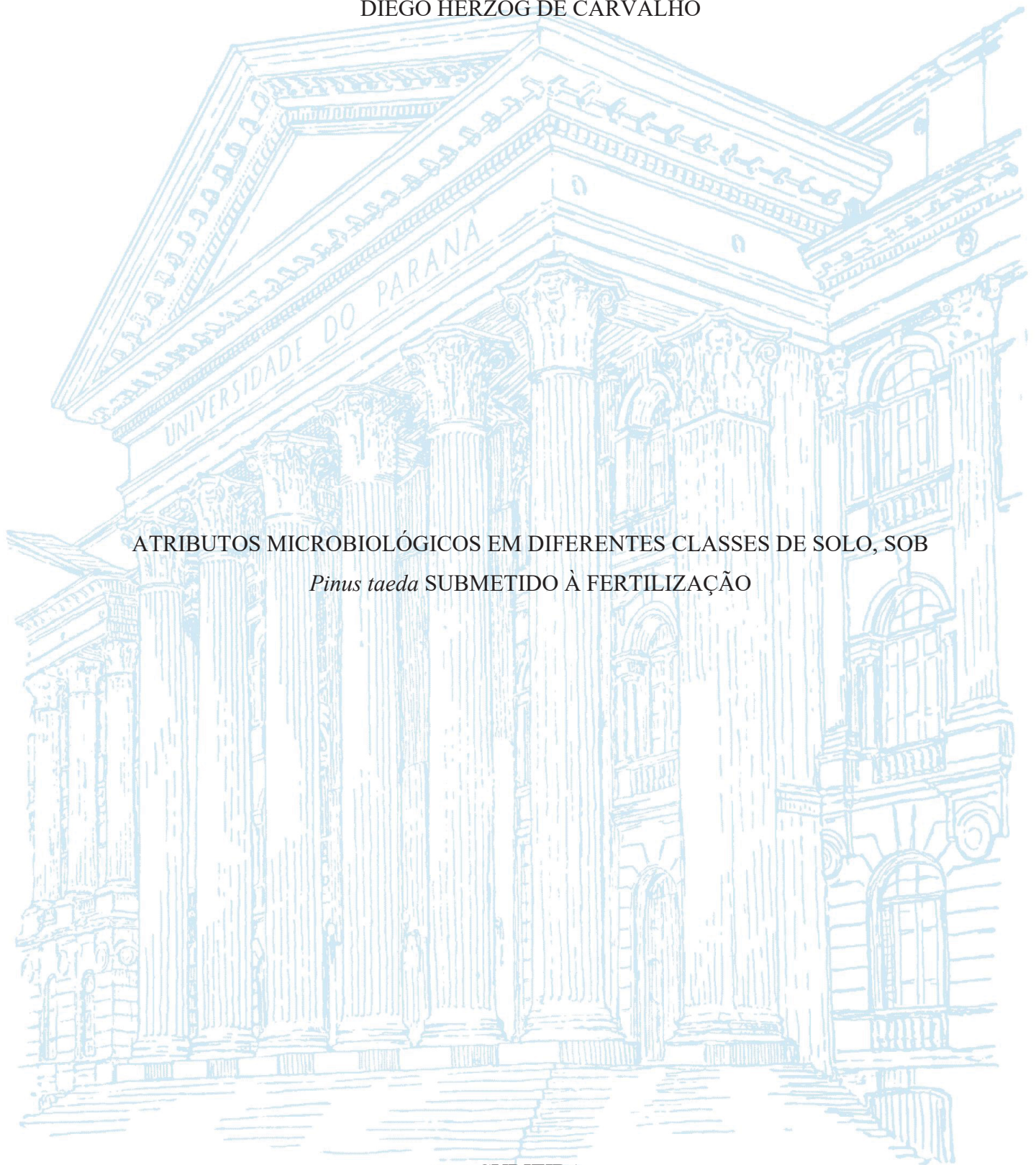


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DIEGO HERZOG DE CARVALHO



ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS EM DIFERENTES CLASSES DE SOLO, SOB  
*Pinus taeda* SUBMETIDO À FERTILIZAÇÃO

CURITIBA

2022

DIEGO HERZOG DE CARVALHO

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS EM DIFERENTES CLASSES DE SOLO, SOB  
*Pinus taeda* SUBMETIDO À FERTILIZAÇÃO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

CURITIBA

2022

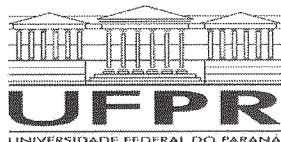
DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Carvalho, Diego Herzog de  
Atributos microbiológicos em diferentes classes de solo, sob  
*Pinus taeda* submetido à fertilização / Diego Herzog de Carvalho.  
– Curitiba, 2022.  
1 recurso online: PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,  
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

1. Fertilidade do solo. 2. Pinheiro. 3. Solos - Microbiologia.  
I. Marques, Renato. II. Universidade Federal do Paraná. Programa  
de Pós-Graduação em Ciência do Solo. III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -  
40001016014P4

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DIEGO HERZOG DE CARVALHO** intitulada: **ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS EM DIFERENTES CLASSES DE SOLO, SOB *Pinus taeda* SUBMETIDO À FERTILIZAÇÃO**, sob orientação do Prof. Dr. RENATO MARQUES, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 29 de Junho de 2022.

Assinatura Eletrônica

30/06/2022 09:16:15.0

RENATO MARQUES

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

29/06/2022 11:31:38.0

GLACIELA KASCHUK

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

29/06/2022 11:39:56.0

MAURO VALDIR SCHUMACHER

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA)

---

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil  
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5648 - E-mail: [pgcisolo@ufpr.br](mailto:pgcisolo@ufpr.br)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 200470

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>  
e insira o código 200470

## RESUMO

O presente estudo avaliou atributos microbiológicos de diferentes classes de solo, plantados com *Pinus taeda* submetido à omissão e adição de nutrientes, em áreas do Paraná e Santa Catarina. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) contendo os seguintes tratamentos: (C) controle - não fertilizado; (F) fertilizado com NPK; (F-N) omissão de nitrogênio; (F-P) omissão de P; (F-K) omissão de K; (F+CaMg) fertilizado com NPK e com adição de calcário dolomítico e (F+Micro) fertilizado com NPK e adição de micronutrientes. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Os componentes determinados foram a mineralização de nitrogênio (Nm), respiração basal do solo (RBS), carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e N) e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ). Devido à adubação localizada próximo das mudas e à amostragem de solo em locais distintos destes, os efeitos da omissão ou adição de nutrientes não foi evidenciado nos atributos microbiológicos do solo. As diferenças entre os atributos microbiológicos do solo foram determinadas por fatores de natureza edafoclimáticas, traduzidos nas diferentes classes de solo em estudo. Os atributos físicos e químicos do solo são os fatores que exerceram influência, positiva ou negativa, sobre atividade microbiana no solo.

Palavras-chave: atividade microbiana do solo; mineralização do N; fertilidade do solo; nutrientes.

## ABSTRACT

The present study evaluated microbiological attributes of different soil classes, planted with *Pinus taeda* submitted to the omission and addition of nutrients, in areas of Paraná and Santa Catarina. The experimental design was in randomized blocks (DBC) containing the following treatments: (C) control - not fertilized; (F) fertilized with NPK; (F-N) nitrogen omission; (F-P) omission of P; (F-K) omission of K; (F+CaMg) fertilized with NPK and added dolomitic limestone and (F+Micro) fertilized with NPK and added micronutrients. Soil samples were collected at depths 0-5, 5-10 and 10-20 cm. The components evaluated were nitrogen mineralization (Nm), soil basal respiration (RBS), microbial biomass carbon and nitrogen (CBM and N) and metabolic quotient ( $qCO_2$ ). Due to the fertilization located close to the seedlings and the soil sampling in different places, the effects of the omission or addition of nutrients was not evidenced in the microbiological attributes of the soil. Differences between soil microbiological attributes were determined by edaphoclimatic factors, translated into the different soil classes under study. The physical and chemical attributes of the soil are the factors that exerted influence, positive or negative, on microbial activity in the soil.

Keywords: soil microbial activity, n mineralization, soil fertility, nutrients.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>1.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>9</b>
1.1.	Qualidade microbiológica do solo.....	9
1.2.	Manejo da fertilidade do solo em plantações de pinus no brasil.....	11
1.3.	Adubação mineral e atividade microbiana do solo .....	11
<b>2.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
2.1.	Adubação mineral e atividade microbiana do solo .....	13
2.2.	Histórico das áreas.....	13
2.3.	Delineamento experimental.....	14
2.4.	Coleta de amostras e caracterização física e química dos solos.....	16
2.5.	Ensaio microbiológicos.....	17
2.5.1.	Mineralização de Nitrogênio por Incubação Anaeróbica (Nm) .....	17
2.5.2.	Respiração Basal do Solo (RBS).....	18
2.5.3.	Carbono da Biomassa Microbiana .....	19
2.5.4.	Quociente Metabólico .....	20
2.6.	ENSAIOS MICROBIOLÓGICOS .....	20
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
3.1.	Caracterização física e química dos solos .....	21
3.2.	Atributos microbiológicos.....	23
3.2.1.	Mineralização de Nitrogênio por Incubação Anaeróbica (Nm) .....	23
3.2.1.1.	Mineralização de Nitrogênio na Área KLP.....	23
3.2.1.2.	Mineralização de Nitrogênio na Área KLS.....	25
3.2.1.3.	Mineralização de Nitrogênio na Área JUL.....	26
3.2.1.4.	N Mineralizado Acumulado .....	27
3.2.2.	Carbono da Biomassa Microbiana (CBM).....	28
3.2.3.	Respiração Basal do Solo (RBS).....	30
3.2.4.	Quociente Metabólico ( $qCO_2$ ).....	31
3.3.	Relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.....	32
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>34</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em plantações florestais, a atividade microbiana do solo depende, dentre muitos fatores, da classe de solo (atributos físicos e químicos), das condições ambientais (umidade e temperatura) e do tipo de manejo silvicultural empregado. A aplicação de compostos minerais fertilizantes tem por objetivo aumentar a quantidade de nutrientes disponíveis no solo; e esses são importantes para o desenvolvimento vegetal, mas também para atividade microbiana no solo. Os microrganismos do solo atuam na mineralização da serapilheira, após o fracionamento físico e incorporação do material orgânico em camadas superficiais do solo, via quebra das moléculas complexas por processos distintos, liberando os nutrientes na solução do solo. Esse processo compõe parte importante da ciclagem de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, entre outros, que são absorvidos pela própria biomassa microbiana e pelas plantas.

