

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Disponibilidade de nitrogênio em plantação de eucalipto em função do  
manejo de resíduos florestais e fertilização após duas rotações de cultivo**

**Leticia Delarizza Silvestre**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.  
Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba  
2023**

**Leticia Delarizza Silvestre**  
**Bacharela em Engenharia Florestal**

**Disponibilidade de nitrogênio em plantação de eucalipto em função do manejo de  
resíduos florestais e fertilização após duas rotações de cultivo**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais.  
Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba**  
**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Silvestre, Leticia Delarizza

Disponibilidade de nitrogênio em plantação de eucalipto em função do manejo de resíduos florestais e fertilização após duas rotações de cultivo / versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Leticia Delarizza Silvestre. - - Piracicaba, 2023.

69 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. *Eucalyptus* 2. Fertilização nitrogenada 3. Mineralização de nitrogênio 4. Resíduos florestais I. Título

## DEDICATÓRIA

À minha mãe, Lucinéia, por ser a minha pessoa favorita no mundo todo, por eu ser agraciada de ter você como mãe, por você se doar tanto por mim e pela Livia e por todo seu amor. Espero retribuir, pelo menos um pouco, tudo que já fez por mim.  
A meu pai, Odair, por se dedicar tanto em ser o melhor pai que consegue ser, por ser meu amigo, por me amar tanto e ser a pessoa que mais me acalma.

Aos meus avôs, Lazaro, Maria Madalena e Geni, por serem base, essência e preciosidade para mim

À minha irmã, Livia, por ser a pessoa que amei mesmo antes de ver seu rosto, e ansiei para ser minha companheira desde sua gestação.

À Irene Brondi (*in memoriam*) por ter contribuído tanto na minha vida pessoal e espiritual.

Aos meus professores, por vocês mudarem a minha vida para melhor, pelos ensinamentos e incentivos

À trindade, Deus, Jesus e Espírito Santo,

**Dedico este trabalho!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus que nunca se esqueceu de mim e me deu força para superar todos os obstáculos, que se fez presente por meio de pessoas que me acolheram, que me manteve em pé com fé, esperança e amor;

Ao Prof. José Leonardo de Moraes Gonçalves, pela oportunidade, confiança e ensinamentos na condução desse trabalho;

Ao Prof. José Henrique Tertulino Rocha, por toda sua paciência, ajuda, disponibilidade e grande contribuição na minha formação, sendo um exemplo a seguir;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), à Universidade de São Paulo (USP), ao Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais e a todos seus funcionários que colaboraram com a minha formação profissional; em especial a Giovana, Sabino e Nael que além de ótimos profissionais, são pessoas excepcionais;

Ao Programa Temático de Silvicultura e Manejo (PTSM) do IPEF, por todo apoio logístico e financeiro e ao Alexandre de Vicente Ferraz, por todo apoio;

À FAPESP pela bolsa de mestrado concedida (Processo 2020/13191-2)

Aos meus grandes amigos, Felipe Tavares, Maria Leidiane Barreto e Cassio Rafael Santos, por todo apoio nas discussões do trabalho, pelos bons momentos que dividimos, pela convivência diária que foi de grande alegria após muito tempo isolada pela pandemia;

Aos amigos que fiz durante meu caminhar no mestrado, Leticia Bulascoschi, Gleice Renunza, Leticia Betânia, Amanda Fernandes, Diana Quiceno, Rafaela Naves, Marina Duarte, Rosana Baraldi, Fabiane Maximo e Rafaella Carneiro, vocês me trouxeram calma e leveza nesse processo;

Aos pós-graduandos vinculados ao PTSM, Antônio Florentino, Adam da Cruz e Alzemar Veroneze que me ajudaram com sua experiência;

Aos estagiários do PTSM, em especial a Martina Werner, Stephano Sousa, Manuela Amalfi, Igor Marques e Cecilia Chotti, não só pela contribuição com o trabalho mas também pela amizade;

À equipe da Estação Experimental de Itatinga, em especial ao Rildo Moreira, ao Lourival e a Elaine, por todo apoio na realização das atividades e pela amizade adquirida;

À equipe do LEA, Alba, Daiele e Gisele pelo apoio na realização das análises laboratoriais, foi de grande alegria ter conhecido vocês;

À equipe do laboratório de Química da Esalq gerido pelo Marcos Kamogawa, com apoio da Lenita, Rita e Marcos Brasil, por toda ajuda e amizade;

À Professora Simone Lira e o Felipe por me permitirem usar o equipamento “Tecan”.

À minha família, mãe, pai, irmã, cunhado e avôs que mesmo de longe me deram suporte emocional, principalmente as orações da minha mãe, da dona Solange e do meu amigo pastor Lucas Brondi;

Aos meus amigos da vida, Heloisa Maximiano, Ana Beatriz Ferrari, Miriã Oliari, Diego Scarpelli, Joyra Carrer, Carol Palko, Marcia Palko, Douglas Buzolin, Cintia Mazzini, Leonardo Giancon, Ana Laura Camparini, Luana Farah, Flavio Franciscon, Bruna Luísa, Gabriela Lopes, Davi Martins, Tamara Oliari, Bruna Camargo, Leticia Andrade, Vitor Prado e Tamires Oliari eu sei que sou abençoada por poder contar com vocês;

À minha melhor amiga, irmã de alma, Stephanie Barretos, por estar presente comigo todos os dias desde 2015, por chorar e se alegrar comigo.

Muito obrigada!

*“Se Deus dá tanta atenção à aparência das flores do campo - e muitas delas nem mesmo são vistas -, não acham que Ele irá cuidar de vocês, ter prazer em vocês e fazer o melhor por vocês? Quero convencê-los a relaxar, a não se preocuparem tanto em adquirir. Em vez disso, prefiram dar, correspondendo, assim, ao cuidado de Deus. Quem não conhece Deus e não sabe como Ele trabalha é que se prende a essas coisas, mas vocês conhecem a Deus e sabem como Ele trabalha. Orientem sua vida de acordo com a realidade, a iniciativa e a provisão de Deus. Não se preocupem com as perdas, e descobrirão que todas as suas necessidades serão satisfeitas.”*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	12
1. INTRODUÇÃO.....	13
2.1. Histórico da área experimental com eucalipto .....	17
2.2. Resposta à fertilização nitrogenada .....	18
2.3. Mineralização do nitrogênio .....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Área de estudo .....	21
3.1.1 Delineamento experimental e tratamentos .....	23
3.1.2 Instalação e condução do experimento .....	25
3.2 Avaliações .....	26
3.2.1 Mineralização de N <i>in situ</i> .....	26
3.2.2 Crescimento da floresta .....	29
3.2.3 Propriedades químicas do solo .....	31
3.2.4 Taxa de deposição .....	31
3.2.5 Acúmulo de nutrientes.....	31
3.2.6 Informações climáticas .....	32
3.2.7 Análise estatística .....	32
4 RESULTADOS .....	33
4.1 Mineralização de N <i>in situ</i> .....	33
4.2 Propriedades químicas do solo .....	37
4.3 Acúmulo de nutrientes na biomassa .....	40
4.4 Estoque de nutriente na biomassa e na deposição de folheto .....	42
4.5 Produtividade do povoamento de <i>Eucalyptus</i> .....	46
5 DISCUSSÃO.....	33
5.1 Mineralização de N <i>in situ</i> .....	49
5.2 Propriedades químicas do solo .....	50
5.3 Acúmulo de nutrientes na biomassa .....	53
5.4 Estoque de nutriente na biomassa e na deposição de folheto .....	55
5.5 Produtividade da floresta .....	56



6	CONCLUSÕES .....	59
	REFERÊNCIAS.....	63

## RESUMO

### **Disponibilidade de nitrogênio em plantação de eucalipto em função do manejo de resíduos florestais e fertilização após duas rotações de cultivo**

O nitrogênio liberado pela mineralização é essencial para o desenvolvimento do eucalipto, gênero altamente utilizado no setor florestal. Manter os resíduos florestais sob o solo aumenta a disponibilidade desse elemento para a planta, aumentando a produtividade de madeira. Objetiva-se com o presente trabalho compreender a cinética da mineralização de N após a remoção dos resíduos florestais e da não fertilização no fim da segunda rotação de cultivo de uma plantação de *Eucalyptus grandis*, e comparar com a da vegetação nativa do local e com uma plantação de *Pinus oocarpa*. O estudo foi conduzido em um experimento de longa duração localizado no município de Itatinga, estado de São Paulo. Os tratamentos consistem em diferentes intensidades de manejo de resíduos florestais (permanência ou retirada de copa, casca e serapilheira), omissão de N, P, K, Ca e Mg. As avaliações consistem em mineralização de N *in situ*, crescimento da floresta, propriedades químicas do solo e avaliação nutricional das plantas. Com essas informações foi possível inferir sobre a relação entre a taxa de mineralização de N com o potencial de resposta à fertilização nitrogenada, produtividade de madeira e sustentabilidade da produção. O efeito da omissão de nutrientes na produtividade reduziu ao longo dos anos, mas o efeito da manutenção ou remoção dos resíduos manteve-se ao longo dos anos, onde a remoção reduziu a produtividade em 20% no fim da segunda rotação. A falta de potássio influenciou na produtividade e reduziu em 69 % o acúmulo de biomassa. O compartimento de maior acúmulo de biomassa foi o lenho, o maior dentre os macronutrientes foi S com 75 % e dos micronutrientes foi o B com 71 %, porém devido a alta atividade metabólica, as folhas apresentaram acúmulo de nutrientes expressivo. A deposição de folheto apresentou sazonalidade, com 24% maior deposição no período chuvoso. O tratamento que manteve resíduos se sobressaiu sobre o que removeu resíduos nas propriedades químicas do solo, mesmo com interferência do incêndio, a manutenção dos resíduos mostrou melhores resultados. Os efeitos da variação de temperatura do solo afetou diretamente as taxas de amonificação e nitrificação, assim o microclima influenciou fortemente a quantidade e a forma de nitrogênio disponível no solo. O Cerrado obteve a maior taxa de N-total (16,39 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) na época chuvosa. A interação tratamento e época na taxa de mineralização não foi estatisticamente diferente.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, Fertilização nitrogenada, Mineralização de nitrogênio, Resíduos florestais

## ABSTRACT

### **Nitrogen availability in eucalyptus plantations as a function of forest residue management and fertilization after two crop rotations**

The nitrogen released by mineralization is essential for the development of eucalyptus, a genus highly used in the forest sector. Keeping forest residues under the soil increases the availability of this element to the plant, increasing wood productivity. The objective of this work is to understand the kinetics of N mineralization after the removal of forest residues and non-fertilization at the end of the second rotation of a *Eucalyptus grandis* plantation, and to compare it with that of native vegetation from the site and with a plantation of *Pinus oocarpa*. The study was conducted in a long-term experiment located in the municipality of Itatinga, state of São Paulo. Treatments consist of different intensities of forest residue management (permanence or removal of crown, bark and litter), omission of N, P, K, Ca and Mg. The assessments consist of *in situ* N mineralization, forest growth, soil chemical properties and plant nutritional assessment. With this information, it was possible to infer the relationship between the N mineralization rate and the potential response to nitrogen fertilization, wood productivity and production sustainability. The effect of nutrient omission on productivity reduced over the years, but the effect of maintenance or removal of residues remained over the years, where removal reduced productivity by 20% at the end of the second rotation. The lack of potassium influenced the productivity and reduced the accumulation of biomass by 69%. The compartment with the highest biomass accumulation was wood, the largest among the macronutrients was S with 75% and of the micronutrients was B with 71%, however due to the high metabolic activity, the leaves showed significant nutrient accumulation. Litter deposition showed seasonality, with 24% greater deposition in the rainy season. The treatment that kept residues stood out over the one that removed residues in the chemical properties of the soil, even with interference from the fire, the maintenance of residues showed better results. The effects of soil temperature variation directly affected the ammonification and nitrification rates, thus the microclimate strongly influenced the amount and form of nitrogen available in the soil. The Cerrado had the highest N-total rate (16.39 kg ha<sup>-1</sup> month<sup>-1</sup>) in the rainy season. The interaction between treatment and time on mineralization rate was not statistically different.

