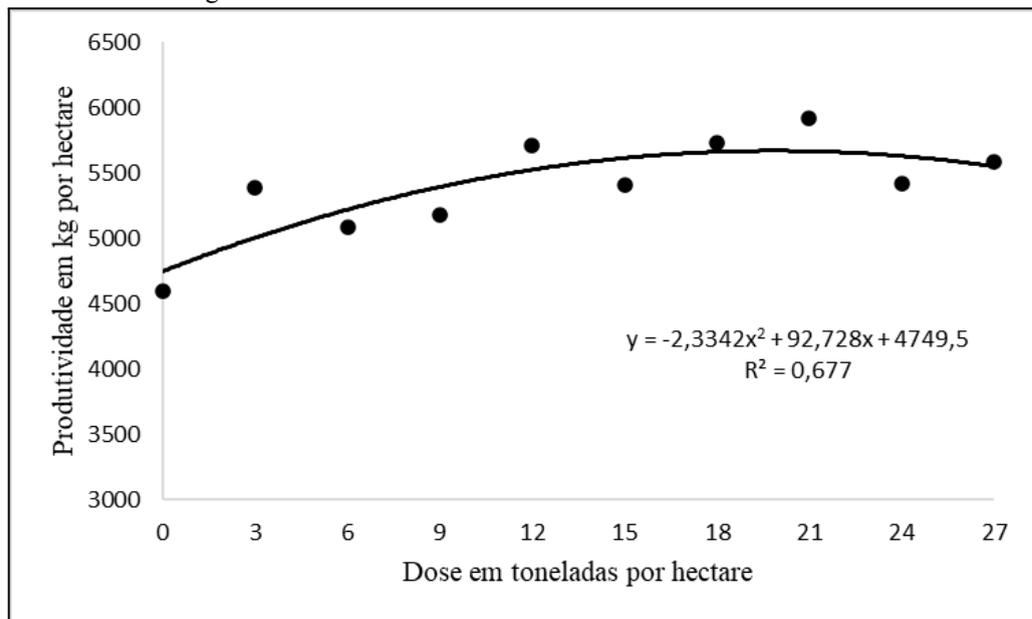
De acordo com Bezerra (2010), a rocha gabro pode ser utilizada como fonte de macronutrientes de magnésio e cálcio.

Silva *et al.*, (2019) realizou estudos para avaliar características agronômicas da cultivar de soja em doses crescentes de condicionador de pó de rocha “basalto gabro”. Foram utilizadas as seguintes dosagens: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 27 t\*ha<sup>-1</sup>. Uma das características agronômicas avaliadas foi a produtividade em quilogramas por hectare, foram

observadas diferenças significativas entre os tratamentos, no qual o uso de pó de rocha se destacou obtendo as maiores médias de produtividade.

A Figura 7 exibe a curva polinomial da produtividade, em kg/ha, da cultivar de soja em função das doses crescentes de pó de rocha “basalto gabro”. Logo, se concluiu que o uso de pó de rocha “basalto gabro” pode ser substituído pelo uso de fertilizantes utilizados atualmente, pois aumenta a produtividade da cultura da soja.

Figura 7 - Produtividade em kg/ha da cultivar de soja em função das doses crescentes de pó de rocha “basalto gabro”



Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, (2019).

### 2.5.2 Diorito

O diorito (Figura 8) é uma rocha ígnea plutônica, ou seja, resulta do magma solidificado no interior da crosta, portanto permite a formação de cristais mais grossos. Possui estrutura maciça, textura fanerítica, se caracteriza como uma rocha de quantidade moderada de minerais máficos e densidade média 2,85 a 3,05 g/cm<sup>3</sup>. Sua composição intermediária se apresenta entre o granodiorito e o gabro. É a rocha intrusiva equivalente do andesito (KLEIN *et al.*, 2009; SCHUMANN, 2008).

Figura 8 - Fragmentos de rocha Diorito



Fonte: Autor, (2023).

A rocha é caracterizada pelo plagioclásio, apresenta ausência de teores consideráveis de k-feldspato e quartzo. A hornblenda é o principal mineral escuro e os piroxênios se apresentam em componentes menores. Os minerais acessórios são a magnetita, ilmenita, apatita e, geralmente, titanita e zircão (KLEIN *et al.*, 2009).

Na Tabela 2 está representada, de acordo com Klein *et al.* (2009), a composição química média de algumas rochas ígneas. Pode-se observar que a rocha diorito se apresenta com a concentração de fósforo maior, perdendo apenas para o sienito. Esta informação possui relevância pois é uma rocha rica em fósforo comparada às demais.

Tabela 2 - Composição química média de algumas rochas ígneas

Óxido	Nefelinassienito	Sienito	Granito	Tonalito	Diorito	Gabro	Peridotito	Dunito
SiO <sub>2</sub>	54,83	59,41	72,08	66,15	51,86	48,36	43,54	40,16
TiO <sub>2</sub>	0,39	0,83	0,37	0,62	1,50	1,32	0,81	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,63	17,12	13,86	15,56	16,40	16,84	3,99	0,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,56	2,19	0,86	1,36	2,73	2,55	2,51	1,88
FeO	3,45	2,83	1,67	3,42	6,97	7,92	9,84	11,87
MnO	Traço	0,08	0,06	0,08	0,18	0,18	0,21	0,21
MgO	Traço	2,02	0,52	1,94	6,12	8,06	34,02	43,16
CaO	1,94	4,06	1,33	4,65	8,40	11,07	3,46	0,75
Na <sub>2</sub> O	10,63	3,92	3,08	3,90	3,36	2,26	0,56	0,31
K <sub>2</sub> O	4,16	6,53	5,46	1,42	1,33	0,56	0,25	0,14
H <sub>2</sub> O	0,18	0,63	0,53	0,69	0,80	0,64	0,76	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,38	0,18	0,21	0,35	0,24	0,05	0,04
Total	99,77	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Adaptado de KLEIN *et al.*, (2009).

## 2.6 Tratamento térmico e químico em rochas

De acordo com Straaten (2010), para que os nutrientes se tornem solúveis e sejam disponibilizados às plantas, os materiais pétreos muitas vezes precisam ser modificados, por processos alternativos de modificação física, química ou biológica, para serem utilizados. Dentre as técnicas de modificação se destaca o tratamento térmico, um método que possui eficiência para tratamento das rochas.

Há várias décadas, as rochas portadoras de potássio vêm sendo estudadas com o objetivo de avaliar seu potencial agrônômico no fornecimento do nutriente para as plantas. As rochas foram utilizadas *in natura* ou modificadas por processos químicos de acidificação e/ou processos térmicos, possuindo resultados positivos quando modificados, assim aumentando a disponibilização de potássio (MARTINS *et al.*, 2008).

Silva *et al.* (2012), destaca que o objetivo do tratamento térmico é a destruição da estrutura cristalina dos minerais de potássio a fim de formar compostos em que o nutriente seja liberado para a planta de maneira mais eficiente. Os fertilizantes termopotássicos se destacam por insolubilidade em água e solubilidade em ácido cítrico e em solução de citrato de amônio.

Rinaldi *et al.* (2013), realizou estudos de caracterização de rochas ornamentais com aplicação de ácidos orgânicos (cítrico e málico) para avaliar a liberação do potássio. O estudo indicou que os ácidos orgânicos aumentaram a liberação de potássio e o ácido cítrico foi mais eficiente na dissolução dos resíduos.

## 2.7 Cultivar de feijão

O feijão de corda (Figura 9) é uma leguminosa também conhecida como feijão caupi ou feijão macássar variando seus nomes dependendo de cada região. Se apresenta como uma das principais culturas de subsistência das regiões norte e nordeste do Brasil (BEZERRA *et al.*, 2010). Além disso, de acordo com Oliveira *et al.* (2019), o feijão de corda se apresenta como uma cultura bem adaptada à baixa disponibilidade hídrica e ao clima tropical. A cultura se adapta aos solos de várzea e terra firme, porém, seu desenvolvimento se dá melhor em solos mais leves, profundos, bem arejados e com fertilidade de média a alta.

Figura 9 - Feijão de corda



Fonte: Autor, (2023).

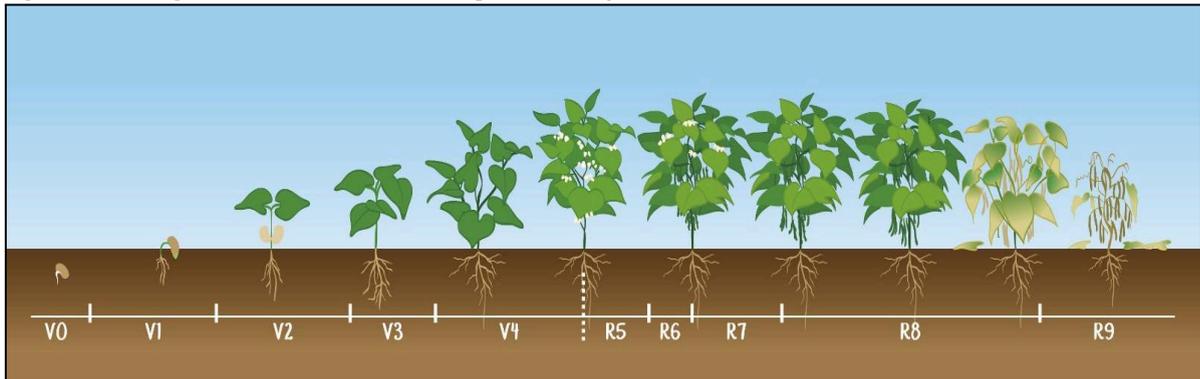
O feijão é uma planta exigente em nutrientes, por conta do sistema radicular superficial e do seu curto período de cultivo, sendo necessário o elemento estar disponível a planta em tempo e local adequado para um bom desenvolvimento (ROSOLEN; MARUBAYASHI, 1994). De acordo com Ribeiro (2002), o ciclo médio de cultivo do feijão de corda é de 71 a 90 dias, se apresentando como um período curto comparando-se a outras culturas.

O feijão de corda pode ser cultivado em quase todos os tipos de solo, os que mais se destacam são o latossolos amarelos, latossolos vermelho-amarelos, argilossolos vermelho amarelos e neossolos flúvicos. De maneira geral, se apresentam em solos com um médio teor de matéria orgânica, solos soltos, leves, profundos, arejados e apresentando fertilidade de média a alta (RIBEIRO, 2002).

Para um bom desenvolvimento e produção do feijão de corda são necessários alguns nutrientes. Cardoso *et al.* (2017) destacam que os elementos exigidos em maiores quantidades são os macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; como também são necessários elementos em quantidades menores, micronutrientes: boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco. Todos esses são necessários para a cultivar, possuindo determinada função específica e sendo insubstituíveis.

O desenvolvimento da planta de feijão apresenta uma escala que divide o ciclo biológico em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R). Essas fases são subdivididas em 10 estágios, a vegetativa em: V0, V1, V2, V3 e V4 e a reprodutiva em R5, R6, R7, R8 e R9, conforme apresentado na Figura 10, cada estágio destas fases são descritos no Quadro 4 (EMBRAPA, 2024).

Figura 10 - Estágios de desenvolvimento da planta de feijoeiro



Fonte: Embrapa, (2024).

Quadro 4 - Descrição dos estágios de desenvolvimento do feijoeiro

<b>Estágio</b>	<b>Descrição</b>
V0 (Germinação)	Ocorre quando a semente absorve água, incha e inicia a germinação. Esse estágio dura em torno de 5 dias.
V1 (Emergência)	Ocorre quando 50% dos cotilédones já são visíveis e começam a se separar. As primeiras folhas simples iniciam seu desenvolvimento. Dura em torno de 2 dias.
V2 (Folhas primárias)	Inicia quando ocorre a abertura e crescimento das folhas primárias, quando ficam na posição horizontal. Dura cerca de 4 dias.
V3 (1° folha composta aberta)	Surge a primeira folha composta por 3 folhas menores, completamente aberta e plana. Esse estágio varia cerca de 5 a 9 dias.
V4 (3° folha trifoliada aberta)	A 3° folha trifoliada aberta encontra-se completamente aberta e plana. Dura cerca de 15 dias, com o desenvolvimento dos primeiros ramos secundários.
R5 (Pré-floração)	Os primeiros botões florais tornam-se visíveis. Termina quando inicia o florescimento.
R6 (Floração)	Na maioria das cultivares a abertura das flores ocorre “de baixo para cima”. Variando de 4 a 6 dias dependendo do tipo.
R7 (Formação das vagens)	As flores já fecundadas murcham as pétalas e formam as primeiras vagens. Dura cerca de 9 dias.
R8 (Enchimento das vagens)	Esse estágio começa o enchimento dos grãos e o aumento do volume das vagens. Ao final desse estágio, as sementes perdem a cor verde e começam a mostrar as características da cultivar. As folhas começam a cair. Dura cerca de 20 dias.
R9 (Maturação)	As vagens perdem a cor e começam a secar. As sementes adquirem cor e brilho característico. Dura cerca de 15 dias.

Fonte: Adaptado de Embrapa, (2024).

## **2.8 Geologia**

Neste item serão abordados o contexto geológico do estado do Ceará, como também, parte geológica do município em estudo.

### ***2.8.1 Geologia regional***

Grande parte do território cearense se apresenta incluído na Província Borborema, e uma pequena porção se divide entre duas outras províncias: Província do Parnaíba, localizada no extremo oeste do estado, e Província Costeira/Margem continental, localizada nos extremos norte e nordeste (BRASIL, 2020).

O estado do Ceará apresenta conjuntos litológicos que datam do arqueano ao cenozóico, com predomínio absoluto de unidades litoestratigráficas riacianas, seguido pelo expressivo magmatismo que ocorreu no período Ediacarano (BRASIL, 2020).

### ***2.8.2 Geologia local***

O município de Crateús em sua grande parte é representado pela Folha Crateús (SB.24-V-C-III). É referente ao domínio geológico Ceará Central, porção norte da Província Borborema. O Domínio Ceará Central é caracterizado por um embasamento arqueano/paleoproterozóico, supracrustais meso/neoproterozóica e intensa granitogênese neoproterozóica associada ao evento Pan-Africano/Brasiliano, responsável pela colagem ocidental do supercontinente Gondwana (COSTA, 2017).

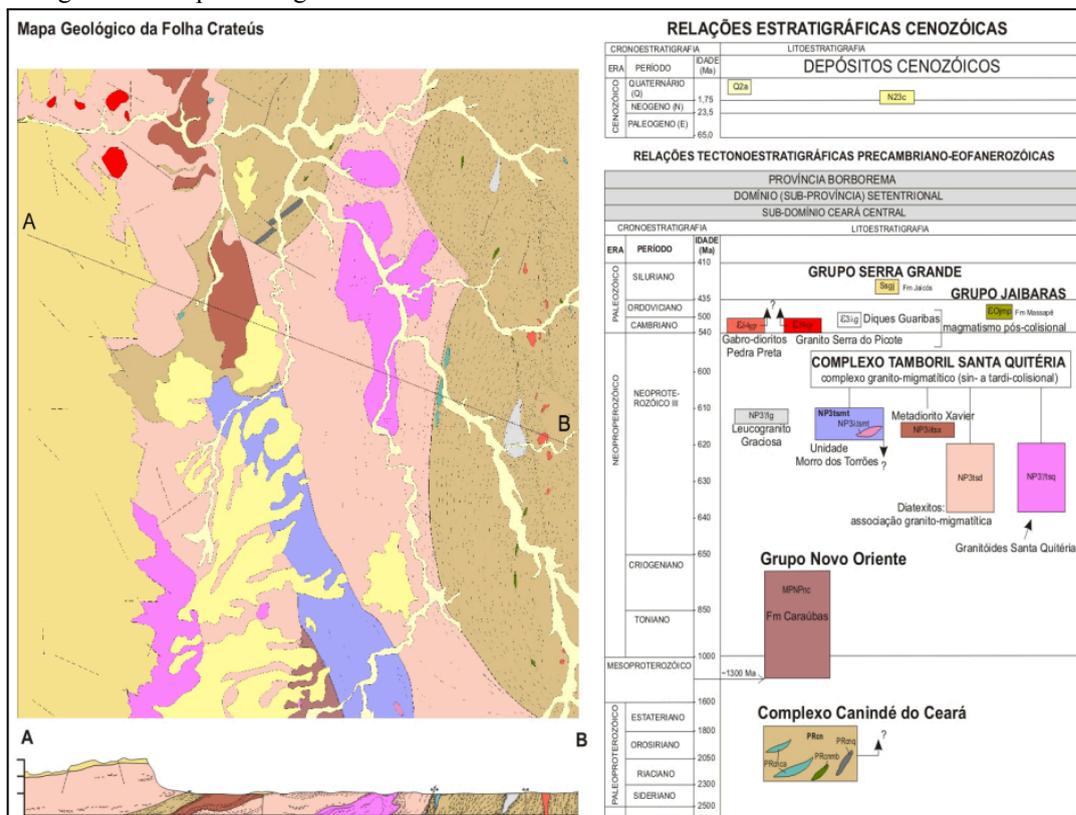
Na folha Crateús, a unidade mais antiga, provavelmente de idade paleoproterozóica, refere-se ao Complexo Canindé do Ceará, onde a área de estudo se inclui. Este complexo é constituído por dois principais domínios de rochas: um deles, predominantemente paraderivado, constituído de biotita-gnaisses e paramigmatitos, e o outro, com predomínio de ortognaisses granodioríticos/tonalíticos. O complexo abrange aproximadamente 30% da superfície total nas áreas leste e noroeste, sendo caracterizado por biotitas gnaisses migmatizadas, associadas a corpos lenticulares de quartzitos, rochas metabásicas e metacalcários (COSTA, 2017).

O Gabro Diorito Pedra Preta, material de estudo deste trabalho, foi a denominação dada para o magmatismo pós-colisional do Cambriano, de composição gabro-diorítico, que ocorreu na parte leste da folha, próximo ao povoado Pedra Preta. O modo de ocorrência é caracterizado por forma de pequenos corpos (stocks) e diques e se apresentam ligeiramente

alinhas na direção Norte-Sul. O magmatismo é de composição máfica intermediária e geralmente apresentam texturas cumuláticas formada principalmente por hornblenda em matriz de plagioclásio. Feições bandadas estão presentes nestas rochas, provavelmente caracterizando um acamamento magmático (COSTA, 2017).

Na Figura 11 está representado o mapa geológico da folha Crateús. Pode-se observar em alguns pontos a presença do corpo Gabro Diorito Pedra Preta a esquerda do mapa, indicado na cor menos avermelhada.

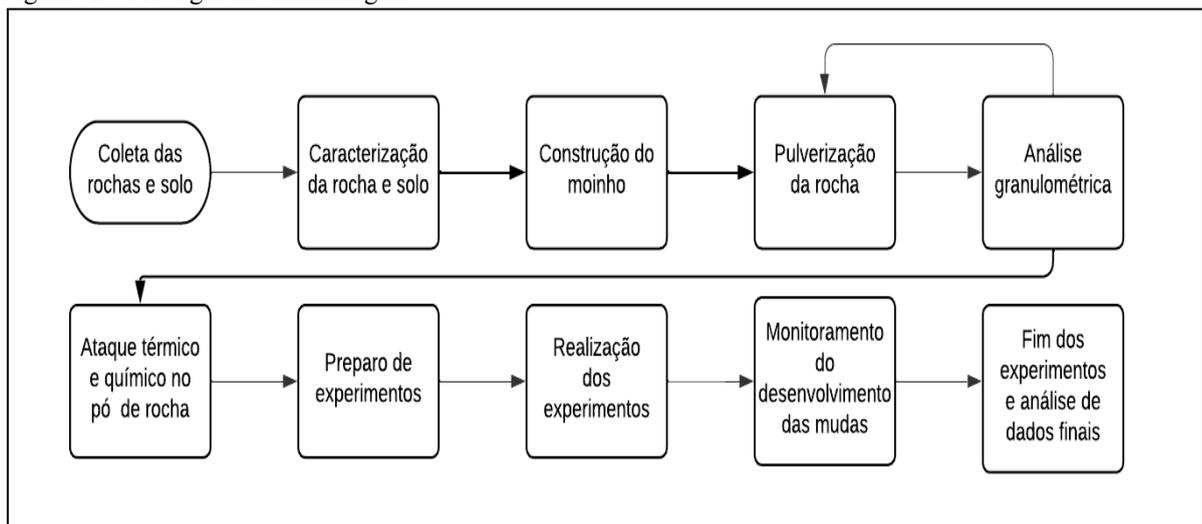
Figura 11 - Mapa Geológico da folha de Crateús



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na região de Crateús. De acordo com o Censo de 2010 do IBGE, o município apresentava aproximadamente 72.812 habitantes, no qual cerca de 72,32% faziam parte da zona urbana e 27,68% da zona rural. A prática de agropecuária na região movimenta cerca de 10,4% no PIB do município (IBGE, 2021). Com isso, buscando-se alternativas para recondicionar o solo da região, de modo a auxiliar agricultores no processo de plantio, a presente pesquisa foi desenvolvida em cinco etapas principais: revisão bibliográfica, coleta e análise das rochas e solo, pulverização das rochas, ataque térmico e químico da rocha e experimentos e análise de resultados. Na Figura 12 se apresenta um fluxograma metodológico com mais detalhes das etapas a serem seguidas na pesquisa.