Devido à necessidade nutricional tanto das árvores quanto da biomassa microbiana do solo (BMS), a adição de fertilizantes minerais, pelo aumento do aporte de nutrientes, pode estimular a atividade biológica (ANTUNES, 2018), atuando como um catalisador dessa etapa da ciclagem de nutrientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Assim a fertilização, direta e indiretamente, se apresenta como uma alternativa na melhoria da produtividade florestal, pelo aumento da disponibilidade de nutrientes necessários ao desenvolvimento vegetal.

No sul do Brasil, nas áreas onde se planta *Pinus*, a fertilização não é uma prática frequente. Porém, após mais de um ciclo de exploração florestal; práticas de reposição de nutrientes são necessárias para manter o suprimento de nutrientes ao solo e assegurar a produtividade do sítio florestal ao longo prazo (PAIM, 2007). A preocupação com a fertilização se torna ainda mais necessária com a expansão das áreas de plantio para regiões de solos arenosos, rasos, ou com baixos teores de matéria orgânica.

A fertilização se apresenta, portanto, como ferramenta para minimizar os efeitos da exportação intensa de nutrientes; e para melhorar a qualidade do solo garantindo a manutenção da sustentabilidade florestal. Contudo, são poucos os estudos investigando a influência dessa prática sobre os atributos microbiológicos do solo, sobretudo em plantações de *Pinus taeda* no Sul do Brasil. Assim, o presente trabalho foi desenvolvido em parceria com o Programa Cooperativo sobre Pesquisa do Pinus no Brasil (PPPIB), objetivando

avaliar, em diferentes classes de solo plantadas com *Pinus taeda*, o efeito da adição e omissão de nutrientes sobre os atributos microbiológicos do solo; e, também, as relações de atributos físicos e químicos do solo com os atributos microbiológicos.

## 1. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1. Qualidade Microbiológica do Solo

A microbiota do solo desempenha um papel fundamental, com efeito em processos como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes e mineralização da matéria orgânica; e, devido a sua alta sensibilidade, a atividade microbiana é considerada um indicador eficiente da qualidade biológica do solo (CHAER; TOTOLA, 2007; SCHLOTTER et al., 2017).

Estima-se que o solo abriga mais de 900 mil espécies (BROWN et al., 2015) em escala mundial, sendo considerado o ecossistema mais complexo e dinâmico do planeta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Essas espécies são classificadas por diferentes tamanhos, variando entre macro, mesofauna (>25 µm) e microfauna (<25 µm) (LIN et al., 2019). Protozoários e nematóides integram a microfauna e, em um nível trófico basal da teia alimentar do solo, a microflora é composta por fungos, bactérias e actinomicetos, além de algas.

Componente da matéria orgânica do solo (MOS), a microflora é compreendida como a porção viva do carbono orgânico do solo, ou seja, os microrganismos que ali vivem (BRAGA et al., 2016); e também a parte mais ativa (SILVA, 2021), devido a sua participação em processos bioquímicos do solo e também por sua população abundante, estimada entre  $10^7$  a  $10^9$  células microbianas por grama de solo (COTTA, 2016), respondendo por grande parte da ciclagem de nutrientes.

Entendida como o fluxo e acúmulo dos elementos minerais entre os compartimentos do ecossistema e as transferências entre eles (HANKE et al., 2020), a ciclagem de nutrientes ocorre em diversas etapas. A decomposição corresponde à etapa mais bruta do processo, onde há a quebra de um composto em frações mais simples, ou mais lábeis, seguida da

mineralização, uma das principais funções da microbiota do solo (PULROLNIK, 2009). A mineralização ocorre pela oxidação do material que foi incorporado ao solo com a catálise de monômeros fornecidos pela degradação da matéria orgânica, que são absorvidos pelas células microbianas e convertidos em formas minerais, que podem ser imobilizados pela própria biomassa microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) ou serem disponibilizados na solução do solo para a nutrição vegetal.

Esses processos podem ser medidos de diferentes formas. De acordo com Souza et al. (2021), os indicadores mais comumente utilizados para avaliar a atividade microbiana do solo são a respiração microbiana (RBS), o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ).

A RBS é a soma total das funções metabólicas do solo nas quais o  $CO_2$  é produzido (SILVA et al., 2007), equivalente à respiração radicular e à respiração microbiana (TYREE et al, 2006). A biomassa microbiana do solo, segundo De-Polli e Guerra (1996), é definida como uma estimativa da massa microbiana viva total do solo, baseada na determinação de algum elemento, no caso o C sendo o mais comumente utilizado. Sua determinação pode ser feita a partir do método de irradiação-extração (IE) (FERREIRA et al., 1999), que se baseia em submeter a amostra de solo aos efeitos de micro-ondas e posterior extração/determinação do C em amostras irradiadas e não irradiadas. Dentre as vantagens desse método está a não utilização de reagente tóxico (clorofórmio), altamente cancerígeno, empregado na fumigação das amostras. Contudo, no método IE, cuidados são necessários com a conferência constante da faixa de radiação que incide sobre a amostra, de forma a evitar erros analíticos. O  $qCO_2$  informa quanto de C é perdido por meio do fluxo de  $CO_2$  para incorporar uma unidade de C na biomassa microbiana (SOUZA et al., 2021).

Outro possível indicador da atividade microbiana é o N mineralizado no solo, que representa o processo de mineralização da matéria orgânica, pelos microrganismos que são reguladores biogeoquímicos no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A mineralização do N depende de atributos e propriedades do do ambiente como clima, altitude, comunidade de plantas, uso e manejo do solo; e de propriedades do solo como teor de matéria orgânica, pH, salinidade, profundidade, estrutura, textura, constituintes minerais e atividade microbiológica (GONÇALVES *et al.*, 2001). E, funcionalmente, a taxa de mineralização representa um processo essencial aos ecossistemas, portanto, um indicador da qualidade do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

## **1.2. Manejo da Fertilidade do Solo em Plantações de Pinus no Brasil**

Cultivado em larga escala na região Sul do Brasil, o *Pinus taeda* L. tem contribuído significativamente para a economia no Brasil. Favorecida pelas condições edafoclimáticas da região, a espécie ocupa plantações florestais dos principais centros processadores desse tipo de madeira, que responde por 88,5 % da produção nacional de madeira de Pinus (STAHL et al., 2018).

Reportado como de baixa exigência em termos nutricionais (SCHUMACHER et al., 2008), o *P. taeda* é frequentemente cultivado em solos com fertilidade natural limitada. E nessas condições tem sido observada a diminuição da produtividade (VOGEL et al., 2005). Com o decorrer dos ciclos de produção, os níveis de nutrientes no solo diminuem, reduzindo o desenvolvimento de futuros plantios (ELY, 2021).

Assim, a adoção de fertilizantes minerais, contendo macro e micronutrientes, se apresenta como uma alternativa para suprir a baixa na disponibilidade de nutrientes nos solos e, conseqüentemente, melhorar a produtividade florestal. Isto tem sido observado em estudos com adubação de Pinus que tem apresentado respostas positivas na produtividade (BELLOTE et al., 2003; VOGEL et al., 2005; STAHL, 2018) com a adubação.

## **1.3. Adubação Mineral e Atividade Microbiana do Solo**

A atividade microbiológica é condicionada por fatores intrínsecos ao ambiente, como o pH, balanço de nutrientes minerais, temperatura, umidade, aeração, cobertura vegetal, além de fatores externos como a prática de manejo exercida no ambiente pelo homem.

A aplicação de compostos fertilizantes no solo é seguida por mudanças na interface microbiana, por interferir em processos como a atividade metabólica por unidade de biomassa microbiana, diversidade da biota, infecção micorrízica, quantidade e qualidade de substrato acima e abaixo do solo, entradas de carbono lábil e produção de enzimas extracelulares por micróbios do solo (SAMUELSON et al., 2009).

As práticas do manejo florestal com adição de insumos podem alterar o conteúdo de carbono do solo (SAMUELSON et al., 2009) e a atividade microbiana, importante na

decomposição de compostos orgânicos depositados e incorporados ao solo. Assim, a emissão de CO<sub>2</sub> e a mineralização do N são indicadores eficientes dos efeitos provocados na respiração do solo, e na amonificação e nitrificação, respectivamente.

A aplicação de compostos minerais, como calcário, nitrogênio fósforo e potássio (NPK), no plantio e em cobertura, além de micronutrientes, promovem mudanças nos atributos microbiológicos do solo. A fertilização mineral com proporções balanceadas é reportada como positiva para microrganismos heterotróficos, refletindo no aumento de atributos como biomassa microbiana, carbono orgânico total e nitrogênio total do solo (FRANCIOLI et al., 2016). A fertilização, associada à atividade simbiótica dos microrganismos, promove incrementos na biomassa da raiz e na liberação de exsudatos, estimulando ainda mais a associação, promovendo a disponibilidade de nutrientes e potencializando o desenvolvimento da espécie cultivada.

Contudo, segundo Chu et al. (2007), pouco se sabe sobre os impactos da fertilização desbalanceada. Nesse estudo citado, a fertilização balanceada entre os macronutrientes N, P, e K promoveu melhores resultados de biomassa e atividade microbiana do que em tratamentos com omissão de P e N. Houve ainda diminuição nas quantidades de carbono orgânico contidos no solo com omissão de fertilizantes, em comparação à fertilização balanceada.

Diante das informações abordadas, se torna evidente a hipótese de que a fertilização mineral pode ter reflexos positivos sobre os atributos microbiológicos do solo e essa hipótese é também sustentada e amplamente discutida por Antunes (2018). Contudo, pouco se conhece sobre a influência de situações em que há um desbalanço nos nutrientes aplicados no solo e seus efeitos na microbiota, sobretudo em plantios de *P. taeda*, onde a prática da fertilização não é frequente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Adubação Mineral e Atividade Microbiana do Solo

O estudo foi conduzido em três áreas experimentais instaladas em 2019, como parte do Programa Cooperativo sobre Pesquisa do Pinus no Brasil (PPPIB), coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF).

