

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Amanda Aparecida Manerich

**Utilização de remineralizador em crescimento inicial de *Pinus taeda***

Curitibanos, SC

2021

Amanda Aparecida Manerich

**Utilização de remineralizador em crescimento inicial de *Pinus taeda***

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Lunardi Neto.

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Heloisa Maria de Oliveira.

Curitibanos, SC

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Manerich, Amanda Aparecida

Utilização de remineralizador em crescimento inicial de  
Pinus taeda / Amanda Aparecida Manerich ; orientador,  
Antonio Lunardi Neto, coorientador, Heloisa Maria de  
Oliveira, 2021.

41 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. I. Lunardi Neto, Antonio . II.  
Oliveira, Heloisa Maria de . III. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. IV.  
Título.

Amanda Aparecida Manerich

**Utilização de remineralizador em crescimento inicial de *Pinus taeda***

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 01 de setembro de 2021.



Documento assinado digitalmente  
Mario Dobner Junior  
Data: 17/09/2021 09:19:17-0300  
CPF: 034.250.659-55  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Prof. Dr. Mário Dobner Júnior**  
Coordenador (a) do Curso

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
Antonio Lunardi Neto  
Data: 16/09/2021 18:55:47-0300  
CPF: 625.479.259-15  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Prof. Dr. Antonio Lunardi Neto**  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Heloisa Maria de Oliveira  
Data: 17/09/2021 07:30:06-0300  
CPF: 308.615.618-05  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Heloisa Maria de Oliveira**  
Coorientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Karina Soares Modes  
Data: 17/09/2021 09:40:36-0300  
CPF: 003.082.240-86  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Soares Modes**  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Djalma Eugenio Schmitt  
Data: 17/09/2021 09:30:52-0300  
CPF: 050.180.539-76  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

**Prof. Dr. Djalma Schmitt**  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado forças para não desistir, possibilitando que eu visse que sou capaz.

Agradeço a minha família, Gabriel meu namorado e Maria Clara minha irmã. Gabriel esteve ao meu lado em todos os momentos desde o início da faculdade, sempre me incentivando a dar o meu melhor e seguir em frente perante à todos os obstáculos. A minha querida irmã Maria Clara, pelo carinho e amor nos momentos em que eu mais precisava. Sem eles eu não teria ido tão longe. Amo vocês.

A minha professora, amiga e coorientadora Heloisa Maria de Oliveira, que sempre esteve presente me apoiando, dedicando tempo e contribuindo para à realização deste trabalho.

Ao meu orientador Antonio Lunardi Neto, por ele ser essa pessoa maravilhosa que nunca mediu esforços para me auxiliar durante este período, sempre estando presente para sanar as dúvidas que surgiam, além de sempre me direcionar para o melhor caminho.

Ao meu colega Lucas França, que doou o pó de rocha de basalto para que eu pudesse realizar meu experimento. Sou grata a professora Karina Soares Modes a qual me emprestou o paquímetro para a medição do experimento, e também agradeço ao Gilmar da agropecuária Plantimar de Maravilha (SC) que me doou cloreto de potássio para o experimento.

## RESUMO

Rochagem é o processo de aplicação de pó de rocha aos solos. Remineralizadores ou agrominerais são rochas que passaram pelo processo mecânico de cominuição, gerando o pó que é empregado nos solos como fonte de nutrientes para cultivo de plantas. Para o termo remineralizador, especificamente, o produto deve atender a critérios de quantidades mínimas de nutrientes nele contidos, para ser comercializado, além de outros requisitos, estabelecidos por normatizações do Ministério da Agricultura. Pós de rochas vêm sendo utilizados há anos e têm expressado seu potencial em benefícios no crescimento e desenvolvimento de culturas, sendo insumo mais econômico quando comparado aos fertilizantes convencionais. Os pós de rochas geralmente apresentam dissolução lenta dos nutrientes nele contidos, sendo adequados para culturas perenes e sistemas alternativos de produção agrícola, especialmente. Dessa forma, visando à contribuição com a difusão de informações acerca desse insumo com vistas a reduzir o emprego de fertilizantes solúveis para diminuir possíveis impactos ambientais e custos, o objetivo principal do presente trabalho foi o de avaliar o desempenho do pó de rocha de basalto como fertilizante no desenvolvimento inicial da cultura de *Pinus taeda*. Escolheu-se o basalto por ser rocha abundante na região e por ser rica em elementos químicos nutrientes das plantas. Os tratamentos utilizados foram: Testemunha (T1), fertilizante mineral solúvel + calcário (T2), 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T4) e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T5), misturado ao substrato composto de horizonte superficial (0-20 cm) de Cambissolo Húmico. Os tratamentos foram acondicionados em vasos de 20 cm de altura, nos quais foram transplantadas as mudas de *P. taeda* e colocados sobre bancada em viveiro com tela de sombreamento. No local houve irrigação periódica por aspersão ao longo de todo o experimento. Mediram-se a altura e o diâmetro das mudas ao final de 152, 304 e 456 dias após a instalação do experimento, totalizando 16 meses. O desempenho do pó de rocha de basalto nas diferentes doses no desenvolvimento das mudas foi comparado com o desempenho no tratamento com uso de calcário mais fertilizante mineral solúvel e também com o substrato sem fertilização. Neste experimento percebeu-se que a mistura de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha de basalto ao substrato promoveu desempenho estatisticamente superior no crescimento em altura das mudas ao longo do tempo em comparação com a testemunha ao nível de 5% de significância. No entanto, não foi observada diferença estatística para o aumento em diâmetro das mudas da espécie ao longo do tempo e entre tratamentos. A ausência de diferença no diâmetro pode ser atribuído ao tempo reduzido do experimento, posto que é necessária a ação do intemperismo químico do pó para a liberação dos nutrientes. Sugerem-se mais pesquisas com o uso de remineralizadores em essências florestais e por períodos mais longos.

**Palavras-chave:** Pó de rocha. Basalto. Método alternativo.

## ABSTRACT

Soil rocking is the process of applying rock powder to soils for plant nutrition. Remineralizers or agromineralizer are rocks that go through the mechanical process of comminution, generating the powder that is used in the soils as nutrient sources to plants cultivation. For the word remineralizer, specifically, the product must attend some standards of minimum quantity of nutrients on it, to be commercialized, in addition to the other requirements, established for standardizations of the agriculture ministry. Rock powder is being used for years and has expressed its potential in benefit of the cultures development and growing, being the more economical input when compared to conventional fertilizers. The rock powder usually presents slow dissolution of the nutrients, being proper to perennial cultures and alternative systems of agricultural production, especially. This way, seeing the contribution with information dissemination about the input with the perspective of reducing the use of soluble fertilizers to reduce possible environmental impacts and costs, the main objective of this study was to evaluate the performance of the basalt rock powder as fertilizer in the initial development in the *Pinus taeda* culture. It was chosen the basalt for being a very abundant rock in the region and for being rich in elemental chemical nutrients for the plants. The treatments used were: control treatment (T1), soluble mineral fertilizer + limestone (T2), 5 Mg ha<sup>-1</sup> of basalt rock powder (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> of basalt rock powder, (T4), and 20 Mg ha<sup>-1</sup> of basalt rock powder (T5), mixed to the substrate composed of upper horizon of an Inceptisol (0-20 cm) (Umbric epipedon). The treatments were put up in vases of 20 cm of height, in which were transplanted the seedlings of *Pinus taeda* and put over a stand in seedling nursery with shaded screen. In the local there were periodic irrigation with sprinklers through all the time of the study. It was measured the height and diameter of the seedlings at the end of 152, 304 and 456 days after the installation of the experiment, giving a total of 16 months. The performance of the basalt rock powder in the different doses in the development of seedlings were compared to the development in the treatment with use of limestone plus soluble mineral fertilizer and also with substrate with no fertilizer. In this experiment was observed that the mix of 10 Mg h<sup>-1</sup> of basalt rock powder to the substrate promoted a development statistically superior in the height of the seedlings through time compared to the control treatment in the level of 5% significance. However, it wasn't observed statistic difference to the increase in the diameter of seedlings of the specie through time and between treatments. The absence of difference in the diameter can be attributed to the short time of the experiment, since it is necessary the action of the chemical weathering to release the nutrients. It is suggested that there be more researches with the use of remineralizers in forests and for longer time.