Figura 12 - Fluxograma metodológico

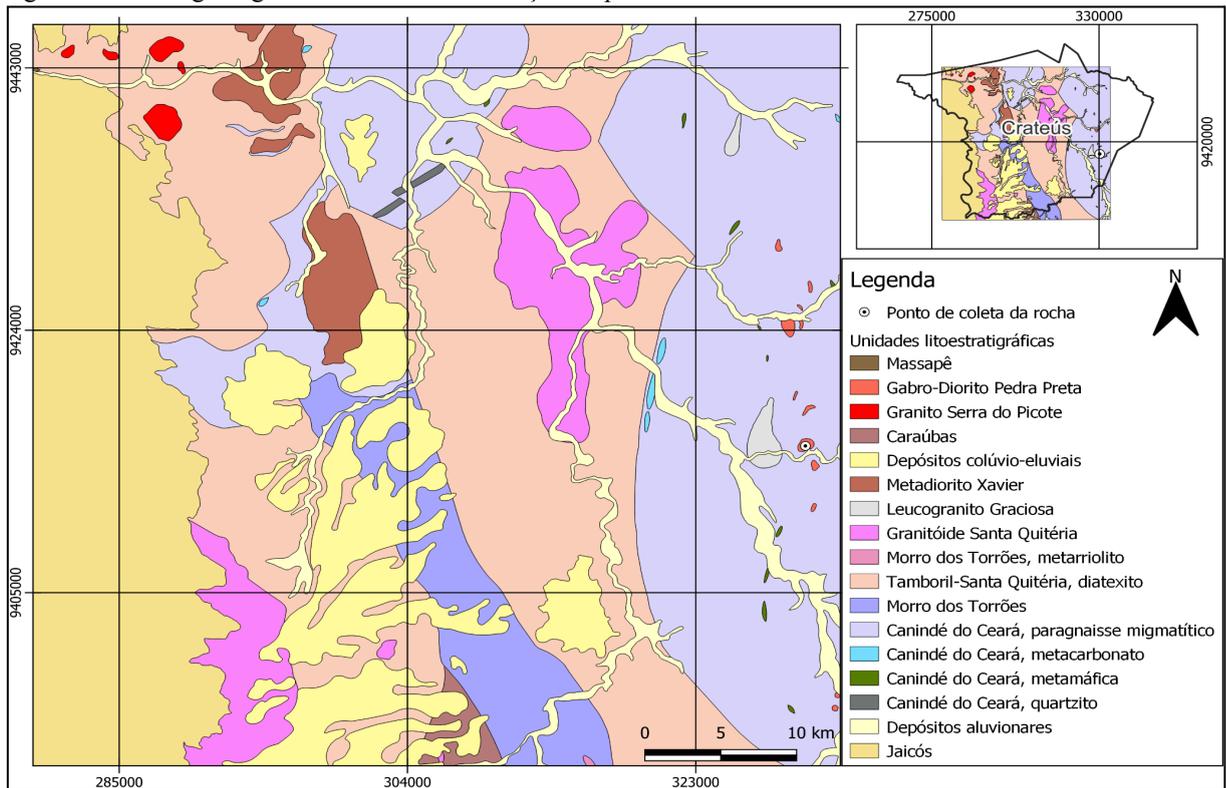


Fonte: Autor, (2023).

#### 3.1 Coleta das rochas

As rochas escolhidas para a realização do estudo foram coletadas em propriedade rural, no município de Crateús, Ceará, na localidade de Pedra Preta. Na carta geológica do município, folha SB.24-V-C, o local se destaca como gabro-diorito pedra preta, como mostra no mapa da Figura 13.

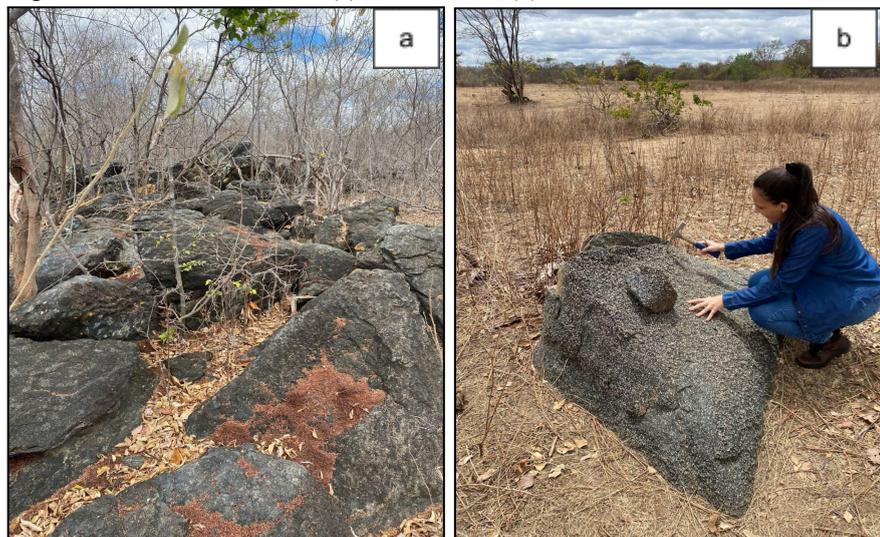
Figura 13 - Carta geológica Crateús com localização do ponto de coleta da rocha



Fonte: Autor, (2024).

Foram coletados aproximadamente 10 quilogramas de rocha e utilizou-se as ferramentas, martelo geológico, marreta, talhadeira e ponteira, para a obtenção das rochas. Após coletadas, as rochas foram colocadas em caixas plásticas para transporte até a universidade, onde se realizaram as análises. A Figura 14 ilustra a coleta das rochas.

Figura 14 - Coleta das rochas (a) afloramento; (b) momento da coleta

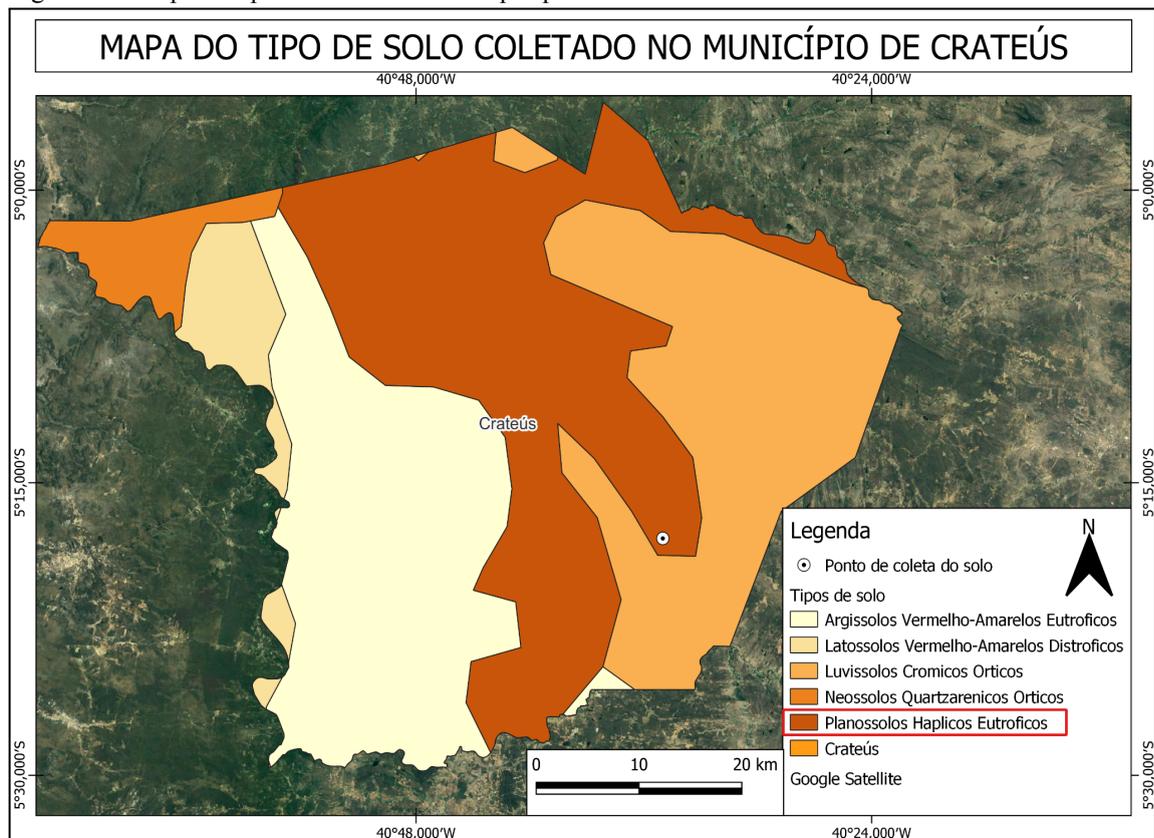


Fonte: Autor, (2023).

### 3.2 Coleta dos solos

As amostras de solo foram coletadas na localidade de Lagoa, zona rural do município de Crateús. Se caracteriza como solo cultivado há cerca de 10 anos e que nunca passou por processos de reposição de nutrientes. A Figura 15 ilustra o tipo de solo que foi coletado. O solo é caracterizado como um planossolo háplico eutrófico, de acordo com a classificação da EMBRAPA (1999).

Figura 15 - Mapa do tipo de solo utilizado na pesquisa



Fonte: Autor, (2023).

Os solos foram coletados em pontos, percorrendo a área ao acaso, de modo a obter uma representação. A Figura 16 apresenta um mapa com a localização dos pontos. Foram coletadas 10 amostras de solo em pontos diferentes utilizando ferramentas manuais como alavanca, enxada, pá e cavadeira (boca de lobo).

Figura 16 - Mapa de localização dos pontos de coleta do solo



Fonte: Autor, (2023).

A Figura 17 exibe a coleta dos solos. As amostras foram coletadas em camada superficial, em profundidades de 10 a 20 centímetros, como ilustrado em (a), conforme proposto por Silva (2009). Logo após a coleta, as amostras foram colocadas em sacos plásticos, identificadas com a numeração de cada ponto de coleta e levadas até a universidade. Em (b), pode-se observar a etapa da coleta, com medição da profundidade e anotação das coordenadas dos pontos.

Figura 17 - Coleta dos solos (a) profundidade; (b) coleta do solo



Fonte: Autor, (2023).

### 3.3 Caracterização das rochas e solo

Nesta seção serão abordados como se deu a caracterização das amostras de rocha e solo coletados.

#### 3.3.1 Análise macroscópica da rocha

A caracterização das rochas se realizou em primeiro momento por análises da geologia da área das amostras coletadas, consultando estudos geológicos da região, como também, identificando a presença de diques, stocks, dentre outras características geológicas. Posteriormente, realizou-se as análises macroscópicas, verificando a cor da rocha, densidade e minerais presentes. Essas análises foram realizadas no laboratório de geologia da UFC - Campus de Crateús.

#### 3.3.2 Análise granulométrica dos solos

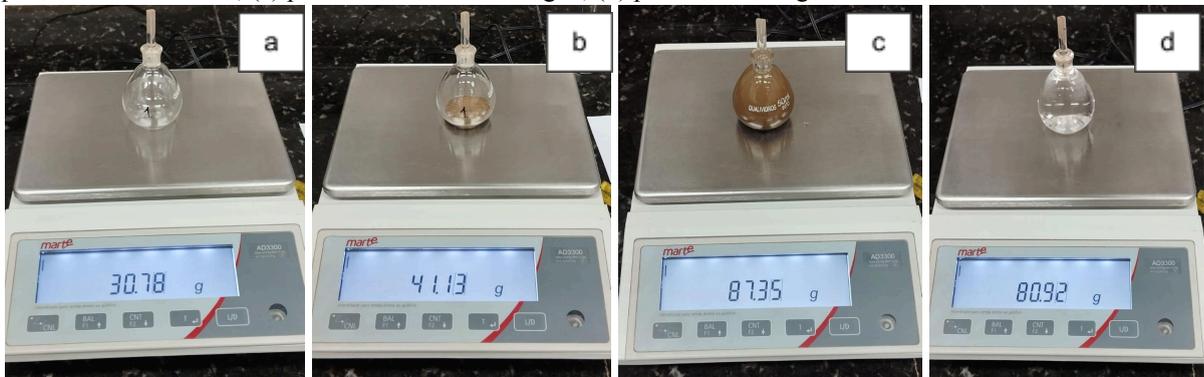
Para determinação do diâmetro das partículas de solo, foram realizados ensaios de peneiramento de acordo com a NBR 7181/2016. Os procedimentos foram realizados no laboratório de Geologia no Campus de Crateús da UFC.

### 3.3.3 Massa específica por picnometria a água

A determinação da massa específica do solo foi realizada no laboratório de geologia da UFC em Crateús, seguindo o procedimento determinado pela norma DNER-ME 093/94.

A Figura 18, apresenta as etapas seguidas para determinação da massa específica do solo. Em (a) observa-se a pesagem do picnômetro vazio (P1), em (b) a pesagem do picnômetro mais amostra (P2), em (c) a pesagem do picnômetro mais amostra, mais água (P3), e em (d) pesagem do picnômetro mais água (P4).

Figura 18 - Processo realizado para determinação da massa específica do solo (a) picnômetro vazio; (b) picnômetro + amostra; (c) picnômetro + massa + água; (d) picnômetro + água



Fonte: Autor, (2024).

### 3.3.4 Análise por difração de Raios-X

Foram realizados estudos de Difração de Raios-X no departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais. As amostras de solo e rocha foram enviadas até a Universidade com granulometria passante na peneira de 0,075 mm. As análises foram realizadas em um difratômetro Philips-PANalytical modelo PW3710, utilizando radiação CuK $\alpha$  e monocromador. O método de análise se baseou na comparação dos valores das distâncias interplanares e das intensidades dos picos nos difratogramas das amostras analisadas e uma amostra de referência utilizando o padrão do banco de dados PDF-2 Release 2010 do ICDD – International Centre for Diffraction Data.

### 3.4 Pulverização das rochas

Nessa etapa para obtenção final de uma rocha com granulometria fina foi realizada a pulverização da rocha. Primeiramente as amostras foram fragmentadas manualmente com uso

de marreta e, posteriormente, submetidas a britagem, em britador do tipo mandíbula (Figura 19), disponível na UFC - Campus de Crateús.

Figura 19 - Britador de mandíbula



Fonte: Autor, (2023).

A Figura 20 exibe em (a) o material após ser fragmentado manualmente, e em (b) o material após ser britado.

Figura 20 - Material submetido ao processo de britagem (a) material pós fragmentação; (b) material pós britagem



Fonte: Autor, (2023).

Posteriormente à britagem, o material foi submetido a moagem. Foi construído um moinho tubular de cargas cadentes de barras, utilizando madeira, vergalhões, material emborrachado, parafusos e ferramentas. O moinho é movido pela manivela, conforme apresentado na Figura 21. Foram moídos cerca de 6 quilogramas de material durante 10 horas divididas em 2 semanas.

Figura 21 - Moinho de barras artesanal



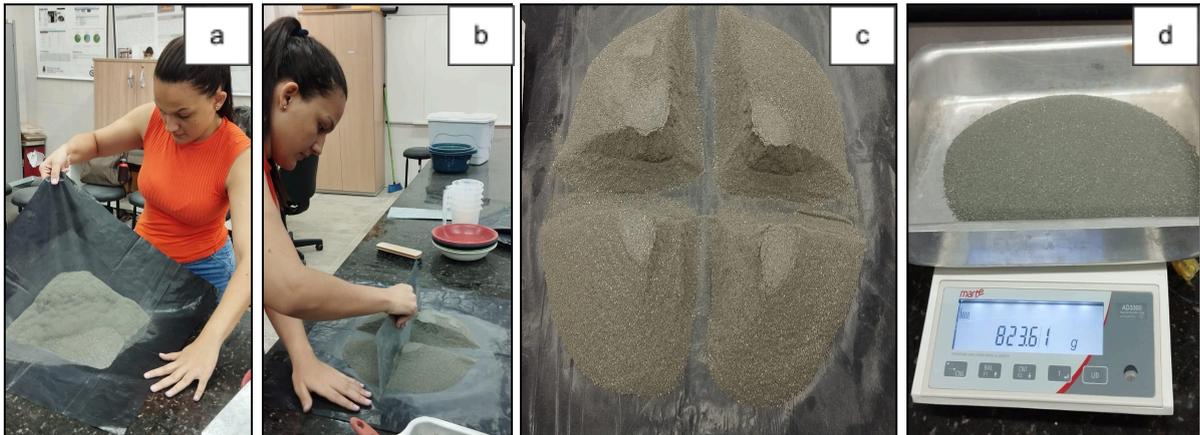
Fonte: Autor, (2023).

### 3.5 Análise Granulométrica do pó de rocha

Para realização da análise granulométrica, primeiramente o material obtido com a moagem foi homogeneizado e quarteado pelo método de pilha cônica. Para o processo de homogeneização, utilizou-se uma lona quadrada e o material foi colocado sobre a mesma, logo, os vértices da lona foram levantados diversas vezes para que o material da base da pilha fosse redistribuído no topo. Em seguida, a pilha foi dividida em quatro partes e coletada e pesada suas duas diagonais separadamente para serem adicionadas às peneiras e submetidas à vibração.

A Figura 22 apresenta o processo de homogeneização e quarteamento da amostra moída. Pode-se visualizar em (a) a homogeneização do material com a execução de movimentos nos vértices da lona, em (b) a divisão da pilha cônica, em (c) a pilha cônica formada e em (d) a amostra final para realizar o primeiro peneiramento.

Figura 22 - Homogeneização e quartejamento da amostra (a) homogeneização do material; (b) divisão da pilha cônica; (c) formação da pilha cônica; (d) obtenção da amostra final para o peneiramento



Fonte: Autor, (2023).

Posteriormente, realizou-se a análise da granulometria, utilizando o conjunto de peneiras com abertura de malhas específicas, conforme apresentado na Figura 23, de acordo com o procedimento da NBR 7181/2016. Este procedimento ocorreu no laboratório de geologia da UFC - Campus de Crateús.

Figura 23 - Conjunto de peneiras

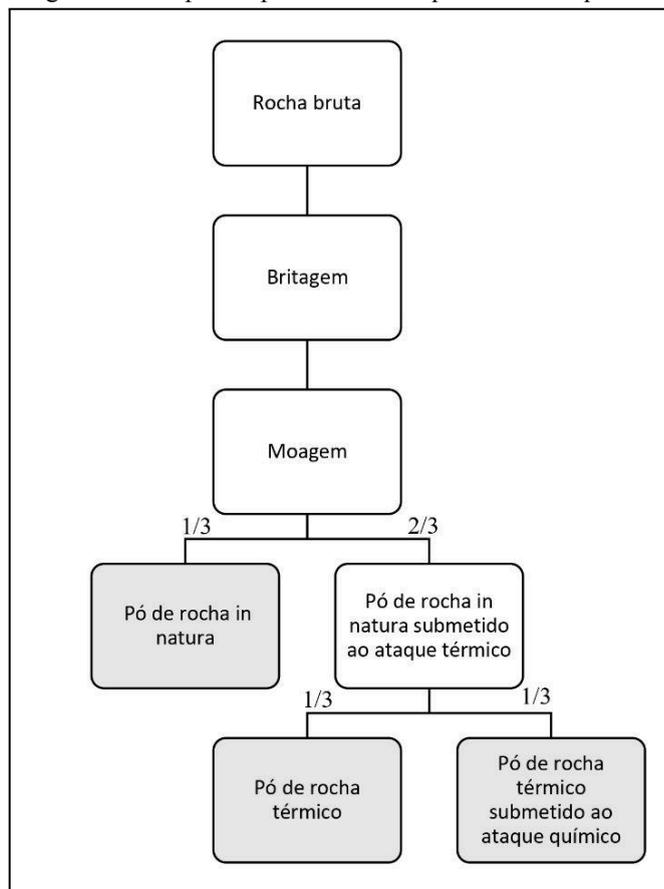


Fonte: Autor, (2023).

### 3.7 Ataque térmico e químico no pó de rocha

Após obtenção do pó de rocha e realização do ensaio de peneiramento, o material foi submetido a ataque térmico e químico. Com a massa total obtida na moagem, separou-se um terço da amostra total para utilizar o material *in natura* e dois terços para o ataque térmico. A Figura 24 ilustra as etapas realizadas neste procedimento.

Figura 24 - Etapas do processo de ataque térmico e químico



Fonte: Autor, (2024).

O material foi adicionado em uma panela e levado ao fogo durante uma hora e trinta minutos, sendo verificada a temperatura durante esse período, esta atingiu temperatura média de 290°C. A Figura 25 mostra essa etapa da pesquisa.