Keywords: *Eucalyptus*, Nitrogen fertilization, Nitrogen mineralization, Forest waste

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Balanço hídrico mensal sequencial pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) para o local do experimento, durante os anos de 2004 a 2023 (CAD = 280mm) DEF - deficiência hídrica e EXC-excedente hídrico..... 21
- Figura 2 – Croqui da área experimental, com destaque para os seis tratamentos onde foram realizadas as avaliações de taxa de mineralização..... 24
- Figura 3 – Metodologia quantificação da mineralização de nitrogênio, a) instalação do termômetro; b) incubação de um dos canos de PVC para o N final e retirada imediata do outro cano para N inicial; c) diagrama de Voronoi e os canos que permaneceram em campo capeados; d) solo coletado envolto por insulfilme evitando o movimento do solo; e) 10 gramas de amostras de solo pesada; f) início da extração com KCl; g) decantação por 24 horas; h) filtragem da amostra; i) adicionando inibidor microbiano; j) amostra levada diretamente para o congelador evitando atividade microbiológica; k) preparando indicador para determinação de  $\text{NH}_4^+$  ; l) sistema de análise por injeção em fluxo automático – ASIA; m) preparando soluções para determinar o  $\text{NO}_3^-$ ; n) determinação colorimétrica no equipamento “Tecan”..... 29
- Figura 4 – Biomassa acumulada em uma plantação de *Eucalyptus grandis* conduzida pela segunda rotação não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg. Colunas (biomassa total) seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade. SPACF – remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SPASN – sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP - sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASK - sem a parte aérea e sem fertilização potássica, SPASCA – sem a parte aérea e sem calagem. .... 41
- Figura 5 – Produtividade relativa (PR) ao tratamento com todos os resíduos (a) e ao tratamento com fertilização completa (b) da segunda rotação da plantação de *Eucalyptus grandis* conduzida sob diferentes manejos de resíduos e não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg..... 48
- Figura 6 - Incremento médio anual (linha vermelha) e incremento corrente anual (linha preta) da segunda rotação de cultivo de uma plantação de *Eucalyptus grandis* conduzida sob diferentes manejos de resíduos e não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg..... 48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores anuais do balanço hídrico mensal sequencial pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) para o local do experimento, durante o período de condução do estudo (CAD=280 mm). .....	22
Tabela 2 – Doses dos fertilizantes e manejo do resíduo florestal dos tratamentos. ....	24
Tabela 3 – Equações ajustadas segundo modelo de Schumacher e Hall para avaliar o crescimento do povoamento de <i>Eucalyptus grandis</i> no final da segunda rotação. ....	30
Tabela 4 – Taxas de amonificação e nitrificação líquida <i>in situ</i> e $N-NH_4^+ / NO_3^-$ em relação a cada tratamento e as áreas referências, Cerrado e Pinus na camada 0-20 cm do solo. ....	33
Tabela 5 – Temperatura e precipitação que ocorreram no período da coleta das amostras. ....	34
Tabela 6 – Taxas de amonificação e nitrificação líquida <i>in situ</i> camada 0-20 cm do solo com a comparação do efeito da interação entre época (chuvosa ou seca) e dos tratamentos avaliados. ....	35
Tabela 7 – Equações para estimativa das taxas de mineralização de N ( $kg\ ha^{-1}\ mês^{-1}$ ), para as diferentes variáveis independentes. ....	36
Tabela 8 – Métricas de qualidade de ajuste dos parâmetros da equação associados às variáveis independentes, para estimativa das taxas de mineralização de N ( $kg\ ha^{-1}\ mês^{-1}$ ). ....	36
Tabela 9 – Atributos químicos do solo nos tratamentos com resíduo e sem resíduos considerando a não interferência do incêndio e a interferência do mesmo, em diferentes profundidades (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 cm) aos 9,3 anos do 2 ciclo do <i>Eucalyptus grandis</i> . ....	37
Tabela 10 – Quantidade de macronutriente e micronutriente acumulada considerando as parcelas dos tratamentos com resíduo e sem resíduo, atingida pelo incêndio e não atingida pelo incêndio, e área adjacente usada para transposição de serapilheira. ....	39
Tabela 11 – Relação carbono e nitrogênio (C/N) no solo a 0 a 20 cm de profundidade, nos tratamentos contrastantes com resíduo e sem resíduo, na plantação de <i>Eucalyptus grandis</i> , aos 9,3 anos. ....	40
Tabela 12 – Quantidade de macronutrientes acumulada na biomassa de uma plantação de <i>Eucalyptus grandis</i> aos 9,3 anos, conduzida pela segunda rotação não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg. ....	43
Tabela 13 – Quantidade de micronutriente acumulada na biomassa de uma plantação de <i>Eucalyptus grandis</i> aos 9,3 anos, conduzida pela segunda rotação não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg. ....	44
Tabela 14 – Quantidade de folheto depositado no período de um mês considerando uma época seca (8 anos e 9 meses) e uma época chuvosa (9 anos) de um plantio de <i>Eucalyptus grandis</i> manejado sob diferentes manejos de resíduos e fertilização. ....	45
Tabela 15 – Quantidade de macronutriente e micronutriente acumulada no folheto durante um mês, em época seca e chuvosa em uma plantação de <i>Eucalyptus grandis</i> , conduzida pela segunda rotação. ....	45
Tabela 16 – Quantidade de macronutriente e micronutriente acumulada na galhada durante um mês, média da época seca e chuvosa em uma plantação de <i>Eucalyptus grandis</i> , conduzida pela segunda rotação. ....	46
Tabela 17 – Volume de madeira com casca e incremento médio anual (IMA) aos 8,7 anos após o plantio de <i>Eucalyptus grandis</i> sob diferentes intensidades de remoção dos resíduos e fertilização. ....	47

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal tem crescente relevância para o Brasil, visto que a área com árvores plantadas no país totalizou 9,93 milhões de hectares em 2021 (IBÁ, 2022). Grande parte destas florestas estão estabelecidas em regiões de solos com baixa fertilidade e pouca reserva de minerais (comumente LATOSSOLOS de textura média e NEOSSOLOS QUARTIZARÊNICO) (GONÇALVES et al., 2013). Além disso, para elevar os índices de produtividade dos sítios, os sistemas silviculturais são intensificados, contemplando o uso de genótipos de rápido crescimento, que apresentam alta capacidade de extração de nutrientes (GONÇALVES et al., 1997).

Sob tais circunstâncias, os plantios sucessivos de espécies florestais com alta capacidade de exportação de nutrientes podem reduzir ainda mais as pequenas reservas minerais existentes no solo. Manter a fertilidade do solo e aumentar a produtividade é fundamental nos plantios florestais. Para que a produção seja sustentável é importante que os nutrientes essenciais estejam disponíveis às plantas (GOMES; GONÇALVES, 2009).

Determinar a disponibilidade de nutrientes do solo é tarefa essencial para um adequado programa de fertilização. Entretanto, determinar a disponibilidade de nitrogênio não é uma tarefa fácil, pois o mesmo apresenta um ciclo no sistema solo-planta-atmosfera muito complexo (CANTARELLA, 2007). Em Gonçalves et al. (2022), propuseram, para recomendação de nitrogênio para florestas de eucalipto e pinus, três classes de teores de matéria orgânica do solo. Contudo, apesar da matéria orgânica ser a principal fonte de nitrogênio no solo, esse tipo de recomendação tem como inconveniente, não levar em consideração a biodisponibilidade de nitrogênio. Essa biodisponibilidade é regulada pela qualidade da matéria orgânica, fatores climáticos, edáficos, biológicos e pelo manejo adotado (CANTARELLA; RAIJ, 1986, CANTARELLA, 2007).

Tendo um papel de destaque na nutrição mineral das plantas, o nitrogênio é determinante na obtenção de altas produtividades. Contudo, sua eficiência de utilização pelas culturas é baixa, e isso é devido as grandes perdas desse nutriente para o ambiente (VIERA, 2017). Para manter adequados níveis deste nutriente no solo são necessárias práticas sustentáveis de silvicultura, como a manutenção dos resíduos da colheita sobre o solo (MENEGALE et al. 2016).

Segundo Rocha e Gonçalves (2017) o principal benefício da manutenção dos resíduos florestais sobre o solo, em curto prazo, é a redução da exportação de nutrientes, pois influencia diretamente na produtividade. Estes autores observaram que a não fertilização com

nitrogênio e fósforo e não aplicação de calcário resulta na redução da produtividade na fase inicial de crescimento. Os autores afirmam também que a remoção de resíduos florestais não reduziu significativamente o volume de madeira na primeira rotação de cultivo. Entretanto, na segunda rotação com remoção sucessiva dos resíduos florestais, houve redução de 15% no volume produzido, mesmo com altas doses de fertilizantes. Esse fato indica que a importância da manutenção dos resíduos florestais sobre o solo vai além da questão nutricional.

As plantações de eucalipto do Brasil raramente respondem à adubação nitrogenada. Isso sugere que as taxas de mineralização de nitrogênio são suficientes para suprir as necessidades das árvores (PULITO et al. 2015). Entretanto, no trabalho Melo et al. (2016), devido à alta demanda de nitrogênio da espécie *Eucalyptus globulus*, os autores encontraram resposta à aplicação de nitrogênio aos 6 anos de idade.

Sendo o nitrogênio um macronutriente essencial para o crescimento das plantas, esse deve estar disponível no solo. Em ambientes naturais, a ciclagem do nitrogênio garante a disponibilidade necessária para manter o equilíbrio do ecossistema. No entanto em plantações comerciais, o produto colhido exporta com ele o nitrogênio incorporado na biomassa. Com isto, torna-se necessário a reposição do nitrogênio exportado (GARCIA, CARDOSO e SANTOS, 2013).

Deste modo, as práticas de aplicação de fertilizantes devem ser atreladas a uma metodologia conservadora de gerenciamento para minimizar as perdas de nitrogênio do sistema e aumentar a sustentabilidade da produção florestal (PULITO et al. 2015; GONÇALVES et al. 2008). Portanto, entender a dinâmica do nitrogênio no solo sob diferentes coberturas florestais e suas relações com a fertilização e o manejo de resíduos florestais contribuirá para o aumento da eficiência no uso de fertilizantes e na sustentabilidade da produção florestal.

Com base nesse contexto e sabendo que a cobertura florestal, fertilização e remoção dos resíduos podem influenciar na mineralização de nitrogênio, elabora-se as seguintes perguntas:

As plantações florestais monoespecíficas reduzem a taxa de mineralização de nitrogênio do solo quando comparado com a vegetação nativa?

A remoção dos resíduos florestais reduz a mineralização de nitrogênio?

A ausência de fertilização com nitrogênio por três rotações consecutivas reduz a mineralização de nitrogênio e por consequência reduz a produtividade da floresta?