**Key-words:** Rock powder. Basalt. Alternative method.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Análise química do solo.....	25
Figura 2 – Análise química do pó de rocha de basalto.....	26
Figura 3 – Preparação e condução do experimento.....	27
Figura 4 – Croqui da aleatorização dos tratamentos/vasos no viveiro.....	28
Figura 5 – Experimento com 16 meses.....	28
Figura 6 – Boxplot para as variáveis altura (A) e diâmetro (B) em cada tratamentos..	32
Figura 7 – Gráfico da altura ao longo do tempo.....	32
Figura 8 – Gráfico de envelope para a variável altura (cm).....	34
Figura 9 – Gráfico de envelope para a variável diâmetro (mm).....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação das médias, tempos, tratamentos, desvio padrão e coeficiente de variação para a variável altura (cm) .....	30
Tabela 2 – Comparação das médias, tempos, tratamentos, desvio padrão e coeficiente de variação para a variável diâmetro (mm). .....	31
Tabela 3 – Critério de Informação de Akaike (AIC) para a variável Altura (cm) .....	33
Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo Normal Inversa ajustado para a variável altura (cm).....	34
Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo Gama ajustado para a variável o diâmetro (mm) .....	36

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	OBJETIVOS .....	11
1.1.1	Objetivo Geral.....	11
1.1.2	Objetivos Específicos .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1	BREVE HISTÓRICO SOBRE REMINERALIZADORES (PÓ DE ROCHA)....	13
2.2	LEGISLAÇÃO SOBRE REMINERALIZADORES (PÓ DE ROCHA) .....	15
2.3	ROCHAGEM OU REMINERALIZAÇÃO DOS SOLOS .....	16
2.4	BASALTO .....	18
2.5	O GÊNERO <i>Pinus</i> .....	20
2.6	<i>Pinus taeda</i> .....	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>24</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	24
3.2	INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	24
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	26
3.4	COLETA DE DADOS.....	28
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA .....	30
4.2	MODELO LINEAR GENERALIZADO .....	33
4.2.1	Análise estatística da altura .....	33
4.2.2	Análise estatística do diâmetro .....	35
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes e o 4º maior consumidor. Os fertilizantes minerais solúveis, de alta solubilidade, têm sido largamente empregados e estima-se que, no Brasil, as perspectivas são de uma maior demanda de fertilizantes. Além disso, os insumos aplicados na forma de sais solúveis podem, em parte, serem perdidos através da lixiviação. (MELAMED *et al.*, 2007, p. 4).

Uma alternativa ao uso de fertilizante mineral solúvel é a utilização de pó de rocha. Por apresentar liberação de nutrientes mais lenta, o pó de rocha constitui-se em fonte de nutrientes para as plantas cultivadas, durante longos períodos, aumentando a capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos, devido à formação de novos minerais de argila durante o processo de alteração da rocha. A rochagem reduz os custos de produção, por ser um produto alternativo.

No Brasil a geodiversidade é extensa, proporcionando rochas com características distintas em diferentes regiões do país, além de ser atribuída vantagem sobre o aspecto social e ambiental, pois são aproveitados os rejeitos de pedreiras e mineradoras gerando assim remineralizadores com ampla variedade de nutrientes entre os quais o fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio, além de micronutrientes, ocasionando recuperação para os solos de baixa fertilidade. (ASSIS, 2015, p. 73). O emprego da remineralização do solo, através do uso de pó de rocha, constitui-se também alternativa viável em termos econômicos e ecológicos devido ao baixo custo do processo de beneficiamento, que envolve apenas a moagem das rochas usadas na composição do produto, e devido à liberação gradual de nutrientes que diminui perdas por lixiviação e favorece ação de longo prazo do insumo aplicado. Além disso, a elevada demanda por fertilizantes no Brasil, poderia ser aliviada pela utilização de pó de rocha, diminuindo os gastos com importação e ampliando as alternativas para o mercado consumidor (MELAMED *et al.*, 2007, p. 10).

Pode-se chamar o pó de rocha de remineralizador quando atende obrigatoriamente as exigências mínimas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O termo remineralizar o solo refere-se à neoformação de argilominerais a partir do intemperismo químico do pó de rocha, e também à liberação de nutrientes nele contidos, e que passarão a estar disponíveis no solo para a nutrição das plantas.

O princípio dessa tecnologia baseia-se no conceito de que diferentes tipos de rochas podem suprir com uma demanda adequada de nutrientes os solos tropicais e, em consequência as plantas, de forma que os agricultores/produtores possam ter produções compatíveis com suas necessidades e para atender o mercado (LINS *et al.*, 2010).

O aumento da produtividade de *Pinus* depende do fornecimento de nutrientes em abundância nos solos, fornecidos principalmente pelo uso do calcário e de fertilizantes minerais à base de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK). Tais insumos representam

investimentos elevados em florestamentos, pois geralmente utilizam-se de áreas consideráveis no plantio e o retorno é em longo prazo. Alternativamente, próximo às áreas de produção de pó de rocha, há possibilidade de fertilização do solo com esses insumos, representando diminuição no custo de produção. Até o momento não se conhecem trabalhos de pesquisa publicados no Brasil com o uso de remineralizadores em povoamentos florestais de *Pinus*. Na agricultura a técnica da utilização do pó de rocha é muito difundida, porém, em culturas florestais há poucos trabalhos que abordam o tema, principalmente quando a espécie é *Pinus taeda*.

O estado de Santa Catarina detém uma área florestal plantada com *Pinus* de 540.621 ha. A produtividade florestal média da espécie no estado está entre 34-37 m<sup>3</sup>/ha. ano. Estas áreas são responsáveis por gerar cerca de 15% de empregos formais dentro do setor florestal brasileiro de base plantada. A madeira de *Pinus* é destinada a celulose e papel (10,3 milhões m<sup>3</sup>), painéis reconstituídos (7,4 milhões m<sup>3</sup>), indústria madeireira (27,9 milhões m<sup>3</sup>), lenha (4 milhões m<sup>3</sup>) e outros (0,1 milhão m<sup>3</sup>). Os tributos gerados no setor florestal tornaram-se cada vez mais significativos e importantes para o estado de Santa Catarina. Essa madeira é responsável por tirar a pressão de florestas nativas do estado, além de auxiliar no sequestro de CO<sub>2</sub> (IBÁ, 2019).

A utilização da rochagem é uma alternativa para a redução de uso de fertilizantes minerais, além de atuarem de forma restituidora de nutrientes, recuperando e renovando o solo (COLA; SIMÃO, 2012). O pó de rocha vem ao encontro com a necessidade de independência brasileira em relação ao uso de fertilizantes minerais, pois são em sua maioria importados, gerando produtos de elevado custo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica de utilização do pó de rocha de basalto como fertilizante na cultura do *Pinus taeda*.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliação do efeito do remineralizador composto por pó de rocha de basalto na altura e diâmetro das mudas;

Comparação do potencial do pó de rocha de basalto com o uso de calcário mais fertilizante mineral solúvel e ausência de fertilização no desenvolvimento inicial de *Pinus taeda*.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 BREVE HISTÓRICO SOBRE REMINERALIZADORES (PÓ DE ROCHA)

A tecnologia da Rochagem foi sugerida no Brasil na década de 1950 por Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko no estado de Minas Gerais. Posteriormente, o professor e pesquisador Othon Leonardos, da Universidade de Brasília (UnB), fez diversas pesquisas relacionadas ao tema e é considerado como o grande precursor da Rochagem no Brasil. Na década de 1990, outros grupos iniciaram novas pesquisas com enfoques específicos (LINS *et al.*, 2010).

Um grupo de pesquisa da Universidade de Brasília (UnB), liderado pelo Prof. Othon, passou a testar diferentes tipos de rochas brasileiras, incorporando aos aspectos geoquímicos e agronômicos, um viés mais social e ambiental à pesquisa, mas, também, realizando experimentos junto a agricultores familiares (assentados, quilombolas e pequenos agricultores) em Minas Gerais, Bahia, Rio Grande do Sul e Pará (LINS *et al.*, 2010). Além disso, técnicos da Embrapa também pesquisaram outros tipos de rochas que pudessem suprir o mercado brasileiro com fontes específicas, em especial o Potássio. Os trabalhos de pesquisa sobre esses assuntos têm sido abordados nos Congressos Brasileiros de Rochagens (LINS *et al.*, 2010) além de Congressos Regionais.

No início dos anos 2000, um grupo de trabalho formado por representantes de vários setores, universidades e governo discutiu intensamente a possibilidade de inclusão dos pós de rochas em uma Instrução Normativa a ser editada pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Porém, a falta de consenso, em especial no que se refere aos valores admitidos para a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e Capacidade de Retenção de Água (CRA), não permitiu o seu enquadramento legal (THEODORO, 2017).

No ano de 2004, foi realizada a primeira Conferência Internacional “*Rocks for Crops*” (Rochas no Cultivo), em Brasília, com a participação de cientistas e pesquisadores. Nessa Conferência, um dos temas discutidos foi a regulamentação dos pós de rochas no Brasil e o quanto esse fato poderia mudar a realidade da agricultura brasileira. Porém as discussões esbarravam na falta de consenso sobre a eficácia dos materiais geológicos. Um dos resultados da Conferência foi o estabelecimento de uma rede de pesquisadores ao redor do mundo, que teve como objetivo levar adiante as pesquisas, de forma a obter resultados mais contundentes (THEODORO, 2017).

Em 2007, ocorreu a segunda Conferência “*Rocks for Crops*” (Rochas no Cultivo), no Quênia com a participação de representantes e pesquisadores de mais de 11 países. Nessa Conferência, foram definidas algumas diretrizes que deveriam ser conduzidas no âmbito de cada país, incluindo e/ou reforçando a necessidade de regulamentação do uso dos remineralizadores (THEODORO, 2017).

Esse somatório de fatos (os resultados científicos obtidos e a repercussão dos vários eventos) fortaleceram um movimento em prol da regulamentação dos remineralizadores e despertaram o interesse do Congresso Brasileiro (THEODORO, 2017). Nesta perspectiva, com o intuito de agregar as diversas linhas de pesquisas existentes, foi realizado em 2009 o I Congresso Brasileiro de Rochagem, o qual foi um grande marco dessa tecnologia (MARTINS;THEODORO 2010 *apud* MATTOS *et al.*, 2016). Um dos diversos resultados obtidos pelo Congresso foi a formação do Grupo de Trabalho (GT) constituído por diversos pesquisadores de várias entidades de pesquisas e do governo tais como: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia (SGM/MME), Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (SETEC/MCTI), Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SDA/MAPA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), - Diretoria de Geologia e Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (DGM/SGB-CPRM), Diretoria de Planejamento e Desenvolvimento da Mineração do Departamento Nacional de Produção Mineral (DIPLAM/ DNPM), Universidade de Brasília (UnB), Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) dentre outras (MATTOS *et al.*, 2016).