Figura 25 - Ataque térmico na rocha



Fonte: Autor, (2024).

Com o material resultante do ataque térmico ( $\frac{2}{3}$  do total ensaiado), utilizou-se a sua metade ( $\frac{1}{3}$  do total ensaiado) para ser submetido ao ataque químico (Figura 26) e o restante foi reservado. Utilizou-se o vinagre como ácido e este foi adicionado ao material até o cobrir totalmente, em seguida, este foi deixado para evaporar por 15 dias. Foram utilizados 1 litro de vinagre de cana.

Figura 26 - Ataque químico na rocha



Fonte: Autor, (2023).

### 3.8 Preparação dos experimentos

Após todos os tratamentos, realizou-se a homogeneização dos pós de rocha e do solo, para se obter uma amostra primária e, assim, foram iniciadas as etapas dos ensaios experimentais. Nessa etapa foram utilizados copos descartáveis de 300 mL para a plantação das sementes. Todos os recipientes foram identificados com a quantidade de cada material a ser utilizado (Figura 27). Os testes foram realizados em residência em Crateús, em local bem arejado.

Figura 27 - Preparação dos experimentos



Fonte: Autor, (2024).

Os experimentos foram realizados em duplicatas para um comparativo de resultados. Na Tabela 3 está disposto as quantidades utilizadas nos experimentos.

Tabela 3 - Quantidades utilizadas nos experimentos

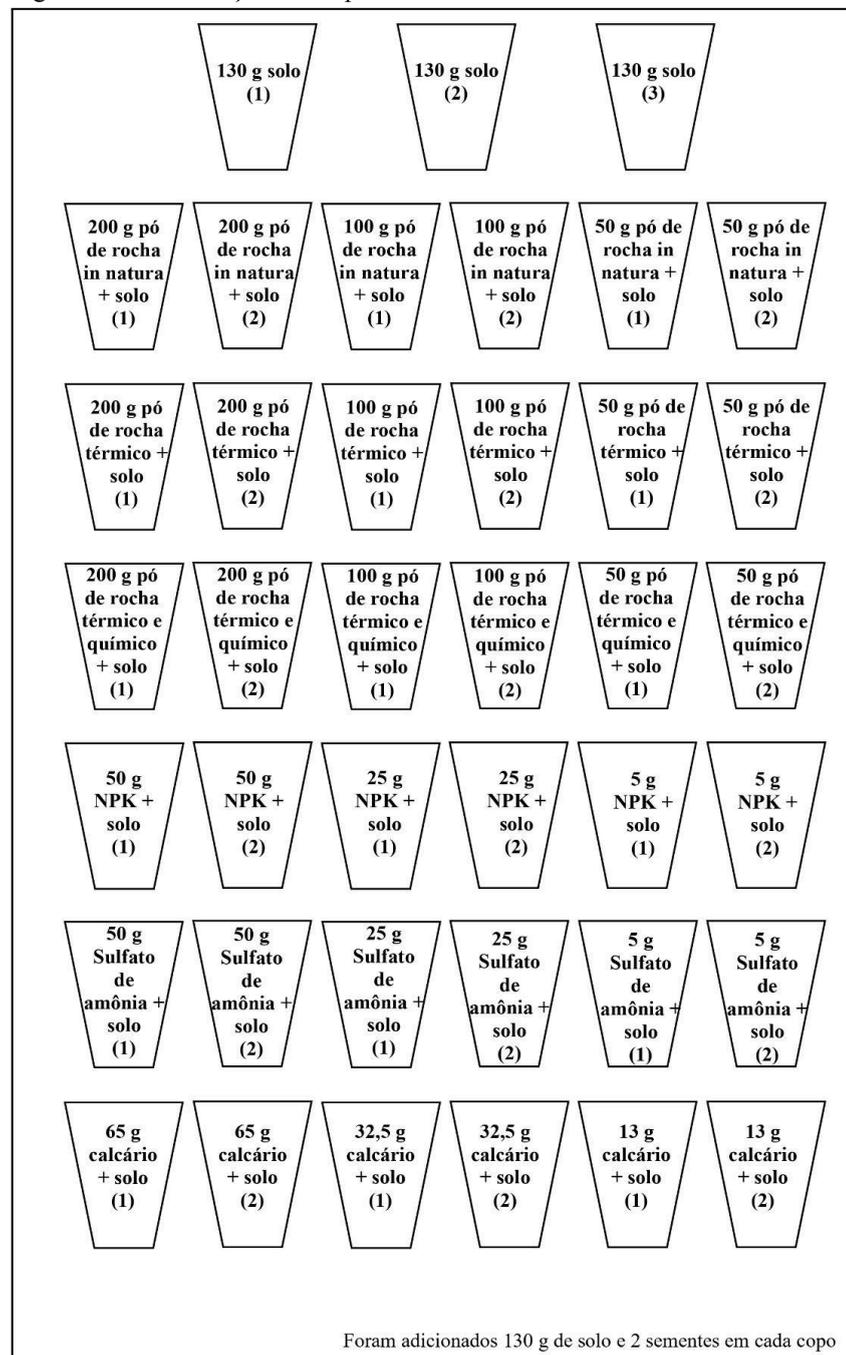
TRATAMENTO UTILIZADO	CONCENTRAÇÕES (g)		
PÓ DE ROCHA	200	100	50
PÓ DE ROCHA TÉRMICO	200	100	50
PÓ DE ROCHA TÉRMICO E QUÍMICO	200	100	50
NPK	50	25	5
SULFATO DE AMÔNIA	50	25	5
CALCÁRIO	65	32,5	13
SOLO	130		

Fonte: Autor, (2024).

Utilizou-se 130 g de solo em todos os experimentos. Foram adicionados pó de rocha natural, pó de rocha atacado termicamente e pó de rocha atacado termicamente/quimicamente em concentrações de 200, 100 e 50 gramas.

Realizou-se também experimentos com NPK e sulfato de amônia em concentrações de 50, 25 e 5 g e calcário com 65, 32,5 e 13 g. O sistema controle contou com uma triplicata de 130 g de solo. Foram adicionadas 2 sementes de feijão de corda a cada copo e foram realizados ao total 39 experimentos. As distribuições estão dispostas na Figura 28.

Figura 28 - Distribuição dos experimentos



Fonte: Autor, (2024).

Cada recipiente de muda foi regado com 50 mL de água, sempre às 8 horas da manhã durante os 90 dias de realização do experimento, tempo considerado médio para o cultivo do feijão.

A altura das mudas foram verificadas e tabeladas a cada 3 dias, utilizando régua e realizando fotografias para melhor comparação e verificação do desenvolvimento. Foi realizada também a pesagem das mesmas.

### **3.9 Análises dos experimentos**

Ao final dos experimentos foram analisados todos os dados de peso e altura tabelados, Apêndice A. Utilizou-se a média dos dados de altura de uma das sementes do recipiente tal qual e também da sua duplicata, para construção dos gráficos e para analisar o desvio padrão entre as amostras tal qual e a duplicata utilizou-se o diagrama boxplot que se caracteriza como uma ferramenta gráfica utilizada para ilustrar um conjunto de dados. Através do diagrama pode-se observar os dados com base em cinco estatísticas: mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e máximo. No diagrama também informa valores discrepantes (*outliers*), estes foram analisados para verificar se os valores caracterizados como, discrepantes, possuem confiabilidade.

Ao final da análise do diagrama boxplot foram construídos gráficos de dispersão no Excel, com as diferenças de crescimento entre as diferentes concentrações de cada tratamento utilizado e posteriormente analisou-se a diferença das mesmas concentrações de cada tratamento.

Foram realizadas análises estatísticas utilizando o *software* gratuito IBM SPSS Statistics para analisar o comportamento dos dados estatisticamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo foi dividido em duas seções principais, onde a primeira apresenta a caracterização dos materiais utilizados e a segunda exhibe os resultados das análises dos experimentos, graficamente e estatisticamente.

### 4.1 Caracterização dos materiais utilizados

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados para a caracterização das amostras de solo e rocha.

#### 4.1.1 Análise macroscópica da rocha

As características principais da rocha coletada, Figura 8, para a pesquisa, como cor, densidade, minerais presentes e magnetismo, estão descritas no Quadro 4.

Quadro 4 - Descrição da rocha coletada

<b>Características da rocha</b>	
Cor da rocha	Predominantemente preta com manchas brancas em menor proporção
Densidade da rocha	2,85 g/cm <sup>3</sup>
Minerais presentes	Hornblenda, feldspato
Magnetismo	Apresenta magnetismo

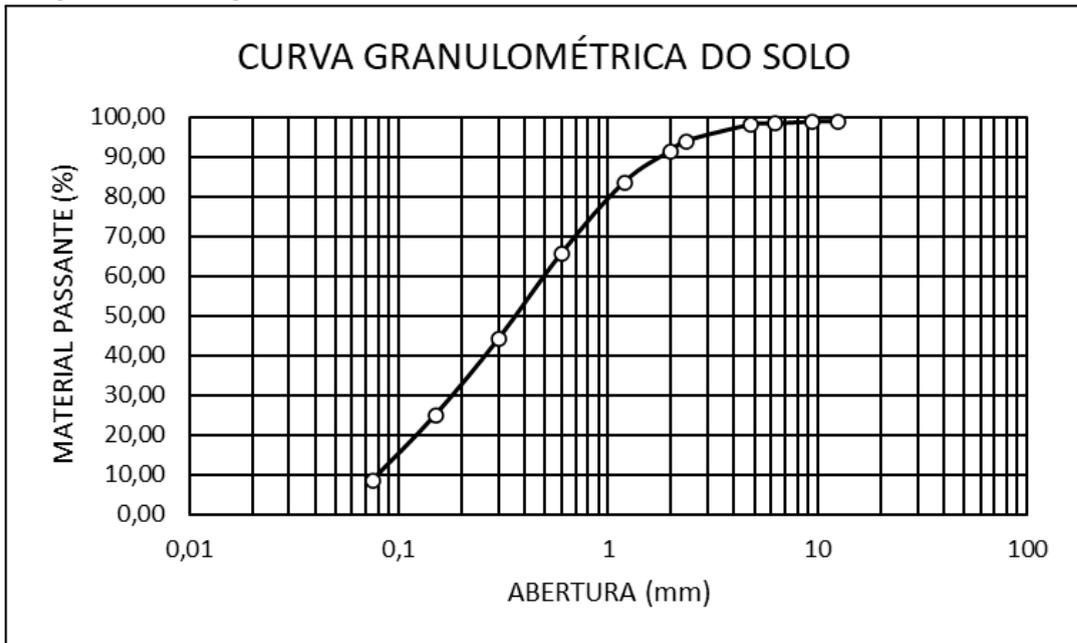
Fonte: Autor, (2024).

#### 4.1.2 Análise granulométrica do solo e pó de rocha

Os resultados obtidos por meio do ensaio de granulometria são representados por meio de uma curva granulométrica.

Com a amostra de solo coletada e submetida ao peneiramento obteve-se a seguinte curva granulométrica (Figura 29). O solo apresenta uma granulometria de 67,37% passante na peneira de 0,6 mm.

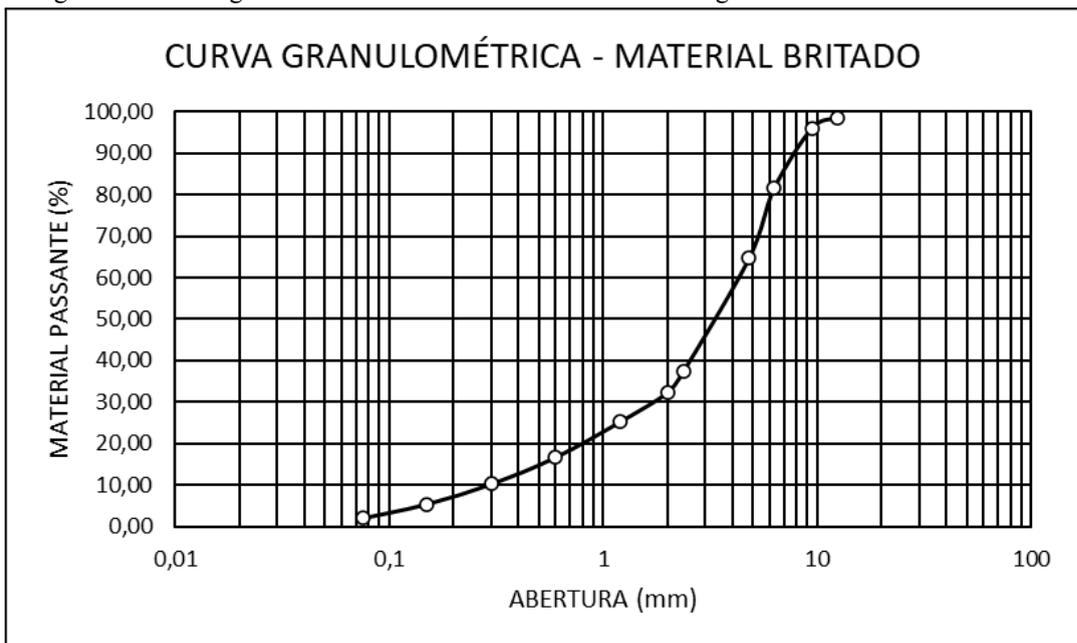
Figura 29 - Curva granulométrica da amostra de solo



Fonte: Autor, (2024).

Com os ensaios de peneiramento do material obtido com a britagem obteve-se a curva granulométrica ilustrada na Figura 30. Cerca de 67,65% do material obtido na britagem se classifica como pedregulho de acordo com a escala granulométrica brasileira estabelecida pela NBR 6502/1995, que apresenta os limites de cada tipo de rocha e solo de acordo com o tamanho.

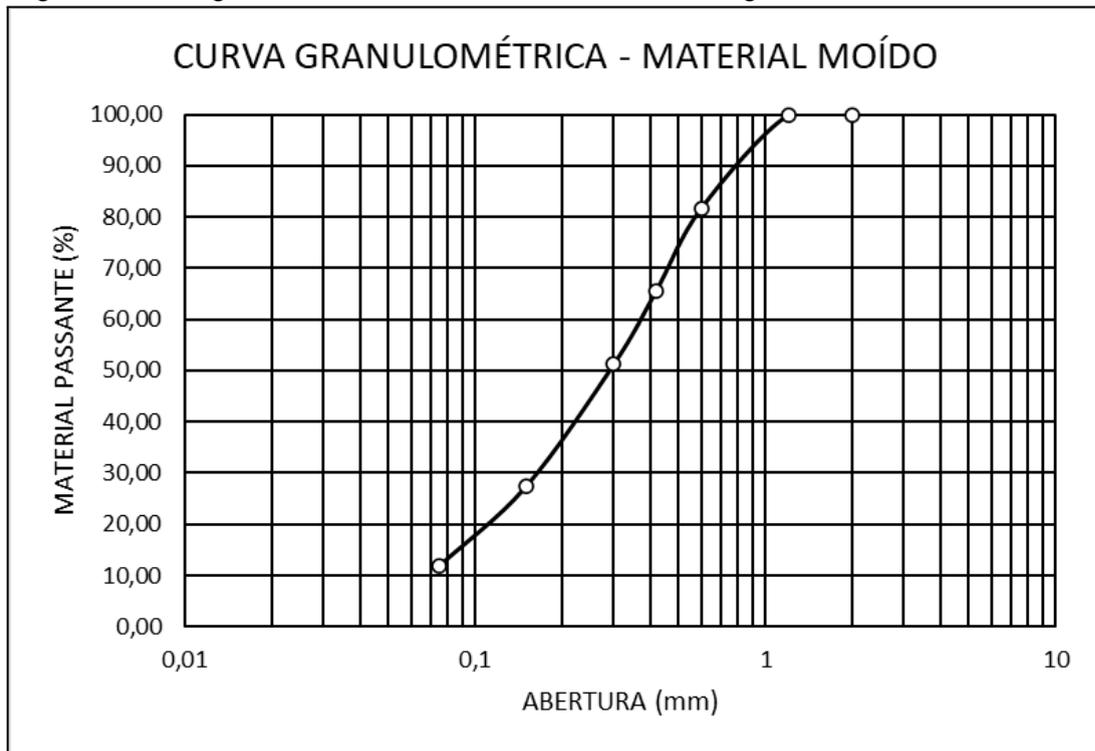
Figura 30 - Curva granulométrica da amostra obtida com a britagem



Fonte: Autor, (2024).

A Figura 31 apresenta a curva de distribuição do tamanho das partículas do material fino obtido com a moagem, 51,23 % do material foi passante na peneira de abertura 0,3 mm. Seguindo a nomenclatura da granulometria de pó de rocha, o material se classifica como pó de acordo com a classificação de MAPA (2016). A granulometria do material utilizado na pesquisa foi de 81% passante na peneira de 0,6 mm.

Figura 31 - Curva granulométrica da amostra fina obtida com a moagem



Fonte: Autor, (2024).

#### 4.1.3 Massa específica por picnometria a água

Os resultados obtidos de massa específica do solo pelo método do picnômetro à água estão descritos detalhadamente na Tabela 4. O procedimento seguiu as recomendações da norma DNER-ME 093/94. Pode-se notar que a amostra de solo possui massa específica média de 2,63 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 4 - Massa específica do solo obtida pelo método do picnômetro

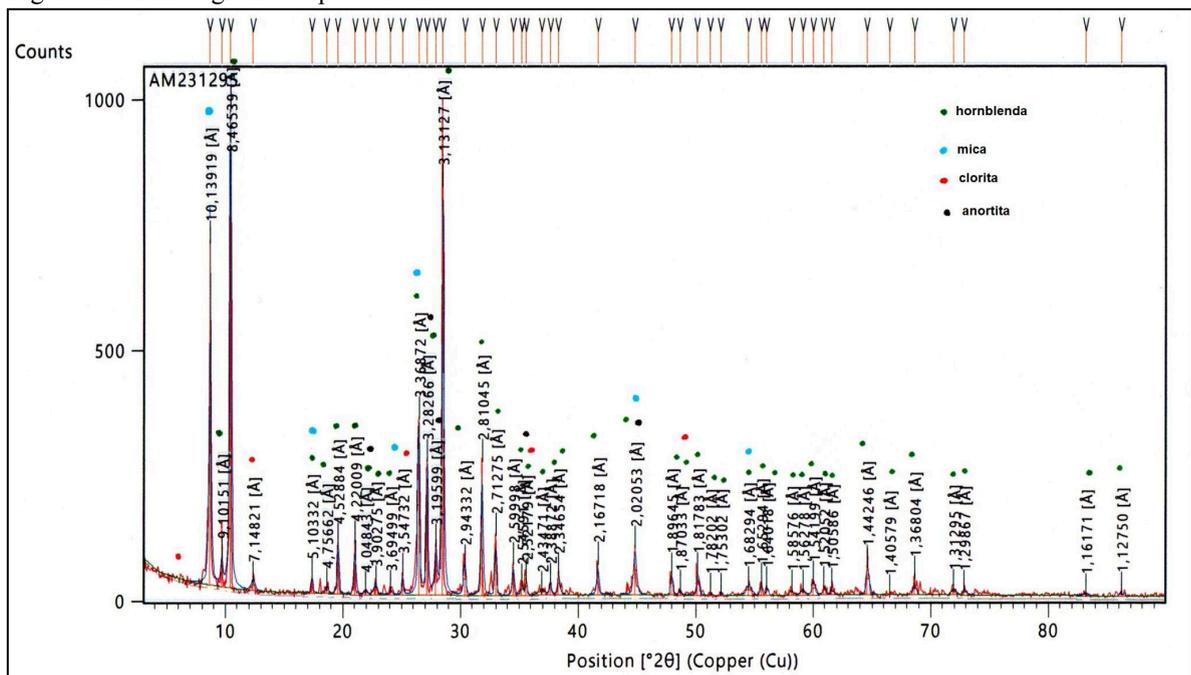
Medidas	P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	P4 (g)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa específica corrigida (g/cm <sup>3</sup> )	Média (g/cm <sup>3</sup> )
1	30,78	41,16	87,36	80,92	2,6345	2,6329	2,63
2	31,14	41,28	88,14	81,84	2,6406	2,639	
3	29,05	39,05	86,27	80,07	2,6316	2,63	

Fonte: Autor, (2024).