Assim, considerando o experimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes intensidades de manejos resíduos florestais e a omissão de N, P, K, Ca e Mg, tendo como

referência duas coberturas florestais, Cerrado e *Pinus oocarpa*, os objetivos com este estudo foram avaliar o efeito da cobertura florestal, remoção dos resíduos florestais e da não fertilização: a) no estoque de nitrogênio do solo; b) na mineralização de nitrogênio avaliada *in situ*; c) no teor de matéria orgânica do solo; d) avaliar crescimento das árvores de eucalipto no fim do segundo ciclo de cultivo.





## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Histórico da área experimental com eucalipto

O local onde este estudo foi conduzido consiste em um experimento de longa duração, iniciado em 2004 na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga pertencente à ESALQ/USP. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com 9 tratamentos e 3 repetições. Cada parcela foi composta por 81 plantas no espaçamento de 3 x 2 m, com bordadura dupla. As avaliações foram realizadas na área útil da parcela, com 25 plantas. Os tratamentos compreendem em diferentes níveis de manejo dos resíduos florestais (permanência ou remoção de copa, casca e serapilheira), omissão de N, P, K, Ca e Mg (Tabela 2). Como resíduo florestal, contemplou-se todos os resíduos orgânicos remanescentes sobre o solo após a colheita, considerando assim: copa (folhas e galhos), cascas e serapilheira. Este experimento gerou dados que embasaram diversas publicações, sendo as principais destacadas a seguir.

Em Menegale et al. (2016) foi observada redução nos estoques orgânicos de C, N total, P e S disponíveis em todos os tratamentos, principalmente na camada de 0 a 40 cm do solo. Os balanços de N e P tiveram valores ainda mais baixos quando a árvore e a serapilheira foram removidas ou quando nenhum fertilizante foi aplicado.

Em Rocha et al. (2018) não foi observado efeito significativo da remoção dos resíduos florestais na produtividade de madeira da primeira rotação; no entanto, a produtividade da madeira reduziu em 15% durante a segunda rotação com remoção de resíduos, mesmo com altas taxas de aplicação de fertilizantes. Estes autores observaram também que a remoção dos resíduos florestais resultou em redução de 25 % do teor de matéria orgânica do solo no final da primeira rotação de cultivo e essa diferença aumentou para 50% aos 300 dias após o restabelecimento da segunda rotação.

Rocha et al. (2019) observou que a intensidade da colheita de madeira e a aplicação de fertilizante fosfatado não influenciaram a concentração total de fósforo no solo durante doze anos de cultivo de eucalipto. Entretanto, a remoção dos resíduos florestais resultou em redução da fração do P disponível às plantas. A alta produtividade, mesmo em solos com baixas reservas de P e sem aplicação de fertilizantes, indica a alta eficiência de absorção de fósforo nas plantações de eucalipto.

A respeito da omissão de nutrientes, Rocha et al. (2019) observou redução de aproximadamente 70% no volume de madeira produzida aos 5 anos quando K não foi

aplicado via fertilização. Por outro lado, na ausência de N, P e Calagem, o volume de madeira diminuiu entre 20% e 50% aos dois anos de idade. Essa resposta diminuiu com a idade, desaparecendo no final de ambas as rotações para N e foi de aproximadamente -10% para P e Calagem.

## 2.2. Resposta à fertilização nitrogenada

Dentre as exigências nutricionais de espécies de eucalipto e pinus, o nitrogênio é um dos nutrientes mais requeridos para o seu bom desenvolvimento. Este nutriente influencia diretamente o desenvolvimento foliar e crescimento inicial, podendo ou não aumentar o volume de madeira no final do ciclo (ARAÚJO et al. 2017). Jesus et al. (2012) observou que a adubação nitrogenada promoveu aumento da produção de madeira em plantações de Eucalipto.

No entanto, a adição de fertilizantes deve ser feita quando a demanda nutricional da planta não pode ser suprida pela oferta do solo. No caso da fertilização nitrogenada em povoamentos de Eucalipto, a resposta à aplicação geralmente diminui com o decorrer da idade do povoamento. Isso deve-se ao suprimento de N advindo da matéria orgânica do solo, principalmente após o fechamento da copa, período de queda deposição e intensificação de ciclos biogeoquímicos (GONÇALVES, 2004; GONÇALVES et al. 2008). Há uma complexidade na determinação das recomendações de fertilização nitrogenada, que é atribuída à dificuldade em prever com precisão o suprimento de nitrogênio disponível, consequentemente correlacionado a mineralização de nitrogênio (PULITO et al. 2015).

Dentre os trabalhos com resposta aplicação de fertilizante nitrogenado em plantação de Eucalipto, Pulito et al. (2015) observaram efeito apenas no estágio inicial do crescimento das árvores, nos primeiros dois ou três anos, quando o dossel estava em formação. Nesta fase, o acúmulo relativo de nitrogênio é maior que o acúmulo de biomassa, devido a formação de componentes ricos em N, com ênfase para folha e raiz fina. Desta maneira, o N liberado da matéria orgânica do solo pode não ser suficiente para atender a demanda de nitrogênio da árvore. Em Rocha et al. (2019) a resposta do eucalipto às aplicações de N também foi maior no início da rotação, diminuindo com a idade, desapareceram nas árvores aos 3 anos de idade.

No trabalho de Melo et al. (2016) foi observado que a longo prazo os eucaliptos estão respondendo gradualmente ao nitrogênio, em destaque o *Eucalyptus globulus*, com alta demanda de N da espécie, foi encontrado resposta à aplicação de N em plantações de 6 anos

de idade. Os autores esperam ganhos de produtividade devido à fertilização de N nas próximas rotações.

Segundo Jesus et al. (2012) há poucos estudos conduzidos com espécies florestais para entender participação do nitrogênio no metabolismo da planta. Desta maneira, se faz necessário entender dinâmica do nitrogênio e suas relações com a fertilização e a intensidade da colheita florestal para contribuir para o aumento da eficiência no uso de fertilizantes.

### **2.3. Mineralização do nitrogênio**

A disponibilidade de nitrogênio no solo é um dos principais determinantes da produção de biomassa das plantas (PARRON, 2004). Segundo o mesmo autor, a disponibilidade de N para plantas não é dada pelos valores totais de nitrogênio no solo, mas sim limitada pela mineralização e nitrificação do nitrogênio.

A mineralização do nitrogênio trata-se de um processo enzimático resultante da conversão do nitrogênio orgânico para formas inorgânicas, realizada por microrganismos heterotróficos, aeróbios e anaeróbios (VIERA, 2017). As formas orgânicas podem ser absorvidas diretamente, por meio da quebra em unidades menores pelas enzimas extracelulares. A amônia reage rapidamente com água no solo de modo a formar íons amônio, e quando em condições de pH elevado esta pode ser perdida para atmosfera (VIERA, 2017).

Segundo Viera (2017) e Cardoso, Andreote (2016) alguns fatores influenciam a mineralização, como a umidade do solo em que 50% a 70% da capacidade de campo é a faixa considerada adequada para o processo. A temperatura pode afetar também, sendo que entre 10°C a 40°C acelera a mineralização e o pH, onde a faixa que beneficia a atividade dos microrganismos é em torno de 6 a 7. O processo ainda é geralmente favorecido em ambientes aeróbios, além de, evidentemente, boa disponibilidade de material orgânico biodegradável.

A liberação de N diminui conforme a mineralização do N ocorre, uma vez que as reservas de N lábil diminuem junto com a atividade microbiana. Este efeito é desfavorável à nutrição de plantas em curto prazo, mas benéfica para a conservação de N em longo prazo, pois diminui as perdas de N por lixiviação e volatilização (VITOUSEK, 1984).

O N apresenta dinâmica complexa e intensa nos ecossistemas tropicais, sendo constantemente convertidos em formas inorgânicas (via mineralização) e orgânicas (via imobilização). Desta forma, deve-se considerar como N disponível não apenas o  $\text{N-NH}_4^+$  e o  $\text{N-NO}_3^-$  trocável, mas também a fração lábil da matéria orgânica, ou seja, a fração facilmente mineralizada pelos microrganismos (GONÇALVES et al., 2008).

Diversos métodos para estimar as taxas de mineralização, absorção e lixiviação de N a nível de campo e de laboratório têm sido testados. Dentre os métodos de campo, a incubação sequencial de colunas de solo pouco perturbadas tem sido indicada como o mais adequado (GONÇALVES et al., 2001). Os principais métodos propostos são baseados na oxidação biológica ou química da matéria orgânica. A utilização de métodos químicos na avaliação da fertilidade do solo pelos laboratórios que analisam grande número de amostras pode ser viável, por serem mais rápidos, mais precisos e menos alterados pelo manuseio do solo do que os métodos biológicos (STANFORD, 1982; TEDESCO, 1985; OLIVEIRA, 1989).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – SP (coordenadas 23°03' S e 48°37' W, a 857 m de altitude), pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). O clima da região é o Cfa, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima subtropical com verão quente, com temperatura média anual de 20,5 °C, sendo a média do mês mais frio (julho) 13,2 °C e a média do mês mais quente (dezembro) 28,4 °C. A precipitação pluvial média anual é de 1480 mm, com 53% concentrada nos meses de dezembro a março (ALVARES et al., 2013). Durante o primeiro ciclo do estudo conduzido por Rocha (2017), a precipitação média anual foi de 1472 mm e a temperatura média anual de 20,9 °C. No segundo ciclo, devido a condições climáticas atípicas, de julho de 2013 a dezembro de 2014, foi observado um déficit hídrico, devido aos baixos índices de precipitação, (Figura 1). A temperatura média deste segundo ciclo foi de 19,8°C, e a precipitação média foi de 1629 mm (Tabela 1).

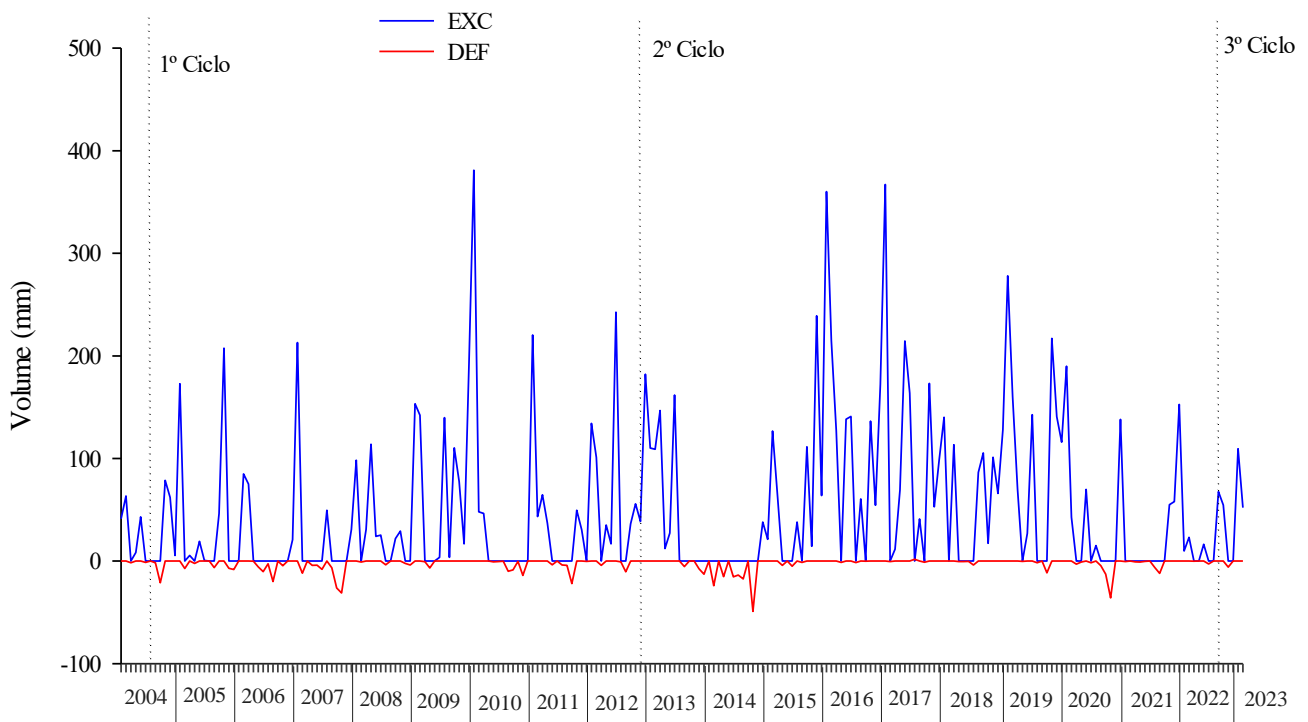


Figura 1 - Balanço hídrico mensal sequencial pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) para o local do experimento, durante os anos de 2004 a 2023 (CAD = 280mm) DEF - deficiência hídrica e EXC - excedente hídrico.