As unidades experimentais estão localizadas nos estados do Paraná e Santa Catarina, e sob gestão das empresas Klabin S.A. (KLP e KLS) e Juliana Florestal Ltda. (JUL). O clima nas regiões de estudo é classificado como Cfb (Koppen), com verão ameno. A Tabela 1 resume algumas informações das mesmas.

**Tabela 1.** Localização das áreas experimentais do Programa Cooperativo sobre Pinus no Brasil selecionadas para o estudo.

Código	Município – UF	Relevo	Latitude	Longitude	Altitude
KLP	Telêmaco Borba – PR	SO*	-24,225776	-50,568858	835
KLS	Lages – SC	NA	-27,792872	-50,500204	916
JUL	Caçador – SC	MO	-26,7468667	-51,071811	1030

SO – suavemente ondulado; MO – moderadamente ondulado; NA – Não avaliado.

### 2.2. Histórico das Áreas

Anteriormente ao início do experimento, a área da KLP apresentava povoamento de *Eucalyptus urophylla*, durante 8 anos e 9 meses, sendo feita a colheita em abril de 2019. Para a KLS não há informação precisa e para a JUL há registro de floresta de Pinus durante 38 anos, anterior à instalação da pesquisa.

A instalação do experimento nas áreas das empresas foi feita em abril de 2019 na JUL e em julho do mesmo ano nas áreas da KLP e KLS. Anteriormente ao plantio, foi feito preparo do solo com subsolador florestal Savannah a 60 cm na KLP e KLS e subsolagem

também a 60 cm na JUL, além de controle de matocompetição e de formigas, para não haver competição com as plantas de Pinus.

### 2.3. Delineamento Experimental

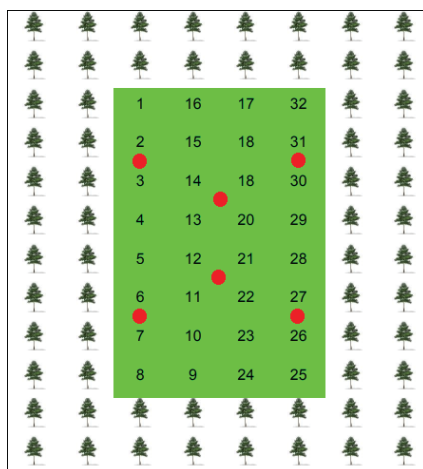
As áreas de estudo foram instaladas em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com 3 blocos e 7 tratamentos. Nos blocos, cada tratamento foi composto por 128 plantas (8 linhas x 16 plantas), com bordadura dupla, resultando em área útil de 32 plantas com espaçamento de 3x2m na KLP; e 2,5 x 2,5m na JUL e na KLS (Figura 1). Os tratamentos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Tratamentos instalados no experimento de adubação do Programa Cooperativo de Pesquisa de Pinus no Brasil

Código	Sigla	Tratamento
T1	C	Controle
T2	F	Fertilizado com NPK
T3	F-N	Fertilizado e omissão de N
T4	F-P	Fertilizado e omissão de P
T5	F-K	Fertilizado e omissão de K
T6	F+CaMg	Fertilizado e adição de Cálcio e Magnésio
T7	F+Micro	Fertilizado e adição de micronutrientes

**Tabela 3.** Croqui do experimento com aleatorização dos tratamentos entre os blocos.

Bloco 1	T7	T1	T2	T5	T4	T6	T3
Bloco 2	T2	T5	T6	T3	T7	T1	T4
Bloco 3	T7	T2	T4	T1	T5	T3	T6



**Figura 1.** Esquema das unidades experimentais. Os pontos em vermelho indicam os locais de coleta das amostras de solo para as análises microbiológicas.

O esquema de adubação no arranque (180 dias após plantio) foi feito em 2 covetas laterais a 10 cm de distância da planta e 10 cm de profundidade, sendo em uma das covetas aplicados os micronutrientes, nitrogênio e potássio; e na outra coveta o fósforo. O calcário dolomítico foi aplicado em filete contínuo ao lado das linhas de plantio. Na adubação de cobertura (360 dias após plantio) foi feita adubação com nitrogênio e potássio em semi-coroa, na projeção da copa.

**Tabela 4.** Recomendação de adubação de arranque (180 dias após plantio) e de cobertura (360 dias após plantio).

Tipo de adubação	Forma de aplicação	Nutriente	Adubo	Dose kg ha <sup>-1</sup>
Arranque	Coveta lateral	N (20 kg N ha <sup>-1</sup> )	Nitrato de amônio	62
Arranque	Coveta lateral	P (60 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Superfosfato simples	400
Arranque	Coveta lateral	K (33 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> )	Cloreto de potássio	57
Arranque	Coveta lateral	Micronutrientes	FTE Br12	50
Arranque	Filete contínuo	Ca (675 kg CaO ha <sup>-1</sup> ) e Mg (150 kg MgO ha <sup>-1</sup> )	Calcário dolomítico	1500
Cobertura	Semi-coroa	N (40 kg N ha <sup>-1</sup> )	Nitrato de amônio	125
Cobertura	Semi-coroa	K (67 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> )	Cloreto de Potássio	115

## 2.4. Coleta de Amostras e Caracterização Física e Química dos Solos

As análises físicas e químicas, antes da aplicação dos tratamentos, foram feitas com amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm. Foram determinados P e K (extrator Mehlich 1), Al Ca e Mg trocáveis (extrator KCl 1mol L<sup>-1</sup>), acidez potencial (H+Al), conforme EMBRAPA (SILVA et al., 1998), pH CaCl<sub>2</sub> 1M e S por extração com solução de fosfato de cálcio 0,01 M e determinação por colorimetria (RAIJ et al., 2001). N e C totais foram determinados por combustão em Analisador Elementar Vario EL III. Foram também calculadas a capacidade de troca de cátions ou CTC a pH 7,0 (valor T), a soma de bases (SB), a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%). A análise granulométrica foi realizada pelo método do densímetro de Bouyoucos (GEE; OR, 2002). Os resultados das análises físicas e químicas foram interpretados com base no manual de adubação e de calagem para o estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2017).

Entre junho e agosto de 2021, após aplicação dos tratamentos, foram feitas coletas de solo com a abertura de microp perfis com amostragem em três profundidades, 0-5, 5-10 e 10-20 cm, para análises químicas e microbiológicas, onde foram coletadas 6 subamostras, sendo 4 na linha de plantio e 2 entre as linhas de plantio (Figura 1). Essas foram agrupadas, totalizando 2 amostras compostas por tratamento/bloco/profundidade. As mesmas foram colocadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, onde foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2mm.



**Figura 2.** Fotos exemplificando a coleta do solo nas unidades experimentais do Programa Cooperativo sobre Pesquisa do Pinus no Brasil (PPPIB).

## 2.5. Ensaios Microbiológicos

Previamente aos ensaios microbiológicos as amostras passaram por processo de reumedecimento até atingir a capacidade de campo (CC). Uma alíquota de 20 g de amostra, previamente seca ao ar e peneirada (malha de 2 mm), foi pesada em anel volumétrico e os anéis dispostos em bandejas com água deionizada, como mostra a Figura 3.



**Figura 3.** Amostras de solos umedecidas até a capacidade de campo e colocadas para drenar.

Após saturação até a CC, as amostras foram drenadas até cessar o gotejamento, sendo novamente pesadas, obtendo-se o peso úmido de cada amostra. Esse procedimento foi feito sempre em duplicata, sendo uma alíquota direcionada à estufa a 105 °C para determinação da umidade e a outra para o ensaio microbiológico.

### 2.5.1. Mineralização de Nitrogênio por Incubação Anaeróbica (Nm)

A metodologia utilizada na avaliação do nitrogênio mineralizado (Nm) foi a de incubação anaeróbica, proposta por Waring & Bremner (1964) e aqui adaptada. Uma alíquota da amostra de solo na CC foi colocada em tubo de centrifugação, sendo adicionado em sequência 30 mL de solução de KCl 2 mol L<sup>-1</sup>, seguido de agitação por 45 minutos e centrifugação a 2000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi coletado para as

determinações de nitrato e amônio, cujos resultados representam o tempo zero, ou seja, o Nm pré-incubação.

Para a incubação, foram adicionados 30 mL de solução nutritiva contendo  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  ( $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ ),  $\text{MgSO}_4$  ( $0,002 \text{ mol L}^{-1}$ ) e  $\text{CaCl}_2$  ( $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ ), nos tubos com as amostras. Estes foram agitados manualmente, para dispersão do solo, e colocados em incubadora a uma temperatura de  $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  por período de 14 dias. Ao final deste tempo foram adicionados 5,2 g de KCl (sal anidro), para obter uma concentração de  $2 \text{ mol L}^{-1}$  de KCl em uma nova extração. O mesmo procedimento de incubação/extração foi realizado a cada 14 dias, durante 56 dias, totalizando 4 extrações.

O Nm, nas formas de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , foi determinado em alíquotas de 1 ou 5 mL do sobrenadante, após testes de diluição anteriormente realizados. A determinação do nitrato foi feita utilizando zinco metálico como redutor em solução com ácido sulfúrico (10 %, v/v) (HEINZMANN et al., 1984). As soluções foram lidas na faixa de 210 nm, em espectrofotômetro modelo UV-mini 1240 da marca SHIMADZU. A determinação do amônio foi realizada utilizando solução alcoólica de fenol (90 %), solução de nitroprussiato (0,5 % m/v) e uma solução oxidante, composta por citrato de sódio (20 % m/v) e hipoclorito de sódio (solução comercial, 5 % v/v), misturando 100 mL da solução de citrato com 25 mL do hipoclorito, sendo a leitura do amônio na faixa de 640 nm (APHA et al., 1995).