#### 4.1.4 Análise por Difração de Raios-X

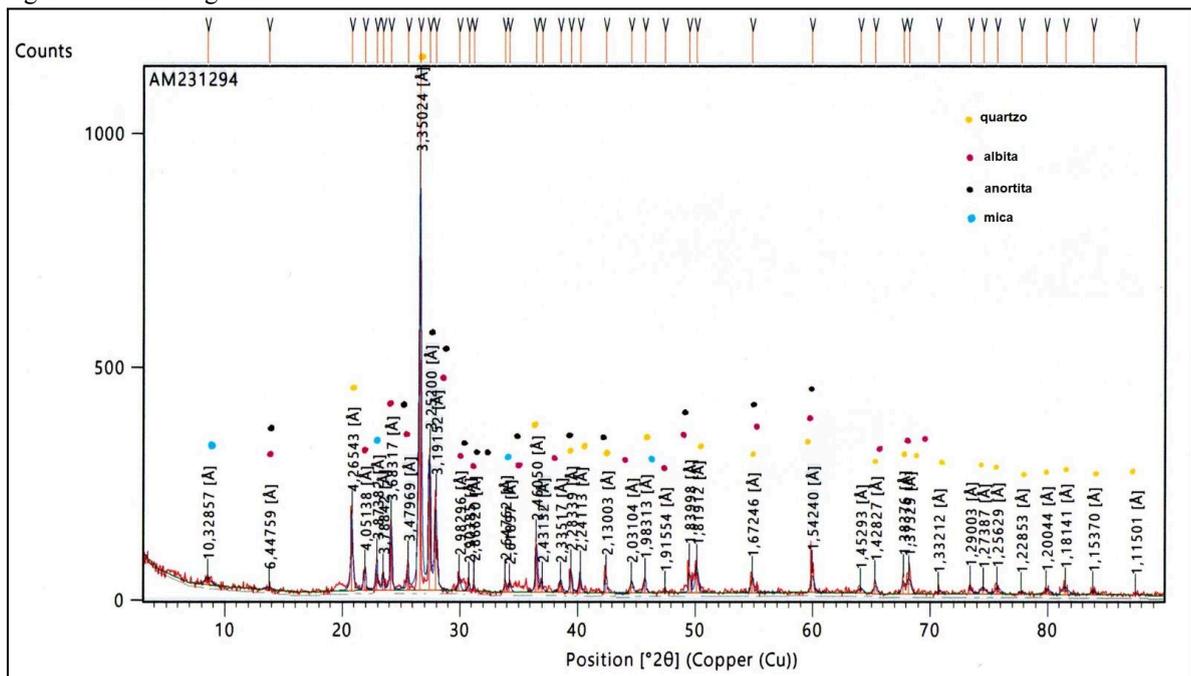
As análises de DRX mostraram a presença de minerais de hornblenda (53,5%), mica (17,6%), clorita (3,1%) e anortita (25,8%) no pó de rocha como ilustrado no difratograma, Figura 32. A análise mostrou uma presença maior de minerais de hornblenda, reforçando a análise visual para diorito e a descrição de Klein *et al.* (2009) que caracteriza a hornblenda como principal mineral presente nessa rocha. A análise no solo mostrou que há minerais de quartzo (43,7%), albita (25,4%), anortita (29,1%) e mica (1,8%) como apresentado na Figura 33.

Figura 32 - Difratograma do pó de rocha



Fonte: Dados obtidos por Henriques, (2024).

Figura 33 - Difratoograma do solo



Fonte: Dados obtidos por Henriques, (2024).

## 4.2 Desenvolvimento do cultivar

Nesta seção serão apresentados os tratamentos dos dados coletados (Apêndice A) no desenvolvimento do cultivar, com base em análises gráficas e análises estatísticas.

### 4.2.1 Análise dos dados de peso

Após observações do experimento (Figura 34) por 88 dias e análises matemáticas dos dados de pesos, foi possível identificar interferências nos dados. Estas estão relacionadas à variação desigual do acúmulo da água de irrigação e ao crescimento desigual da segunda muda do copinho. Por estas razões, os dados de peso foram desconsiderados para garantir uma precisão e confiabilidade dos resultados do estudo. Porém, os dados de altura foram analisados estatisticamente e garantiram confiabilidade na análise matemática.

Figura 34 - Desenvolvimento das mudas



Fonte: Autor, (2024).

#### 4.2.2 Análise gráfica dos dados de altura

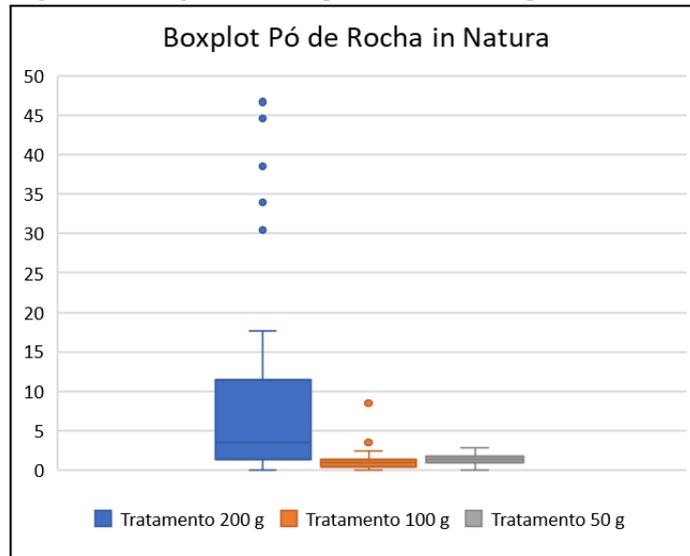
Sabendo da inconsistência dos dados de peso, foi realizada análise estatística dos desvios padrões da amostra tal qual e de sua duplicata dos dados de altura para analisar a validade dos dados a serem usados. A Figura 35 apresenta as plantas tal qual e sua duplicata com pó de rocha *in natura* nas dosagens 200, 100 e 50 g, respectivamente.

Figura 35 - Desenvolvimento das mudas tal qual e duplicata no pó de rocha *in natura*



Fonte: Autor, (2024).

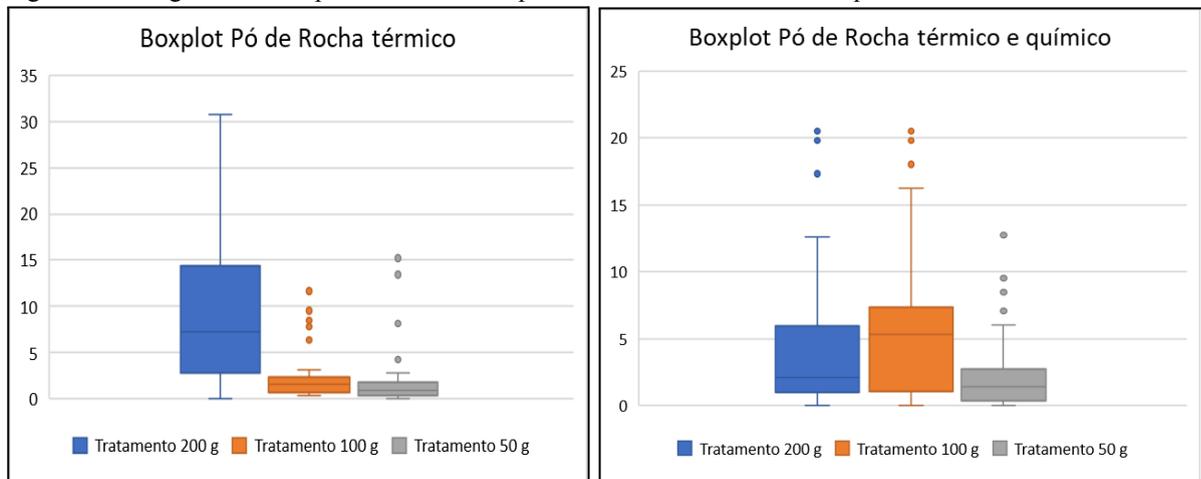
A Figura 36 apresenta o diagrama de boxplot com análise dos desvios padrões entre a amostra tal qual e a sua duplicata para o experimento contendo pó de rocha *in natura* nas quantidades de 200, 100 e 50 gramas. Os dois primeiros tratamentos contêm a presença de *outliers*. Fazendo a análise, esses valores discrepantes podem ser explicados devido a uma planta ter alcançado o estágio final de desenvolvimento mais rápido que a outra.

Figura 36 - Diagrama de boxplot com dados do pó de rocha *in natura*

Fonte: Autor, (2024).

Da mesma forma, os dados de pó de rocha térmico e pó de rocha térmico/químico, apresentaram *outliers* que podem ser explicados pelo fato de, em alguns momentos, as plantas terem taxas de crescimento distintas por fatores naturais, conforme ilustrado na Figura 37.

Figura 37 - Diagrama de boxplot com dados do pó de rocha térmico e térmico/químico



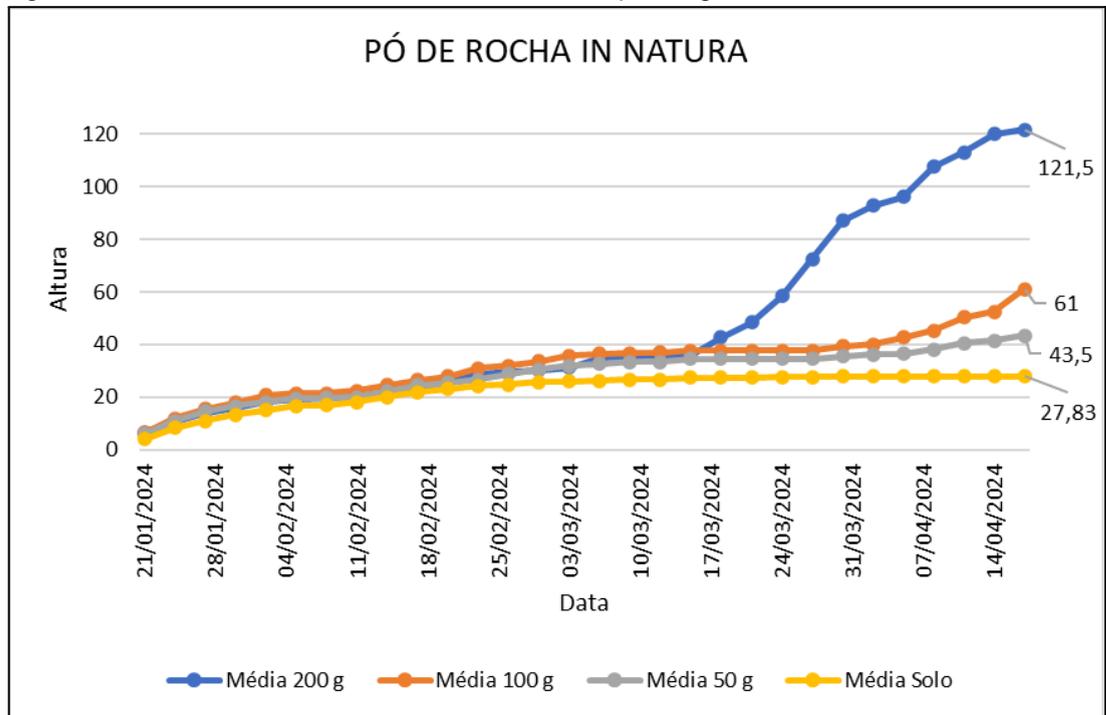
Fonte: Autor, (2024).

Após verificação da confiabilidade dos dados de altura entre a tal qual e duplicata foram realizadas as médias entre estes valores e se utilizaram estas médias para os tratamentos matemáticos de análise deste trabalho.

Para iniciar as análises, a Figura 38 apresenta um gráfico com os dados de pó de rocha *in natura* nas quantidades de 200, 100 e 50 gramas, e o comparativo com o solo (apenas solo, sem adição de pó de rocha, diferente dos demais que tem a mesma quantidade de solo e o pó de rocha com um tratamento e quantidade variáveis de dosagens). Observa-se que o

tratamento de 200 gramas apresenta melhor resposta, além disso, comparando ao solo puro, apresenta aproximadamente uma resposta 4,4 vezes melhor no resultado final. Com 100 gramas, redução de 50% da massa de pó de rocha, teve um efeito 2,2 vezes melhor, em relação ao solo. Com a redução da massa em 75%, 50 g de pó de rocha, teve-se um efeito 1,5 vezes melhor, em relação ao solo. Observa-se que os resultados, a partir do dia 17/03/2024 (2 meses), apresentam um salto diferenciado no desenvolvimento das plantas com pós de rochas, provavelmente relacionado à disponibilidade de nutrientes dos pós de rochas e este salto é mais intenso quanto maior a dosagem do pó de rocha. Na dosagem de 200 g de pó de rocha *in natura* se tem o melhor resultado de crescimento de todos os resultados do trabalho.

Figura 38 - Gráfico com alturas resultantes das concentrações de pó de rocha *in natura*

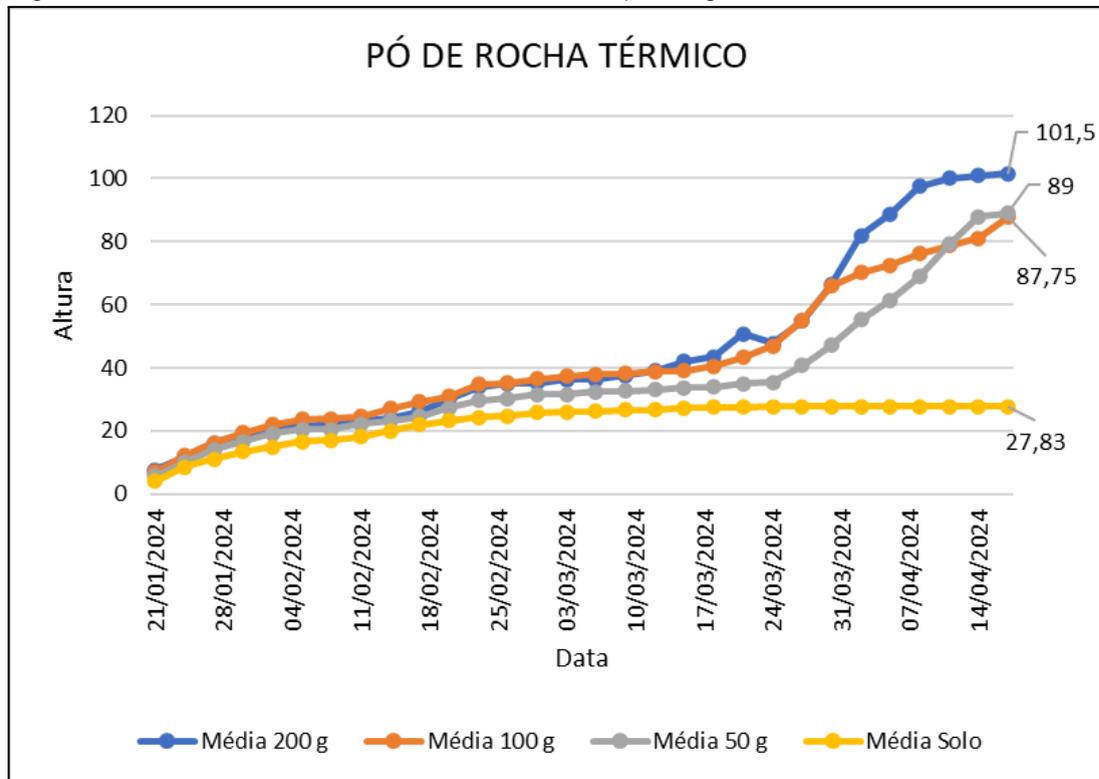


Fonte: Autor, (2024).

No pó de rocha com tratamento térmico a concentração de 200 gramas apresentou uma resposta ao crescimento final da planta 3,6 vezes melhor em relação ao solo. Já as quantidades de 100 e 50 g apresentaram um resultado bem semelhante, de aproximadamente 3,2 vezes melhor que o solo, como se observa no gráfico da Figura 39. Os resultados de pó de rocha térmico foram chamativos, pois apesar de a dosagem de 200 g de pó de rocha térmico ter sido pior que a dosagem de 200 g de pó de rocha *in natura*, para as menores dosagens, 100 e 50 g de pó de rocha térmico, a resposta foi expressivamente melhor que na comparação com pó de rocha *in natura*. Também é notório que a dosagem de 50 g teve resposta parecida com a dosagem de 200 g e melhor que a de 100 g, mostrando que uma pequena dosagem de pó de

rocha térmico possui efetividade tão boa quanto as demais. Além disso, o pó de rocha térmico teve melhores respostas em todas as dosagens que o pó de rocha térmico e químico.

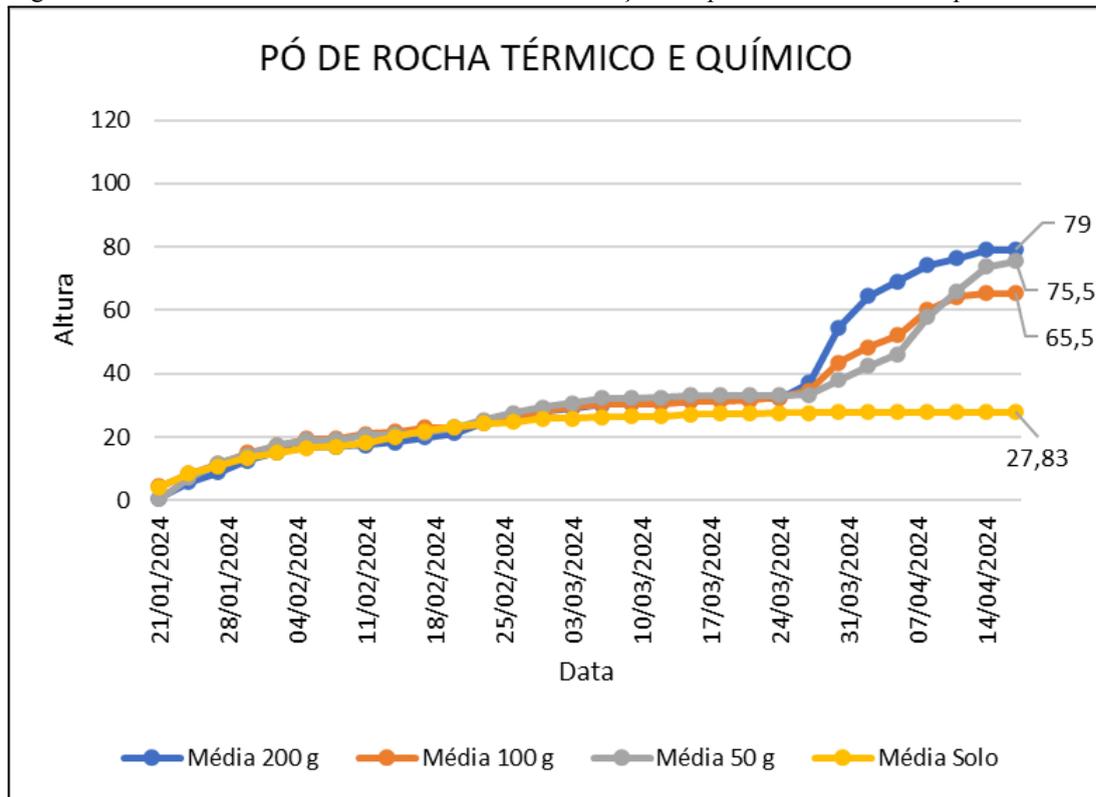
Figura 39 - Gráfico com alturas resultantes das concentrações de pó de rocha térmico



Fonte: Autor, (2024).

O pó de rocha tratado termicamente e quimicamente (Figura 40) apresenta uma resposta 2,8 vezes melhor para o crescimento final da planta em quantidade de 200 g e na quantidade de 50 g se apresenta 2,7 vezes melhor, uma resposta melhor que nas quantidades de 100 g de pó de rocha térmico/químico, 2,3 vezes melhor. Porém, é possível observar que o tratamento químico, posterior ao tratamento térmico, teve efeito negativo na resposta ao crescimento da planta, fazendo com que o crescimento fosse inferior do que quando só se tem o tratamento térmico.