Tabela 1 – Valores anuais do balanço hídrico mensal sequencial pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) para o local do experimento, durante o período de condução do estudo (CAD=280 mm).

ANO	Temperatura Média			PP <sup>(1)</sup>	ETP <sup>(2)</sup>	ETR <sup>(3)</sup>	EXC <sup>(4)</sup>	DEF <sup>(5)</sup>	Meses com DEF <sup>(6)</sup>
	Máxima	Média	Mínima						
C°			mm						
<b>Primeiro ciclo</b>									
2004	27,3	20,5	13,6	1275	995	961	264	26	1
2005	28,3	21,7	15,0	1452	1114	1072	452	32	4
2006	28,0	21,2	14,3	1289	1069	1013	181	44	3
2007	28,4	21,5	14,6	1298	1097	978	293	92	5
2008	26,6	20,4	14,2	1269	988	974	347	11	0
2009	26,3	20,7	15,0	1903	1017	1007	839	7	1
2010	27,0	20,8	14,5	1448	1021	975	475	34	3
2011	26,6	20,5	14,4	1413	1000	956	445	34	1
2012	27,0	21,1	15,1	1898	1055	1034	846	16	1
<b>Média</b>	<b>27,3</b>	<b>20,9</b>	<b>14,5</b>	<b>1471,6</b>	<b>1039,6</b>	<b>996,5</b>	<b>460,3</b>	<b>32,9</b>	<b>2,1</b>
<b>Sd</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>253,9</b>	<b>46,1</b>	<b>38,2</b>	<b>237,2</b>	<b>25,3</b>	<b>1,7</b>
<b>Segundo ciclo</b>									
2013	26,4	20,5	14,6	1445	998	972	567	26	3
2014	28,1	21,6	15,0	1098	1101	966	38	135	6
2015	28,1	21,5	14,9	1768	1100	1089	679	11	1
2016	26,0	19,8	15,4	2334	933	930	1405	3	0
2017	30,3	18,9	9,8	2037	849	845	1192	3	0
2018	30,8	19,1	9,0	1487	863	858	629	5	0
2019	31,8	19,6	10,0	2063	914	900	1163	13	1
2020	31,4	19,1	9,1	1221	870	811	433	59	2
2021	30,5	18,7	8,6	1095	842	821	251	21	2
2022	30,7	19,0	8,9	1155	875	866	324	9	1
<b>Média</b>	<b>29,4</b>	<b>19,8</b>	<b>11,5</b>	<b>1570</b>	<b>934</b>	<b>906</b>	<b>668</b>	<b>29</b>	<b>2</b>
<b>Sd</b>	<b>2,1</b>	<b>1,1</b>	<b>3,0</b>	<b>453,0</b>	<b>99,1</b>	<b>85,6</b>	<b>449,6</b>	<b>41,0</b>	<b>1,8</b>

(1) Precipitação anual; (2) Evapotranspiração potencial calculada segundo Thornthwaite (1948), (3) Evapotranspiração real, (4) Soma do excedente hídrico no ano; (5) Soma do déficit hídrico do ano; (6) Número de meses que apresentaram déficit hídrico superior a 5 mm.

A vegetação originária da região é o cerrado *stricto sensu*. O relevo varia de plano a suave ondulado, e o solo é caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, de textura média (EMBRAPA, 2018). As avaliações foram realizadas em um experimento de longa duração com *Eucalyptus grandis* e em duas coberturas florestais adjacentes, sendo uma plantação de *Pinus oocarpa* e uma área de Cerrado nativo. A área de cerrado não sofre intervenção desde 1940 e têm espécies das famílias Melastomataceae, Poaceae, Fabaceae, como predominantes, com destaque para as espécies *Caryocar brasilienses*, *Miconia albicans*, *Shefflera vinosa*, *Anadenathera peregrina*, *Annona coriácea*.

A área com a plantação de *Pinus oocarpa* possuía o mesmo histórico de uso do solo da área com o experimento de *Eucalyptus grandis* até abril de 1992, quando ambas foram reformadas. Na área do experimento, neste mesmo ano, foi estabelecida uma plantação de *Eucalyptus grandis* a qual foi reformada para a instalação do experimento em 2004. Já a área de *Pinus oocarpa* foi plantada em 1996 e não sofreu intervenções desde então.

### **3.1.1 Delineamento experimental e tratamentos**

O experimento seguiu um delineamento em blocos casualizados, com 9 tratamentos e 3 blocos, totalizando 27 parcelas (Figura 2). Cada parcela experimental foi composta por 81 plantas, distribuídas em 9 linhas, com 9 plantas no espaçamento de 3,0 m entre linhas e 2,0 m entre plantas, totalizando 486 m<sup>2</sup> por parcela e 1,31 ha no total. Para as mensurações, considerou-se uma bordadura dupla em cada parcela, sendo avaliadas 5 linhas de 5 plantas, totalizando 25 plantas por parcela. Para as áreas de referências foram estabelecidas parcelas para as avaliações de taxa de mineralização. Os tratamentos consistem em diferentes intensidades de manejo de resíduos florestais (permanência ou retirada de copa, casca e serapilheira), juntamente com omissão de N, P, K, Ca e Mg (Tabela 2).



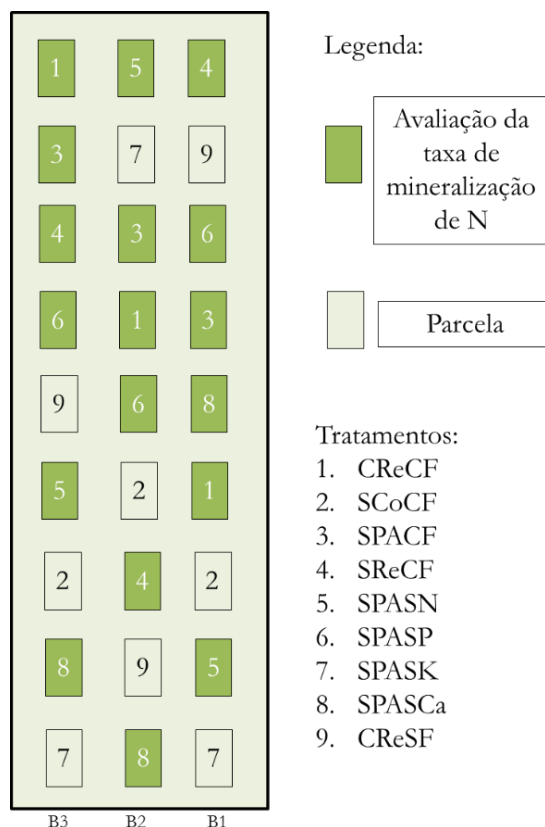


Figura 2 – Croqui da área experimental, com destaque para os seis tratamentos onde foram realizadas as avaliações de taxa de mineralização.

Tabela 2 – Doses dos fertilizantes e manejo do resíduo florestal dos tratamentos.

Tratamento <sup>1</sup>	Resíduos Florestais <sup>2</sup>			Fertilização <sup>3</sup>				
	Copa	Casca	Serapilheira	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg
	kg ha <sup>-1</sup>							
CReCF	M	M	M	130	100	150	480	120
SCoCF	R	M	M	130	100	150	480	120
SPACF	R	R	M	130	100	150	480	120
SReCF	R	R	R	130	100	150	480	120
SPASN	R	R	M	10	100	150	480	120
SPASP	R	R	M	130	-	150	480	120
SPASK	R	R	M	130	100	10	480	120
SPASCa	R	R	M	130	100	150	-	-
CReSF	M	M	M	10	-	10	-	-

(1) CReCF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização, SCoCF – Remoção da copa das árvores (manutenção da serapilheira e da casca das árvores e com fertilização, SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP - Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASK - Sem a parte aérea e sem fertilização potássica, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem, CReSF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo e sem fertilização;

(2) M = mantido sobre o solo, R = removido do local; (3) As fontes de N, P, K, Ca e Mg serão sulfato de amônio, superfosfato triplo, cloreto de potássio e calcário, respectivamente.

### 3.1.2 Instalação e condução do experimento

A instalação do experimento foi realizada em 2004, após o corte raso de um povoamento de *Eucalyptus grandis* de 12 anos de idade. Após o corte do povoamento, foram aplicados os tratamentos (Tabela 2) e efetuado o preparo de solo por coveamento a 40 cm de profundidade. Em junho de 2004, foi feito o plantio das mudas produzidas por sementes coletadas de uma única progênie de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden.

A fertilização aplicada na área experimental foi composta pelos macronutrientes listados na Tabela 2. Adicionalmente, foram aplicados em todos os tratamentos 3,4 kg ha<sup>-1</sup> de boro (B) e 30 kg ha<sup>-1</sup> de “Fried Traced Elements” (FTE BR 12: 9% Zn + 1,8% B + 0,8% Cu + 2% Mn + 3,5% Fe + 0,1% Mo). A fertilização foi dividida em uma fertilização de base e duas fertilizações de cobertura. Na fertilização de base, foi aplicado todo o fósforo recomendado, o FTE e 10 kg ha<sup>-1</sup> de N e de K em duas covetas laterais a 10 cm das mudas. Também foi efetuada a aplicação do calcário em área total no ato do plantio (exceto nos tratamentos SPASCa e CReSF). As fertilizações de cobertura foram efetuadas aos três e oito meses após o plantio, em que foi aplicado o N, K e B, dividido em duas partes iguais. Os fertilizantes foram aplicados sobre o solo em semicírculo na projeção da copa.

Após ser conduzido por 8 anos, em 2012, o experimento foi colhido de modo semimecanizado e reinstalado, reaplicando os mesmos tratamentos nas mesmas parcelas. No ato da colheita, tomou-se cuidado para que todos os resíduos de cada parcela ficassem sobre as mesmas. Toda a condução do experimento foi realizada de forma semelhante à primeira rotação de cultivo.

Em 25 de janeiro de 2022, ocorreu um incêndio no experimento estudado. O incêndio atingiu quase que totalmente a área experimental, somente as três últimas parcelas do experimento, no sentido dos blocos, sofreram queima parcial, onde estavam localizados os tratamentos CReCF, SPASN e SReCF. Desta maneira, as demais parcelas de todos os blocos sofreram perda total.