Em 2013 foi realizado o II Congresso Brasileiro de Rochagem, que teve grande repercussão, contando com a presença de mais de 20 universidades diferentes, além dos órgãos de pesquisas públicos e privados (THEODORO *et al.*, 2013). Nesse evento foi observado o êxito de vários produtos tidos como rejeitos de mineradoras pesquisados nas mais diversas áreas do conhecimento agrogeológico (MATTOS *et al.*, 2016).

O Grupo de Trabalho chefiou as pesquisas no país e trabalhou para o surgimento da Lei de Remineralizadores, criada no mesmo ano do segundo congresso, no dia 10 de dezembro, com o propósito de aumentar de maneira sustentável a produtividade agrícola do país e garantir a segurança e soberania alimentar (BRASIL, 2013). Esse mesmo grupo, após a criação da Lei, organizou reuniões e oficinas para desenvolver a normatização dos agora chamados remineralizadores (MARTINS; COELHO; THEODORO, 2014 *apud* MATTOS *et al.*, 2016).

No ano de 2014 houveram esforços para retirar subsídios das pesquisas desenvolvidas no país para criar as regras sobre as definições, classificação, especificação e garantias e tolerâncias dos remineralizadores. Em 2015 a minuta da Instrução Normativa dos remineralizadores foi encaminhada ao Ministério e aprovada em 10 de março de 2016. Nesse contexto legal surge a necessidade de uma pesquisa de entendimentos jurídicos relacionados ao Código de Mineração, de forma a encontrar uma leitura capaz de viabilizar, sob a perspectiva regulatória de aproveitamento dos recursos minerais, a comercialização dos remineralizadores pelas empresas de mineração (MATTOS *et al.*, 2016).

## 2.2 LEGISLAÇÃO SOBRE REMINERALIZADORES (PÓ DE ROCHA)

A Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013, alterou a Lei dos Fertilizantes (Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980) por meio da inserção dos remineralizadores (também conhecidos por pó de rocha, agrominerais) na categoria de insumos passíveis de uso na agricultura. Seguindo com a regulamentação, em 2014 houve a edição do Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014, que alterou o Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, e que regulamentava a Lei dos Fertilizantes e dispunha sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes destinados à agricultura (BRASIL, 2013).

De acordo com a Lei, os remineralizadores são classificados como material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas e/ou físico-químicas e/ou da atividade biológica do solo (LOBATO, 2016).

Para registro de uso e comercialização de remineralizadores, foram publicadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) as Instruções Normativas IN nº 05 e 06 em 10 de março de 2016, que definem as garantias mínimas de nutrientes para as plantas e os limites máximos de elementos potencialmente tóxicos (BAMBERG *et al.*, 2016; BRASIL, 2016).

Vale a pena ressaltar que a Instrução Normativa (IN) nº 5, de 10 de março de 2016, estabelece que os remineralizadores devem ser registrados pelos estabelecimentos produtores e importadores no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A Instrução Normativa considera a capacidade de retenção de água (CRA), a capacidade de troca catiônica (CTC), condutividade elétrica (CE), a densidade, o potencial hidrogeniônico (pH), a soma de

bases (CaO+MgO+K<sub>2</sub>O) e também a umidade máxima dos remineralizadores (BRASIL, 2016).

A IN também determina especificações e garantias dos remineralizadores comerciais, como: a soma de bases, deve ser igual ou superior a 9%, sendo que o teor de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O) deve ser igual ou superior a 1%; em relação ao potencial hidrogeniônico (pH) de abrasão, valor conforme declarado pelo fabricante do produto. Quando os remineralizadores contiverem naturalmente o macronutriente fósforo (P) e micronutrientes, os seus teores podem ser declarados somente se forem iguais ou superiores a: 1 para P (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 0,03 para Boro (B), 0,1 para Cloro (Cl), 0,005 para Cobalto (Co), 0,05 para Cobre (Cu), 0,1 para Ferro (Fe), 0,1 para Manganês (Mn), 0,005 para Molibdênio (Mo), 0,005 para Níquel (Ni), 0,03 para Selênio (Se), 0,05 para Silício (Si), e 0,1 para Zinco (Zn) (BRASIL, 2016).

Apesar da legislação exigir vários requisitos para classificação e registro dos pós de rochas como remineralizadores (BRASIL, 2013; BRASIL, 2016), existem poucos estudos sobre a quantidade mínima de nutrientes que devem ser liberados num determinado tempo e sua correlação com a produção vegetal, com o intuito de validar a utilização adequada do remineralizador como um fertilizante apropriado ao uso. Todavia, hipoteticamente, considera-se que esses produtos, após a aplicação ao solo, promoverão a liberação de nutrientes de forma gradual, possibilitando a manutenção da fertilidade e da produtividade por período mais longo. Porém, uma das principais limitações dessa prática alternativa é a lenta solubilização dos minerais e consequentemente dos nutrientes para as plantas (RIBEIRO *et al.*, 2016).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o remineralizador comercial não pode conter teor superior a 25% de SiO<sub>2</sub> (quartzo), em volume, e em relação aos elementos potencialmente tóxicos presentes no produto, teores superiores a 15 ppm para Arsênio (As), 10 ppm para Cádmiio (Cd), 0,1 ppm para Mercúrio (Hg), e 200 ppm para Chumbo (Pb), sendo que nessas condições fica vedada a produção, importação e comercialização no país (BRASIL, 2016).

### 2.3 ROCHAGEM OU REMINERALIZAÇÃO DOS SOLOS

A maioria dos elementos essenciais às plantas está presente na litosfera, fazendo parte da constituição dos minerais das rochas. Para que os elementos químicos tornem-se disponíveis às plantas, as rochas passam por processos de intemperismo, que acontece naturalmente, porém de forma muito lenta (GILMAN 1980 *apud* MELO *et al.*, 2011).

Os solos brasileiros, de forma geral, apresentam elevada acidez, e são empobrecidos quimicamente em nutrientes para as plantas devido à ação do intemperismo, e deficientes, principalmente, em fósforo (P) e potássio (K). Para obter-se boa produtividade no campo, de modo geral, no cultivo de plantas, é necessário fertilizar os solos. São necessárias importações de grande parte dos fertilizantes ou de suas matérias-primas, já que a produção nacional da maior parte desses produtos é insuficiente para a adubação adequada de seus solos.

De encontro à necessidade dos produtores, a técnica da rochagem (prática da aplicação do remineralizador ou pó de rocha no solo) tem despertado a atenção de pesquisadores em todo o mundo como alternativa às fontes convencionais de nutrientes, podendo ser utilizada como prática complementar (PÁDUA, 2012).

Para a diminuição do tamanho, a rocha passa por um processo denominado cominuição, que é a divisão da rocha em etapas de britagem e moagem com diferentes moinhos. Na britagem, os blocos de rochas são reduzidos a fragmentos. Na moagem, os fragmentos são reduzidos à granulometria desejada: farelo, pó e *filler*, que é a mais fina e a mais cara (o custo de produção de partículas de granulometria entre pó e *filler* é estimado em R\$ 20 a R\$ 30 a tonelada) (LOBATO, 2016).

O processo de cominuição facilita a disponibilização dos macro e micronutrientes, pois quando aplicado ao solo na forma de pó há aumento da superfície de contato das partículas com a água e, conseqüentemente, facilitação da ação de processos intempéricos (físicos, químicos e biológicos), aumentando a solubilidade mineral. A liberação dos nutrientes da rede cristalina dos minerais ocorre pela ação de ácidos orgânicos produzidos por plantas e microrganismos no solo (THEODORO *et al.*, 2010) e também pelo H<sup>+</sup> existente na água, exercendo ação na quebra das ligações existentes entre os elementos químicos dos minerais.

Como vantagens da utilização do pó de rocha, destacam-se: fornecimento lento de nutrientes essenciais importantes para a nutrição mineral de plantas cultivadas. Além disso, espera-se aumento da disponibilidade de nutrientes e conseqüentemente aumento de produção (biomassa). No solo espera-se um aumento do pH; aumento da atividade de microrganismos; aumento da quantidade e da qualidade de húmus; controle da erosão do solo devido ao melhor desenvolvimento das plantas cultivadas e ao aumento da matéria orgânica do solo; aumento da reserva nutricional do solo; aumento da resistência das plantas à ação de pragas, doenças, estiagens e geadas, devido à melhoria do estado nutricional; diminuição da dependência de fertilizantes minerais, defensivos, cuja produção exige elevado consumo de energia (MELAMED *et al.*, 2007).

Enquanto a aplicação de fertilizantes minerais solúveis precisa ser parcelada, o que encarece o custo de produção, o remineralizador pode ser aplicado todo por ocasião do plantio da cultura, com efeitos de curto, médio e longo prazos (LOBATO, 2016). Ainda, tem sido responsável por suprir a necessidade dos produtores de alimentos orgânicos, na agricultura, atendendo produtores e consumidores interessados no acesso a alimentos mais saudáveis e produzidos com menor impacto sobre o meio ambiente (BERGMANN *et al.*, 2014).