Figura 40 - Gráfico com alturas resultantes das concentrações de pó de rocha térmico e químico

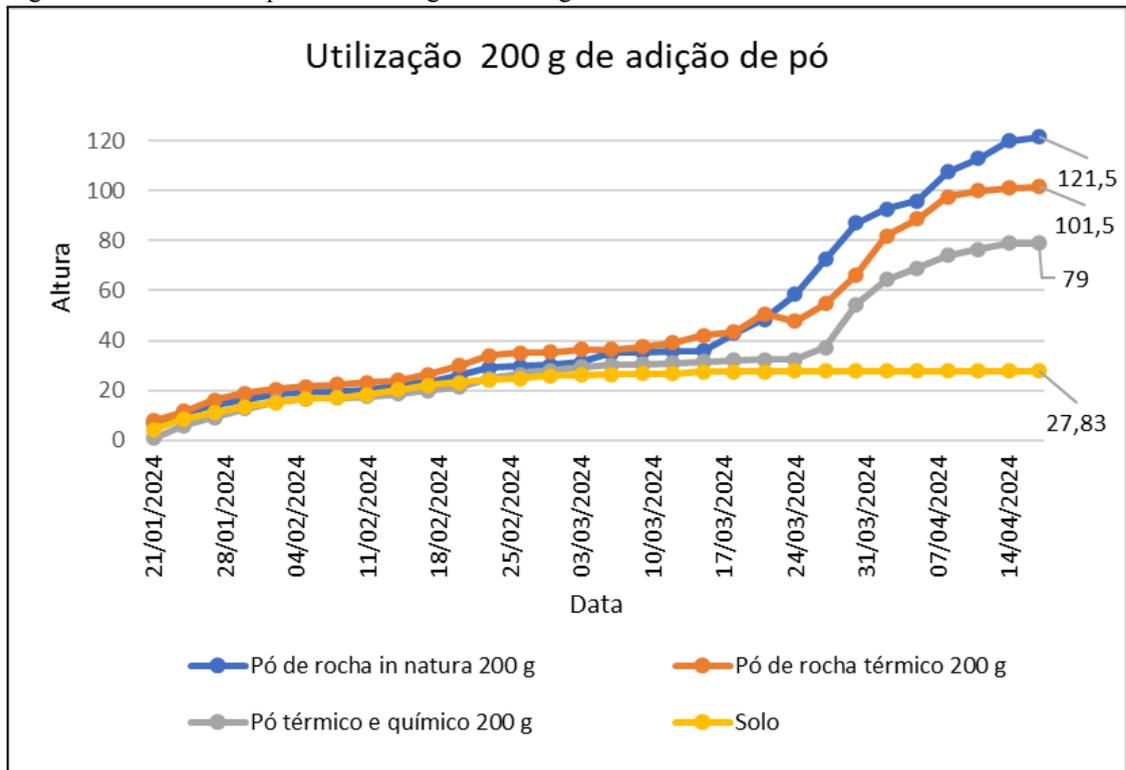


Fonte: Autor, (2024).

Na Figura 41 pode-se verificar o gráfico com variados tratamentos para a dosagem de 200 g de pó de rocha em comparação com o solo sem pó de rocha, podendo assim, se observar que a concentração de 200 g de pó de rocha *in natura* se destaca com uma melhor resposta, seguido do pó de rocha térmico e térmico/químico. Assim, nota-se que em altas dosagens, os tratamentos térmico e químico prejudicam na resposta ao crescimento final e na taxa de crescimento da planta.

Pelo gráfico é possível observar que a adição de pó de rocha em altas dosagens ajuda no crescimento da planta em relação ao crescimento apenas com solo. Porém, observa-se que o pó de rocha térmico e térmico/químico tiveram piores resultados do que o pó de rocha *in natura*, destoando das respostas nas dosagens de 100 e 50 g dos experimentos.

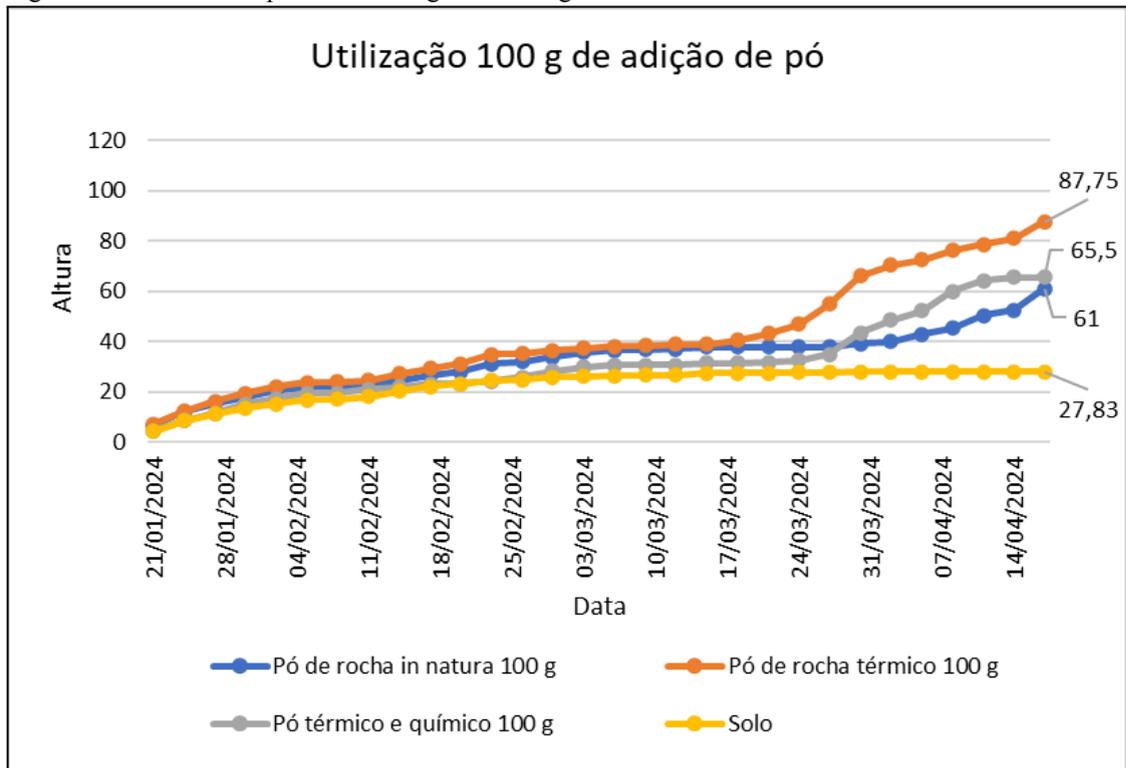
Figura 41 - Gráfico comparando a dosagem de 200 g em diferentes tratamentos



Fonte: Autor, (2024).

Nas concentrações de 100 g (Figura 42) o pó de rocha térmico se apresenta com uma melhor resposta, seguido do pó de rocha térmico/químico e *in natura*. Na concentração de 100 g há uma aproximação da resposta final ao crescimento entre pó de rocha *in natura* e térmico/químico. Nota-se a redução das respostas ao crescimento com 100 g de pó de rocha para todos os usos de pó de rochas comparados a suas respectivas dosagens de 200 g. No entanto, nota-se a perda de posição do pó de rocha *in natura* para o pó de rocha térmico e térmico/químico, mostrando que o pó de rocha necessita de uma alta dosagem para ter a eficiência do pó de rocha térmico ou térmico/químico.

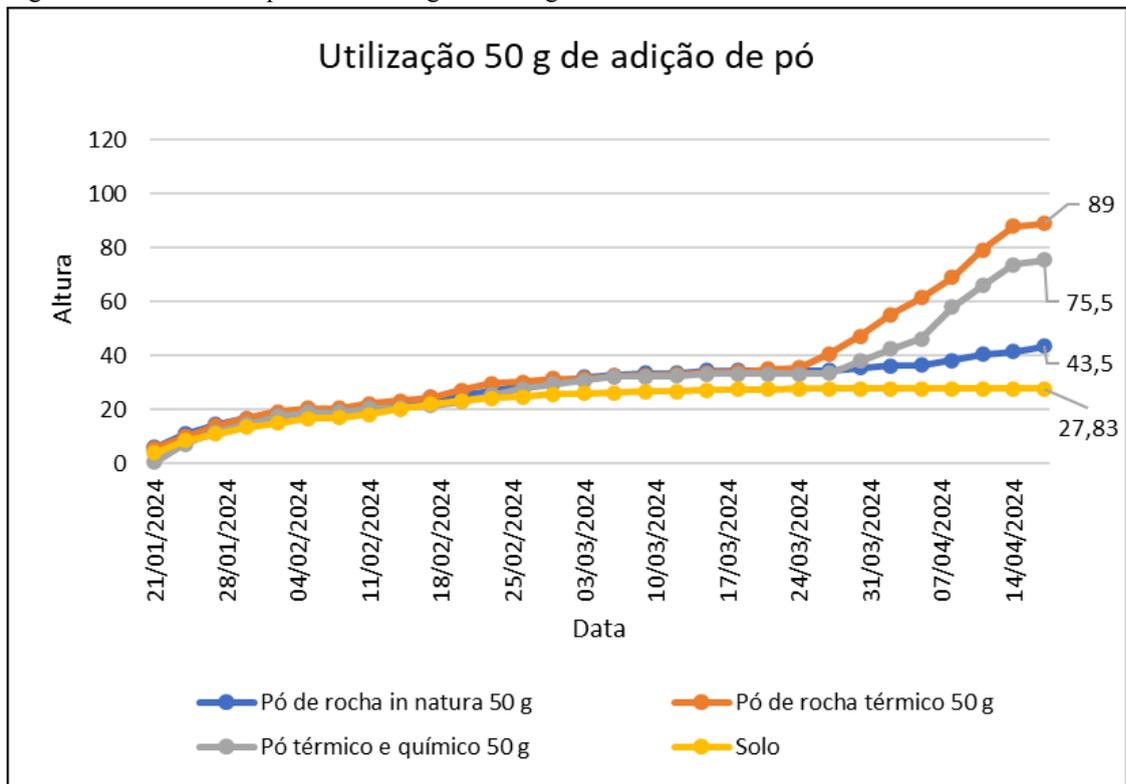
Figura 42 - Gráfico comparando a dosagem de 100 g em diferentes tratamentos



Fonte: Autor, (2024).

Nas concentrações 50 g (Figura 43) o pó de rocha térmico se apresenta com uma melhor resposta, seguido do pó de rocha térmico/químico e *in natura*. Na concentração de 50 g as respostas ao crescimento final da planta para pó de rocha térmico e térmico/químico foram melhores que nas dosagens de 100 g. Além disto, observa-se que apesar da redução de 75% da massa deste experimento (50 g), em relação ao experimento com 200 g, a redução das respostas foi de 64,2% para pó de rocha *in natura*, 12,3% para pó de rocha térmico e 4,4% para pó de rocha térmico/químico. Isso significa que com  $\frac{1}{4}$  da massa de pó de rocha dos experimentos de 200 g as respostas são muito semelhantes para os pós de rochas térmico e térmico/químico, o que pode estar associada a algum efeito negativo embutido nas maiores dosagens (toxicidade, saturação da absorção), apesar de maiores dosagens terem tido as melhores respostas. Outra possibilidade pode estar relacionada a uma variável não testada, como o equilíbrio químico de solubilização, já que as dosagens de água de rega foram semelhantes. Porém, é notória o bom custo benefício para a dosagem de 50 g em relação aos tratamentos térmico e térmico/químico em dosagens de 100 e 200 g.

Figura 43 - Gráfico comparando a dosagem de 50 g em diferentes tratamentos



Fonte: Autor, (2024).

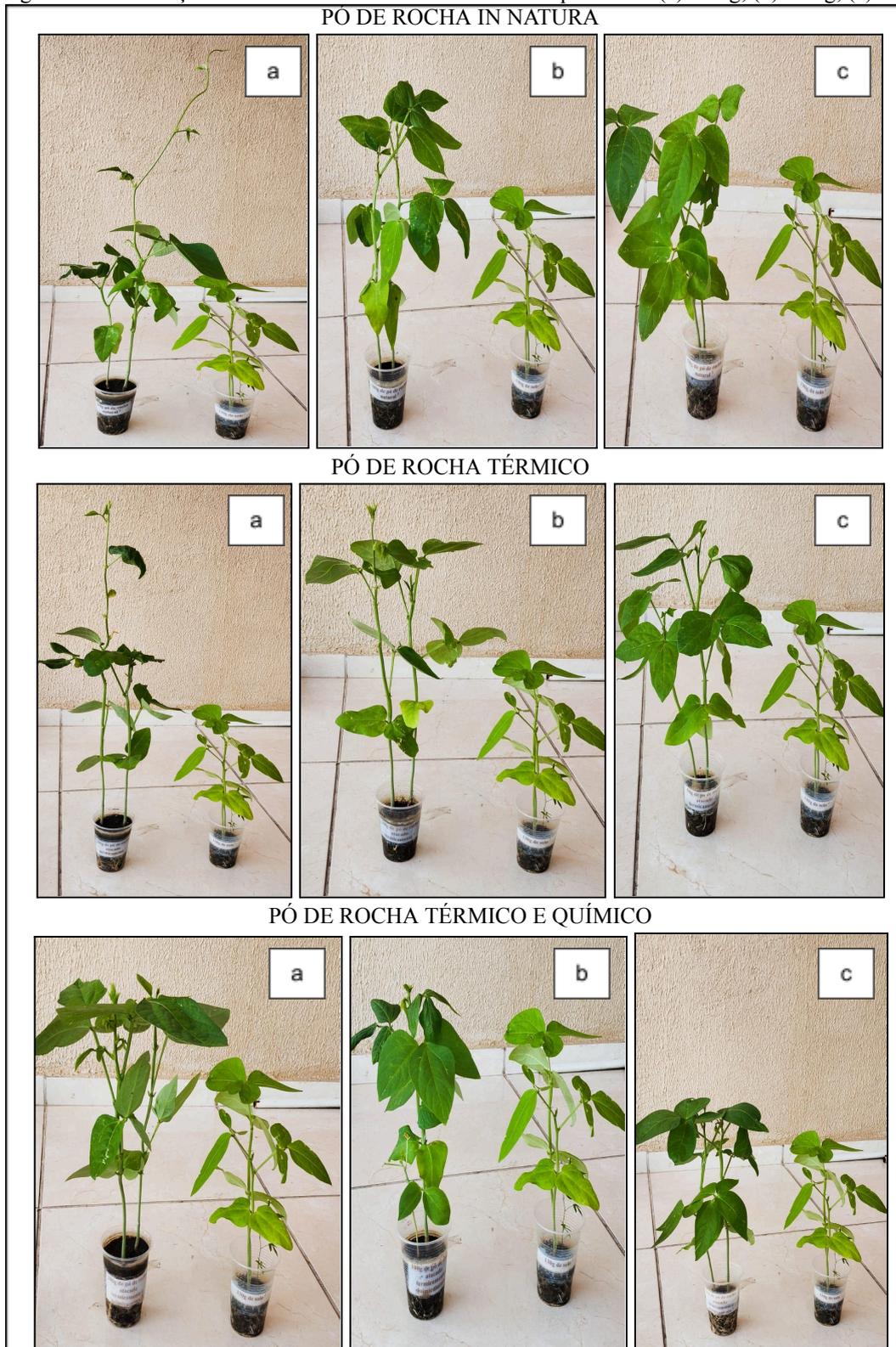
O Apêndice B mostra as figuras do desenvolvimento das mudas nos dias iniciais de experimento (5 e 10 dias). Com a visualização pode-se perceber uma pequena diferença entre os tratamentos utilizados e o solo já nos dias iniciais. Na Figura 44 observa-se a diferença no desenvolvimento das mudas em 2 meses de experimento e com as diferentes dosagens utilizadas, de 200 g representado em (a), 100 g em (b) e 50 g em (c) e diferentes tratamentos, comparando ao solo (copo a direita de cada imagem).

No pó de rocha *in natura* 200 g em (a) se observa um crescimento bem significativo da planta em relação ao solo, e um crescimento maior que nas plantas da figura (b) 100 g e (c) 50 g. Esse período deu início ao salto diferenciado no desenvolvimento da planta que observamos no gráfico da Figura 38. Visualizando a imagem (b) e (c) também apresentam um crescimento melhor que o solo e semelhante.

Pode-se perceber que o pó de rocha térmico apresentou resultados melhores que o solo em todas as dosagens. As plantas com 200 e 100 g apresentaram alturas semelhantes nesses dois meses iniciais, já a planta com menor dosagem (50 g) apresentou altura um pouco menor. Comparando o pó de rocha térmico ao pó de rocha *in natura* nesse período, este apresentou alturas semelhantes em cada dosagem.

No pó de rocha térmico/químico observa-se na dosagem de 200 g tamanho de planta um pouco maior que o solo, e, no tamanho de 100 e 50 g apresenta semelhanças em relação ao solo.

Figura 44 - Diferença na altura das mudas com 2 meses de experimento (a) 200 g; (b) 100 g; (c) 50 g



Fonte: Autor, (2024).

### 4.2.3 Análises Estatísticas dos dados de altura com SPSS

#### 4.2.3.1 Análise ANOVA

O valor Sig. do teste ANOVA avalia o grau de aleatoriedade nos dados das variáveis respostas entre si e entre os grupos comparados. Valores menores que 0,05 são considerados como um comportamento não aleatório dos dados das variáveis respostas em relação aos experimentos e valores maiores são considerados que as respostas dos experimentos são aleatórias e, deste modo, não sofreram efeito expressivo das variáveis respostas. Na Tabela 5 pode se observar o comportamento dos dados das variáveis respostas ao longo dos experimentos e nota-se que, entre os dias 21/01/2024 à 29/02/2024, o Sig. foi maior que 0,05, o que significa que as respostas foram pouco impactadas pelas variáveis respostas (pós de rochas e solo). Acredita-se que esta constatação se deve ao fato que a planta inicialmente depende, em maioria, das reservas nutricionais da sua semente e não do solo ao redor. Já do dia 03/03/2024 até o final do experimento, o Sig. permaneceu abaixo de 0,05, o que demonstra a não aleatoriedade das respostas, isso mostra a importância das variáveis respostas (pós de rochas e solo) para o experimento. Acredita-se que isto se deve ao esgotamento das reservas da semente e a dependência seguinte dos solos, sem e com os pós de rocha.

Tabela 5 - Teste ANOVA

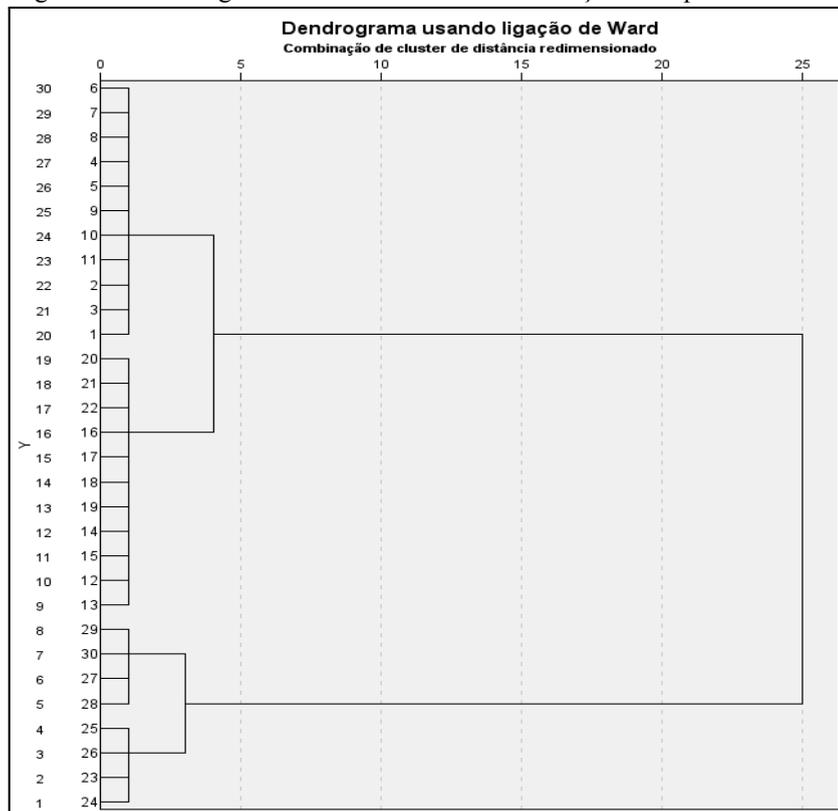
ANOVA			ANOVA		
Data	F	Sig.	Data	F	Sig.
21/01/2024	1,407	0,381	03/03/2024	7,583	0,036
24/01/2024	2,400	0,208	06/03/2024	6,232	0,050
27/01/2024	2,517	0,196	09/03/2024	9,078	0,026
30/01/2024	3,099	0,148	12/03/2024	10,036	0,022
02/02/2024	2,279	0,222	15/03/2024	8,445	0,030
05/02/2024	2,081	0,249	18/03/2024	14,024	0,012
08/02/2024	2,905	0,162	21/03/2024	10,133	0,022
11/02/2024	1,457	0,369	24/03/2024	56,945	0,001
14/02/2024	1,427	0,376	27/03/2024	109,412	0,000
17/02/2024	2,210	0,231	30/03/2024	47,361	0,001
20/02/2024	2,715	0,177	02/04/2024	22,471	0,005
23/02/2024	4,117	0,098	05/04/2024	17,315	0,008
26/02/2024	5,799	0,057	08/04/2024	16,190	0,009
29/02/2024	5,519	0,061	11/04/2024	16,541	0,009
			14/04/2024	15,503	0,010
			17/04/2024	14,715	0,011

Fonte: Autor, (2024).