### **2.5.2. Respiração Basal do Solo (RBS)**

A respiração basal do solo foi determinada seguindo metodologia proposta por Jenkinson e Powlson (1976), com adaptações. Cada amostra de solo, reumedecida até a capacidade de campo, foi disposta em recipiente de vidro de 600 mL, hermeticamente fechado, junto com um outro frasco contendo 10 mL de solução de NaOH  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Um controle (branco) foi feito com outro recipiente de 600 mL, contendo apenas um frasco de 10 mL com a solução de NaOH  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Os recipientes foram mantidos na ausência de luz em incubadora a  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ , por um período de 10 dias. Após o tempo de incubação, o frasco contendo a solução de NaOH foi retirado do recipiente, sendo adicionados 2 mL de  $\text{BaCl}_2$  10% (m/v) para precipitação completa do  $\text{CO}_2$ , sendo, em seguida, feita a titulação com HCl

0,5 mol L<sup>-1</sup>. O indicador utilizado foi a fenolftaleína (2 gotas) a 1% (m/v). A fórmula utilizada para a obtenção do resultado é a que se segue:

$$RBS = \frac{(Vb - Va) \times M \times 6 \times 1000}{Mss \times T}$$

Em que: RBS = Respiração Basal do Solo (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>); Va e Vb – Volume de ácido gasto na titulação (a) da amostra e (b) do branco (mL); M – Molaridade padronizada do HCL (mol L<sup>-1</sup>); Mss – Massa do solo seco (kg); T – Tempo (h).

### 2.5.3. Carbono da Biomassa Microbiana

Na determinação do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM) foi utilizado o método de irradiação-extração, descrito por Ferreira et al. (1999). Foram pesados 40 g de solo com umidade na capacidade de campo em frascos de 200 mL, sendo feita a irradiação em forno microondas Sanyo Prosdócimo, modelo EM 9003 B, durante um tempo de 120 segundos por amostra. A quantidade de energia utilizada, em relação ao tempo de radiação é de 1,62 10<sup>5</sup> J, como sugerido por Ferreira et al.,(1999), obtendo-se esse valor através da seguinte formula:

$$T = P \times \delta t$$

Em que: T = trabalho/energia; P = potência (W) e  $\delta t$  = tempo.

A extração foi feita em seguida, adicionando-se aos frascos 50 mL de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se uma relação solo:extrator 1:1,25 (VANCE et al., 1987); e agitando-se por 30 minutos. Em seguida, para a determinação do CBM, as amostras foram decantadas e filtradas. CBM e NBM foram determinados no equipamento Vario TOC Cube, marca Elementar. O cálculo do C da biomassa microbiana do solo é dado pela diferença de C encontrado na amostra irradiada e o C recuperado na amostra não irradiada, aplicando o fator de correção de 0,33 (SPARLING; WEST, 1988), obtidos pela seguinte equação:

$$CBM = \frac{CFI - CFNI}{Kc}$$

#### 2.5.4. Quociente Metabólico

O cálculo do quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ), descrito por Silva et al. (2007), foi determinado pela razão entre a respiração basal do solo (RBS) e a biomassa microbiana do solo (BMS), de acordo com a seguinte fórmula:

$$qCO_2 = \frac{RBS}{CBM}$$

Em que:  $qCO_2$  – quociente metabólico do solo ( $mg\ C-CO_2\ g^{-1}\ CBM\ h^{-1}$ );

#### 2.6. Ensaio Microbiológicos

Para a comparação dos tratamentos, em cada um dos locais estudados, os dados das variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste de Duncan.

Foram verificadas a normalidade, pelo teste de Shapiro Wilk e a homocedasticidade pelo teste de Oneill Mathews. Nos casos em que os pressupostos da ANOVA não foram atendidos, as médias foram comparadas pelo teste de Kruskal Wallis (não paramétrico). Todos os testes foram feitos com o auxílio do software R Studio, a um nível de significância de 5 % ( $p \geq 0,05$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização Física e Química dos Solos

A análise textural mostrou diferenças entre as áreas, variando de muito argilosa na JUL (747 g kg<sup>-1</sup> em média) a franco-argilo-arenosa na KLP (327 g kg<sup>-1</sup> em média). Essa diferença no teor de argila entre as áreas pode estar associada ao material de origem das classes dos solos, caracterizados quimicamente na Tabela 5.

**Tabela 5.** Características físicas e químicas do solo na profundidade de 0-20 cm, nos plantios de *Pinus taeda* em experimento do Programa Cooperativo sobre Pesquisa do Pinus no Brasil (PPPIB - IPEF).

Empresa	Prof.	Argila	pH		P	K	Ca	Mg	Al	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V%	m%
	cm	g kg <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub>	SMP	mg dm <sup>-3</sup>					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		pH 7		%
KLP	0-5	300	3,9	5,2	2,8	0,06	1,5	0,62	1,7	9,3	2,1	11,4	18,7	45,4
	5-10	313	4,0	5,2	6,0	0,05	1,5	0,51	1,6	9,0	2,1	11,1	18,7	43,8
	10-20	300	3,9	5,2	6,4	0,06	1,4	0,48	1,6	9,3	1,9	11,2	17,1	45,3
KLS	0-5	625	4,1	5,0	3,9	0,13	2,7	1,12	1,7	10,4	3,9	14,3	27,2	31,7
	5-10	575	4,1	5,1	3,3	0,08	2,3	0,99	2,0	10,0	3,3	13,4	24,9	38,3
	10-20	650	4,0	5,0	3,1	0,07	2,0	0,70	2,3	10,2	2,7	13,0	21,3	45,1
JUL	0-5	750	3,9	4,7	5,9	0,15	5,6	0,99	3,5	13,8	6,7	20,5	30,2	40,5
	5-10	713	3,9	4,6	4,8	0,13	5,1	0,88	3,5	14,3	6,2	20,4	27,8	41,2
	10-20	750	3,9	4,6	3,6	0,10	3,8	0,77	4,1	14,3	4,7	19,0	23,1	50,7

Com base no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2017), os teores de fósforo são considerados baixos em todas as áreas do experimento; os de potássio, cálcio e magnésio, na JUL, variam entre médio (K) e baixo (Ca e Mg); e na KLP os três cátions apresentam teores muito baixos. A saturação por bases (V%) foi classificada como muito baixa (KLP) e baixa (KLS e JUL); e a saturação por alumínio (m%) classificada como alta em todas as áreas de estudo. A textura mais argilosa e a maior concentração de K, Ca, Mg em JUL, em relação às demais áreas, pode ser explicada pela presença de rochas basálticas (SHEIBE, 1986) na região de Caçador – PR; já em KLP há predominância de rochas areníticas, mais pobres em nutrientes e em frações mais finas.

Os teores de carbono e nitrogênio total não apresentaram diferenças entre as profundidades e entre os tratamentos. Mas, na comparação entre as áreas, os teores de C e N

mostram uma tendência de seguirem a seguinte ordem crescente: KLP < KLS < JUL (Tabela 6), em decorrência do processo pedogenético. Além das diferenças geológicas, já mencionadas anteriormente, existem as diferenças climáticas decorrentes da posição geográfica e da altitude nas áreas de estudo (Tabela 1). As áreas em Santa Catarina (KLS e JUL) se encontram mais ao sul e em maiores altitudes, ou seja, em clima mais frio, que desfavorece a decomposição da matéria orgânica do solo e, portanto, favorece a acumulação de carbono no solo.

**Tabela 6.** Teores de N, C e relação CN totais nas profundidades de 0 - 5,5 - 10 e 10 - 20 cm, em plantações de Pinus com omissão e adição de nutrientes, do programa PPPIB - IPEF.

Tratamento	C			N			CN		
	.....g kg <sup>-1</sup> .....			.....g kg <sup>-1</sup> .....					
	0-5 cm								
	KLP	KLS	JUL	KLP	KLS	JUL	KLP	KLS	JUL
C	21,0	30,7	69,1	1,2 a	1,8	3,0	17,8	16,9	17,4
F	26,5	31,3	52,8	1,3 a	1,9	2,6	20,2	16,5	23,7
F-N	25,3	32,7	45,3	1,5 ab	2,0	2,2	17,3	16,7	18,3
F-P	22,6	31,2	47,6	1,3	1,9	2,4	18,2	16,8	20,4
F-K	23,8	34,0	56,9	1,3	1,9	2,8	17,9	17,9	18,6
F+CaMg	18,6	34,1	41,2	1,2	2,0	2,2	15,8	17,3	18,3
F+Micro	14,8	30,3	57,8	1,0	1,9	2,4	14,9	16,1	25,9
	5 - 10 cm								
C	25,1	26,2	70,5	1,4	1,6	2,8	18,2	15,9	24,0
F	26,5	31,3	52,8	1,3	1,8	2,2	20,2	15,3	18,7
F-N	14,7	29,1	34,7	1,0	1,8	1,9	15,1	16,1	19,5
F-P	23,2	26,5	36,6	1,2	1,7	2,0	18,3	nd	18,9
F-K	18,3	27,1	43,4	1,2	1,7	2,4	15,9	nd	20,0
F+CaMg	16,6	26,3	28,4	1,1	1,7	1,6	15,5	15,2	18,0
F+Micro	14,0	26,1	45,3	0,9	1,7	2,1	15,0	15,2	22,3
	10 -20 cm								
C	25,7	25,0	55,5	1,4	1,8	3,0	18,2	16,9	17,4
F	26,0	26,6	25,8	1,4	1,9	2,6	17,7	16,5	23,7
F-N	15,4	26,7	44,6	1,0	2,0	2,2	15,5	16,7	18,3
F-P	21,5	25,2	29,8	1,2	1,9	2,4	18,5	16,8	20,4
F-K	17,9	24,9	34,7	1,1	1,9	2,8	15,6	17,9	18,6
F+CaMg	16,6	25,0	44,8	1,0	2,0	2,2	16,1	17,3	18,3
F+Micro	15,5	25,9	52,3	0,9	1,9	2,4	16,5	16,1	25,9

Médias não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Os valores da razão C:N variaram pouco entre as áreas de estudo. Onde havia mais carbono também foram observados maiores teores de N (JUL); e onde havia menos C foram observados menores teores de N (KLP); e valores intermediários para ambos elementos em KLS. Segundo Primieri et al. (2017), o acúmulo de carbono depende da quantidade de material orgânico depositado e de sua taxa de decomposição, sendo as mudanças detectadas no longo prazo (BRUN, 2008). Assim, as diferenças identificadas entre as áreas não se explicam pela vegetação presente sobre o solo na atualidade, mas resultantes do histórico de uso nas diferentes áreas, com ou sem a remoção total da serapilheira, por exemplo; ou ainda decorrentes dos processos pedogenéticos próprios de cada ambiente (CASSOL et al., 2019).