Segundo Camargo *et al.* (2012), os remineralizadores podem fornecer apreciáveis quantidades de nutrientes às plantas. Com o tempo, aumentam a CTC do solo, diminuindo a lixiviação de nutrientes. Utilizando o fertilizante mineral solúvel, o produtor poderá aplicar até 6 ou 7 nutrientes no manejo da adubação de uma cultura. A título de exemplo, o basalto tem 108 elementos químicos e, desses, 42 são importantes para o metabolismo da planta. Dessa forma, a planta ficará mais resistente a doenças, por estar bem nutrida (BRUGNERA, 2012) e terá no solo à disposição maiores quantidades de elementos químicos como nutrientes.

Incluir a remineralização nas práticas de manejo das culturas, pode ser estratégia para elevar a fertilidade do solo e torná-lo mais produtivo, possibilitando a redução do uso de fertilizantes minerais solúveis e dos riscos ambientais inerentes ao seu uso, e principalmente reduzir os custos de produção (PÁDUA, 2012), pois são mais econômicos que os adubos solúveis convencionais.

Resultados obtidos com o uso de pó de rocha por vários grupos de pesquisa brasileiros atendem a dois requisitos importantes: a) produtividades compatíveis e, em muitos casos, superiores àquelas obtidas com os fertilizantes solúveis; e b) custos de aquisição significativamente menores - cerca de 60 a 80% mais baratos do que os das fontes convencionais. No que se refere às várias pesquisas desenvolvidas no Brasil e no exterior, os resultados têm mostrado que a remineralização dos solos, por meio da adição de macro e micronutrientes, derivados de rochas moídas, favorece produções compatíveis e equiparáveis àquelas obtidas com o uso dos fertilizantes solúveis (THEODORO, 2017).

## 2.4 BASALTO

Pouco mais de 50% da área catarinense encontra-se recoberta por rochas de magmatismo fissural intracontinental, incluídos no Grupo Serra Geral com diversas Formações Geológicas, constituída por sequência vulcânica, compreendendo desde rochas de composição básica até rochas com elevado teor de sílica e baixos teores de ferro e magnésio.

A sequência básica (teor de SiO<sub>2</sub> entre 45 e 52%) ocupa a maior parte do planalto catarinense, sendo constituída predominantemente por basaltos (POTTER *et al.*, 2004).

O basalto é material de origem de solos, contribuindo para sua fertilidade em função do predomínio de minerais facilmente intemperizáveis e ricos em cátions, destacando-se os feldspatos cálcicos e cálcio-sódicos, e piroxênios (RESENDE *et al.*, 2002; BRUGNERA, 2012), fontes de Ca, Mg, Fe quando intemperizados. Apresenta grande potencialidade para ser utilizado como componente de substratos florestais, pois contém nutrientes importantes às plantas, como os macronutrientes P e K (EHLERS; ARRUDA, 2014). Assim, solos originados de rochas basálticas tendem a ser mais ricos em Fe, P, Ca, Cu e Zn, e, por outro lado, tendem a ser mais pobres em B e Mo (RESENDE *et al.*, 2002; KNAPIK, 2005).

Na solubilização do pó de basalto, há envolvimento de processo fortemente ligado às atividades biológicas. O uso de pó de rocha torna-se ineficiente caso não haja de forma concomitante práticas culturais que estimulem a microbiota do solo, não se tratando assim de um sistema de substituição de fertilizantes minerais solúveis por remineralizadores, mas uma prática de manejo de solo para a fertilização do agroecossistema (ALMEIDA *et al.*, 2007; BRUGNERA, 2012).

Ehlers e Arruda (2014), utilizando pó de basalto como substrato para mudas de *Eucalyptus grandis*, obtiveram resultado positivo adicionando-o em substratos com misturas de vermiculitas e compostos à base de turfa na produção de mudas. Outro estudo com Eucalipto, no município de Triunfo no estado do Rio Grande do Sul, utilizou o remineralizador de rocha basáltica com presença de zeólitas em plantios. Os resultados demonstraram que o remineralizador utilizado apresentou características químicas e mineralógicas que proporcionaram melhorias ao solo (RAMOS *et al.*, 2017).

Wolschick *et al.* (2017) buscou avaliar o efeito do pó de rocha basáltica sobre a germinação de *Cedrela fissilis*. Nesse experimento as sementes foram plantadas em tubetes, contendo pó de rocha e Turfa fértil® em diferentes proporções. Os resultados obtidos indicaram a possibilidade do uso do pó de rocha como substrato quando misturado a outros componentes, especialmente pela viabilidade econômica. Essa foi uma abordagem diferente do presente trabalho, mas apresenta a eficiência e contribuição do pó de rocha em diferentes etapas do desenvolvimento da muda.

## 2.5 O GÊNERO *Pinus*

O gênero *Pinus* engloba mais de 100 espécies com grande potencial a ser explorado. No Brasil, espécies desse gênero vêm sendo cultivadas há mais de um século, inicialmente, introduzidas para fins ornamentais. Somente a partir da década de 1960 é que se iniciou o plantio de *Pinus* em escala comercial, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do País. Nas décadas de 1970 e 1980, as plantações desse gênero foram as principais fontes de matéria-prima para o desenvolvimento da indústria florestal, abastecendo um mercado altamente diversificado (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014).

Em 2018, o Brasil apresentou produtividade média de *Pinus* de 30,1 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>. Os plantios de *Pinus* ocupam 1,6 milhão de hectares e concentram-se no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%), seguidos de Rio Grande do Sul (12%) e São Paulo (8%). Nos últimos sete anos, a área plantada com esse gênero manteve-se praticamente estável, concentrando-se dentro desses quatro Estados (IBÁ, 2019).

No sistema de produção predominante de *Pinus* são plantadas, inicialmente, 1.666 árvores por hectare, no espaçamento de 3 m x 2 m. Nas idades de 8 e 12 anos são efetuados, respectivamente, o primeiro e o segundo desbastes. Isso significa redução no número de plantas, em média, de 40% no primeiro e 30% do remanescente, no segundo desbaste. O corte final é feito aproximadamente aos 21 anos de idade, quando restam, em média, 500 árvores por hectare (PENTEADO JUNIOR, 2014).

Em todo o ciclo produtivo, é possível obter-se uma produção média de madeira de 50 até 95 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aos 8 anos de idade, 70 a 120 m<sup>3</sup> aos 12 anos de idade e, aos 21 anos de idade, a produção poderá ultrapassar 450 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, o que significa, em média, uma produção maior que 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (PENTEADO JUNIOR, 2014).

As florestas plantadas com *Pinus* são diferenciadas pelos seus múltiplos usos. A madeira é destinada à indústria laminadora, que a utiliza para fabricação de compensados e painéis de madeira reconstituída, para a indústria de serrados, que a transforma em madeira beneficiada ou usada para a fabricação de móveis; para a indústria de celulose e papel; e mesmo o seu resíduo tem sido aproveitado como biomassa para geração de vapor e energia (CARGNIN, 2005 *apud* PENTEADO JUNIOR, 2014). Por constituir-se de fibras longas, a madeira de *Pinus* é importante fonte de matéria-prima para a fabricação de papéis especiais que exigem maior resistência física e melhor absorção de tintas para impressão gráfica (PENTEADO JUNIOR, 2014).

O estabelecimento e o manejo de florestas plantadas de *Pinus* vêm possibilitando o abastecimento de madeira que anteriormente era suprido com a exploração do pinheiro brasileiro. Assim, a cultura do *Pinus* estabeleceu-se como importante aliada dos ecossistemas florestais nativos, pois vem suprindo parcela cada vez maior da necessidade atual de madeira e contribuindo, assim, para a diminuição do corte de florestais naturais (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014).

O Gênero *Pinus* é tolerante à acidez. Portanto, a calagem é recomendada quando a saturação por bases (V) do solo for  $V \leq 40\%$ , e os teores de  $Ca \leq 4,0$  e  $Mg \leq 1,0$   $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  (CQFS-RS/SC, 2016). Segundo CQFS (2016), a aplicação da adubação de plantio e de reposição deve ser realizada de acordo com a necessidade de cada nutriente, que facilmente pode ser identificada com a análise de solo. Para a adubação de N observa-se o teor de matéria orgânica do solo e as exigências da planta. Enquanto para P e K a quantidade a ser aplicada irá variar conforme o teor de P e de K no solo variando de muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) para chegar-se às doses necessárias de cada nutriente. No caso do K ainda há de se levar em conta a CTC do solo. A adubação de plantio deverá ser aplicada na cova ou no sulco de plantio, e a adubação de reposição é indicada para suprir os nutrientes exportados pela exploração florestal, devendo ser aplicada após o corte e retirada da madeira, ou por ocasião do desbaste, dependendo do manejo.

Trabalhos publicados no Brasil concluem que os *Pinus*, de forma geral, respondem menos à adubação que os *Eucalyptus*, mas que incrementos em volume podem chegar a 20% ou mais, em solos quimicamente pobres, quando fertilizados adequadamente. Melhores resultados foram obtidos com a aplicação de fertilizantes fosfatados, potássicos e de Ca + Mg na forma de calcário. Por vezes, a aplicação de N tem se mostrado prejudicial ao desenvolvimento das árvores (HAAG 1983 *apud* FERREIRA *et al.*, 2001).

## 2.6 *Pinus taeda*

*Pinus taeda* é a mais importante dentre as espécies de *Pinus* plantadas, comercialmente, no Sul e Sudeste dos Estados Unidos. Ela ocorre desde Delaware, no nordeste, até o Texas, no oeste e, ao sul, até a região central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao oeste, estende-se até o oeste do Rio Mississippi. A cobertura florestal com essa espécie, nos Estados Unidos, é estimada em 11,7 milhões de hectares (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014).