#### 4.2.3.2 Análise de Agrupamentos

Na Figura 45 observa-se o dendrograma de cluster com base nos agrupamentos das datas de realização de medidas do experimento. Nele é possível identificar quatro agrupamentos em que as plantas apresentaram comportamentos semelhantes. Pela observação dos gráficos dos experimentos, se observou que na fase inicial, dias 1 ao 11, a planta apresentou um crescimento em uma taxa menor, porém positiva. Possivelmente por depender das reservas da semente, sua raiz não está desenvolvida e não possui grande volume de parte aérea demandante de nutrientes. Essa observação é reforçada pelo teste ANOVA. Posteriormente, no segundo agrupamento, entre os dias 12 a 22, se relaciona ao crescimento explosivo das plantas, possivelmente pelo bom desenvolvimento das raízes, da parte aérea, e da abundância de nutrientes no solo. Seguindo, no terceiro e quarto agrupamento, um crescimento reduzido até a finalização do experimento. Sendo que no terceiro se supõem que seja devido ao declínio dos nutrientes no solo e no quarto cluster se deva ao declínio dos nutrientes e ao envelhecimento dos sistemas fisiológicos. Essa análise pode ser explicada pela curva sigmoideal de crescimento das plantas apresentada no referencial deste trabalho por Magalhães, (1985 *apud* Peixoto, 2020).

Figura 45 - Dendrograma de cluster dos dias de medição do experimento



Fonte: Autor, (2024).

A matriz de correlação, apresentada na Tabela 6, apresenta a correlação entre as variáveis. As cores mais voltadas para tons de laranja e vermelho apresentam uma correlação alta e positiva. Pela análise da matriz pode-se observar que:

- Pó de rocha *in natura* 200 g (IN200) apresenta correlações maiores que 98% com pó de rocha térmico 200 g (T200) e 100 g (T100) e pó de rocha térmico/químico 200 g (TQ200);
- Pó de rocha *in natura* 100 g (IN100) apresenta correlações maior que 98% com pó de rocha *in natura* 50 g (IN50);
- Pó de rocha *in natura* 50 g (IN50) apresenta correlações maior que 98% com pó de rocha *in natura* 100 g (IN100);
- Pó de rocha térmico 200 g (T200) apresenta correlações maiores que 98% com *in natura* 200 g (IN200), térmico 100 g (T100) e 50g (T50) e térmico/químico 200 g (TQ200) e 100 g (TQ100);
- Pó de rocha térmico 100 g (T100) apresenta correlações maiores que 98% com *in natura* 200 g (IN200), térmico 200 g (T200), térmico/químico 200g (TQ200), e térmico/químico 100 g (TQ100);
- Pó de rocha térmico 50 g (T50) apresenta correlações maiores que 98% com térmico 200 g (T200), térmico/químico 200g (TQ200), 100 g (TQ100) e 50 g (TQ50);
- Pó de rocha térmico/químico 200 g (TQ200) apresenta correlações maiores que 98% com *in natura* 200 g (IN200), térmico 200 g (T200), térmico 100 g (T100), térmico 50 g (T50) e térmico/químico 50g (TQ50);
- Pó de rocha térmico/químico 100 g (TQ100) apresenta correlações maiores que 98% com térmico 200 g (T200), térmico 100 g (T100) e térmico 50 g (T50), térmico/químico 200 g (TQ200) e térmico/químico 50 g (TQ50);
- Pó de rocha térmico/químico 50 g (TQ50) apresenta correlações maiores que 98% com térmico 50 g (T50) e térmico/químico 100 g (TQ100);
- Solo (Solo) não apresenta correlação maior que 98% com nenhuma das outras variáveis resposta.

Tabela 6 - Matriz de correlação entre as variáveis respostas

	IN200	IN100	IN50	T200	T100	T50	TQ200	TQ100	TQ50	Solo
IN200	1,000	0,872	0,818	0,989	0,985	0,969	0,982	0,971	0,937	0,660
IN100	0,872	1,000	0,980	0,900	0,931	0,920	0,907	0,939	0,955	0,894
IN50	0,818	0,980	1,000	0,851	0,893	0,849	0,858	0,892	0,893	0,958
T200	0,989	0,900	0,851	1,000	0,989	0,981	0,995	0,988	0,957	0,703
T100	0,985	0,931	0,893	0,989	1,000	0,973	0,990	0,987	0,957	0,767
T50	0,969	0,920	0,849	0,981	0,973	1,000	0,982	0,989	0,988	0,691
TQ200	0,982	0,907	0,858	0,995	0,990	0,982	1,000	0,993	0,961	0,716
TQ100	0,971	0,939	0,892	0,988	0,987	0,989	0,993	1,000	0,984	0,756
TQ50	0,937	0,955	0,893	0,957	0,957	0,988	0,961	0,984	1,000	0,749
Solo	0,660	0,894	0,958	0,703	0,767	0,691	0,716	0,756	0,749	1,000

Fonte: Autor, (2024).

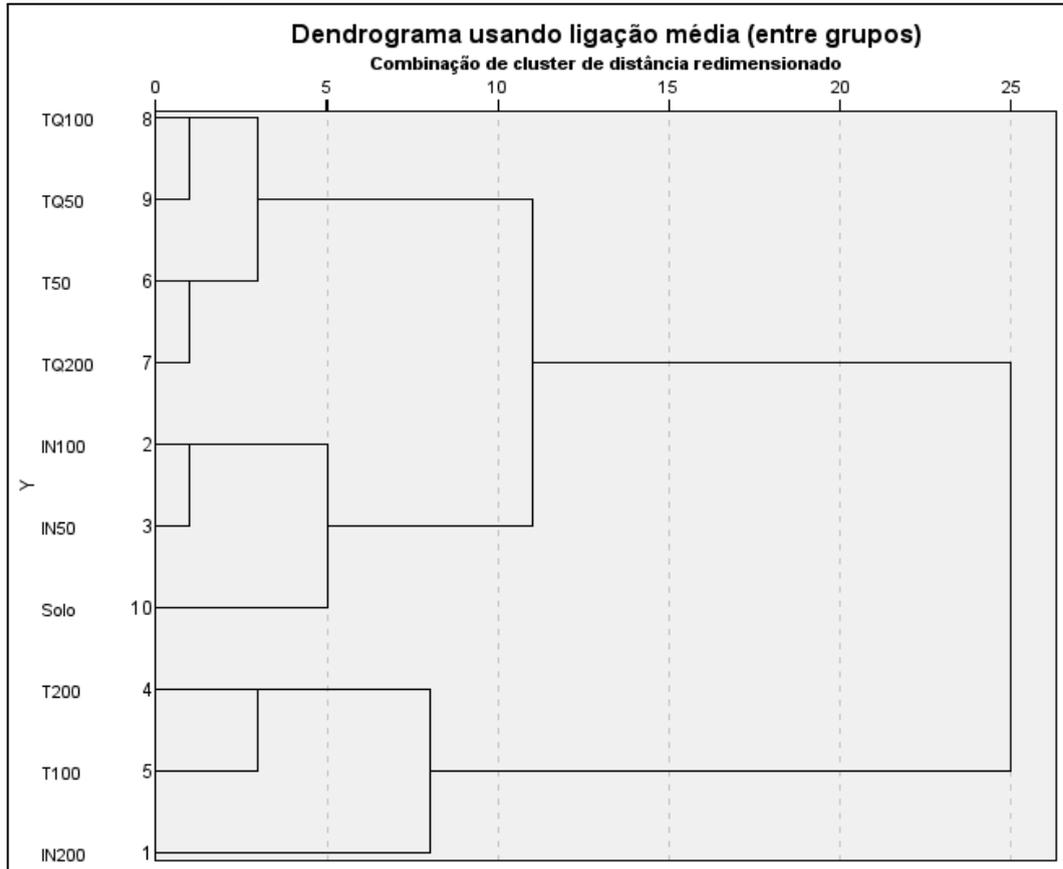
Na Figura 46 pode-se observar o dendrograma de cluster com base nas variáveis respostas. Pode-se observar que algumas variáveis respostas se agrupam formando 6 agrupamentos (clusters) mais correlacionados.

- O 1º cluster é composto apenas pela variável resposta pó de rocha *in natura* 200 g (IN200);
- 2º cluster é composto pelas variáveis resposta pó de rocha térmico 100 g (T100) e 200g (T200);
- O 3º cluster é composto apenas pela variável resposta solo (SOLO);
- O 4º cluster é composto pelas variáveis resposta pó de rocha *in natura* 100 g (IN100) e *in natura* 50 g (IN50);
- O 5º cluster é composto pelas variáveis resposta pó de rocha térmico/químico 200 g (TQ200) e térmico 50 g (T50);
- O 6º cluster é composto pelas variáveis resposta pó de rocha térmico/químico 50 g (TQ50) e 100 g (TQ100).

Percebe-se que os clusters 1 e 2 tiveram impactos maiores para o crescimento final da planta e para a sua taxa de crescimento. Os clusters 5 e 6 tiveram resultados medianos. Já os clusters 3 e 4 tiveram os piores resultados. O cluster 3, solo, apresentou o pior resultado, o

que demonstra que o desuso de pó de rocha possui pior resultados de crescimento final e taxa de crescimento para a planta do que quando comparado com a aplicação de pó de rocha com os seus variados tratamentos.

Figura 46 - Dendrograma de cluster de variáveis respostas



Fonte: Autor, (2024).

#### 4.2.3.3 Análise da Componente principal

A Figura 47 apresenta o gráfico da componente principal pelo método de rotação de Varimax e normalização de Kaiser com análise de cluster e utilizando a matriz de covariância, Anexo A. As duas primeiras componentes acumulam 97,489% da variância total, por este motivo, foram escolhidas apenas estas duas. A componente 1 responde a 90,059% e, a componente 2, por 7,429% dos dados da variância total, Anexo B.

Através do gráfico, pode se observar que a componente 1 é melhor explicada pelo crescimento da planta, sendo que esta componente tem seu maior representante o pó de rocha *in natura* 200 g. Já a componente 2 é melhor explicada pelo inverso da taxa de crescimento ao longo tempo, sendo que esta componente tem o seu maior representante o solo.

Pela análise da componente principal é possível observar que, em geral, quanto maior a dosagem e a utilização de, pelo menos o tratamento térmico no pó de rocha, melhor é a resposta para o crescimento e para a taxa de crescimento da planta.

Porém, nota-se que pó de rocha sem tratamento (*in natura*) na maior dosagem possui a melhor resposta em relação a todos os tratamentos. Ou seja, o tratamento térmico prejudicou o resultado do pó de rocha *in natura* em 200 g, no entanto melhora os resultados do pó de rocha *in natura* para dosagens de 100 e 50 g.

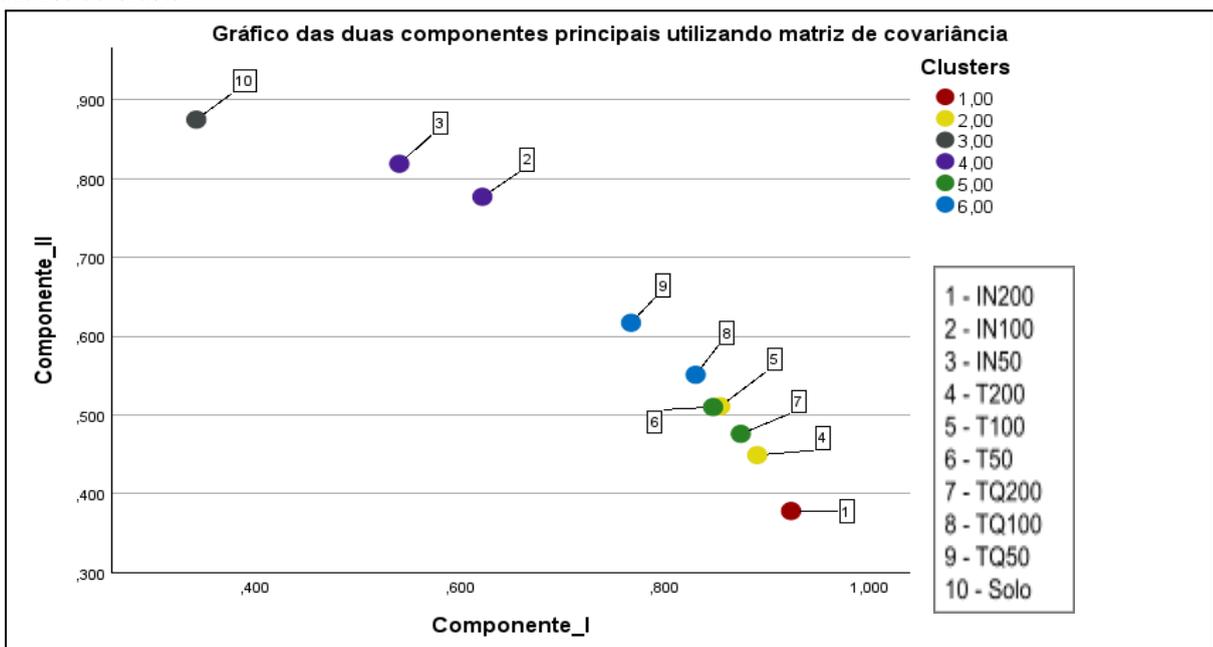
Também é possível observar que o tratamento químico foi prejudicial ao tratamento térmico, pois em comparação, os tratamentos térmicos: T200, T100 e T50 tiveram melhor resposta que os respectivos tratamentos térmicos/químicos: TQ200, TQ100 e T50.

Ainda assim, os tratamentos térmico/químico foram melhores do que apenas o pó de rocha 100 e 50 g e o solo.

Comparando o ponto da variável resposta solo com as demais variáveis resposta, é possível notar que ter a aplicação de pó de rocha é essencial para uma melhor resposta de crescimento e maior taxa de crescimento.

Com 50 g (25% da massa de 200g) de pó de rocha térmico obtém-se 73,3% do resultado de crescimento final de 200 g de pó de rocha *in natura*, que foi o melhor resultado dos experimentos. Mostrando o benefício da utilização do pó de rocha térmico em pequenas dosagens em relação às altas dosagens de pó de rocha *in natura*.

Figura 47 - Gráfico da componente principal pelo método de rotação Varimax com normalização de Kaiser com análise de Cluster



Fonte: Autor, (2024).

#### 4.2.4 Tratamentos não eficazes nas dosagens utilizadas

Os experimentos tratados com NPK (50, 25 e 5g) e sulfato de amônia (50, 25 e 5g) não apresentaram respostas ao desenvolvimento da planta (Figura 48). A causa pode ter sido uma dosagem excessiva desses tratamentos, atingindo a zona tóxica, Figura 5, em uma baixa quantidade de solo, o que pode ter tido um efeito tóxico. Esta observação mostra que os fertilizantes químicos podem ter um efeito muito negativo fora da dosagem adequada, podendo inibir o crescimento da muda. Este efeito é favorável ao pó de rocha, pois este não mostrou toxicidade, mesmo em altas dosagens e com tratamentos térmico ou térmico/químico. Além disso, o pó de rocha é um produto local que pode apresentar preço mais acessível e resposta imediata, como mostrou o experimento.

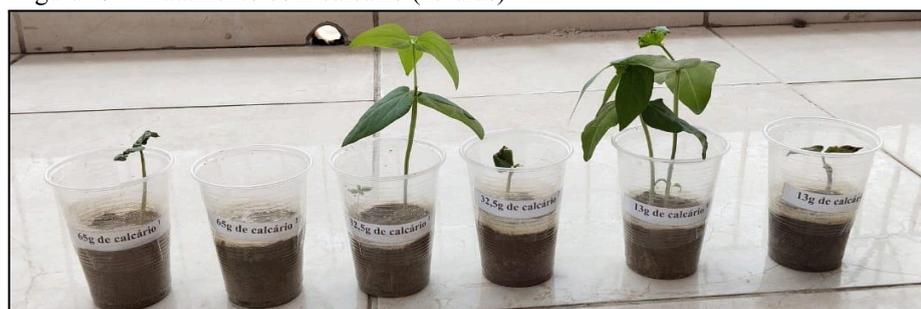
Figura 48 - Resultado do sulfato de amônia e NPK ao final do experimento



Fonte: Autor, (2024).

O tratamento com calcário agrícola apresentou discrepância nos dados. O crescimento entre o experimento tal qual e a duplicata foi desigual em ambas as dosagens, causando uma não confiança dos dados. A Figura 49 apresenta as mudas tratadas com calcário agrícola nos 15 primeiros dias de experimento. Algumas mudas não se desenvolveram e outras não resistiram, por esse motivo os dados de calcário não foram utilizados.

Figura 49 - Tratamento com calcário (15 dias)



Fonte: Autor, (2024).

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados das análises de caracterização dos materiais permitiram constatar as seguintes conclusões:

- (i) A rocha utilizada é um diorito;
- (ii) A distribuição granulométrica do material aplicado estava adequada para produção de resposta imediata e significativa.

Os resultados das análises do desenvolvimento das plantas no experimento permitiram constatar as seguintes conclusões:

- (i) O solo puro apresentou as piores respostas de crescimento final e de taxa de crescimento das plantas;
- (ii) A utilização de pó de rocha, com ou sem tratamento, no solo agrícola se mostrou vantajosa já na primeira aplicação para o crescimento final da planta e para sua taxa de crescimento ao longo do experimento;
- (iii) Os adubos químicos NPK e sulfato de amônia, nas dosagens do experimento, tiveram efeito negativo, não permitindo a germinação da semente. O calcário gerou resultados imprecisos que não puderam ser analisados;
- (iv) A dosagem do pó de rocha, com ou sem tratamento, em geral, foi o principal fator para a resposta positiva do crescimento final da planta. Já para a taxa de crescimento, com exceção da maior de pó de rocha *in natura*, o principal fator foi ter tido tratamento;
- (v) O pó de rocha *in natura* possui efeito positivo no crescimento da planta em relação ao solo puro, em qualquer dosagem. Porém, na dosagem de 200 g, teve-se a melhor resposta de todos os experimentos, enquanto que, nas dosagens de 100 e 50 g, teve-se as piores respostas quando comparado aos demais pós de rochas tratados. Isso mostra a necessidade de grandes quantidades de pó de rocha *in natura* para que se tenha um efeito satisfatório;
- (vi) Os tratamentos térmicos e químicos foram prejudiciais na dosagem de 200 g, observando melhor resposta do experimento de 200 g sem estes tratamentos, pó de rocha *in natura*;
- (vii) O tratamento térmico se mostrou mais vantajoso do que o pó de rocha *in natura* em menores dosagens, 50 e 100 g, sendo que tratamento térmico de 50 g apresentou resultado final levemente melhor que o tratamento térmico de 100 g;

(viii) Em maior dosagem (200 g), é melhor a utilização de pó de rocha *in natura* e, para menor dosagem (50 g), é melhor a utilização de pó de rocha tratado termicamente;

(ix) O tratamento químico foi prejudicial ao tratamento térmico, nas condições dos experimentos, pois, este causou a diminuição tanto do tamanho final da planta quanto da sua taxa de crescimento. Assim, é mais vantajoso apenas realizar o tratamento térmico do pó de rocha. Porém, na dosagem de 200 g, o tratamento térmico foi prejudicial ao pó de rocha *in natura*;

(x) O trabalho demonstrou que para maiores dosagens é melhor a aplicação de pó de rocha *in natura*, já para pequenas dosagens, é melhor a aplicação de pó de rocha tratado apenas termicamente.

## REFERÊNCIAS

- ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Pesquisa setorial de fertilizantes. **ANDA**, 2021. Disponível em: [https://anda.org.br/pesquisa\\_setorial/](https://anda.org.br/pesquisa_setorial/). Acesso em: 07 abr. 2023.
- ARAUJO, Gustavo Henrique de Sousa; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. GUERRA, Antonio José Teixeira. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.**
- ARNON, D. I; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant physiology**, v. 14, n. 2, p. 371, 1939.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502/95**. Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181/16 Solo: Análise granulométrica. **Rio de Janeiro, 2016.**
- BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F. d.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B. d.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 40, p. 1075–1082, 2010.
- BEZERRA, Marcelo Soares. O potencial dos agrominerais alternativos na região Nordeste do Brasil. 2010.
- BOARETTO, A. E. A evolução da população mundial, da oferta de alimentos e das ciências agrárias. **Revista Ceres**, Universidade Federal de Viçosa, v. 56, n. 4, p. 513–526, 2009.
- BRADY, N. C; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2009.
- BRASIL. Serviço Geológico do Brasil. Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Ceará. CPRM, 2020.
- BRASIL. **Vendas externas do agronegócio somam US\$ 96,8 bilhões em 2019**. Disponível em: [https://www.gov.br/siscomex/pt-br/informacoes/demais-noticias-de-comercio-exterior/agricultura/vendas-externas-do-agronegocio-somam-us-968-bilhoes-em-2019#:~:text=Vendas%20externas%20do%20agroneg%C3%B3cio%20somam%20US%24%2096%2C8%20bilh%C3%B5es%20em%202019,-Compartilhe%3A&text=As%20vendas%20externas%20do%20agroneg%C3%B3cio,Pecu%C3%A1ria%20e%20Abastecimento%20\(Mapa\)](https://www.gov.br/siscomex/pt-br/informacoes/demais-noticias-de-comercio-exterior/agricultura/vendas-externas-do-agronegocio-somam-us-968-bilhoes-em-2019#:~:text=Vendas%20externas%20do%20agroneg%C3%B3cio%20somam%20US%24%2096%2C8%20bilh%C3%B5es%20em%202019,-Compartilhe%3A&text=As%20vendas%20externas%20do%20agroneg%C3%B3cio,Pecu%C3%A1ria%20e%20Abastecimento%20(Mapa).). Acesso em: 04 jul. 2023.

- CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; ATHAYDE SOBRINHO, C. (Ed.). *Feijão-Caupi: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- CASTANHO, R. B.; TEIXEIRA, M. E. S. A evolução da agricultura no mundo: da gênese até os dias atuais. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba**, v. 8, n. 1, p. 136–146, 2017.
- CERETTA, C. A.; AITA, C. **Manejo e conservação do solo**. Brasil, 2010.
- CHAVES, A. P. **Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes**. In: . [S.l.]: CETEM/MCT, 2010.
- COSTA, Felipe Grandjean da. *Geologia e Recursos Minerais da Folha Crateús - SB.24-VC-III: estado do Ceará e Piauí. Escala 1:100.000*. Fortaleza: CPRM, 2017.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. *Determinação da Densidade Real – Solos*. p. 01/04. DNER-ME 093, 1994.
- DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. d. Cerrado, revolução verde e evolução do consumo de agrotóxicos. **Sociedade & Natureza, SciELO Brasil**, v. 29, p. 473–488, 2017.
- EMBRAPA. **Fenologia do feijão**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pre-producao/fenologia>. Acesso em: 14 jun. 2024.
- EMBRAPA. **O que é e como se forma o solo**. Brasília, 2024. Disponível em: [https://www.embrapa.br/en/contando-ciencia/solos/-/asset\\_publisher/1ZCT5VQ5Hj1S/content/o-que-e-e-como-se-forma-o-solo-/1355746?inheritRedirect=false](https://www.embrapa.br/en/contando-ciencia/solos/-/asset_publisher/1ZCT5VQ5Hj1S/content/o-que-e-e-como-se-forma-o-solo-/1355746?inheritRedirect=false). Acesso em: 16 mai 2024.
- EMBRAPA. **VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030**. Booklets, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217274/1/VII-PDE-2020.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- FAQUIN, Valdemar. *Nutrição mineral de plantas*. **Lavras: UFLA/Faepe**, v. 183, 2005.
- FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B. d.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. CETEM/MCT, 2010.
- GARCIA JÚNIOR, O. **Isolation and characterization of *Thiobacillus thiooxidans* and *Thiobacillus ferrooxidans* from mineral mines**. *Rev. Bras. Microbiol.* 20, p. 1-6. 1991.
- GROTZINGER, John; JORDAN, Tom. **Para Entender a Terra-6**. Bookman Editora, 2013.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, p. 11-36, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/habitacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9673>. Acesso em: 07 jun. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PIB por municípios em 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=pib-por-municipio>. Acesso em: 07 jun. 2023.

KINPARA, D. A importância estratégica do potássio para o Brasil. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2003. 2003.

KLEIN, Cornelis; DUTROW, Barbara. **Manual de ciência dos minerais**. Bookman Editora, 2009.

LACERDA, C. F. d.; ENÉAS FILHO, J.; PINHEIRO, C. B. Fisiologia Vegetal. **Nutrição Mineral de Plantas**. Fortaleza, 2007.

LIMA, Ana Paula Barbosa. Gênese de solos em topossequências no sudoeste de Mato Grosso-Brasil. 2020.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. Formação do solo. LIMA, V. C *et al.* **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. 1ed. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, p. 1-10, 2007.

LOPES, Alfredo Scheid. Manual internacional de fertilidade do solo. **Piracicaba: Potafos**, p. 79-85, 1998.

LUZ, A. B. *et al.* Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap.4, p.61-88.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa nº5, de 10 de março de 2016. Ministério da Agricultura e Pecuária. Dispõe das definições, classificação, exigências, especificações, garantias e registro, das tolerâncias, do registro, da embalagem, rotulagem e propagando de produtos, das disposições finais. 5 de março de 2016.

MARTINS, É. S. OLIVEIRA, C. G. RESENDE, Á. V. MATOS, M. S. F. AGROMINERAIS: Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: LUZ, A. B. d. *et al.*, (ed.). **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: 2008. cap. 9, p. 205 - 221.

MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. **Planaltina, DF: Embrapa Cerrados**, 2010.

MELO, E. B; BARROS, L. N; SOUZA, L. K. R; MELO, L. O; GONÇALVES, R. M. O; BORGES, D. C. S. A IMPORTÂNCIA DA AGRICULTURA PARA A SOCIEDADE: breve revisão de literatura. **Scientia Generalis**, v. 2, n. Supl. 1, p. 144-144, 2021.

NUNES, S. P. O desenvolvimento da agricultura brasileira e mundial e a ideia de desenvolvimento rural. **Boletim eletrônico, DESER–Departamento de Estudos Socioeconômicos Rurais**, p.1–15, 2007.

OLIVEIRA, I. de; FONTES, J.; DIAS, M.; BARRETO, J. Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no estado do Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2019.

PÁDUA, Eduane José de. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. Lavras, 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras. 2012.

PAULETTI, V. ABSORÇÃO RADICULAR, TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES. Docs UFPR, 2012. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~nutricaoeplantas/absor12.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2023.

PEIXOTO, Clovis Pereira *et al.* Princípios de Fisiologia Vegetal: teoria e prática. **Rio de Janeiro: PoD**, 2020.

RESENDE, Mauro *et al.* Pedologia: base para distinção de ambientes. rev. **Lavras: Editora UFLA**, v. 322, 2007.

RIBEIRO, V. Q. Cultivo do feijão-caupi (*vigna unguiculata* (L.) walp). Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, 2002., 2002.

RINALDI, L. C. B.; MACHADO, R. V ; CAZOTTI, M. M. ; ANDRADE, F. V.. Liberação de Potássio em Resíduos de Rochas Ornamentais por Ácidos Orgânicos. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013. Ciência do Solo: Para que e para quem? Programa & Resumos, 2013. v. v. 3..

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas, SP: **Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2010., 2010.

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações agrônômicas**, v. 68, n. 1, p. 1–16, 1994.

SAE. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Produção Nacional de fertilizantes: estudo estratégico**. Brasília: SAE, 2020. 26 p. Disponível em: [https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae\\_publicacao\\_fertilizantes\\_v10.pdf](https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf) . Acesso em: 09 abr. 2023.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, Maria do Socorro B.; SAMPAIO, Yony SB. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005.

SANTOS, H. G. d; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. d; OLIVEIRA, V. A. d.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.d.; ARAUJO FILHO, J. C. d.; OLIVEIRA, J. B. d.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5. ed. rev. e aum. Brasília: DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHUMANN, W. Guia dos Minerais. Disal Editora. Barueri, São Paulo, 2008.

SILVA, A. A. S. *et al.* Verdete de Cedro do Abaeté como fonte de potássio: caracterização, tratamento térmico e reação com CaO. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 17, p. 1061-1073, 2012.

SILVA, Fábio Cesar *et al.* **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009., 2009.

SILVA, Victor Júlio Almeida *et al.* Avaliação dos caracteres agrônômicos da soja tratada com doses crescentes de pó de rocha. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**. 2019.

SILVEIRA, R. T. G. **Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados**. 2016. viii, 98 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SOUZA, F. N. d. S.; ALVES, J. M.; D'AGOSTINI, L. R.; PINHEIRO, O. N.; NAOE, L. K.; ALMEIDA, V. R. Potencial de rejeito mineral na produção de grãos. In: **Anais I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Brasília: [s.n.], 2010. p. 297-302.

STRAATEN, P. V. Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional. In: **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap.13, p.235-264.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*, Hardcover: 690 pages. **Publisher: Sinauer Associates**, v. 3, 2002.

TEIXEIRA, W. TOLEDO, M. C. M. FAIRCHILD, T. R. TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. 2º ed. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009.

**THEODORO, S. H.** Cartilha da rochagem. Brasília: Gráfica e Editora Ideal, 2020 (Cartilha).

THEODORO, S. H.; ALMEIDA, E. **Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil**. 2013.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ALMEIDA, E. d. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: **Anais I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Brasília: [s.n.], 2010. p. 173–181.

THEODORO, S. M. d. C. H.; LEONARDOS, O. H.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. **Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes**. Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia, 2006.

WORLD BANK. Fertilizer prices expected to remain higher for longer. 2022. Disponível em: <https://blogs.worldbank.org/en/opendata/fertilizer-prices-expected-remain-higher-longer>. Acesso em: 16 mai 2024.

XAVIER, F. A. D. S. Solo – Definição e importância. BORGES, Ana Lúcia *et al.* **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. 2021.

## APÊNDICE A - DADOS DE PESO E ALTURA COLETADOS NOS EXPERIMENTOS

PÓ DE ROCHA IN NATURA	PESO (g)					
	200 (1)	200 (2)	100 (1)	100 (2)	50 (1)	50 (2)
19/01/2024	366,8	368	266,1	260	215,9	208,3
21/01/2024	365,7	368,3	248,8	247,5	204,6	204,6
24/01/2024	350	358	246	248,1	195,1	194,2
27/01/2024	355,6	359	252,1	254,8	198,2	198
30/01/2024	350,7	351,6	244,2	245,4	193	193
02/02/2024	350	355,9	247	248	194,4	194,5
05/02/2024	354,4	360	250	251,5	197,9	197
08/02/2024	357,9	358,9	249	252,1	197,2	203,3
11/02/2024	395	390	276,8	278,1	218,3	219,2
14/02/2024	392,3	387	273,1	273,1	220	216
17/02/2024	383,2	379	262,1	264,4	210	210
20/02/2024	403,1	397,6	278,1	287,4	222,3	223,9
23/02/2024	411,8	405	287,7	290	229,3	231,1
26/02/2024	350	360,6	256,8	250	206,1	205,2
29/02/2024	363	359,4	259,2	260,7	207,3	207,1
03/03/2024	402,4	391,9	281,8	283,9	223,7	220
06/03/2024	368,8	364,4	264,5	269,2	213,6	213,1
09/03/2024	415,4	408,7	293,5	292,5	235,4	234,8
12/03/2024	378,8	387,1	274,7	276,7	220	222,1
15/03/2024	383,7	401,7	280,9	281,4	223	221,4
18/03/2024	395,7	385,3	287,2	280,9	251,5	234,6
21/03/2024	401,8	424,7	337,6	311,7	297,6	228,5
24/03/2024	395,2	421,3	335,4	304	298	210
27/03/2024	390,6	411,2	315,5	275	254,2	220
30/03/2024	401,2	405,6	310,2	286	254,6	228,2
02/04/2024	403,4	414,6	329	277,3	256,1	231,2
05/04/2024	402,3	415,2	316	278,2	245,6	235,4
08/04/2024	405,2	409,6	315,2	298,3	259,3	249,8
11/04/2024	406,3	404,3	314,2	291,4	267,2	259,3
14/04/2024	401,4	398,6	316,1	307,8	271,4	266,7
17/04/2024	400	397	322	294,9	273	280,9

PÓ DE ROCHA TÉRMICO	PESO (g)					
	200 (1)	200 (2)	100 (1)	100 (2)	50 (1)	50 (2)
19/01/2024	368,8	350	266,2	268,2	218	214,1
21/01/2024	380,8	356,8	265,1	263,8	207,1	206,9
24/01/2024	357,2	340	247,6	250	195,8	196,4
27/01/2024	358	340	256,5	257,1	209	200
30/01/2024	355,1	332,4	245,1	245,3	196,8	195,4
02/02/2024	352,2	335,2	249,3	250	196,2	195,8
05/02/2024	356,1	336	251	254,2	197,3	196
08/02/2024	360,7	340	252,7	252,8	198,9	198,2
11/02/2024	391,7	366,6	277,9	278,2	219,2	229,2
14/02/2024	390	354,9	278	270	221,4	220
17/02/2024	390,9	350	273,8	264	207,1	212,5
20/02/2024	415	398,4	311,6	286,9	248,9	225,6
23/02/2024	429,4	413,8	305,1	293,9	280	229,1
26/02/2024	363,6	354,4	262,1	258,7	211,1	206,6
29/02/2024	362,6	350	262,4	260	215,3	205,3
03/03/2024	379,3	397,7	294,4	280,6	251,3	217,4
06/03/2024	365,3	355,5	296,4	263,8	227,8	212,9
09/03/2024	394,3	386,2	300,8	292,6	247,5	234,9
12/03/2024	375,5	360,9	296,1	284,8	266	220,7
15/03/2024	391,9	366,3	291,7	285,6	234,5	222,8
18/03/2024	408,7	376,7	290	302,1	245,2	250,8
21/03/2024	411,4	400	319,8	340,8	276,8	275,5
24/03/2024	420,2	406,2	315,6	305,6	278,6	270,3
27/03/2024	430	390	304,8	292,7	252,5	258,9
30/03/2024	433,3	370,2	302,5	315,2	245,6	255,3
02/04/2024	420,6	378,3	295,3	288,4	241,6	238
05/04/2024	419,6	379,6	298,3	296,3	246,9	239,6
08/04/2024	415,6	378,2	300,4	300,6	254	245
11/04/2024	409,3	374,2	301,2	308,2	259	250,6
14/04/2024	403,1	387,1	304,8	305,7	263	290
17/04/2024	391,1	379	315,2	304,1	266,2	260

PESO (g)						
PÓ DE ROCHA TÉRMICO E QUÍMICO	200 (1)	200 (2)	100 (1)	100 (2)	50 (1)	50 (2)
19/01/2024	370,8	375,5	273,5	274,8	217,2	215,7
21/01/2024	397	398,8	273,3	277,4	210	213,2
24/01/2024	390	385,4	270	250	200	204,7
27/01/2024	393,1	373,6	264,9	255,1	200	213,8
30/01/2024	377	355,5	248	246,2	193,2	204,4
02/02/2024	388	351,7	248,8	256	195	209
05/02/2024	383,2	360	250	258,3	195,6	203
08/02/2024	380	374,5	252,9	258,7	192	191,1
11/02/2024	406,1	398,9	280	285,5	231,9	222,9
14/02/2024	405,4	396,8	278,3	278	220,9	215,8
17/02/2024	404,2	384,9	274,1	278,8	206,8	209
20/02/2024	413,9	412,2	330,8	300	220,8	220
23/02/2024	411,9	417	298,8	308,3	223,2	222,5
26/02/2024	408,8	363,2	294,8	261,6	205,4	196,2
29/02/2024	403,9	364,5	277,6	265	207,6	194,9
03/03/2024	408,2	394,6	290	306,2	221	212,4
06/03/2024	371,8	370,5	277,3	270,8	213,4	212,2
09/03/2024	382,5	404,9	288,8	304,8	239,1	232
12/03/2024	348	390	275,6	290	221,9	213,9
15/03/2024	405,5	429	304,1	312,2	242,5	230
18/03/2024	*	392,9	276,6	299,3	240	221,6
21/03/2024	*	424,8	287	302,2	245,2	219
24/03/2024	*	400,1	281	300,9	214,6	219,6
27/03/2024	*	419,3	278,7	287,5	264,8	218,8
30/03/2024	*	406,2	275	289,2	265,9	220,3
02/04/2024	*	406,3	292,8	271,8	243,4	222,2
05/04/2024	*	408,2	296,2	274,9	252,3	256,3
08/04/2024	*	402,3	287,3	287,5	268,9	245,6
11/04/2024	*	400,9	299,8	296,2	296,3	278,3
14/04/2024	*	399	311	351,3	302,9	299,3
17/04/2024	*	387,6	276,6	311,9	263,3	256,6

PESO (g)						
NPK	50 (1)	50 (2)	25 (1)	25 (2)	5 (1)	5 (2)
19/01/2024	208,5	215	182,6	183,5	162,6	164,1
21/01/2024	195,1	193,5	174,6	175	162,2	155,4
24/01/2024	186,3	183,2	169,1	170	151	151
27/01/2024	191	185,7	171,4	175,9	156,8	160
30/01/2024	182,4	180	167,5	167,4	146,9	147,4
02/02/2024	182,2	180	166	167,8	151,5	154,8
05/02/2024	175,3	176,5	163,5	168,5	150	152,2
08/02/2024	160,8	166,2	151,9	166,4	151,4	150
11/02/2024	183,9	185,2	175,8	176,3	157,4	158,2
14/02/2024	187,3	185,2	171,9	174	164,4	162,5
17/02/2024	185,5	181,2	169	170,7	163	161,5
20/02/2024	184,3	179,1	169,4	170,7	162,4	161,8
23/02/2024	185,2	181,3	170	172,7	164	162,2
26/02/2024	151,3	153,7	146	147,9	140	140
29/02/2024	149,1	150,6	143,3	145,1	137,2	136,9
03/03/2024	148,2	151,6	147,1	144,2	135,8	139,2
06/03/2024	151,3	153,7	147	147,9	140	139,2
09/03/2024	160,8	166,2	151,9	166,4	151,4	150
12/03/2024	150,3	155,5	148	149	138,2	130
15/03/2024	162,8	154,3	140	155,2	155,3	145,3
18/03/2024	150,2	159,2	149	160,2	160,3	152,6
21/03/2024	165,3	156,2	150,1	158,9	153,2	150
24/03/2024	*	*	*	*	*	*
27/03/2024	*	*	*	*	*	*
30/03/2024	*	*	*	*	*	*
02/04/2024	*	*	*	*	*	*
05/04/2024	*	*	*	*	*	*
08/04/2024	*	*	*	*	*	*
11/04/2024	*	*	*	*	*	*
14/04/2024	*	*	*	*	*	*
17/04/2024	*	*	*	*	*	*

PESO (g)						
SULFATO DE AMÔNIA	50 (1)	50 (2)	25 (1)	25 (2)	5 (1)	5 (2)
19/01/2024	195,6	197,3	174,3	170	156,9	164
21/01/2024	177,3	175,6	158,9	158,3	150,8	155,6
24/01/2024	161,5	161,5	149,3	150	144,2	148,5
27/01/2024	163,1	163,5	151,6	157	150,6	158,6
30/01/2024	153,7	156,3	144,2	145,1	140	145,1
02/02/2024	154,5	152,2	143,9	147,1	143,5	147,2
05/02/2024	158,1	150	143,5	146,5	146,1	146,7
08/02/2024	145,7	151,2	138,1	133,7	132,7	132,4
11/02/2024	162,6	160	155,9	156,9	157,9	155,1
14/02/2024	157,9	158,8	153,3	157	158,1	158,2
17/02/2024	159,4	157	154,6	160	154,4	158,1
20/02/2024	159,4	157,1	151,3	155,7	154	157,2
23/02/2024	160	157,4	153,7	154,6	151,6	155,4
26/02/2024	138	137,6	132,1	137,7	136,9	137,9
29/02/2024	135,1	135,5	130,6	135,2	135	135,7
03/03/2024	136	137,1	131,3	136	135	135,9
06/03/2024	136,2	137,5	130	135,2	134,5	135,8
09/03/2024	136,1	137,8	128,3	130	134,1	135,1
12/03/2024	135,2	135,5	131,4	135,2	135,3	135,9
15/03/2024	135,2	137,1	132,8	134,2	134,5	138,3
18/03/2024	132,1	135,2	130,2	133,1	133,2	137,2
21/03/2024	142,1	142,1	136,2	143,4	143,2	142,3
24/03/2024	*	*	*	*	*	*
27/03/2024	*	*	*	*	*	*
30/03/2024	*	*	*	*	*	*
02/04/2024	*	*	*	*	*	*
05/04/2024	*	*	*	*	*	*
08/04/2024	*	*	*	*	*	*
11/04/2024	*	*	*	*	*	*
14/04/2024	*	*	*	*	*	*
17/04/2024	*	*	*	*	*	*

PESO (g)						
CALCÁRIO	65 (1)	65 (2)	32,5 (1)	32,5 (2)	13 (1)	13 (2)
19/01/2024	223,5	225,7	186,7	186,3	165	163,1
21/01/2024	217,1	217,5	180,6	185,4	165,3	167,5
24/01/2024	220	219,4	177,9	186,9	156,8	162,1
27/01/2024	224,4	228	181,5	190	158,8	166,6
30/01/2024	216,6	216,9	175,7	181,5	156,9	160
02/02/2024	215,5	220	178,5	183,6	157	160
05/02/2024	218,3	222,4	177	182,4	158,4	160
08/02/2024	212,3	224,1	177,9	181,7	159	158
11/02/2024	227,1	229	193,2	194,9	180,9	172,6
14/02/2024	232,7	234,9	195	195,8	178,2	171,2
17/02/2024	225,5	231,4	205,5	191,9	179,2	171,1
20/02/2024	237,7	236,5	275,7	196	185,5	174,4
23/02/2024	239,2	237,4	251,2	197,6	190,6	176,7
26/02/2024	227,3	232,4	220,6	192,5	171,1	166,3
29/02/2024	222,2	232,7	189	193,3	174,3	165
03/03/2024	225,6	235,5	230	196,4	178,6	171,1
06/03/2024	213,4	228	230,3	190,9	175,3	162,5
09/03/2024	239	238,1	235,6	195,8	195,2	172,8
12/03/2024	223,8	218,4	250,6	194,4	214,9	171
15/03/2024	240	228,2	264,5	199	213,8	177,4
18/03/2024	267,2	223,4	247,7	193,2	212,7	172,5
21/03/2024	278,7	238,5	267,2	190,4	222,9	173,4
24/03/2024	279,3	229,4	253,3	190,3	214,5	174,6
27/03/2024	236,4	****	220,3	****	191,1	165,8
30/03/2024	278	****	265,3	****	203,5	178,9
02/04/2024	240	****	237,4	****	238,2	164,1
05/04/2024	280,5	****	245,6	****	222,3	178,2
08/04/2024	279,3	****	265,2	****	214,6	198,6
11/04/2024	175,2	****	257,2	****	236,9	206,1
14/04/2024	274,4	****	258,7	****	248,4	231,9
17/04/2024	238,3	****	225,1	****	207,9	178