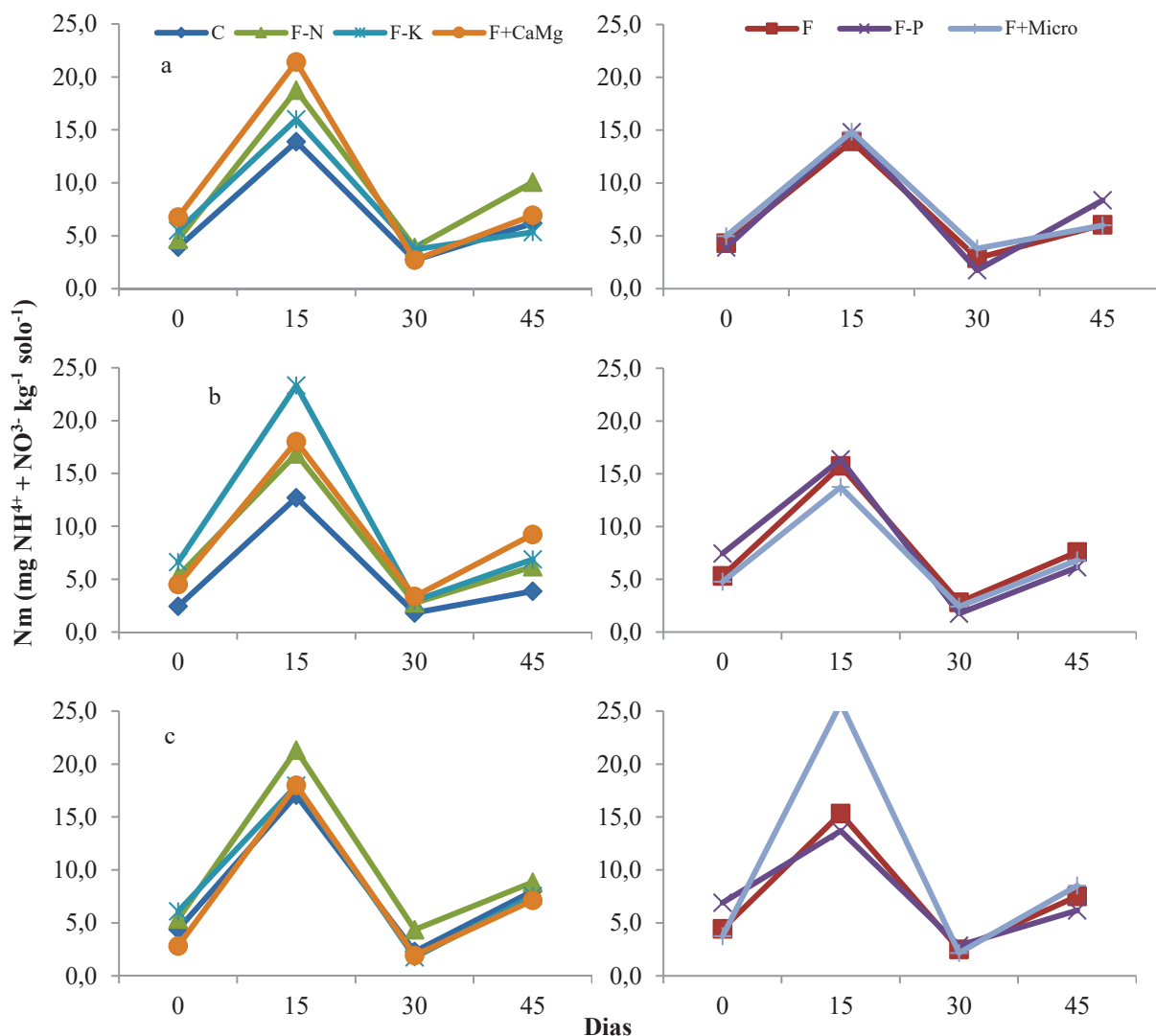
## **3.2. Atributos Microbiológicos**

### **3.2.1. Mineralização de Nitrogênio por Incubação Anaeróbica (Nm)**

Os resultados obtidos nos ensaios de mineralização de nitrogênio são apresentados para cada área separadamente, no que diz respeito ao padrão do processo de mineralização ao longo do período de incubação. É apresentada, também, uma comparação entre as médias dos valores de nitrogênio mineralizado acumulado ao fim dos 45 dias de incubação das amostras de solo.

#### **3.2.1.1. Mineralização de Nitrogênio na Área KLP**

As concentrações de nitrogênio mineralizado (Nm) variaram entre 1,7 e 25,7 mg de N por kg de solo. As curvas de mineralização dos diferentes tratamentos apresentaram um comportamento semelhante, com um pico observado na segunda extração (15 dias) e um segundo pico, de valor inferior, na quarta extração, aos 45 dias (Figura 5).



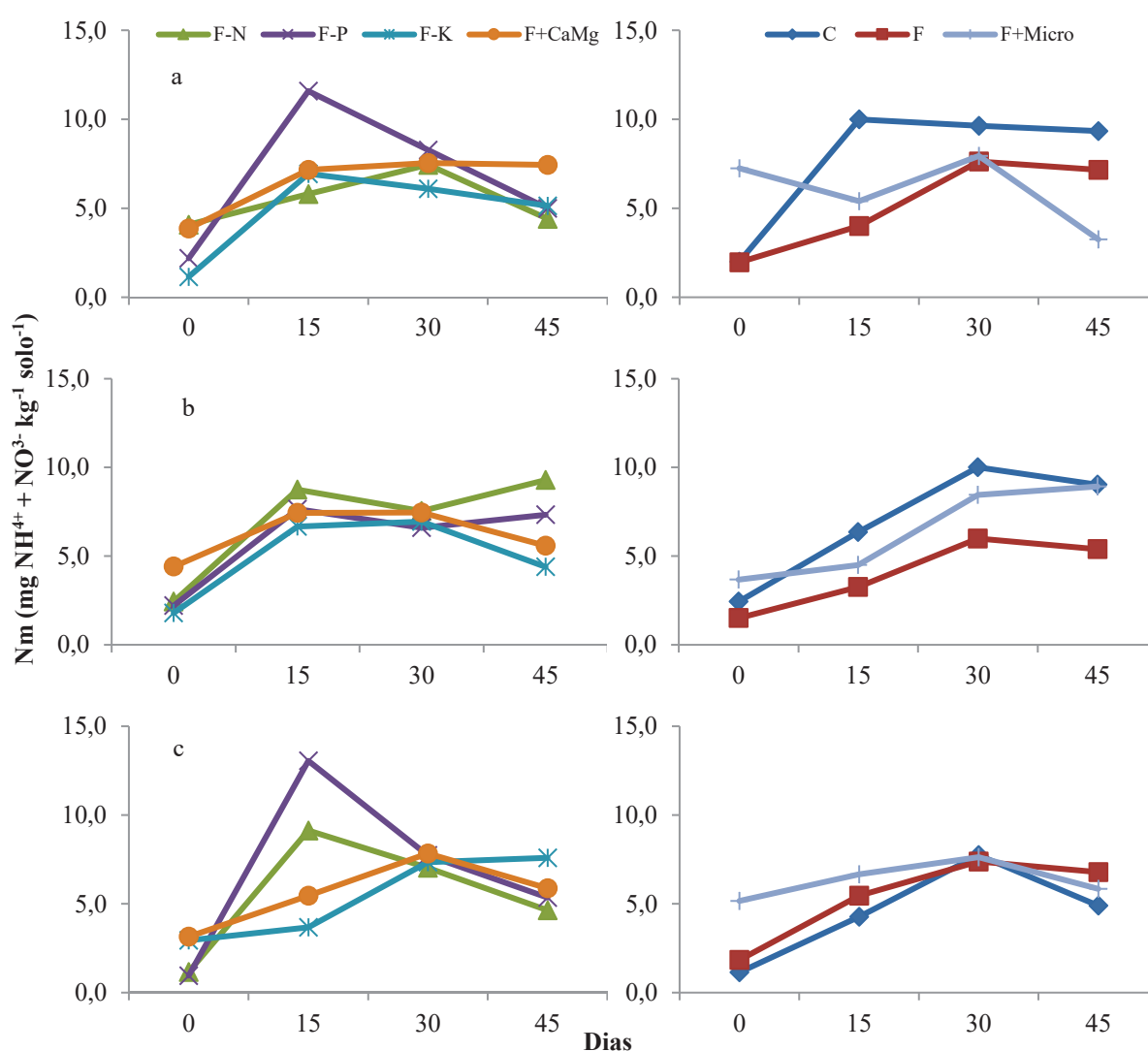
**Figura 5.** Nitrogênio mineralizado ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) no solo, sob tratamentos com omissão e adição de nutrientes, ao longo de 45 dias de incubação anaeróbica, nas profundidades de 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 cm (c), da área experimental KLP.

Na camada superficial do solo (0-5 cm de profundidade) se destacam os picos nos tratamentos (F-N) e (F+CaMg) com os maiores valores e o tratamento controle (C) com o menor valor. Na camada de 5-10 cm, o maior valor foi observado para o tratamento (F-K) e o menor para o tratamento controle (C). Já, na camada de 10-20 cm, os picos de maior e menor concentrações, aos 15 dias de incubação, podem ser observados nos tratamentos com adição de micronutrientes (F+Micro) e com omissão de fósforo (F-P), respectivamente.

As variações entre os tratamentos não mostram um padrão que se repete nas diferentes profundidades; e são, mais provavelmente, resultantes da heterogeneidade natural entre as amostras de solo do que dos efeitos dos tratamentos aplicados.

### 3.2.1.2. Mineralização de Nitrogênio na Área KLS

Na área da KLS, o comportamento do processo de mineralização se diferencia daquele observado em KLP. Para alguns tratamentos em diferentes profundidades os picos de mineralização se apresentam aos 15 dias de incubação, mas para outros tratamentos eles ocorreram aos 30 dias. E apenas para o tratamento (F-P) foi observada uma queda mais acentuada da mineralização entre os 15 e 45 dias de incubação. Este comportamento sugere diferenças na cinética de mineralização na KLS comparativamente a KLP.



**Figura 6.** Nitrogênio mineralizado ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) no solo, sob tratamentos com omissão e adição de nutrientes, ao longo de 45 dias de incubação anaeróbica, nas profundidades de 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 cm (c), da área experimental KLS.

Os picos de mineralização são também mais baixos nesta área, comparativamente a KLP. A concentração de Nm nos extratos variaram entre 1,0 e 13,1 mg de N mineralizado por kg de solo, entre 10 e 20 cm de profundidade.