No Brasil, *P. taeda* é a espécie mais plantada entre os *Pinus*, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares, no planalto da região Sul do Brasil, para a produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas e madeira reconstituída. Essa espécie desenvolve-se bem nas regiões com clima fresco e inverno frio, com disponibilidade constante de umidade durante o ano. Essas condições são encontradas em todo o planalto das regiões Sul e Sudeste. Essas regiões apresentam o solo bem drenado, não havendo deficiência hídrica (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014) onde são cultivados.

Devido às condições climáticas encontradas na região sul do Brasil (e também nas Províncias de Misiones e Corrientes, da Argentina), apresentam-se como as áreas de maior potencial de crescimento de *P. taeda* no mundo. De acordo com os relatos de diversas empresas e instituições do setor florestal, constata-se que *P. taeda* não somente alcança o seu maior desenvolvimento em plantios florestais nessas regiões, como também é a espécie de *Pinus* subtropical de maior crescimento em áreas expressivas (FERREIRA, 2005).

*P. taeda* coloniza facilmente áreas abertas, o que o caracteriza como espécie invasora. Essa característica predomina somente em situações onde há grande produção de sementes, ausência de predadores naturais de sementes e, principalmente, quando há luminosidade suficiente para o estabelecimento das plântulas e contato das sementes com o solo. Na ausência dessas condições, essa espécie não consegue estabelecer-se por ser dominada pelas espécies folhosas (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014).

Além disso, *Pinus taeda* é considerado de baixa exigência nutricional (PRITCHET; ZWINFORD, 1961). A rapidez de crescimento e ausência de sintomas de deficiências, particularmente nas primeiras rotações, condicionaram a ideia de que as plantações de *Pinus* dispensariam a prática da fertilização mineral. Entretanto, diversos autores estudaram os fatores de solo e as suas relações com o estado nutricional e a produtividade dessas espécies, demonstrando estreita interdependência entre essas variáveis (FERREIRA *et al.*, 2001)

A exportação de nutrientes pela colheita florestal é um dos fatores a ser considerado quando há preocupação com a manutenção da produtividade dos sítios, principalmente em condições de baixo suprimento de elementos essenciais às árvores pelo solo. As explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis pelo exaurimento do solo (FERREIRA *et al.*, 2001).

A intensidade de exploração e seu impacto sobre a exportação de nutrientes foram estudadas por diversos autores, que concluem pela inconveniência da exploração total da árvore e da importância da manutenção das galhadas e acículas no campo. Quando possível,

recomenda-se o descascamento das toras no local de exploração, ou mesmo o retorno da casca, e ou das cinzas provenientes de sua queima ao solo, devido à quantidade relativamente alta de nutrientes presentes nos galhos e acículas (FERREIRA *et al.*, 2001).

De acordo com estimativas feitas por Valeri (1988), as quantidades de nutrientes exportados pela madeira de *Pinus taeda* mostram percentuais relativamente baixos em relação ao total de cada nutriente presente no povoamento, inclusive na manta orgânica. Entretanto, os percentuais de K, Ca, Mg, Cu, Zn e B exportados são relativamente altos, e podem ser potencialmente limitantes ao crescimento em futuras rotações. A quantidade total acumulada na madeira dos três desbastes, por exemplo de K, corresponde a uma exportação de aproximadamente 31% da quantidade do elemento presente na biomassa do povoamento, incluindo a manta orgânica. Situação semelhante é verificada também para o Ca, Mg, Cu, Zn e B. A falta de reposição desses nutrientes, pode levar à redução da produtividade dos povoamentos a médio prazo (FERREIRA *et al.*, 2001).

A reposição natural de nutrientes dá-se primordialmente pela água das chuvas e pela intemperização do material de origem. Porém pela água das chuvas a reposição é pequena, em torno de 5 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e, pela intemperização, o processo também é muito lento. Portanto, torna-se necessária uma avaliação precisa de todas as entradas e saídas de nutrientes dos povoamentos florestais, para se anteciparem futuros problemas nutricionais. Na maioria dos solos ocupados por atividades florestais, a contribuição do material de origem para o fornecimento de nutrientes é muito limitada, tanto pela quantidade presente quanto pelo prazo necessário para sua intemperização (FERREIRA, 1989; FERREIRA *et al.*, 2001).

Reduções de produtividade em rotações sucessivas não têm sido comumente relatadas. Possivelmente, a curto prazo, a troca de material propagativo por genótipos mais eficientes na extração e aproveitamento de nutrientes, e melhores cuidados de implantação e manutenção dos povoamentos, tenham encoberto as perdas de produtividade pela redução da oferta de alguns nutrientes. No entanto, torna-se claro que, a médio e longo prazos, a manutenção da produtividade de povoamentos florestais dependerá da reposição ao sítio, dos nutrientes contidos na madeira e exportados no processo da exploração florestal (FERREIRA *et al.*, 2001).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em viveiro com tela de sombreamento na Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, entre os meses de fevereiro de 2020 até junho de 2021. A Universidade está localizada nas coordenadas geográficas 27°17'05" S, 50°32'05" O, à altitude de 1.096 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb – subtropical úmido com verões amenos, com precipitação média anual em torno de 1.480 mm, temperatura máxima média de 22,0°C e mínima média de 12,4°C (WREGE *et al.*, 2012).

#### 3.2 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Como substrato foram coletadas amostras superficiais (0-20 cm) de um Cambissolo Húmico do campus sede da UFSC de Curitibanos. Uma amostra desse solo foi encaminhada para análise química em laboratório regional antes da implementação do experimento. A análise do solo consta na figura 1. A dosagem de calcário e de fertilizante mineral solúvel seguiram a orientação contida no Manual de Calagem e Adubação para os Estados de SC e RS (CQFS, 2016). A dose de calcário, com PRNT ajustado para 100%, correspondeu a 8,75 Mg ha<sup>-1</sup>. Como fonte de fertilizante fosfatado utilizou-se superfosfato triplo na dose de 130 kg ha<sup>-1</sup>; como fonte de potássio foi utilizado o cloreto de potássio na dose de 217 kg ha<sup>-1</sup>; como fonte de nitrogênio foi utilizada ureia na dose de 30 kg ha<sup>-1</sup>, dividida em duas doses, sendo a primeira no plantio das mudas e a segunda 5 meses após o plantio.

Figura 1– Análise química do solo.

Registro	Cx.	Cel.	Identificação da amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Prof. (cm)	Georef.
25991	B88	6	PERFIL 03 HZAB				
25992	B88	7	PERFIL 03 HZB				
⇒ 25993	B88	8	A1				
25994	B88	9	B1				
25995	B88	10	C1				

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol/dm <sup>3</sup>					Al	Bases	
25991	4,3	0,1	0,1	6,0	21,8	6,2	96,6	1,0	4,6
25992	4,3	0,1	0,1	5,2	19,4	5,4	96,3	1,1	4,7
⇒ 25993	4,0	0,7	0,2	7,2	24,4	8,2	87,8	3,8	4,5
25994	3,9	0,1	0,1	7,7	30,7	8,1	95,1	1,4	4,3
25995	3,9	0,3	0,2	8,3	43,3	9,0	92,2	1,5	4,0

Registro	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total*	K	CTC pH7	K
	m/v			mg/dm <sup>3</sup>		g.kg <sup>-1</sup>	cmol/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	
25991	3,7	22,0	3,0	--X--	4,5	--X--	0,031	22,0	12,0
25992	3,4	21,0	3,0	--X--	6,0	--X--	0,031	19,6	12,0
⇒ 25993	6,3	34,0	3,0	--X--	2,2	--X--	0,123	25,4	48,0
25994	8,3	32,0	3,0	--X--	3,0	--X--	0,153	31,1	60,0
25995	8,9	31,0	3,0	--X--	3,0	--X--	0,133	44,0	52,0

Registro	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	mg/dm <sup>3</sup>						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) <sup>1/2</sup>
25991	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	2,2	6,00	0,072
25992	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	2,3	6,10	0,071
⇒ 25993	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	4,3	6,80	0,134
25994	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	1,1	1,80	0,296
25995	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	2,1	3,90	0,185

Fonte: Arquivo pessoal do professor Antônio L. Neto (2015).

O pó de rocha utilizado foi originado de basalto, o qual foi doado pela agropecuária Cultivar, cujo análise química encontra-se na Figura 2. Optou-se pelo basalto por ser rocha abundante na região e por ser rica em elementos químicos nutrientes das plantas. A análise química foi compatível com o definido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), apresentando valores de nutrientes condizentes com a Normativa. Para SiO<sub>2</sub> foi obtido o valor de 52,79%, sendo que esse pode variar entre 45 e 52% para ser considerado basalto, enquanto que para a soma de bases obteve-se o valor de aproximadamente 12%, podendo ser no mínimo 9%, e o teor de óxido de potássio de 1,49%, podendo ser no mínimo 1%.

Figura 2– Análise química do pó de rocha de basalto.

## 1. METODOLOGIA DOS ENSAIOS

- ▣ **Determinação da composição química** - Ensaio realizado via espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX) utilizando pastilha prensada. Ensaio realizado com equipamento modelo Epsilon3 e marca PANalytical.
- ▣ **Determinação do % de perda ao fogo** - Determinação da perda de massa provocada pela calcinação de amostras em forno mufla.