Por se tratar de um experimento de longa duração, cujos resultados são conhecidos internacionalmente e são a base de decisões de manejo adotadas no Brasil, decidiu-se continuá-lo, mesmo com o incêndio. Para mitigar o efeito do fogo nos tratamentos, decidiu-se pela reposição da serapilheira queimada. A serapilheira utilizada para a reposição foi coletada em uma área adjacente ao experimento, em que permanece uma plantação comercial com a mesma espécie. A quantidade de serapilheira transposta para a área do experimento foi determinada com base na quantidade observada na área do experimento não afetada pelo

incêndio, proporcionalmente. Dessa forma, 3,86 kg/m<sup>2</sup> de serapilheira foram transpostos para a área experimental (exceto para o tratamento SReCF).

Antes da transposição da serapilheira, a fim de manter a homogeneidade da condição de todas as parcelas, foi efetuada uma queima controlada na área do experimento não afetada pelo incêndio. Essa queima controlada ocorreu menos de 1 mês após o incêndio.

A segunda rotação do experimento foi colhida de fevereiro a abril de 2022, com 10 anos, sendo reinstalada ao final do mês de setembro, o que deu início à terceira rotação. Com isto, foram reaplicados todos os tratamentos seguindo todos os cuidados tomados na reinstalação da segunda rotação. As práticas de manejo adotadas foram as mesmas das rotações anteriores. É importante ressaltar que a atual rotação contou com uma reposição de serapilheira devido ao incêndio ocorrido no local, como descrito anteriormente.

## **3.2 Avaliações**

As avaliações foram realizadas nos tratamentos CReCF, SPACF, SPASN, SPASP, SPASCa e SReCF e nas áreas adjacentes, cerrado e *Pinus oocarpa*. Essas avaliações foram realizadas no final da segunda rotação e no início da terceira rotação do experimento. Estes tratamentos permitem avaliar como a mineralização de N é afetada pelos seguintes fatores: i) quantidade de resíduos mantida sobre o solo, por meio dos tratamentos CReCF, SPACF e SReCF; ii) fertilização nitrogenada, por meio dos tratamentos SPACF e SPASN; iii) pH do solo, por meio dos tratamentos SPACF e SPASCa; e iv) disponibilidade de P no solo, por meio dos tratamentos SPACF e SPASP.

### **3.2.1 Mineralização de N *in situ***

A quantificação da mineralização de nitrogênio foi realizada à profundidade de 0-20 cm do solo, seguindo o método proposto por Raison et al. (1987), com as adaptações propostas por Gomes e Gonçalves (2009). Tanto para o período pré-colheita (final da segunda rotação) quanto para o período pós-colheita (início da terceira rotação), foram realizadas 2 avaliações para quantificação de nitrogênio (nitrogênio inicial e nitrogênio final), em 2 épocas diferentes (chuvosa e seca), totalizando 592 amostras (148 em uma avaliação – 74 nitrogênio inicial e 74 nitrogênio final, contabilizando também 2 amostras controle do nitrogênio inicial e final), onde foram determinado o nitrato e amônio, bem como o nitrogênio total.

Para a coleta das amostras de solo, foram utilizados 3 conjuntos de dois tubos de PVC de 30 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro. Os tubos foram instalados considerando a metodologia do diagrama de Voronoi, nas entrelinhas do plantio em um transecto diagonal em cada parcela avaliada. Três tubos foram removidos imediatamente para determinar o nitrogênio inicial em todos os tratamentos. Os três tubos restantes foram capeados para evitar lixiviações de nitrogênio. Nestes tubos, foram feitos pequenos furos visando manter a oxigenação. Os mesmos permaneceram no campo por 30 dias. As três amostras de cada período deram origem a uma amostra composta, sendo transportadas em posição vertical no laboratório em caixas térmicas com gelo (2-5 °C), envoltos com plástico filme de PVC. A refrigeração foi utilizada para minimizar a atividade microbiana, reduzindo a mineralização que poderia ocorrer antes da extração de N mineral (ARNOLD et al., 2008), (Figura 3 b; c; d)

Juntamente com a instalação dos tubos, instalou-se um termômetro digital (Máxima e Mínima -20°C à +50°C) por tratamento, com sensor externo enterrado a 10 cm de profundidade, para assim determinar a temperatura ao início e ao final da incubação (Figura 3 a). O nitrogênio mineral do solo foi extraído com solução de KCl 2 mol L<sup>-1</sup>. Tal procedimento iniciou-se com a retirada das amostras dos tubos. As amostras foram então colocadas em saco plástico, visando destorroar o solo e misturá-lo, de forma bem homogênea. Por meio da balança, foram pesados 10 g de solo, e em seguida, foram adicionados 100 ml da solução de KCl. Esta mistura foi então agitada manualmente por cerca de um minuto, até a dispersão total do solo. Após isso, a amostra permaneceu decantando por 24 horas (Figura 3 e; f; g)

No dia seguinte, com o papel filtro (Nº.42 / 12,5 cm), a solução foi filtrada em tubo falcon de 50 mL e foi adicionado 0,1 ml de inibidor microbiano (CH<sub>3</sub>COOHgC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>- acetato fenilmercúrico - 0,5 mg L<sup>-1</sup>). Após isto, as soluções foram levadas imediatamente ao congelador, deste modo armazenando todas as amostras (592) e, posteriormente, as mesmas foram levadas ao laboratório da ESALQ-USP, onde foi realizada a determinação (Figura 3 h; i; j).

Para a determinação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nos extratos, foi utilizado um Auto Analisador em Fluxo AAF22, equipamento este que fora desenvolvido com base no Sistema de Análise por Injeção em Fluxo Automático – ASIA. A determinação é baseada na reação do íon amônio em meio alcalino, onde em sua forma gasosa (amônia), o íon permeia por meio da membrana de 0,2 µm e é recebido na solução roxa de bromocresol, que muda proporcionalmente sua cor, devido à mudança no pH. O limite de detecção foi de 0,2 mg L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. A concentração presente na amostra original foi determinada após o equipamento ser calibrado fazendo uso de uma curva utilizando soluções padrão de amônio. O analisador fornece como resultado a

concentração em  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$  nas amostras extraídas. O valor original nas amostras de solo foi então calculado levando em consideração o volume de extrator e massa de solo utilizado conforme equação a seguir:  $\text{mg L}^{-1}$  determinado \* (1.000 g/ massa amostra) / (1.000 mL / volume extrator) a unidade do resultado final é  $\text{mg kg}^{-1}$  solo. (KAMOGAWA, 2009, KAMOGAWA e BRASIL, 2023) (Figura 3 k; l)

O  $\text{NO}_3^-$  foi determinado pela metodologia Braman e Hendrix (1989), isto é, determinação do nitrato em água, por colorimetria. Este procedimento consiste na aplicação de solução redutora (cloreto de vanádio), solução de acoplamento (dicloridrato alfa-naftil-etilenodiamina) e solução de sulfanilamida, as quais reagem com o nitrato e nitrito tornando a solução arroxeadada e permitindo a quantificação por leitura de absorbância (540 nm) em espectrômetro. Absorbância é convertida conforme a equação adquirida na curva dos padrões, onde a mesma é transformada em  $\text{mg kg}^{-1}$  solo (Figura 3 m; n)

O nitrogênio mineralizado foi calculado pela diferença entre as avaliações realizadas no início e no final do período, e o nitrogênio total pela somatória de amônio e nitrato. Para obtenção da umidade do solo, 10 g de cada amostra é seca a  $105^\circ\text{C}$  por 24 horas.

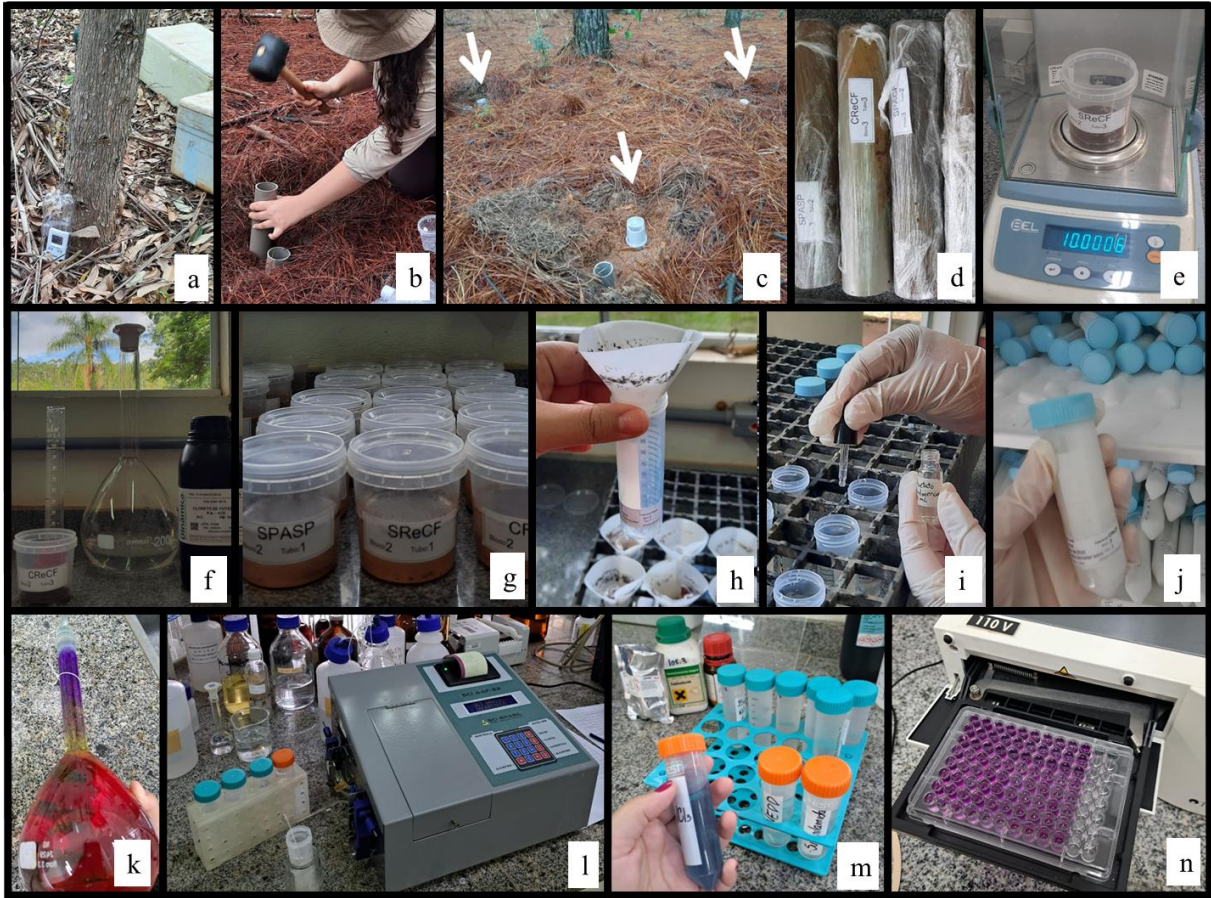


Figura 3 – Metodologia quantificação da mineralização de nitrogênio, a) instalação do termômetro; b) incubação de um dos canos de PVC para o N final e retirada imediata do outro cano para N inicial; c) diagrama de Voronoi e os canos que permaneceram em campo capeados; d) solo coletado envolto por insulfilm evitando o movimento do solo; e) 10 gramas de amostras de solo pesada; f) início da extração com KCl; g) decantação por 24 horas; h) filtragem da amostra; i) adicionando inibidor microbiano; j) amostra levada diretamente para o congelador evitando atividade microbiana; k) preparando indicador para determinação de  $\text{NH}_4^+$ ; l) Sistema de Análise por Injeção em Fluxo Automático – ASIA; m) preparando soluções para determinar o  $\text{NO}_3^-$ ; n) Determinação colorimétrica no equipamento “Tecan”.