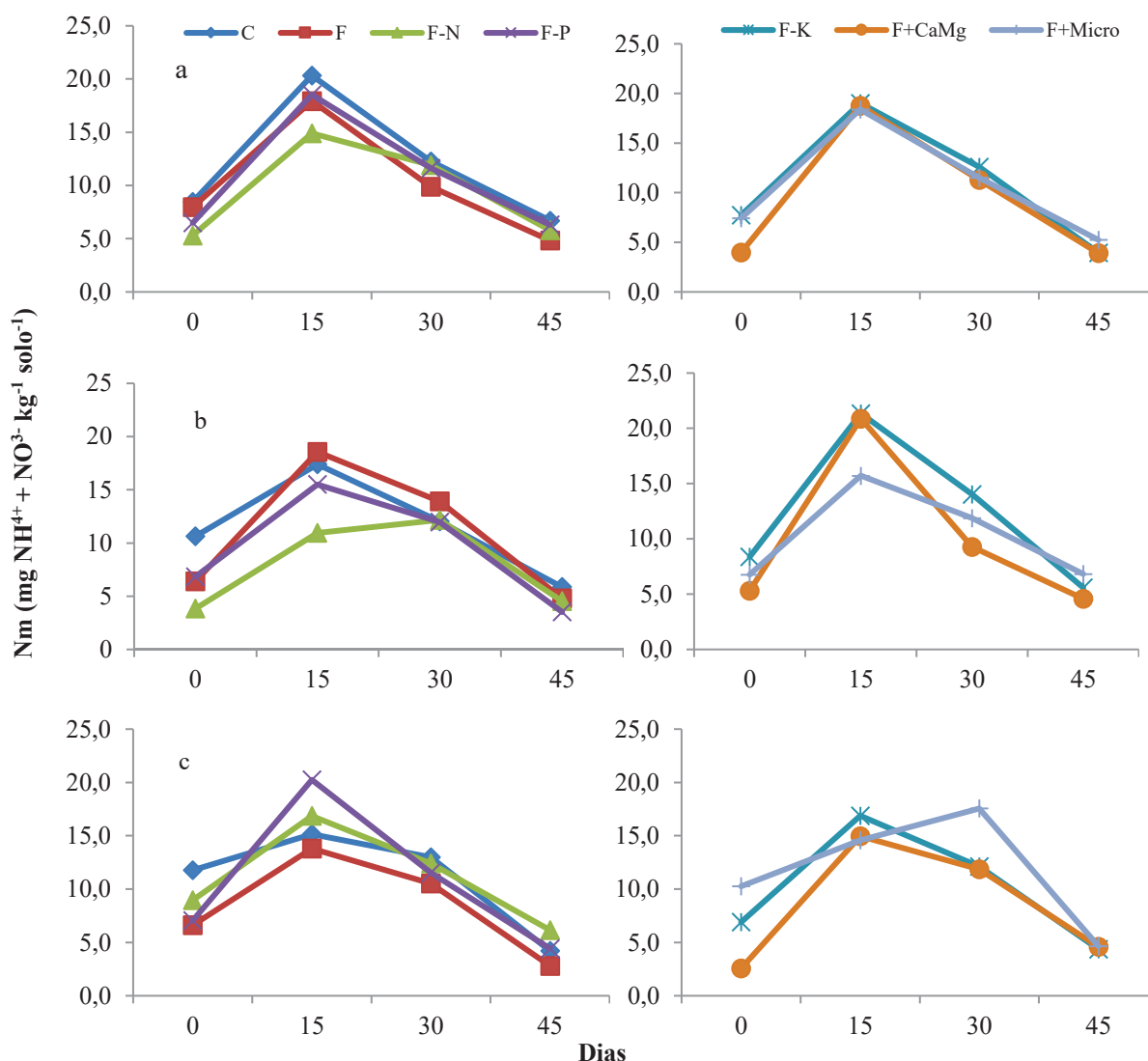
Estas diferenças podem ser atribuídas às condições ambientais distintas entre as áreas (clima mais frio p.e.), mas podem também estar relacionadas com a qualidade da matéria orgânica do solo (CARVALHO, 2011).

### **3.2.1.3. Mineralização de Nitrogênio na Área JUL**

Na área da JUL os resultados e mineralização do N no solo mostram comportamento de certa forma mais parecido com KLP, com picos de mineralização aos 15 dias, mas com posterior diminuição gradual até os 45 dias de incubação, independentemente do tratamento aplicado.

Os valores dos picos variaram entre 2,6 e 21,3 mg de Nm por kg de solo, ou seja, na mesma faixa de variação observada para KLP. Foi observada, também, menor variação entre os tratamentos quanto à cinética de mineralização e quanto aos valores obtidos, mesmo para o tratamento controle (C).

Mas, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, o tratamento (F-N) apresenta valores abaixo das demais médias, com picos máximos entre a segunda e a terceira extração. O tratamento (F+Micro) também diverge dos demais na terceira camada, apresentando o pico de mineralização na terceira extração, aos 30 dias de incubação.



**Figura 7.** Nitrogênio mineralizado ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) no solo, sob tratamentos com omissão e adição de nutrientes, ao longo de 45 dias de incubação anaeróbica, nas profundidades de 0-5 (a), 5-10 (b) e 10-20 cm (c), da área experimental JUL.

#### 3.2.1.4. N Mineralizado Acumulado

O somatório dos valores de N mineralizado em cada data de extração resulta no N mineralizado acumulado durante os 45 dias de incubação (Tabela 7). Não foi observada diferença significativa entre as profundidades quanto a estes valores. Isto pode ser explicado pela pequena variação nos teores de C entre as profundidades do solo (Tabela 6). O valor médio mais elevado de Nm acumulado foi observado na JUL (47,6 mg N / kg solo), seguido da KLS (31,8 mg N / kg solo) e da KLP (23,5 mg N / kg solo). Como já mencionado para os

atributos físicos e químicos do solo, as diferenças neste atributo microbiológico também parecem ser resultantes das diferenças edafoclimáticas entre as áreas de estudo.

Na JUL não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. na KLS o valor mais elevado foi observado para o tratamento (F-N), mas apenas diferente significativamente dos tratamentos (F) e (C), este último com o valor mais baixo. Na KLP destacaram-se os tratamentos (C) e (F+ Micro) com valores mais elevados e o tratamento (F) com valor mais baixo.

**Tabela 7.** Médias acumuladas de N mineralizado (Nm) durante incubação anaeróbica de amostras de solo (0 – 20 cm) provenientes das áreas experimentais do Programa Cooperativo sobre Pinus no Brasil selecionadas para o estudo.

Tratamentos	KLP	KLS	JUL
	mg Nm kg <sup>-1</sup> solo <sup>-1</sup>		
C	25,6 a	26,4 c	45,9
F	19,5 c	29,6 bc	39,3
F-N	23,9 ab	36,0 a	37,9
F-P	26,0 a	30,1 abc	41,3
F-K	20,2 bc	34,5 ab	43,9
F+CaMg	24,4 ab	33,5 ab	37,3
F+Micro	24,9 a	32,5 ab	42,8
Médias	23,5	31,8	47,6
CV (%)	18,5	17,6	18,1

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ( $p < 0,05$ ).

### 3.2.2. Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

Os resultados de CBM seguem o mesmo padrão observado para N mineralizado, quando são comparados os valores entre as áreas de estudo, na seguinte sequência crescente KLP < KLS < JUL, tanto na camada de 0-5 cm quanto na de 5-10 cm de profundidade (Tabela 8). Na camada superficial do solo, foram identificados efeitos dos tratamentos apenas para KLP, com o valor mais elevado observado para o tratamento (F-N) e o mais baixo para o tratamento (F). Na camada de 5-10 cm de profundidade, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em todas as 3 áreas de estudo. Em KLP, os valores mais elevados de CBM foram observados no tratamento (F+CaMg) e os mais baixos nos tratamentos (F), (F-P), (F-K) e (F+Micro). Em KLS o maior valor foi observado nos tratamentos (F) e (F-P) e os mais baixos em (F-N). E para JUL o maior valor de CBM foi

observado no tratamento (F-N); e o mais baixo em (F+CaMg). Os tratamentos com adição ou omissão de nutrientes mostram um efeito diferente para cada área de estudo, ficando difícil achar explicações para os resultados observados. Provavelmente, as diferenças são resultantes de variações devidas à heterogeneidade do solo. Os coeficientes de variação das análises reforçam esta hipótese. Como as adubações foram feitas em covetas, ao lado das mudas, e as amostras de solo foram coletadas em posição um pouco mais distante, os efeitos da adubação não aparecem nestas amostras. Os efeitos da adubação, via reciclagem da serapilheira só iriam se manifestar mais tardiamente, com as plantas estando mais velhas.

**Tabela 8.** Carbono da biomassa microbiana (CBM) nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em plantações de pinus com diferentes adubações, nas áreas experimentais das empresas KLP, KLS e JUL.

Tratamentos	CBM		
	mg kg <sup>-1</sup>		
	0 – 5 cm		
	KLP	KLS	JUL
C	208 cd	457	1251
F	126 d	300	1054
F-N	332 a	560	1222
F-P	301 ab	444	1204
F-K	236 bc	441	1081
F+CaMg	216 c	429	839
F+Micro	205 cd	551	1326
CV (%)	35	25	26
	5 – 10 cm		
C	255 bc	550 ab	1255 ab
F	185 c	585 a	880 bc
F-N	336 ab	331 c	1387 a
F-P	197 c	665 a	946 abc
F-K	215 c	373 bc	1094 abc
F+CaMg	352 a	493 abc	647 c
F+Micro	207 c	468 abc	940 abc
CV (%)	27	30	25

Médias seguidas pela mesma letra ou na ausência delas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ou pelo teste de Kruskal Wallis ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.2.3. Respiração Basal do Solo (RBS)

Para a respiração basal do solo (RBS) também foram observadas as diferenças entre as áreas de estudo na mesma sequência crescente observada para os demais atributos: KLP < KLS < JUL (Tabela 9). A RBS variou também em função da camada de solo, mais pronunciadamente na JUL, mostrando valores mais elevados na camada de 0-5 cm de profundidade, indicando maior atividade microbiana na superfície do solo.