## 2. RESULTADOS OBTIDOS

### 2.1 Caracterização química

#### 2.1.1 Determinação da composição química e perda ao fogo

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SrO	ZnO	SO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CuO	PF
Amostra 01	52,79	12,66	15,45	8,94	1,59	1,49	0,23	1,67	3,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,07	0,02	1,84

PF= Perda ao fogo

#### Cláusulas de Responsabilidade

- ▣ A identificação do material a ser analisado é responsabilidade do solicitante.
- ▣ A T - cota não se torna responsável em nenhum caso de interpretação ou uso indevido que se possa fazer dos resultados, cuja reprodução parcial sem autorização expressa da T - cota, está totalmente proibida.
- ▣ Os resultados obtidos somente se referem ao material submetido ao ensaio.
- ▣ Não se admite qualquer responsabilidade referente à exatidão da amostragem, as amostras foram livremente selecionadas pelo solicitante.
- ▣ O cliente possui um prazo máximo de 30 dias, a partir da data de emissão deste documento, para contestar os resultados contidos neste. Somente será aceita a contestação se a quantidade de amostra entregue, quando da solicitação respeitar a quantidade mínima para cada ensaio definida pela T - cota. Expirado este prazo, a T - cota sente-se no direito de descartar o restante do material.

Fonte: Arquivo pessoal do professor Antônio L. Neto (2018).

A aquisição das mudas de sementes geneticamente melhoradas de *Pinus taeda* foi realizada no Viveiro Primon, localizado no município de Curitiba.

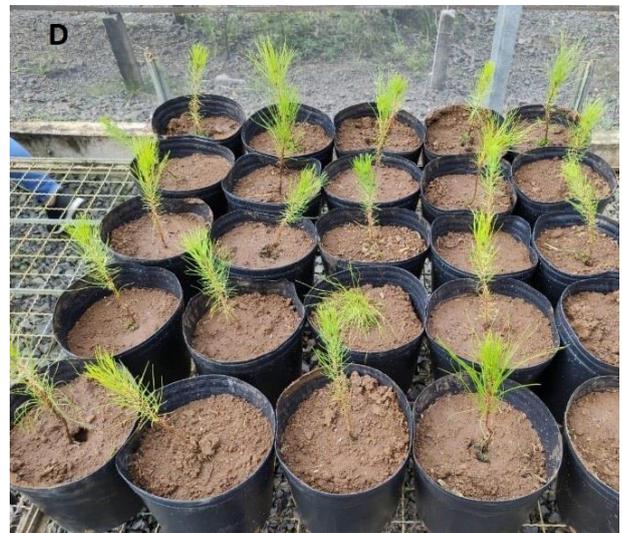
### 3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para verificar o desempenho do crescimento das mudas de *Pinus taeda* foram utilizados os tratamentos: Testemunha (T1), fertilizante mineral solúvel + calcário (T2), 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T4), e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T5), com 5 repetições. Os vasos com volume de 0,005 m<sup>3</sup> foram preenchidos com solo até a profundidade de 20 cm para dosagem. (Figura 3A). Posteriormente, o solo de cada vaso foi despejado sobre lona e incluído o tratamento nas dosagens mencionadas; em seguida o substrato uniformemente misturado ao tratamento foi repostado novamente no vaso (Figura 3B).

Transplantou-se no centro de cada vaso uma muda de *Pinus taeda* (Figura 3C). Os vasos com os tratamentos foram levados ao viveiro e, por sorteio, dispostos sobre uma

bancada, em Delineamento Inteiramente Casualizado conforme croqui na figura 4. A umidade foi mantida nos vasos pela irrigação periódica ao longo de todo o experimento (Figura 3 D).

Figura 3– Preparação e condução do experimento. A) Vasos preenchidos com solo; B) Mistura do tratamento ao substrato sobre lona; C) Vasos com os tratamentos e mudas de *P. taeda*; D) Vasos dispostos no viveiro.



Fonte: Elaborada pelo Autor (2021).

Figura 4 – Croqui da aleatorização dos tratamentos/vasos no viveiro.

T2 R1	T2 R2	T5 R1	T5 R3	T4 R4
T1 R1	T3 R2	T3 R3	T4 R3	T5 R4
T3 R1	T4 R2	T1 R4	T3 R5	T1 R5
T1 R2	T1 R3	T5 R2	T2 R4	T2 R5
T4 R1	T2 R3	T3 R4	T4 R5	T5 R5

Fonte: O Autor (2021).

Legenda: T= Tratamento; R= Repetição.

Testemunha (T1), fertilizante mineral solúvel+calcário (T2), 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T4), e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T5).

### 3.4 COLETA DE DADOS

As mudas de cada tratamento foram avaliadas ao final de 152, 304 e 456 dias, contados do plantio, quanto à altura, com a utilização de trena, medida do solo até a parte mais alta da planta e quanto ao diâmetro, a partir da altura de 3,5 cm do solo, com uso de paquímetro. A figura 5 ilustra o desenvolvimento das mudas com mais de um ano de plantio no viveiro.

Figura 5 – Experimento com 16 meses.



Fonte: O Autor (2021).

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA E MODELO LINEAR GENERALIZADO

Foi desenvolvida uma análise descritiva das variáveis altura (em cm) e diâmetro (em mm) para cada tratamento, considerando o tempo fixo e também ao longo do tempo. Em seguida, os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram verificados para a Análise

de Variância (ANOVA) das variáveis citadas anteriormente. No entanto, as variáveis altura e diâmetro não apresentaram a normalidade dos dados (Teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 5% de significância. Nessa situação, quando a variável resposta não apresenta a normalidade, é recomendada a análise estatística através da metodologia de Modelos Lineares Generalizados (GLM).

Os Modelos Lineares Generalizados são extensões dos modelos de regressão simples e múltipla, quando os pressupostos de normalidade não são satisfeitos. Essa modelagem é formada por três componentes: a componente aleatória, que estabelece qual a distribuição de probabilidade da família exponencial a que pertence a variável resposta (Normal, Gama, Normal Inversa, Binomial, Poisson ou Binomial Negativa) e a componente sistemática, que é o conjunto de variáveis explicativas com a estrutura linear e a função de ligação que relaciona os componentes aleatório e sistemático por meio das funções inversa, logarítmica e identidade (PAULA, 2013).

Dentre as possíveis modelagens citadas acima, a partir do Critério de Informação de Akaike (AIC) escolheu-se o modelo que apresentou um melhor ajuste para os dados. Em seguida, avaliou-se o gráfico normal de probabilidade, com envelope de simulação, para verificação de que o modelo proposto encontrado é um ajuste apropriado às observações do experimento (PAULA, 2013). As análises foram realizadas no *software* estatístico R (CORE TEAM R, 2017).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Foi possível perceber que o Tratamento 4, com 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de rocha, apresentou o melhor desempenho para a altura das plantas de *Pinus taeda* ao longo do tempo (152, 304 e 456 dias), conforme ilustra a tabela 1. No entanto, quando passaram 456 dias, o tratamento T3 mostrou-se mais adequado ao crescimento da altura da muda do que o Tratamento T5.

Tabela 1 – Valor médio, desvio padrão e coeficiente de variação da variável altura (cm) em cada tratamento nos intervalos de avaliação, em dias.

Tempo (dias)	Tratamento	Média	Desvio Padrão	CV (%)
152	T1	20,5	2,99	14,64
	T2	20,9	0,76	3,6
	T3	21,0	1,27	6,04
	<b>T4</b>	<b>22,0</b>	<b>2,70</b>	<b>12,2</b>
	T5	21,2	1,42	6,69
304	T1	56,5	5,55	9,83
	T2	58,0	6,55	11,29
	T3	58,9	6,25	10,6
	<b>T4</b>	<b>61,4</b>	<b>8,77</b>	<b>14,3</b>
	T5	58,6	9,78	16,69
456	T1	68,3	6,71	9,82
	T2	67,6	9,04	13,38
	T3	73,0	7,41	10,14
	<b>T4</b>	<b>75,1</b>	<b>12,05</b>	<b>16,04</b>
	T5	71,3	9,65	13,54

Fonte: O Autor (2021).

Legenda: CV = Coeficiente de variação; T= Tratamento; Testemunha (T1), fertilizante mineral solúvel+calcário (T2), 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T4), e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T5).

Percebe-se que, de maneira geral, nos tratamentos em que houve maior dose do remineralizante houve maior variação da altura entre as repetições (maior desvio padrão e coeficiente de variação), o que pode ser justificado pela maior absorção de nutrientes de algumas plantas em relação às demais, o desenvolvimento radicular de cada muda, as diferentes dosagens de pó de rocha de basalto empregadas (5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T4), e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T5)), no caso do tratamento 2, a utilização de fertilizante mineral solúvel + calcário que é convencionalmente utilizado para esses fins.

Para a análise da variável diâmetro (em mm), percebe-se que o Tratamento T4 apresentou uma melhor resposta após 152 dias de experimento em comparação aos outros tratamentos analisados, como pode ser verificada na Tabela 2. No entanto, a efetividade do Tratamento T4 com o passar dos dias fica reduzida, e o Tratamento T3 indicou melhores resultados para o crescimento do diâmetro para as mudas.

Tabela 2 – Valor médio, desvio padrão e coeficiente de variação da variável diâmetro (mm) em cada tratamento nos intervalos de avaliação, em dias.