### 3.2.2 Crescimento da floresta

O crescimento da floresta foi avaliado por meio do inventário florestal. Em junho de 2021 foram realizadas mensurações de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total. Os dados foram processados e os indivíduos distribuídos em 5 classes diamétricas por tratamento. Foram abatidas 50 árvores, sendo 2 árvores por classe diamétrica, totalizando 10 por tratamento, considerando os tratamentos SPACF, SPASN, SPASP, SPASK e SPASCa, juntamente as raízes grossas (maior que 1 cm de espessura) foram removidas por escavação. Para determinação do volume de madeira foi realizada cubagem rigorosa nas árvores abatidas. Para isso os diâmetros foram medidos a cada metro, considerando um diâmetro mínimo de 3 cm. Por meio da fórmula de Smalian foi calculado o volume sólido do fuste. (SCOLFORO e

THIERCH, 2004). As raízes grossas foram retiradas com auxílio de um sistema de polias após a escavação ao redor da cepa.

As árvores derrubadas foram divididas em raiz, tronco, galho e folha, que foram pesadas úmidas, usando uma balança digital com precisão de 0,01 kg e capacidade máxima de 60 kg. Além disso, amostras de folhas foram coletadas nos terços superior, médio e inferior da copa, onde foram recolhidas amostras de galhos. A partir da base do tronco, foram cortados discos de madeira com cerca de 3 cm de espessura na altura do DAP (1,3 m do solo) e nas distâncias de 0, 25, 50, 75 e 100% da altura total da árvore. Foram coletadas amostras dos discos, que foram separadas em lenho e casca, e ambas foram pesadas após secagem em uma estufa a 65°C. As folhas e galhos também foram secos nas mesmas condições. A massa seca das raízes também foi estimada com base na massa fresca total e no teor de água, que foi determinado em discos retirados ao longo da raiz principal e das laterais, a 65°C.

A biomassa seca de cada componente aéreo da planta (raiz, lenho, casca, galho e folha) foi agrupada por parcela, moída e levada ao laboratório para realizar análises químicas, de acordo com o descrito no Item 3.4.5 (acúmulo de nutrientes).

Para as estimativas das biomassas (folha, galho, casca, lenho e raiz) e do volume do povoamento a partir das árvores amostradas, foram utilizadas as variáveis, diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura (H), como variáveis independentes para o ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933), que podem ser observadas na Tabela 3. Para observar o ajuste e a precisão do modelo foram escolhidos parâmetros estatísticos, coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e erro padrão da estimativa em percentagem ( $Sy_x\%$ ) (SCHENEIDER, 1997).

Tabela 3 – Equações ajustadas segundo modelo de Schumacher e Hall para avaliar o crescimento do povoamento de *Eucalyptus grandis* no final da segunda rotação.

Avaliação <sup>1</sup>	Equação <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>	Exy
Volume	$\text{LnVol} = -10,17539 + 2,03662 * \text{LnDAP} + (0,94505) * \text{LnH}$	0,99	0,30
Folha	$\text{LnBiom} = -5,83227 + 3,45885 * \text{LnDAP} - (0,96537) * \text{LnH}$	0,93	3,47
Galho	$\text{LnBiom} = -4,21848 + 2,19274 * \text{LnDAP} + (0,87212) * \text{LnH}$	0,90	7,07
Casca	$\text{LnBiom} = -3,18004 + 2,57626 * \text{LnDAP} - (0,39252) * \text{LnH}$	0,95	1,66
Lenho	$\text{LnBiom} = -4,21848 + 2,19274 * \text{LnDAP} + (0,87212) * \text{LnH}$	0,99	0,68
Raiz	$\text{LnBiom} = -4,21848 + 2,19274 * \text{LnDAP} + (0,87212) * \text{LnH}$	0,95	2,09

(1) Volume e compartimentos avaliados na biomassa (2) Equações ajustadas segundo modelo de Schumacher e Hall.

### **3.2.3 Propriedades químicas do solo**

Com a metodologia proposta por Raij et al., (1987) foram determinados: pH, fósforo (P), potássio(K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), alumínio trocável (Al), acidez potencial (H+Al), Soma de bases trocáveis (SM), Capacidade de troca de cations (CTC), Saturação da CTC por bases (V) e Saturação por Alumínio (m), onde foram considerando os tratamentos CReCF e SReCF, tanto as parcelas atingida pelo incêndio como as não atingidas, considerando as profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, coletadas em fevereiro, logo após o incendio, quando estava ocorrendo colheita da floresta aos 10 anos de idade.

A determinação da C e N totais do solo foi realizada considerando a metodologia de combustão seca proposta por NELSON; SOMMERS. (1996), em que o teor de carbono é quantificado por meio do desprendimento do CO<sub>2</sub> em temperaturas elevadas, nesta análise foi considerada as amostras coletadas dos tratamentos CReCF e SReCF que não foram atingidas pelo incêndio.

### **3.2.4 Taxa de deposição**

A taxa de deposição de folheda e galhada foi avaliada no final da segunda rotação do experimento. Essa avaliação foi realizada nos tratamentos CReCF, CReSF, SPACF, SPASCa, SPASK, SPASN, SPASP e SReCF. Para avaliação da deposição de folheda foram instalados 6 coletores de 0,25m<sup>2</sup> por parcela, distribuído conforme o diagrama de Voronoi, captando deste modo a espacialização de deposição ao redor da árvore. Para a coleta da galhada foi demarcada uma área entre 4 árvores de forma aleatória, medindo assim 6 m<sup>2</sup> para coleta por parcela.

A coleta ocorreu no fim do segundo ciclo, onde foi amostrado no período de um mês considerando uma época seca e uma chuvosa. Foi determinado a massa fresca e posteriormente foi realizado a secagem das amostras a 65 °C até massa constante.

### **3.2.5 Acúmulo de nutrientes**

A concentração dos nutrientes foi determinada pelo método proposto por Malavolta et al. (1989). O acúmulo de nutrientes, tanto de macronutrientes como de micronutrientes, foi



determinado pelo produto da biomassa com a concentração dos nutrientes em cada compartimento (folha, galho, casca e lenho).

O mesmo método foi aplicado para a galhada e o folhede depositado, considerando os tratamentos CReCF, SPACF, SPASN, SPASP, SReCF e SPASCa, e também foi avaliado nas parcelas dos tratamentos CReCF e SReCF atingidas e não atingidas pelo incêndio, bem como a área adjacente ao experimento (usada para transposição de serapilheira), o macro e micronutriente na serapilheira (ou cinza no caso da área incendiada).

### **3.2.6 Informações climáticas**

Por meio da estação meteorológica automática, foram adquiridas informações de precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa, em que as informações foram coletadas a cada 30 minutos. A mesma encontra-se instalada a aproximadamente 1000 metros do local do experimento. E com a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), foi efetuado o balanço hídrico climatológico mensal e calculado o déficit de pressão de vapor (DPV).

### **3.2.7 Análise estatística**

Primeiramente, os dados foram submetidos aos testes de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (teste de Box-Cox) e quando necessário os dados foram transformados para homogeneização e/ou normalização.

Os resultados da mineralização de nitrogênio foram submetidos ao teste F seguido do teste LSD, ambos 0,05 de significância. Para se verificar a influência de variáveis climáticas na mineralização de N, foram ajustados modelos lineares múltiplos (regressão multivariada). Utilizou-se o software R para realização das análises e o software SigmaPlot para a confecção dos gráficos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Mineralização de N *in situ*

As taxas de mineralização líquida de N *in situ*, considerando apenas os tratamentos do experimento, variaram de 0,14 a 7,03 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> na época seca e de 1,28 a 12,47 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> na época chuvosa (Tabela 4). Ocorreu imobilização de N nos tratamentos, sobretudo no período pós-colheita, com apenas uma imobilização na época chuvosa (0,51 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) e com cinco imobilizações na época seca, sendo a menor 0,62 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> e a maior 1,57 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>.

Tabela 4 – Taxas de amonificação e nitrificação líquida *in situ* e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> /NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em relação a cada tratamento e as áreas referências, Cerrado e Pinus na camada 0-20 cm do solo.

Tratamentos <sup>(1)</sup>	Pré-colheita – época seca				Pré-colheita – época chuvosa			
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
kg ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>								
CReCF	7,03	2,30	9,32	3,06	3,59	8,45	12,04	0,43
SPACF	4,19	4,49	8,68	0,93	3,42	4,32	7,73	0,79
SPASN	2,53	1,61	4,14	1,57	2,17	8,07	10,24	0,27
SPASP	3,11	3,39	6,49	0,92	2,12	12,47	14,59	0,17
SPASCa	4,92	5,42	10,34	0,91	4,32	9,96	14,28	0,43
SReCF	3,86	2,89	6,75	1,33	3,71	9,71	13,42	0,38
Cerrado <sup>(2)</sup>	4,39	4,98	9,37	0,88	5,61	16,39	22,01	0,34
Pinus <sup>(2)</sup>	5,69	4,17	9,86	1,37	1,99	4,73	6,72	0,42
Tratamentos <sup>(1)</sup>	Pós-colheita – época seca				Pós-colheita – época chuvosa			
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
kg ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>								
CReCF	-1,57	-1,10	-2,67	1,42	3,64	2,27	5,90	1,60
SPACF	0,76	-0,62	0,14	-1,23	3,14	4,65	7,78	0,68
SPASN	0,14	0,94	1,08	0,15	2,63	3,74	6,37	0,70
SPASP	1,19	-0,72	0,47	-1,66	5,17	3,28	8,46	1,58
SPASCa	1,13	-1,03	0,10	-1,10	1,28	2,85	4,14	0,45
SReCF	1,58	0,66	2,24	2,40	-0,51	2,82	2,31	-0,18
Cerrado <sup>(2)</sup>	2,84	1,14	3,98	2,49	2,94	0,04	2,98	66,99
Pinus <sup>(2)</sup>	4,10	-0,21	3,88	-19,27	3,39	0,00	3,39	0,00

(1) Tratamentos do experimento: CReCF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização, SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP - Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem, SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização; (2) Áreas referências.

Dessa forma, nota-se a interferência climática e sazonal na mineralização, o que é corroborado pelo fato de que a temperaturas e o índice pluviométrico do período chuvoso foram discrepantes em relação ao período seco, tanto na pré-colheita como na pós-colheita, na média a precipitação do período chuvoso foi 80% maior comparado ao período seco. O período seco também foi marcado com uma temperatura mínima bem baixa, chegando a 5,2 °C na pós-colheita (Tabela 5).

Tabela 5 – Temperatura e precipitação que ocorreram no período da coleta das amostras.

Período	Precipitação mm		Temperatura C°					
	Seco	Chuvoso	Máxima		Média		Mínima	
			seco	Chuvoso	seco	Chuvoso	seco	Chuvoso
Pré colheita	15,6	167,3	32,3	29,3	16,8	20,9	6,8	14,5
Pós colheita	42,9	131,3	29,9	33,0	15,5	22,6	5,2	14,0

Precipitação em milímetros; Temperatura em C°.

Considerando as áreas referências, Cerrado e Pinus, a área nativa do cerrado apresentou a maior (16,39 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) e a menor (0,04 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) taxa de mineralização líquida de N *in situ*, ambas na época chuvosa. Além disso, o pinus apresentou uma imobilização na época seca (-0,21 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>). De modo geral, considerando as áreas referências, o solo do cerrado apresentou maiores valores de nitrato, enquanto o solo da área plantada com *Pinus oocarpa* apresentou maiores valores de amônio. O Cerrado obteve o maior N-total na época chuvosa, no período que o experimento estava no final de ciclo (pré colheita), cerca de 22, kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>, enquanto o Pinus ficou equiparável aos tratamentos do experimento (Tabela 4).