Foram ainda observadas diferenças significativas em KLP, em ambas as profundidades; e, em JUL, apenas na camada de 5-10 cm de profundidade. As diferenças observadas, como já discutido para CBM, parecem ser aleatórias pois não seguem nenhum padrão esperado em resposta à adição ou omissão dos nutrientes. Para a RBS os coeficientes de variação foram ainda maiores do que os observados para CBM.

**Tabela 9.** Respiração basal do solo (RBS) nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em plantações de pinus com diferentes adubações, nas áreas experimentais das empresas KLP, KLS e JUL.

Tratamentos	RBS		
	mg C-CO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> solo h <sup>-1</sup>		
	0 – 5 cm		
	KLP	KLS	JUL
C	0,26 ab	1,14	3,7
F	0,15 bc	1,29	3,1
F-N	0,21 abc	1,59	1,7
F-P	0,09 c	1,41	1,6
F-K	0,26 ab	0,83	2,7
F+CaMg	0,21 abc	1,19	2,1
F+Micro	0,32 a	1,61	3,1
	5 – 10 cm		
C	0,05 bc	0,93	2,5 a
F	0,15 bc	0,99	3,5 a
F-N	0,25 ab	1,74	2,4 ab
F-P	0,21 ab	1,58	1,3 b
F-K	0,32 a	1,15	2,4 ab
F+CaMg	0,27 ab	1,03	1,3 b
F+Micro	0,24 ab	1,47	2,3 ab
CV (%)	39,35	36,37	40,95

Médias seguidas pela mesma letra ou na ausência delas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ou pelo teste de Kruskal Wallis ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.2.4. Quociente Metabólico ( $qCO_2$ )

Ao comparar as três áreas de estudo, uma vez mais se observam diferenças entre elas, neste caso relativas aos valores do quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ), na sequência  $KLP < KLS \leq KLP$ . Em termos gerais, o quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ) indica o estado do metabolismo dos microrganismos do solo. Quanto maior for valor do  $qCO_2$ , maior é perda de carbono pela biomassa microbiana (MARTINS et al., 2010). As maiores perdas de  $CO_2$  no solo por unidade de C-microbiano podem ser associados à presença de um substrato facilmente assimilável pela biomassa microbiana, com menor resistência ao ataque dos microrganismos (SANTOS et al., 2004). Não foram identificadas diferenças significativas entre as profundidades para os valores de  $qCO_2$  e as diferenças entre tratamentos também devem ser aleatórias uma vez que este quociente é resultante da razão entre a RBS e o CBM. Os coeficientes de variação se mostram bastante elevados, assegurando, de certa forma, esta aleatoriedade das diferenças nos resultados.

**Tabela 10.** Médias do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em plantações de pinus com diferentes adubações, nas áreas experimentais das empresas KLP, KLS e JUL.

Tratamentos	$qCO_2$		
	.....mg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> CBM h <sup>-1</sup> 10 <sup>-3</sup> .....		
	0 – 5 cm		
	KLP	KLS	JUL
C	1,00 ab	2,67	2,50
F	1,48 a	5,09	2,99
F-N	0,64 b	2,95	1,53
F-P	0,32 c	2,89	1,33
F-K	0,75 b	1,90	3,32
F+CaMg	0,74 b	2,84	2,10
F+Micro	1,61 a	2,96	1,38
	5 – 10 cm		
C	0,20 d	1,67	2,59
F	0,92 bc	1,89	4,05
F-N	0,69 c	4,29	1,71
F-P	1,44 ab	3,46	1,42
F-K	1,77 a	2,23	2,46
F+CaMg	0,87 bc	2,51	2,18
F+Micro	1,52 ab	2,52	3,20
CV (%)	39,35	36,37	40,95

Médias seguidas pela mesma letra ou na ausência delas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ou pelo teste de Kruskal Wallis ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.3. Relações entre os Atributos Físicos, Químicos e Biológicos do Solo

Os teores de carbono e nitrogênio totais no solo, e a relação CN, mostram correlações positivas bastante estreitas com os atributos CBM e RBS; e um pouco menos estreitas com o N mineralizado e com o quociente metabólico do solo. Correlações positivas entre estes atributos também foram observadas por Biesek (2012); e indicam a importância dos teores de carbono e nitrogênio como fonte de energia e nutriente para a atividade microbiana no solo.

**Tabela 11.** Coeficientes de correlação entre as variáveis da atividade microbiana (Nm-Nitrogênio mineralizado acumulado; CBM-Carbono da Biomassa Microbiana; RBS-Respiração Basal do Solo e  $qCO_2$ -Quociente Metabólico do Solo) e os teores de carbono (C), nitrogênio (N) e relação CN nos solos.

Variáveis	C	N	CN
Nm	0,66	0,52	0,84
CBM	0,97	0,93	0,86
RBS	0,96	0,98	0,76
$qCO_2$	0,50	0,68	0,08

A relação CN dos solos em estudo mostrou valores inferiores ou próximos de 20, o que caracteriza uma elevada labilidade da matéria orgânica do solo. Frações menos lábeis, quando presentes em maior proporção, podem reduzir a atividade microbiana no solo. A baixa labilidade é determinada pela presença de substâncias húmicas, que, segundo Hanke e Dick (2019), seriam compostas principalmente por grupamentos químicos de elevada recalcitrância (compostos aromáticos) que não puderam ser degradados pela atividade microbiana, permanecendo no solo enquanto um resíduo final do processo de degradação de outras macromoléculas.

A argila, que é um atributo físico do solo, se mostra como atributo importante para a atividade microbiana, como evidenciam as correlações positivas observadas entre a argila e

os atributos microbiológicos (Tabela 12). Apenas a mineralização do N apresentou correlação menos estreita com a argila. A baixa correlação entre o teor de argila e a mineralização de nitrogênio pode estar associada à capacidade da argila de formar complexos organo-minerais e de adsorver determinadas enzimas, o que pode alterar a dinâmica da mineralização do N no solo (DRESCHER et al., 2015).

Foram também observadas correlações positivas para a maioria das variáveis químicas do solo, com exceção dos valores de pH que mostraram correlações negativas com os atributos microbiológicos do solo (Tabela 12).

**Tabela 12.** Coeficientes de correlação entre as variáveis da atividade microbiana (Nm-Nitrogênio mineralizado acumulado; CBM-Carbono da Biomassa Microbiana; RBS-Respiração Basal do Solo e  $q\text{CO}_2$ -Quociente Metabólico do Solo) e os atributos físicos e químicos dos solos.

Variáveis	Arg.	pH (CaCl <sub>2</sub> )	pH (SMP)	K	Ca	Mg	Al	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC pH 7	Nm	CBM	RBS
Nm	0,30	-0,94	-0,75	0,46	0,72	-0,05	0,76	0,76	0,65	0,73	1,00		
CBM	0,88	-0,53	-0,97	0,87	0,99	0,52	0,97	0,98	0,99	0,99	0,77	1,00	
RBS	0,97	-0,34	-0,95	0,92	0,96	0,70	0,91	0,94	0,98	0,97	0,76	0,61	1,00
$q\text{CO}_2$	0,82	0,42	-0,48	0,70	0,47	0,94	0,32	0,45	0,55	0,50	-0,16	0,47	0,66

#### **4. CONCLUSÕES**

Devido à adubação localizada próximo das mudas e à amostragem de solo em locais distintos destes, os efeitos da omissão ou adição de nutrientes não foi evidenciado nos atributos microbiológicos do solo.

As diferenças entre os atributos microbiológicos do solo foram determinadas por fatores de natureza edafoclimáticas, traduzidos nas diferentes classes de solo em estudo.

Os atributos físicos e químicos do solo são os fatores que exerceram influência, positiva ou negativa, sobre atividade microbiana no solo.

## 5. REFERÊNCIAS

ANTUNES, C. H. **Avaliação da comunidade microbiana do solo em um sistema de plantio direto sob diferentes condições de calagem e aplicação de nitrogênio.**

Dissertação. PPG Agronomia - UEPG. Ponta Grossa, 2018. 73f.

APHA, A. E. G. AWWA, A. D. E. WEF, L. S. C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington D. C. American Public Health Association, 19 ed., 1995.

BELLOTE, A. F. J. KASSENBOEHMER, A. L.; DEDECEK, R. A. SILVA, H. D. GOMES, F. S. Efeito da adubação na produtividade e no acúmulo de nutrientes em Pinus taeda. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8. , 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003.

BIESEK, Mauricio Fabiano. **Indicadores químicos e microbiológicos da qualidade do solo em agrossistemas e sistemas nativos na região dos campos gerais, Castro-PR.** 2012. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BRAGA, Rafael Malfitano; SOUSA, Fabrizio Furtado de; VENTURIN, Nelson; BRAGA, Francisco de Assis. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. *Cerne*, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 137-144, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201622022083>.

BROWN, G.G. NIVA, C.C. ZAGATTO, M.R.G. FERREIRA, S. de A. NADOLNY, H.S. CARDOSO, G.B.X. SANTOS, A. MARTINEZ, G. de A. PASINI, A. BARTZ, M.L.C. SAUTTER, K.D. THOMAZINI, M.J. BARETTA, D. SILVA, E. da; ANTONIOLLI, Z.I. DECAËNS, T. LAVELLE, P.M. SOUSA, J.P. CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: PARRON, L.M. GARCIA, J.R. OLIVEIRA, E.B. de; BROWN, G.G. PRADO, R.B. (Ed.). Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília: Embrapa, 2015. p.121-154.

BRUN, Eleandro Jose. **Matéria orgânica do solo em plantios de Pinus taeda e P. elliottii em duas regiões do Rio Grande do Sul.** 2008. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Ufsm, Santa Maria, 2008. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3720/ELEANDROJOSEBRUN.pdf?sequencia=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 abril 2022.

CARVALHO, Daniel da Silva. **Caracterização da serapilheira e do solo sob florestas de coníferas e folhosas em Rio Negro, PR**. 2011. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CASSOL, P. C. FACHINI, L. MAFRA, A. L. BRAND, M. A. SIMONETE, Marcia Aparecida; COIMBRA, Jefferson Luís Mairelles. Alterações no carbono orgânico do solo de campo natural submetido ao plantio de Pinus taeda em três idades. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 545-558, 30 jun. 2019. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/198050986301>.

CHAER, Guilherme Montandon; TÓTOLA, Marcos Rogério. IMPACTO DO MANEJO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DURANTE A REFORMA DE PLANTIOS DE EUCALIPTO SOBRE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1381-1396, 2007.