PESO (g)			
SOLO	130 (1)	130 (2)	130 (3)
19/01/2024	157,9	160	155,2
21/01/2024	146,7	147,3	147,2
24/01/2024	141,6	142,1	141,9
27/01/2024	143,1	143,7	143,9
30/01/2024	138,2	142,4	143
02/02/2024	140	141,8	143
05/02/2024	141,4	142,9	143
08/02/2024	143	144,2	144,2
11/02/2024	153,7	155,5	156,9
14/02/2024	153,6	157	160
17/02/2024	146,1	150,8	151,5
20/02/2024	158,3	167,9	163,2
23/02/2024	163,7	167,3	168,1
26/02/2024	146,7	148,1	148,3
29/02/2024	149,3	143,8	144,6
03/03/2024	160,2	161,7	160,8
06/03/2024	150,2	152	150,5
09/03/2024	165,1	166,2	168,1
12/03/2024	152,7	157,7	160
15/03/2024	159	158,6	160
18/03/2024	164,9	164,2	166,5
21/03/2024	198,8	165,2	152,1
24/03/2024	197,2	164,2	150
27/03/2024	196,9	162,5	162
30/03/2024	199,5	162,9	170
02/04/2024	200	163,9	182,3
05/04/2024	203	169,2	189,2
08/04/2024	210,5	170,3	192,4
11/04/2024	215,3	172,6	197,7
14/04/2024	216,4	174,3	205,1
17/04/2024	218,7	167,5	176,4

ALTURA (cm)												
PÓ DE ROCHA IN NATURA	200 (1) S1	200 (1) S2	200 (2) S1	200 (2) S2	100 (1) S1	100 (1) S2	100 (2) S1	100 (2) S2	50 (1) S1	50 (1) S2	50 (2) S1	50 (2) S2
21/01/2024	7	5,5	6,5	5	5,5	5,5	7,5	6	6	6	6	3,5
24/01/2024	10	10	11,5	9,5	11,5	10,5	12,5	11	11	10,5	11,5	9,5
27/01/2024	14	13	14	12	14,5	14	16,5	15	13,5	13,5	15,5	13,5
30/01/2024	17	17,5	15	19	17	18	19	19,5	16,5	15,5	18	16
02/02/2024	20,5	20	16	21	20	18	21,5	21	18,5	17	19,5	17,5
05/02/2024	21,5	21	17	21,5	20,5	18	22,5	21,5	19,5	18	21	19,5
08/02/2024	22	21,5	17	22	20,5	19	22,5	21,5	19,5	18,5	21	19,5
11/02/2024	22,5	21,5	18	22,5	21,5	20	23,5	23	21	18,5	21,5	21,5
14/02/2024	24,5	24	19,5	24	24	21,5	25	24	23,5	21,5	23	23
17/02/2024	25,5	25,5	21,5	26,5	26	24,5	27	26,5	25	23,5	25,5	24,5
20/02/2024	29,5	28,5	22	27,5	28	27	28	26,5	28	25,5	25,5	24,5
23/02/2024	34	30,5	24	28	31,5	29	30,5	29,5	31	27,5	26	25,5
26/02/2024	35,5	32	24	28	33	30	31	30,5	32	28,5	29,5	27,5
29/02/2024	36	33,5	24,5	28	34,5	31	33	32,5	32,5	30,5	30,5	30,5
03/03/2024	36	35,5	26,5	28	36,5	31	35	32,5	33,5	31,5	32,5	31,5
06/03/2024	36	35,5	34	28	37	31	36	32,5	35,5	31,5	34	32,5
09/03/2024	36,5	36	34	28	37	33,5	36,5	33	35,5	32,5	34,5	32,5
12/03/2024	36,5	36	35	28	37,5	34	36,5	33	36,5	32,5	34,5	33
15/03/2024	36,5	36,5	35	28	38	34,5	37,5	34,5	36,5	33,5	35,5	34
18/03/2024	36,5	37	49	28	38	34,5	37,5	34,5	36,5	33,5	35,5	34
21/03/2024	37	37	60	28,5	38	34,5	37,5	35,5	36,5	33,5	35,5	34,5
24/03/2024	37	37	80	28,5	38	34,5	37,5	38,5	36,5	33,5	35,5	34,5
27/03/2024	41	40	104	29,5	38	35	37,5	41,5	36,5	33,5	35,5	34,5
30/03/2024	54	53	120	32,5	41	35	37,5	50	36,5	33,5	37,5	36
02/04/2024	65,5	65,5	120	32,5	42,5	37	37,5	70	36,5	35	37,5	35,5
05/04/2024	72	72	120	35,5	45,5	37	40	72	36,5	35	38	35,5
08/04/2024	95	93	120	35,5	45,5	38	45	74	36,5	38,5	38	36,5
11/04/2024	106	99	120	37,5	50	38	50,5	60	36,5	41,5	39,5	38,5
14/04/2024	120	109	120	37,5	50	40	55	60	36,5	43	40	39
17/04/2024	123	109	120	37,5	67	45	55	71	36,5	45	42	42

ALTURA (cm)												
PÓ DE ROCHA TÉRMICO	200 (1) S1	200 (1) S2	200 (2) S1	200 (2) S2	100 (1) S1	100 (1) S2	100 (2) S1	100 (2) S2	50 (1) S1	50 (1) S2	50 (2) S1	50 (2) S2
21/01/2024	7,5	5	8	7,5	7,5	6	6,5	5,5	5,5	5	6	6,5
24/01/2024	10,5	10	12,5	11,5	13	11,5	11,5	11,5	10,5	10,5	9,5	10,5
27/01/2024	14	13,5	18,5	13,5	17	15	15,5	15,5	13,5	13	14,5	13,5
30/01/2024	17,5	16,5	20	15	20	19	19	18,5	17	16,5	16,5	15,5
02/02/2024	18,5	18	22,5	17,5	22,5	21	21,5	20	19,5	19	19	17
05/02/2024	19,5	18,5	23,5	19	25	23	22,5	21,5	20,5	20,5	20,5	18,5
08/02/2024	20	19,5	24,5	20	25	24	23	22	20,5	21	20,5	19
11/02/2024	21	19,5	25,5	22	25,5	25	23,5	23	22,5	22	22	20
14/02/2024	21,5	20	26,5	23,5	28,5	26	25,5	24,5	24	23,5	22,5	21
17/02/2024	23	22,5	29,5	26	30,5	26	28	27,5	25	25	24	23
20/02/2024	25	23	35	31,5	32,5	28,5	29,5	29,5	28	26,5	26,5	23,5
23/02/2024	28,5	27,5	39,5	35	36	32	33,5	32,5	30	28,5	29,5	26,5
26/02/2024	29,5	29,5	40,5	35	36,5	34	34	33,5	30	28,5	30,5	27,5
29/02/2024	30	29,5	40,5	36	37,5	34	35,5	34	31,5	30,5	31,5	28,5
03/03/2024	31	30	41,5	36,5	37,5	36	37	35	31,5	31	31,5	28,5
06/03/2024	31	30	41,5	36,5	37,5	37	38,5	35,5	32	31	33	29
09/03/2024	31,5	30,5	43,5	36,5	38	38	38,5	36	32	31	33,5	29
12/03/2024	31,5	30,5	46,5	36,5	39	38	38,5	36,5	32	31	34	29
15/03/2024	32	31	52	36,5	39,5	38	38,5	36,5	32,5	32,5	35	29
18/03/2024	32	31	55	36,5	39,5	38,5	41,5	36,5	32,5	32,5	35,5	29,5
21/03/2024	33,5	31,5	68	36,5	41	38,5	45,5	36,5	34	35	36	29,5
24/03/2024	35,5	31,5	60	36,5	42,5	38,5	51,5	36,5	35	36	36	29,5
27/03/2024	37,5	32	72	38,5	49,5	39	60,5	36,5	41,5	36	40	30
30/03/2024	44,5	32	88	42,5	60	39	72	36,5	41,5	36,5	53	30
02/04/2024	64,5	32	99,5	44,5	63,5	39	77	36,5	44,5	41,5	66	30
05/04/2024	78	40	99,5	48,5	68	39	77	37	50,5	45	72,5	30
08/04/2024	95	46,5	100	56,6	75	40,5	77,5	38,5	59,5	49,5	78,5	31
11/04/2024	100	49	100	75	79	42	78,5	39,5	78	49,5	80,5	32
14/04/2024	102	50,5	100	88	82,5	43,5	79,5	40	86	55	90	32
17/04/2024	103	50,5	100	88	96	45	79,5	40	86	62	92	34

ALTURA (cm)												
PÓ DE ROCHA TÉRMICO E QUÍMICO	200 (1) S1	200 (1) S2	200 (2) S1	200 (2) S2	100 (1) S1	100 (1) S2	100 (2) S1	100 (2) S2	50 (1) S1	50 (1) S2	50 (2) S1	50 (2) S2
21/01/2024	0	0	1,5	0	6,5	2,5	2,5	0	1	0	2,5	0
24/01/2024	0	0	6	5,5	7	4	10	9	8,5	6	2,5	0
27/01/2024	0	0	9	9	11,5	5,5	11,5	10,5	13,5	10	3,5	0
30/01/2024	0	0	13	12,5	15,5	7	14,5	13	17	12	4,5	0
02/02/2024	0	0	15	15,5	18	8	16,5	14,5	16,5	18,5	7,5	0
05/02/2024	0	0	16,5	17	19,5	10	19,5	16	17,5	20,5	9,5	0
08/02/2024	0	0	16,5	17,5	19,5	11	19,5	16	17,5	20,5	10,5	0
11/02/2024	0	0	17	18	20,5	12	21,5	18	19,5	21,5	11,5	0
14/02/2024	0	0	17,5	19,5	21	12,5	22,5	19,5	20	21,5	13,5	0
17/02/2024	0	0	18	22	21,5	13	24,5	20	20,5	22,5	15,5	0
20/02/2024	0	0	17,5	25	21,5	13,5	24,5	20	23,5	22,5	18	0
23/02/2024	0	0	22	27,5	21,5	13,5	27	20	25,5	25,5	20	0
26/02/2024	0	0	24,5	28	21,5	14,5	30	23	26,5	29	22	0
29/02/2024	0	0	26,5	29,5	24	14,5	32,5	25,5	29	30	23	0
03/03/2024	0	0	28,5	30	26	14,5	33,5	25,5	29,5	32	23	0
06/03/2024	0	0	29	31,5	26,5	14,5	34,5	25,5	32,5	32	23	0
09/03/2024	0	0	29	32	26,5	14,5	34,5	25,5	32,5	32	23	0
12/03/2024	0	0	29	33	26,5	14,5	34,5	****	32,5	32,5	23	0
15/03/2024	0	0	30	33	27,5	14,5	35,5	****	33	33,5	23,5	0
18/03/2024	0	0	30,5	33,5	27,5	14,5	35,5	****	33	33,5	23,5	0
21/03/2024	0	0	31	33,5	28	14,5	35,5	****	33	33,5	23,5	0
24/03/2024	0	0	31	33,5	29,5	14,5	35,5	****	33	33,5	23,5	0
27/03/2024	0	0	36,5	38	34	14,5	35,5	****	33	34	23,5	0
30/03/2024	0	0	49	60	51,5	14,5	35,5	****	33	43	23,5	0
02/04/2024	0	0	57,5	71,5	60	14,5	37	****	37,5	47,5	23,5	0
05/04/2024	0	0	60,2	78	65	14,5	39,5	****	39,5	53	23,5	0
08/04/2024	0	0	62	86,5	74	14,5	46	****	49	67	23,5	0
11/04/2024	0	0	62	91	79	****	49,5	****	60	72	****	0
14/04/2024	0	0	65	93	80	****	51	****	69,5	78	****	0
17/04/2024	0	0	65	93	80	****	51	****	75	76	****	0

ALTURA (cm)												
CALCÁRIO	65 (1) S1	65 (1) S2	65 (2) S1	65 (2) S2	32,5 (1) S1	32,5 (1) S2	32,5 (2) S1	32,5 (2) S2	13 (1) S1	13 (1) S2	13 (2) S1	13 (2) S2
21/01/2024	1	0	0	0	3,5	0	3,5	0	3,5	0	3	0
24/01/2024	2,5	0	0	0	7	0	3	0	7,5	7,5	3,5	1,5
27/01/2024	4,5	0	0	0	10,5	0	****	1	10	11	***	3
30/01/2024	6,5	0	0	0	13,5	0	****	6	13	14	***	4
02/02/2024	7	0	0	0	18	0	****	****	15	16,5	****	4
05/02/2024	8	0	0	0	19	0	****	****	17	17	****	4
08/02/2024	10,5	0	0	0	19	0	****	****	18	17	***	4,5
11/02/2024	12,5	0	0	0	20,5	0	****	****	19	18	****	6,5
14/02/2024	16	0	0	0	21,5	0	****	****	21,5	19,5	****	7,5
17/02/2024	18	0	0	0	22	0	****	****	24	21	****	8,5
20/02/2024	19	0	0	0	24	0	****	****	24,5	21,5	****	10
23/02/2024	19,5	0	0	0	26,5	0	****	****	27,5	22	****	11
26/02/2024	19,5	0	0	0	28,5	0	****	****	30,5	23,5	****	12
29/02/2024	22	0	0	0	31	0	****	****	32,5	25	****	14
03/03/2024	23	0	0	0	33	0	****	****	33	27,5	****	15,5
06/03/2024	24	0	0	0	33	0	****	****	33,5	28,5	****	16
09/03/2024	24	0	0	0	33,5	0	****	****	33,5	29	***	17
12/03/2024	27	0	0	0	33,5	0	****	****	33,5	30,5	***	18
15/03/2024	28,5	0	0	0	34	0	****	****	34,5	30,5	***	19
18/03/2024	29	0	0	0	37	0	****	****	35	31	***	20
21/03/2024	29,5	0	0	0	40	0	****	****	35,5	31,5	****	20,5
24/03/2024	29,5	0	0	0	46,5	0	****	****	35,5	31,5	****	20,5
27/03/2024	36,5	0	0	0	53,5	0	****	****	35,5	31,5	****	20,5
30/03/2024	43	0	0	0	65	0	****	****	43	36	****	20,5
02/04/2024	46,5	0	0	0	69,5	0	****	****	53,5	42	****	20,5
05/04/2024	50,5	0	0	0	70,5	0	****	****	56,3	50	****	20,5
08/04/2024	62,3	0	0	0	75,2	0	****	****	59	56	****	20,5
11/04/2024	72	0	0	0	77,5	0	****	****	60	60	****	20,5
14/04/2024	87	0	0	0	77,5	0	****	****	65	64,5	****	20,5
17/04/2024	87	0	0	0	77,5	0	****	****	65	66	****	20,5

ALTURA (cm)						
SOLO	130 (1) S1	130 (1) S2	130 (2) S1	130 (2) S2	130 (3) S1	130 (3) S2
21/01/2024	2,5	0	6,5	3,5	3,5	3,5
24/01/2024	8,5	0	8,5	7,5	8,5	7,5
27/01/2024	11,5	0	11	9	10,5	8,5
30/01/2024	14	0	13,5	11	13	10,5
02/02/2024	15	0	15,5	12,5	14,5	11
05/02/2024	17	0	16,5	14	16,5	12
08/02/2024	17	0	17	14,5	17	13
11/02/2024	19	0	17,5	16	18	13,5
14/02/2024	22	0	20	18,5	18,5	17,5
17/02/2024	24	0	22	20	20	19,5
20/02/2024	25	0	23,5	20,5	21	20,5
23/02/2024	26	0	24	22	23	22,5
26/02/2024	26,5	0	24	23	24	23
29/02/2024	26,5	0	26	23	25	23
03/03/2024	26,5	0	26	23	25,5	24
06/03/2024	26,5	0	26,5	23	26	24,5
09/03/2024	26,5	0	27	23,5	26,5	25,5
12/03/2024	26,5	0	27	23,5	26,5	25,5
15/03/2024	27	0	27,5	23,5	27,5	26
18/03/2024	27,5	0	27,5	23,5	27,5	26
21/03/2024	27,5	0	27,5	23,5	27,5	26
24/03/2024	27,5	0	28	23,5	27,5	26
27/03/2024	27,5	0	28	24	27,5	26
30/03/2024	27,5	0	28,5	24	27,5	26
02/04/2024	27,5	0	28,5	24	27,5	26
05/04/2024	27,5	0	28,5	24	27,5	26
08/04/2024	27,5	0	28,5	24	27,5	26
11/04/2024	27,5	0	28,5	24	27,5	26
14/04/2024	27,5	0	28,5	24	27,5	26
17/04/2024	27,5	0	28,5	24	27,5	26

Fonte: Autor, (2024).

## APÊNDICE B - FOTOGRAFIAS DOS EXPERIMENTOS NOS DIAS INICIAIS

### Experimentos com cinco dias



### Experimentos com 10 dias

#### Pó de rocha *in natura*



#### Pó de rocha térmico



#### Pó de rocha térmico e químico



#### Solo



#### Calcário



Fonte: Autor, (2024).

## ANEXO A - MATRIZ DE COVARIÂNCIA

Matriz de covariâncias <sup>a</sup>										
	IN200	IN100	IN50	T200	T100	T50	TQ200	TQ100	TQ50	Solo
IN200	1281,276	380,198	278,359	1012,948	774,580	750,178	802,280	575,388	597,912	157,914
IN100	380,198	148,226	113,315	313,484	249,034	242,146	252,006	189,176	207,195	72,787
IN50	278,359	113,315	90,284	231,302	186,377	174,408	186,215	140,245	151,265	60,838
T200	1012,948	313,484	231,302	818,572	621,431	606,629	649,924	467,765	487,970	134,461
T100	774,580	249,034	186,377	621,431	482,405	462,235	496,345	358,825	374,601	112,578
T50	750,178	242,146	174,408	606,629	462,235	467,528	484,794	354,044	380,892	99,943
TQ200	802,280	252,006	186,215	649,924	496,345	484,794	521,181	375,104	391,157	109,308
TQ100	575,388	189,176	140,245	467,765	358,825	354,044	375,104	273,978	290,170	83,694
TQ50	597,912	207,195	151,265	487,970	374,601	380,892	391,157	290,170	317,623	89,265
Solo	157,914	72,787	60,838	134,461	112,578	99,943	109,308	83,694	89,265	44,703

a. Determinante = 4439980,845

Fonte: Dados obtidos no *software* SPSS, (2024).

## ANEXO B - PORCENTAGENS RESPONDIDAS POR CADA COMPONENTE

Variância total explicada											
	Componente	Autovalores iniciais <sup>a</sup>			Somadas de extração de carregamentos ao quadrado			Somadas de rotação de carregamentos ao quadrado			
		Total	% de variância	% cumulativa	Total	% de variância	% cumulativa	Total	% de variância	% cumulativa	
Bruto	1	4307,555	96,891	96,891	4307,555	96,891	96,891	3291,207	74,030	74,030	
	2	86,279	1,941	98,832	86,279	1,941	98,832	1102,627	24,802	98,832	
	3	32,279	,726	99,558							
	4	12,483	,281	99,839							
	5	3,568	,080	99,919							
	6	1,767	,040	99,959							
	7	1,216	,027	99,986							
	8	,378	,009	99,994							
	9	,198	,004	99,999							
	10	,052	,001	100,000							
Re-escalonado	1	4307,555	96,891	96,891	9,006	90,059	90,059	5,931	59,307	59,307	
	2	86,279	1,941	98,832	,743	7,429	97,489	3,818	38,181	97,489	
	3	32,279	,726	99,558							
	4	12,483	,281	99,839							
	5	3,568	,080	99,919							
	6	1,767	,040	99,959							
	7	1,216	,027	99,986							
	8	,378	,009	99,994							
	9	,198	,004	99,999							
	10	,052	,001	100,000							

Método de Extração: análise de Componente Principal.  
a. Quando se analisa uma matriz de covariâncias, os autovalores iniciais são os mesmos na solução bruta e redimensionada.

Fonte: Dados obtidos no *software* SPSS, (2024).