A Tabela 6 apresenta os resultados do efeito da interação entre época (chuvosa ou seca) e os tratamentos avaliados. Observa-se que a remoção dos resíduos (SReCF) não expressou diferença estatística quando comparada ao tratamento em que se manteve o resíduo (CReCF). Vale ressaltar, no entanto, a interferência do tratamento nessa interação, no período chuvoso da pós-colheita, em que o SReCF apresentou imobilização do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (-0,51 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>). Porém, no período seco da pós-colheita, o tratamento com manutenção de resíduos (CReCF) sofreu imobilização (-1,57 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>). Mesmo o tratamento SPASN que se encontra com omissão de fertilização nitrogenada por duas rotações e ainda no início dessa terceira rotação não apresentou diferença estatística em comparação aos demais tratamentos.

Tabela 6 – Taxas de amonificação e nitrificação líquida in situ camada 0-20 cm do solo com a comparação do efeito da interação entre época (chuvosa ou seca) e dos tratamentos avaliados.

Pré-Colheita				
Tratamento <sup>1</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Período Seco	Período Chuvoso	Período Seco	Período Chuvoso
kg ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>				
CR <sub>e</sub> CF	7,03 ± 0,20 <sup>2</sup> Aa <sup>3</sup>	3,59 ± 0,93 Aa	2,30 ± 1,48 Ba	8,45 ± 1,10 Aab
SPACF	4,19 ± 6,57 Aa	3,42 ± 0,52 Aa	4,49 ± 0,61 Aa	4,32 ± 1,73 Ab
SPASN	2,53 ± 7,32 Aa	2,17 ± 2,37 Aa	1,61 ± 0,98 Ba	8,07 ± 3,36 Aab
SPASP	3,11 ± 3,04 Aa	2,12 ± 1,28 Aa	3,39 ± 1,73 Ba	12,47 ± 4,48 Aa
SPASCa	4,92 ± 4,06 Aa	4,32 ± 0,87 Aa	5,42 ± 1,70 Ba	9,96 ± 4,79 Aa
SReCF	3,86 ± 1,53 Aa	3,71 ± 1,63 Aa	2,89 ± 0,11 Ba	9,71 ± 2,03 Aab
Pós-Colheita				
Tratamento	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Período Seco	Período Chuvoso	Período Seco	Período Chuvoso
kg ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>				
CR <sub>e</sub> CF	-1,57 ± 1,86 Ba	3,64 ± 1,86 Aab	-1,10 ± 3,77 Ba	2,27 ± 1,91 Aa
SPACF	0,76 ± 2,58 Aa	3,14 ± 3,05 Aab	-0,62 ± 2,80 Ba	4,65 ± 2,51 Aa
SPASN	0,14 ± 1,87 Aa	2,63 ± 0,16 Aab	0,94 ± 2,31 Ba	3,74 ± 2,59 Aa
SPASP	1,19 ± 2,63 Ba	5,17 ± 1,80 Aa	-0,72 ± 2,85 Ba	3,28 ± 1,28 Aa
SPASCa	1,13 ± 1,96 Aa	1,28 ± 1,37 Aab	-1,03 ± 2,06 Ba	2,85 ± 0,50 Aa
SReCF	1,58 ± 1,99 Aa	-0,51 ± 1,76 Ab	0,66 ± 0,28 Ba	2,82 ± 0,47 Aa

(1) CR<sub>e</sub>CF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização, SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP - Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem, SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização; (2) Desvio padrão da média; (3) As letras indicam os grupos significativos a 10% de probabilidade pelo teste Tukey, mostrando a interação época (letra maiúscula) versus tratamento (letra minúscula).

De modo geral, as equações que relacionam as quantidades de N mineralizadas com as características ambientais apresentaram altos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), com exceção do período da pré-colheita na época seca. Para este período, as equações tiveram valores baixos, variando de 44 a 53% (Tabela 7). Para os demais períodos, obteve-se R<sup>2</sup> variando de 76 a 92% (P = 0,05), para a variável de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, o que ressalta o alto grau de associação da mineralização de N com a umidade e temperatura do solo e do ar. Para a variável de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, obteve-se R<sup>2</sup> variando de 63 a 95% (P = 0,05). Quando se considera os valores totais de N mineralizados, os R<sup>2</sup> das equações foram equilibrados, variando de 85 a 88% (P = 0,05). A temperatura máxima do solo foi a variável que mais contribuiu para os valores de R<sup>2</sup>, tendo o parâmetro angular ajustado, em média, um p-valor e erro padrão mais baixos (em média 0,43 e 0,3 consecutivamente). Por outro lado, observou-se que a

contribuição da umidade foi pequena, tendo o seu parâmetro angular ajustado maior p-valor e maior erro (em média 0,65 e 199,5 consecutivamente erro padrão e p-valor) (Tabela 8).

Tabela 7 – Equações para estimativa das taxas de mineralização de N ( $\text{kg ha}^{-1} \text{mês}^{-1}$ ), para as diferentes variáveis independentes.

Equação	R <sup>2</sup>	S <sub>xy</sub>	N
<b>Pré colheita – época seca</b>			
$\text{N-NH}_4^+ = 59,30 - 1,72 * \text{TmáxA} - 2,04 * \text{TmínA} - 0,24 * \text{TmáxS} + 1,71 * \text{TmínS} + 92,91 * \theta$	0,53*	1,84	8
$\text{N-NO}_3^- = 1,73 - 0,19 * \text{TmáxA} + 0,47 * \text{TmínA} - 0,02 * \text{TmáxS} - 0,53 * \text{TmínS} + 69,20 * \theta$	0,53*	1,71	8
$\text{N-total} = 61,03 - 1,90 * \text{TmáxA} - 1,57 * \text{TmínA} - 0,26 * \text{TmáxS} + 1,19 * \text{TmínS} + 162,12 * \theta$	0,44*	2,97	8
<b>Pré colheita – época chuvosa</b>			
$\text{N-NH}_4^+ = 39,36 - 0,17 * \text{TmáxA} - 0,71 * \text{TmínA} - 0,44 * \text{TmáxS} + 2,03 * \text{TmínS} - 147,04 * \theta$	0,95*	0,5	8
$\text{N-NO}_3^- = -29,95 - 1,31 * \text{TmáxA} + 2,20 * \text{TmínA} - 0,40 * \text{TmáxS} + 4,43 * \text{TmínS} + 91,72 * \theta$	0,78*	3,5	8
$\text{N-total} = 9,41 - 1,48 * \text{TmáxA} + 1,48 * \text{TmínA} - 0,83 * \text{TmáxS} + 6,45 * \text{TmínS} - 55,32 * \theta$	0,88*	3,1	8
<b>Pós colheita – época seca</b>			
$\text{N-NH}_4^+ = -22,06 + 0,34 * \text{TmáxA} + 0,97 * \text{TmínA} + 0,06 * \text{TmáxS} - 0,32 * \text{TmínS} + 6,29 * \theta$	0,92*	0,88	8
$\text{N-NO}_3^- = -35,02 + 0,27 * \text{TmáxA} + 1,17 * \text{TmínA} + 0,11 * \text{TmáxS} - 0,40 * \text{TmínS} - 144,48 * \theta$	0,76*	1,21	8
$\text{N-total} = -57,07 + 0,61 * \text{TmáxA} + 2,13 * \text{TmínA} + 0,17 * \text{TmáxS} - 0,72 * \text{TmínS} + 150,77 * \theta$	0,85*	1,91	8
<b>Pós colheita – época chuvosa</b>			
$\text{N-NH}_4^+ = 4,23 - 0,24 * \text{TmáxA} + 0,59 * \text{TmínA} + 0,04 * \text{TmáxS} - 1,12 * \text{TmínS} + 53,63 * \theta$	0,63*	1,93	8
$\text{N-NO}_3^- = 163,23 + 0,06 * \text{TmáxA} - 2,21 * \text{TmínA} - 0,54 * \text{TmáxS} - 5,12 * \text{TmínS} - 98,69 * \theta$	0,92*	2,14	8
$\text{N-total} = 167,46 - 0,18 * \text{TmáxA} - 1,63 * \text{TmínA} - 0,50 * \text{TmáxS} - 6,24 * \text{TmínS} - 45,06 * \theta$	0,86*	3,02	8

TmáxA = Temperatura máxima do ambiente; TmínA = Temperatura mínima do ambiente; TmáxS = Temperatura máxima do solo; TmínS = Temperatura mínima do solo;  $\theta$  = umidade do solo \*Significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 8 – Métricas de qualidade de ajuste dos parâmetros da equação associados às variáveis independentes, para estimativa das taxas de mineralização de N ( $\text{kg ha}^{-1} \text{mês}^{-1}$ ).

	Valor-P		
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-total
TmáxA	0,42	0,64	0,50
TmínA	0,48	0,52	0,57
TmáxS	0,43	0,50	0,37
TmínS	0,48	0,55	0,49
$\theta$	0,61	0,62	0,73
	Erro padrão		
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-total
TmáxA	0,94	1,27	1,81
TmínA	1,90	2,60	3,64
TmáxS	0,16	0,34	0,40
TmínS	1,34	2,66	3,22
$\theta$	113,79	217,17	267,53

TmáxA = Temperatura máxima do ambiente; TmínA = Temperatura mínima do ambiente; TmáxS = Temperatura máxima do solo; TmínS = Temperatura mínima do solo;  $\theta$  = umidade do solo.

## 4.2 Propriedades químicas do solo

Ao avaliar os atributos químicos do solo, observou-se que o pH variou de 3,97 a 4,48. O maior valor da Matéria Orgânica (M.O) foi observado no tratamento com resíduo (CReCF), sendo a média na camada de 0 a 20 cm de 20,6 g dm<sup>-3</sup>, a qual é maior quando comparada à média do tratamento sem resíduo (SReCF), que é de 13,6 g dm<sup>-3</sup>. Esse comportamento, em que o tratamento com resíduo é maior que o sem resíduo, se repete para os atributos H+Al, CTC, SB e V% (Tabela 9).

Tabela 9 – Atributos químicos do solo nos tratamentos com resíduo e sem resíduos considerando a não interferência do incêndio e a interferência do mesmo, em diferentes profundidades (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 cm) aos 9,3 anos do 2 ciclo do *Eucalyptus grandis*.