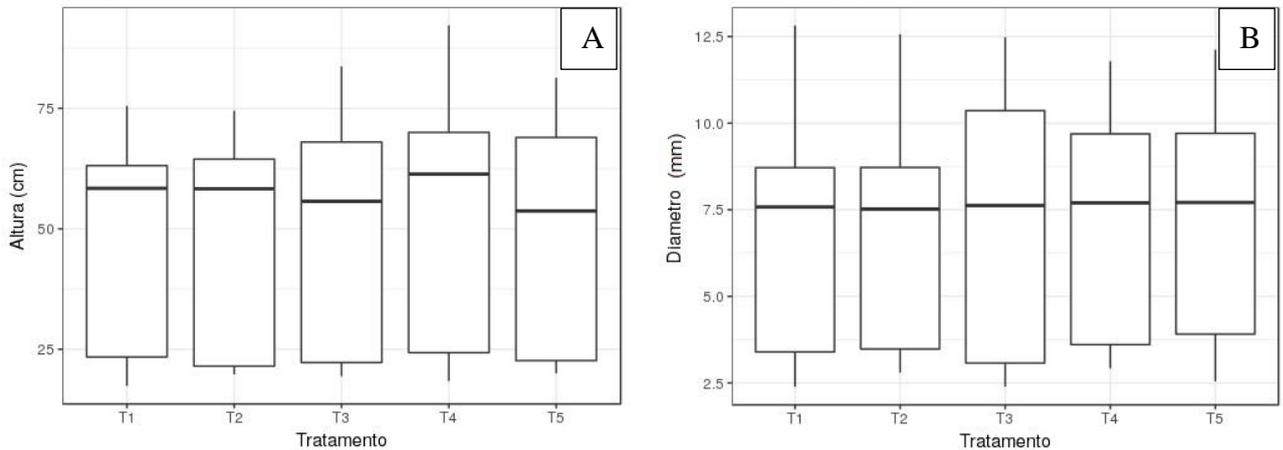
Tempo (dias)	Tratamento	Média	Desvio Padrão	CV (%)
152	T1	2,9	0,50	16,90
	T2	3,2	0,40	12,5
	T3	2,8	0,36	12,9
	<b>T4</b>	<b>3,3</b>	<b>0,31</b>	<b>9,34</b>
	<b>T5</b>	<b>3,2</b>	<b>0,66</b>	<b>20,38</b>
304	T1	7,4	1,10	14,81
	T2	7,3	0,78	10,78
	<b>T3</b>	<b>7,8</b>	<b>0,61</b>	<b>7,77</b>
	T4	7,7	0,76	9,8
	<b>T5</b>	<b>7,9</b>	<b>0,73</b>	<b>9,3</b>
456	T1	10,2	1,72	16,87
	T2	10,2	1,99	19,44
	<b>T3</b>	<b>11,1</b>	<b>0,92</b>	<b>8,3</b>
	T4	10,5	0,90	8,4
	<b>T5</b>	<b>10,9</b>	<b>1,21</b>	<b>11,1</b>

Fonte: O Autor (2021).

Legenda: CV= Coeficiente de variação; T= Tratamento; Testemunha (T1), fertilizante mineral solúvel+calcário (T2), 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T4), e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T5).

Para melhor verificação da ação dos tratamentos nas variáveis altura e diâmetro nas mudas de *Pinus*, foi realizado o boxplot com os tempos fixos para cada tratamento analisado, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Boxplot para as variáveis altura (A) e diâmetro (B) em cada tratamentos.



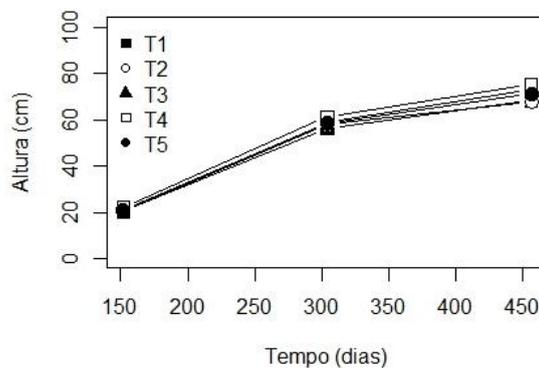
Fonte: O Autor (2021).

Legenda: T= Tratamento; Testemunha (T1), fertilizante mineral solúvel+calcário (T2), 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T4), e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T5).

Na Figura 6A percebe-se que os tratamentos tiveram performance similar para a variável altura considerando-se o tempo fixo, com destaque para o Tratamento T4. Nota-se também que 50% das amostras analisadas do tratamento T4 apresentaram altura maior do que 61,4 cm em comparação com os outros. No entanto, nota-se pela figura 6B que todos os tratamentos apresentaram a mesma ação com respeito à variável diâmetro.

A ação dos tratamentos analisados na variável altura (cm) das mudas de *Pinus taeda* ao longo dos dias pode ser visualizada na figura 7. Nessa figura, percebe-se um melhor resultado do Tratamento T4, seguido do Tratamento T5. No entanto, a variável diâmetro não apresentou resultados muito diferentes entre os tratamentos, havendo um pequeno aumento no Tratamento T3, quase imperceptível como é possível observar na Tabela 2.

Figura 7 –Gráfico da altura ao longo do tempo.



Fonte: O Autor (2021).

Legenda: T= Tratamento; Testemunha (T1), fertilizante mineral solúvel+calcário (T2), 5 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T3), 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T4), e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto (T5).

## 4.2 MODELO LINEAR GENERALIZADO

A partir de uma análise prévia das variáveis respostas altura e diâmetro, percebeu-se que os dados não satisfizeram ao pressuposto de normalidade (teste de Shapiro-Wilk). Nessa situação, recomenda-se a utilização dos Modelos Lineares Generalizados para a análise do experimento, conforme informações descritas na subseção 3.5.

### 4.2.1 Análise estatística da altura

Para seleccionar o Modelo Linear Generalizado que melhor ajusta-se aos dados do experimento, utilizou-se o Critério de Informação de Akaike (AIC), como ilustra a tabela 3. Nesse sentido, percebe-se que para a variável altura, o melhor ajuste dos dados é fornecido pela Distribuição Normal Inversa com a função de ligação logarítmica.

Tabela 3 – Critério de Informação de Akaike (AIC) para a variável Altura (cm).

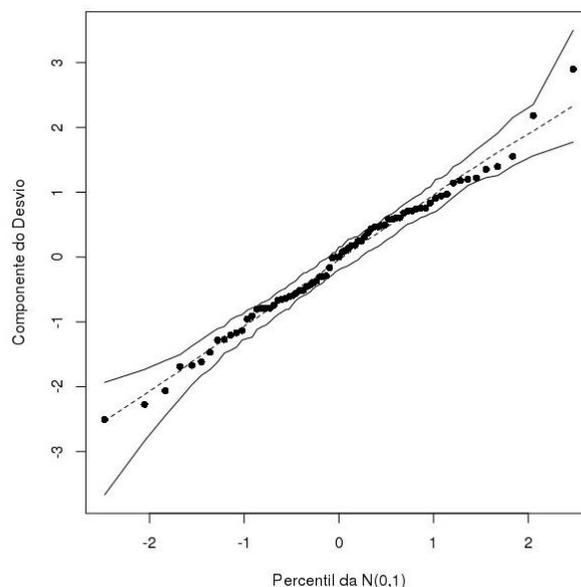
<b>Modelo</b>	<b>Família</b>	<b>Função ligação</b>	<b>AIC</b>
M1	exponencial	Inversa	503,52
M2		Logarítmica	503,70
M3		Identidade	505,12
M4	Normal Inversa	Inversa	461,65
<b>M5</b>		<b>Logarítmica</b>	<b>461,13</b>
M6		Identidade	462,48
M7	Gama	Inversa	462,13
M8		Logarítmica	462,07
M9		Identidade	464,07

Fonte: O Autor (2021).

Legenda: M= Modelo.

Após a seleção do modelo, foi verificado através do gráfico de envelope (figura 8) que o modelo proposto ajusta-se adequadamente aos dados, uma vez que os pontos observados estão dentro da faixa de confiança.

Figura 8— Gráfico de envelope para a variável altura (cm).



Fonte: O Autor (2021).

Constatou-se através da Análise de Variância que o Tratamento 4 (10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto) apresentou um crescimento significativo na altura das mudas de *Pinus taeda* ao nível de 5% de significância, como apresentado na tabela 4. Além disso, as plantas apresentaram também um crescimento significativo com o passar dos dias (valor-p <5%), diferindo ao longo do tempo e também do tratamento 1 (testemunha). Portanto, nota-se que o Tratamento T4 apresentou um aumento no incremento na altura de aproximadamente 0,08 cm em comparação ao Tratamento T1 (sem adição de fertilização). Não havendo diferença estatística nos demais tratamentos analisados.

Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo Normal Inversa ajustado para a altura (cm).

<b>Coefficientes</b>	<b>Estimativa</b>	<b>Valor-p</b>
Intercepto	3,0157	0,0001
Tratamento 2	0,0162	0,6649
Tratamento 3	0,0357	0,3444
<b>Tratamento 4</b>	0,0794	<b>0,0398</b>
Tratamento 5	0,0374	0,3213
Tempo 304	1,0219	0,0001
Tempo 456	1,2133	0,0001

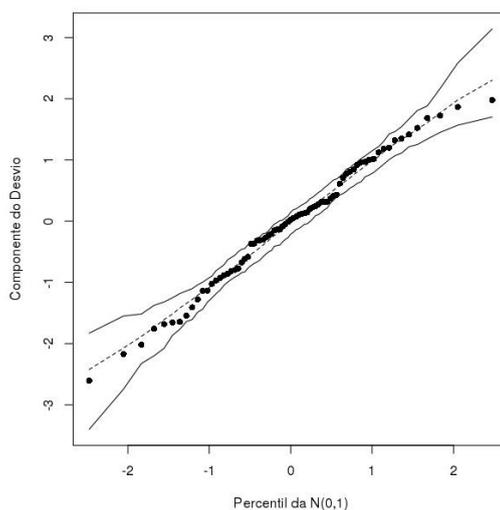
Fonte: O Autor (2021).