CHU, Haiyan; LIN, Xiangui; FUJII, Takeshi; MORIMOTO, Sho; YAGI, Kazuyuki; HU, Junli; ZHANG, Jiabao. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.L.], v. 39, n. 11, p. 2971-2976, nov. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.031>.

COTTA, Simone Raposo. O solo como ambiente para a vida microbiana. In: CARDOSO, ElkeJurandyBran Nogueira; ANDREOTE, Fernando Dini. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016. p. 221. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/109/92/461-1>.

DE-POLLI, H. GUERRA, J.G.M. Biomassa microbiana: perspectivas para o uso e manejo do solo. In: ALVAREZ V., H.V. FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.552-564.

DRESCHER, Gerson Laerson; SILVA, Leandro Souza da; MARQUES, Laila Garcia; AITA, Natalia Tobin; FREITAS, Alexssandro de; BUSANELLO, Rafael Lago. Influência do teor de argila sobre a mineralização de nitrogênio em solos aptos ao cultivo de

arroz irrigado. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2015, Natal - Rn. **Anais [...]**. On-Line: SbcS, 2015. p. 1-4.

ELY, Leonardo Veselosk. **Avaliação de diferentes dosagens de fertilizantes de liberação lenta no crescimento inicial de clones de Pinus taeda**. 2021. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Campus Curitibanos, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2021.

FERREIRA, A.S. CAMARGO, F.A. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:991-996, 1999.

FRANCIOLI, Davide; SCHULZ, Elke; LENTENDU, Guillaume; WUBET, Tesfaye; BUSCOT, François; REITZ, Thomas. Mineral vs. Organic Amendments: microbial community structure, activity and abundance of agriculturally relevant microbes are driven by long-term fertilization strategies. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, 14 set. 2016. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2016.01446>.

GEE, G.W. OR, D. Particle Size Analysis. In: DANE, J.H. & TOPP, G.C. **Methods of soil analysis**. Physical Methods. Madison, Soil Science Society of America, Part 4. p.255-293, 2002.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 601-616, 2001.

HANKE, Daniel; DICK, Eborah Pinheiro. ESTOQUE DE CARBONO E MECANISMOS DE ESTABILIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: UMA REVISÃO. **Agropampa**: Revista de Gestão do Agronegócio da Unipampa, On-Line, v. 2, n. 2, dez. 2019. ISSN: 2525-877X.

HANKE, Juliana; MARTINS, Kelly Geronazzo; MARCELINO, Vânia Rossetto; PEREIRA FILHO, Edenilson Luiz; TONHATO, Leandro; LOMBARDI, Kátia Cylene. A vantagem doméstica em plantios homogêneos e floresta nativa em Irati, Paraná. **Nativa**, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 715-723, 23 nov. 2020. *Nativa*. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i5.9829>.

HEINZMANN, F.X. MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Determinação de nitrato em extratos de solos ácidos por espectrofotometria de absorção ultravioleta. *IL bras. Ci. Solo*, 8W: 159-63, 1984.

JENKINSON, D.s. POWLSON, D.s. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 209-213, jan. 1976. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5).

LIN, Dunmei; WANG, Fang; FANIN, Nicolas; PANG, Mei; DOU, Pengpeng; WANG, Hongjuan; QIAN, Shenhua; ZHAO, Liang; YANG, Yongchuan; MI, Xiangcheng. Soil fauna promote litter decomposition but do not alter the relationship between leaf economics spectrum and litter decomposability. **Soil Biology And Biochemistry**, [S.L.], v. 136, p. 107519, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107519>.

MARTINS, C.M. GALINDO, I. C. L. SOUZA, E. R. POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 2010; 34(6): 1883-1890. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600012>.

MOREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 626p.

PAIM, R.M. **Efeito do uso de lama de cal e cloreto de potássio no solo, estado nutricional e crescimento do Pinus taeda L., sobre latossolo**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná (Tese de doutorado), 2007, 123 p.

PAULETTI, V. MOTTA, C. V. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e de calagem para o estado do Paraná. - 1. ed. – 2017.

PRIMIERY, S. MUNIZ, A. W. LISBOA, H. M.. Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

PULROLNIK, K. Transformações do carbono no solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 36 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 264).

RAIJ, B. van. ANDRADE, J. C. CANTARELLA, H. QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade do solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 284 p.

SAMUELSON, Lisa; MATHEW, Reji; STOKES, Tom; FENG, Yucheng; AUBREY, Doug; COLEMAN, Mark. Soil and microbial respiration in a loblolly pine plantation in response to seven years of irrigation and fertilization. **Forest Ecology And**

**Management**, [S.L.], v. 258, n. 11, p. 2431-2438, nov. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.08.020>.

SANTOS, V.B.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A. S. & SILVA, D.G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira Agrobiologia*, 10:333-338, 2004.

SCHLOTTER, Michael; NANNIPIERI, Paolo; SØRENSEN, Soren J. VAN ELSAS, Jan Dirk. Microbial indicators for soil quality. **Biology and Fertility of Soils**. Springer, p. 1-10. 16 out. 2017.

SCHUMACHER, M. V. VIERA, M. WITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 18, n. 4, p. 471-480, out./dez. 2008.

SCHEIBE, L. F. A. A geologia de Santa Catarina – Sinopse provisória. **Geosul** – Revista do Departamento de Geociências – CCH – UFSC, Nº: 1, ano I, 1986

SILVA, E. E.AZEVEDO,P.H.S. DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4p. (Comunicado Técnico, 99)

SILVA, F.C. EIRA, P.A. BARRETO, W.O. PÉREZ, D.V. & SILVA, C.A. Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecária, 1998. 56p.

SILVA, Michelangelo de Oliveira; SANTOS, Magna Pereira dos; SOUSA, Amanda Cibele da Paz; SILVA, Ranniele Luíza Ventura da; MOURA, Ialy Aparecida Angelo de; SILVA, Raquel Soares da; COSTA, Kleyton Danilo da Silva. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável / soil quality. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021. *Brazilian Journal of Development*. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n1-463>.

SOUZA, Ane Gabriele Vaz; SILVA, Gabriela Gomes da; BESERRA, Gabriela Aparecida; SOUZA, Lavínia Alves de; OLIVEIRA JÚNIOR, Valdivino Domingos de; ROCHA FILHO, Cleber Tavares da; SERAFIM, Milleny Nogueira; SANTOS, Lilian Cristina da Silva; SANTOS, Talles Eduardo Borges dos; VALE, Vagner Santiago do.

Atributos microbiológicos do solo sob áreas eucalipto e florestas estacionais. **Scientia Forestalis**, [S.L.], v. 49, n. 132, 1 dez. 2021. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF). <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v49n132.03>.

SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. *Soil Biology and Biochemistry.*, 20:337-343, 1988.

STAHL, James. **Estratégias silviculturais de manejo da adubação para povoamentos de Pinus taeda L. no planalto sul catarinense e na região de Telêmaco Borba, Paraná.** 2018. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, 2018.

TYREE, Michael C.; SEILER, John R.; AUST, W. Michael; SAMPSON, David Arthur; FOX, Thomas R.. Long-term effects of site preparation and fertilization on total soil CO<sub>2</sub> efflux and heterotrophic respiration in a 33-year-old Pinus taeda L. plantation on the wet flats of the Virginia Lower Coastal Plain. **Forest Ecology And Management**, [S.L.], v. 234, n. 1-3, p. 363-369, out. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.07.021>.

VANCE, E. D. BROOKES, P. C. JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.

VOGEL, Hamilton Luiz Munari; SCHUMACHER, Mauro Valdir; STORCK, Lindolfo; WITSCHORECK, Rudi. Crescimento inicial de Pinus taeda L. relacionado a doses de N, P e K. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 199-206, 30 jun. 2005. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/198050981837>.

WARING, S.A. BREMNER, J.M. Ammonium Production in Soil under Water-Logged Conditions as an Index of Nitrogen Availability. **Nature**, 201, 951-952, 1964.

ANEXO I

Parâmetros	Coeficiente de Correlação																	
	C	N	CN	Arg.	pH (CaCl <sub>2</sub> )	pH (SMP)	P	K	Ca	Mg	Al	SB	CTC	V	m	Nm	CBM	RBS
C	1																	
N	0,93	1																
CN	0,81	0,57	1															
Argila	0,85	0,93	0,42	1														
pH (CaCl <sub>2</sub> )	-0,43	-0,32	-0,66	-0,11	1													
pH (SMP)	-0,92	-0,92	-0,71	-0,85	0,59	1												
P	0,07	-0,15	0,37	-0,25	-0,36	0,00	1											
K	0,91	0,80	0,75	0,80	-0,15	-0,78	0,07	1										
Ca	0,97	0,86	0,86	0,81	-0,51	-0,93	0,16	0,90	1									
Mg	0,71	0,71	0,41	0,76	0,26	-0,54	-0,28	0,88	0,64	1								
Al	0,86	0,89	0,65	0,79	-0,67	-0,97	-0,01	0,62	0,86	0,37	1							
SB	0,98	0,88	0,84	0,83	-0,43	-0,92	0,11	0,94	0,99	0,72	0,83	1						
CTC	0,98	0,92	0,80	0,85	-0,54	-0,97	0,07	0,86	0,99	0,62	0,92	0,98	1					
V	0,14	0,05	0,08	0,18	0,64	0,10	-0,03	0,51	0,14	0,71	-0,32	0,22	0,03	1				
m	-0,14	-0,05	-0,08	-0,18	-0,64	-0,10	0,03	-0,51	-0,14	-0,71	0,32	-0,22	-0,03	-1	1			
Nm_ac	0,66	0,52	0,84	0,30	-0,93	-0,74	0,45	0,45	0,72	0,03	0,76	0,66	0,72	-0,39	0,39	1		
CBM	0,97	0,93	0,86	0,88	-0,51	-0,98	0,38	0,87	0,99	0,57	0,97	0,99	0,99	0,15	-0,15	0,77	1	
RBS	0,96	0,98	0,76	0,97	-0,31	-0,95	0,26	0,93	0,96	0,73	0,90	0,98	0,97	0,36	-0,36	0,61	0,97	1
qCO2	0,50	0,68	0,08	0,82	0,44	-0,50	-0,18	0,71	0,46	0,90	0,30	0,54	0,47	0,88	-0,88	-0,16	0,47	0,66