#### 4.2.2 Análise estatística do diâmetro

De forma análoga, encontrou-se o melhor modelo para avaliar-se o desempenho do diâmetro das mudas de *Pinus taeda*. Nessa análise de seleção de modelo, o melhor proposto para o diâmetro foi encontrado com a Distribuição Gama e função ligação identidade (AIC=189,35).

Avaliando-se o gráfico de envelope, apresentado na figura 9, observa-se que o modelo proposto acima fornece um ajuste adequado para este banco de dados, englobando todos os pontos dentro da faixa.

Figura 9 –Gráfico de envelope para a variável diâmetro (mm).



Fonte: O Autor (2021).

Pela Análise de Variância do modelo, observa-se que o tempo é um fator significativo para o crescimento do diâmetro (valor- $p < 5\%$ ). Além disso, foi possível perceber que o Tratamento T4 não foi significativo ao nível de 5% de significância no crescimento do diâmetro (Tabela 5). O efeito não significativo dos tratamentos no diâmetro pode ser visualmente verificado através do boxplot da Figura 6B.

Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros referentes ao modelo Gama ajustado para o diâmetro (mm).

<b>Coefficientes</b>	<b>Estimativa</b>	<b>Valor-p</b>
Intercepto	2,9113	0,0001
Tratamento 2	0,1723	0,4311
Tratamento 3	-0,0345	0,8706
<b>Tratamento 4</b>	<b>0,3867</b>	<b>0,0896</b>
Tratamento 5	0,3471	0,1247
<b>Tempo 304</b>	<b>4,5339</b>	<b>0,0001</b>
<b>Tempo 456</b>	<b>7,5080</b>	<b>0,0001</b>

Fonte: O Autor (2021).

## 5 CONCLUSÕES

O uso de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de pó de basalto promoveu aumento significativo da variável altura ao longo do período de avaliação, diferindo estatisticamente em relação ao tratamento sem adição de fertilizante. Não houve influência significativa dos tratamentos avaliados no que se refere ao diâmetro das mudas.

O presente estudo buscou inovar e trazer dados para comparar e tentar quantificar doses do remineralizador por unidade de área, mas o reduzido tempo de avaliação não permitiu maior clareza dos efeitos do uso de remineralizador, principalmente no que se refere à variável diâmetro. Assim, propõem-se mais pesquisas relacionadas com o uso de pós de rochas em espécies florestais e por maiores períodos de tempo, já que a utilização do mesmo mostrou-se promissora apesar do pouco tempo de experimento.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A. de; SHIMIZU, J. Y. **Espécie de pinus mais plantadas no Brasil**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaoof6\\_1gal1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3715&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=3229](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoof6_1gal1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicoId=3229) Acesso em: 20 fev. 2021.
- ALMEIDA, E.; SILVA, F. J. P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processo de transição agroecológica no sul do Brasil. **Revista Agriculturas**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 7- 10, mar. 2007.
- ASSIS, L. B. **Agroecologia sob a visão do direito**: estudo do manejo da rochagem como demonstração de que a agroecologia é instrumento de direito à alimentação e de preservação da vida. 2015. Dissertação (Mestrado em Direito Agrário) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- BAMBERG, A. L. *et al.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM. 3., 2016, Local. **Anais** [...]. Local: EMBRAPA, 2016.
- BERGMANN, M. *et al.* Considerações sobre o potencial de uso agrônomo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J. T. da; DONATO, M. (org.). **Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração**. Porto Alegre: UFRGS, 2014, p. 119-126.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016**. Sobre o que trata. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2020.
- BRASIL. **Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013**. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato20112014/2013/Lei/L12890.htm#:~:text=%E2%80%9CDisp%C3%B5e%20sobre%20a%20inspe%C3%A7%C3%A3o%20e,%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.%E2%80%9D](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20112014/2013/Lei/L12890.htm#:~:text=%E2%80%9CDisp%C3%B5e%20sobre%20a%20inspe%C3%A7%C3%A3o%20e,%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.%E2%80%9D). Acesso em: 24 fev. 2021.
- BRUGNERA, R. L. **Avaliação do uso de pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da rúcula**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade Dinâmica das Cataratas, Foz do Iguaçu, 2012. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/adubacao/livros/AVALIACAO%20O%20DO%20PO%20DE%20ROCHA%20BASALTICA%20COMO%20FERTILIZANTE%20ALTRNATIVO%20NA%20CULTURA%20DA%20RUCULA.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.

CAMARGO, C. K. *et al.* Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2985-2994, setembro. 2012.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 15-27, out-dez. 2012.

CORE TEAM R. **Language and environment for statistical computing R**. Vienna, Austria: Foundation for Statistical Computing, 2017.

CQFS. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: SBCS/NRS, 2016.

EHLERS, T.; ARRUDA, G. O. S. F. de. **Utilização do Pó de Basalto em Substratos para Mudanças de *Eucalyptus grandis***. Xanxerê: Universidade do Oeste de Santa Catarina, 2014.

FERREIRA, C. A. **Nutritional aspects of the management of Eucalyptus plantations on poor sandy soils of the Brazilian cerrado region**. 1989. Thesis (Doctor of Philosophy) – Green College, University of Oxford, United Kingdom, 1989.

FERREIRA, C. A. *et al.* **Nutrição de Pinus no Sul do Brasil: Diagnóstico e Propriedades de Pesquisa**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. (Documentos, 60).

FERREIRA, R. A. **Análise genética e seleção em testes dialélicos de *Pinus taeda* L.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório anual 2019**. São Paulo: Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios, 2019.

KNAPIK, J. G. **Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de *Mimosa scabrella* Benth e *Prunus sellowii* Koehne**. 2005.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em:

<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/2213/disserta%3f%3fo%20JULIANE%20GARCIA%20KNAPIK.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 jul. 2020.

LINS, F. F. *et al.* Congresso Brasileiro de Rochagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Planaltina, DF. **Anais [...]**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

LOBATO, B. **Normatização viabiliza produção de remineralizadores agrícolas**. Brasília, DF: EMBRAPA CERRADOS, 2016.

MATTOS, T. de. *et al.* Uso de remineralizadores e seus aspectos legais envolvendo o código de mineração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2016, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília, DF: instituição promotora do evento, 2016. p. 51-55.

MELAMED, R.; GASPAR, J. C.; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

MELO, V. F. *et al.* Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 4, p. 471-476, ago. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/aa/v42n4/a04v42n4.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PAULA, G. A. **Modelos de Regressão com apoio computacional**. São Paulo: Instituto de Matemática e Estatística, 2013.

PENTEADO JUNIOR, J. F. **Importância socioeconômica**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducao16\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_76293187\\_sistemaProducaoId=3715&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=3240](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=3715&p_r_p_-996514994_topicoId=3240). Acesso em: 20 fev. 2021.

POTTER, R. O. *et al.* **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

PRITCHETT, W.; ZWINFORD, K. R. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. **Soil Science of America Proceedings**, Flórida, v. 25, n. 5, p. 397-400, setembro, 1961.

RAMOS, C. G. *et al.* Estudo preliminar de aplicação de basalto com zeólitas como remineralizador de solo em plantio de eucalipto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2017, Vale do Taquari. **Anais [...]**. Vale do Taquari: Embrapa, 2017. p. 287-292.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Viçosa: Editora UFLA, 2002.

RIBEIRO, G. M. *et al.* Solubilização de fonolito, basalto e olivina melilitito em ácido cítrico de ácido acético. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2016, Lages, SC. **Anais [...]**, Lages, SC: Embrapa, 2016. p. 41-44.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília, DF. **Anais [...]**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. p. 173-181.

THEODORO, S. H. A Construção do Marco Legal dos Remineralizadores. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2017, Brasília, DF. **Anais [...]**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2017. p. 25-36. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1354346/26325871/Livro+Congresso+de+rochagem+Formato+Web.pdf/29be78a9-dd7a-8050-5b31-2b02c583589e>. Acesso em: 24 fev. 2021.

THEODORO, S. H.; MARTINS, E. de S.; FERNANDES, M. M.; CARVALHO, A. M. X. de. II Congresso Brasileiro de Rochagem. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Visconde do Rio Branco. Anais [...]. Poços de Caldas; Embrapa, 2013. p. 3-8.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/295099176\\_Anais\\_do\\_II\\_Congresso\\_Brasileiro\\_de\\_Rochagem\\_coletanea\\_de\\_varios\\_autores](https://www.researchgate.net/publication/295099176_Anais_do_II_Congresso_Brasileiro_de_Rochagem_coletanea_de_varios_autores). Acesso em: 24 jun. 2021.

VALERI, S.V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades**. 1988. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

WOLSCHICK, P. R. D. *et al.* Efeito do pó de rocha basáltica sobre a germinação de *Cedrela fissilis*. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 29, n. 3, p. 76-80, mês. 2017.

WREGGE, M. S. *et al.* **Atlas climático da região sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília: Embrapa, 2012.