Trat <sup>(1)</sup>	pH	MO	P	Ca	Mg	K	Al	H+Al	SB	CTC	V	M
		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmolc dm <sup>-3</sup>						%		
<b><u>0 a 5 cm</u></b>												
CReCF	3,97	29,9	11,9	3,7	5,5	0,99	16	54,9	10,2	65,1	16	61
I-CReCF	3,99	32,3	5,9	6	5,1	0,79	13,5	62,3	11,9	74,2	16	53
SReCF	4,25	18,8	4,9	1,7	2,5	0,33	10,8	46,4	4,5	50,9	9	70
I-SReCF	4,48	27,5	6,9	7,1	7,6	0,78	9,5	54,9	15,5	70,4	22	38
<b><u>5 a 10 cm</u></b>												
CReCF	4,19	18,3	3,1	0,5	2,5	0,4	11,3	32,8	3,4	36,2	9	77
I-CReCF	4,15	18,6	4,0	1,8	2,4	0,6	12,3	43,6	4,8	48,4	10	72
SReCF	4,2	12,9	3,1	0,5	1,6	0,42	10,5	38,4	2,5	40,9	6	81
I-SReCF	4,4	14,8	3,5	2	4,1	0,44	9,0	43,1	6,5	49,6	13	58
<b><u>10 a 20 cm</u></b>												
CReCF	4,25	13,7	2,1	0,1	1,4	0,58	8,8	34,2	2,1	36,3	6	81
I-CReCF	4,27	10	2,3	1	1,4	0,38	8,8	29,5	2,8	32,3	9	76
SReCF	4,39	9,2	1,8	0,3	1,4	0,75	5,3	22,2	2,5	24,7	10	68
I-SReCF	4,38	8,6	1,4	0,3	2,6	0,07	7,5	34,9	3	37,9	8	72

(1) Tratamentos: CReCF- Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização; I-CReCF- Com interferência do incêndio, com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização; SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização; I-SReCF – Com interferência do incêndio, remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização; (2) Métodos: pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; fósforo (P) método colorimétrico extraído com resina trocadoras de íons, potássio(K) extração com resina trocadora de íons e determinação em espectrofotômetro de emissão atômica, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) extração com cloreto de potássio e determinação em espectrofotômetro de absorção atômica, alumínio trocável (Al) método titulométrico extraído com cloreto de potássio 1mol L<sup>-1</sup>, acidez potencial (H+Al) extraído com tampão SMP( Manual de análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, 2001). SB: Soma de bases trocáveis; CTC: Capacidade de troca de cátions; V: Saturação da CTC por bases; m: Saturação por Alumínio.

Os teores de P, Ca, Mg, K, Al também foram maiores no tratamento com resíduo (CReCF) quando comparados ao tratamento sem resíduo (SReCF). A maior diferença

observada entre estes tratamentos foi para a o K trocável, sendo de 66,7%, entre CReCF e SReCF na camada 0 a 5 cm. A menor diferença, considerando a mesma camada entre estes tratamentos, foi obtida para o Al, sendo de 62,5%, no Al (Tabela 9).

A presença do fogo fez com que a disponibilidade de nutrientes imediata fosse maior, e, como consequência, a diferença entre os tratamentos contrastantes fosse menor. Os resultados que se mostraram menos discrepantes foram da M.O onde o tratamento sem resíduo, I-CReCF, obteve  $32,3 \text{ g dm}^{-3}$  e o sem resíduo, I-SReCF, foi de  $27,5 \text{ g dm}^{-3}$ ; o H+Al (I-CReCF foi de  $62,3 \text{ mmolc dm}^{-3}$  e I-SReCF foi de  $54,9 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ) e CTC (I-CReCF foi de  $74,2 \text{ mmolc dm}^{-3}$  e I-SReCF foi de  $70,4 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ), considerando a camada de 0-5 cm de profundidade. Como esperado, os teores de matéria orgânica (MO) e a disponibilidade de nutrientes como P, K, Ca, Mg diminuíram com a profundidade, enquanto os teores de H+Al e, consequentemente o M% aumentaram com a profundidade (Tabela 9).

No final da primeira rotação, na camada de 0-20 cm de solo, o maior estoque de N ( $17,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) e de P ( $1,15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) foram observados no tratamento CReCF. Estes dois nutrientes continuaram a ter o maior estoque no tratamento CReCF no fim desta segunda rotação, N ( $10,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) e de P ( $0,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ), tendo assim uma redução de estoque de 41% e 38% respectivamente de N e P. No tratamento sem resíduo (SReCF), houve redução de cerca de 66% para N e 43% para P da primeira para a segunda rotação. Os valores de acúmulo por si só são menores quando comparados o tratamento que manteve o resíduo com o que removeu o resíduo. Dessa forma, entre os tratamentos, o CReCF (com resíduo) foi cerca de 50% quanto ao estoque de N do que SReCF (sem resíduo). Já para o P, esse valor foi de cerca de 18%, na segunda rotação (Tabela 10). Essa discrepância entre os tratamentos também existiu na primeira rotação no P foi cerca de 11 % e no N foi cerca de 14%.

De modo geral, observou-se que os macronutrientes e os micronutrientes tiveram maior acúmulo no tratamento com resíduo do que sem resíduo. E em relação as parcelas incendiadas, estas se mostraram com mais acúmulo nas cinzas (vestígios da serrapilheira) e nas raízes com a “miscelânea” (materiais orgânicos em estádios avançados de decomposição), em comparação à área não atingida pelo incêndio (Tabela 10).

O nitrogênio total do solo variou de 0,092 a 0,031% em todas as camadas, sendo os maiores valores encontrados no CReCF, tratamento com todos os resíduos em comparação ao sem resíduo SReCF. Em ambos os tratamentos, como esperado, houve uma tendência de diminuição do nitrogênio, o que também foi observado para o carbono total encontrado, variando de 1,800 a 0,486 % (Tabela 11).

Tabela 10 – Quantidade de macronutriente e micronutriente acumulada considerando as parcelas dos tratamentos com resíduo e sem resíduo, atingida pelo incêndio e não atingida pelo incêndio, e área adjacente usada para transposição de serapilheira.

Tratamento	Parcelas <b>não atingidas</b> pelo incêndio										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg/ha/mês						g/ha/mês				
CReCF (serapilheira)	10,2	0,6	0,5	4,6	1,9	0,9	24,4	17,6	2526,4	134,5	10,2
CReCF (raiz)	4,8	0,5	0,4	2,6	0,9	1,8	19,3	14,6	11136,2	67,2	7,6
SReCF (serapilheira)	5,1	0,5	0,5	3,9	1,5	0,9	22,6	16,4	2655,0	103,6	10,1
SReCF (raiz)	9,5	0,5	0,4	2,6	1,1	1,9	27,2	15,9	12094,7	68,5	9,3
Área adjacente (serapilheira)	5,7	0,4	0,9	3,0	0,9	0,6	20,5	11,9	838,1	174,4	7,3

Tratamento	Parcelas <b>atingidas</b> pelo incêndio										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg/ha/mês						g/ha/mês				
CReCF (cinza)	13,5	0,7	0,3	5,5	1,8	1,9	22,8	25,0	9627,8	126,5	14,0
CReCF (raiz)	9,3	1,8	1,5	6,1	2,8	7,5	77,1	53,3	51009,5	176,4	24,5
SReCF (cinza)	8,7	0,5	0,4	4,9	1,6	1,8	28,6	24,4	10322,0	112,6	15,5
SReCF (raiz)	9,3	1,4	1,4	5,0	1,9	6,8	67,5	50,0	47580,5	159,7	27,7

Tratamentos: CReCF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização, SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização, área adjacente ao experimento.

A relação C/N foi maior com a manutenção dos resíduos em comparação à remoção dos resíduos, na profundidade de 0 a 5 cm, CReCF com 19,6 e SReCF com 16,3. Porém, tal discrepância entre os dois tratamentos não foi tão acentuada nas profundidades maiores do solo, estando as mesmas quase que equiparadas, na profundidade de 5 a 10 cm, CReCF com 15,6 e SReCF com 16,0 e na camada 10 a 20 cm CReCF com 15,4 e SReCF com 15,5 (Tabela 11).



Tabela 11 – Relação carbono e nitrogênio (C/N) no solo a 0 a 20 cm de profundidade, nos tratamentos contrastantes com resíduo e sem resíduo, na plantação de *Eucalyptus grandis*, aos 9,3 anos.

Tratamentos <sup>(1)</sup>	%N	%C	C/N
0-5 cm			
CR <sub>e</sub> CF	0,092	1,800	19,630
SReCF	0,090	1,470	16,340
5-10 cm			
CR <sub>e</sub> CF	0,073	1,140	15,660
SReCF	0,059	0,948	16,030
10-20 cm			
CR <sub>e</sub> CF	0,050	0,772	15,410
SReCF	0,031	0,486	15,520

Tratamentos: CR<sub>e</sub>CF - Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização; SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização. A determinação da C e N totais do solo foi feita conforme a metodologia de combustão seca proposta por NELSON; SOMMERS. (1996).

### 4.3 Acúmulo de nutrientes na biomassa

O maior acúmulo de biomassa aos 8,7 anos foi de 265 Mg ha<sup>-1</sup> para o tratamento sem fertilização de nitrogênio (SPASN), não diferindo dos tratamentos com omissão de Ca e P e do tratamento com fertilização completa (SPASCa, SPASP e SPACF, respectivamente). A não fertilização com K (SPASK) reduziu em 69% o acúmulo de biomassa (Figura 4). O lenho correspondeu em média a 73% da biomassa total acumulada e as folhas em 1% em todos os tratamentos. A raiz representou 12% da biomassa total, a casca 10% e os galhos 4% em todos os tratamentos, exceto para o tratamento sem potássio (SPASK). Para o tratamento SPASK a contribuição para a biomassa total foi de 11% para raiz, 12% para casca e 3% para galhos. Portanto, a alocação de biomassa aos 8,7 anos de idade seguiu a sequência decrescente lenho > raiz > casca > galhos > folhas (Figura 4). No estudo de Rocha e Gonçalves (2017), no início desta segunda rotação de experimento, aos 3,4 anos de idade, o lenho também foi o compartimento que mais alocou biomassa, cerca de 60%.

Aos 3,4 anos da segunda rotação avaliada por Rocha e Gonçalves (2017), a maior biomassa acumulada foi observada no tratamento SPACF (81 Mg ha<sup>-1</sup>), o qual não diferia estatisticamente do tratamento sem fertilização nitrogenada. Entretanto, para os tratamentos sem fósforo, sem calagem e sem potássio houve redução de 10, 15 e 65 % no acúmulo de biomassa, respectivamente.

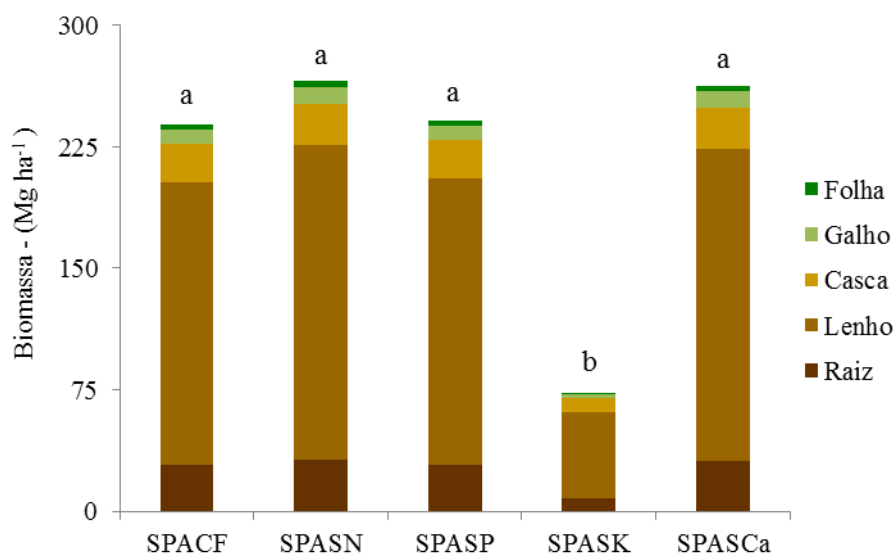


Figura 4 – Biomassa acumulada em uma plantação de *Eucalyptus grandis* conduzida pela segunda rotação não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg. Colunas (biomassa total) seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade. SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP – Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASK – Sem a parte aérea e sem fertilização potássica, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem.

De modo geral, observou-se maior acúmulo de nutrientes no lenho, sendo este o compartimento que mais aloca biomassa como visto também na Figura 6. Cerca de 75 % do S, 64% do P e 43 % do K encontra-se alocado no lenho. Exceção, no entanto, foi observada para o Ca, que apresentou maior acúmulo de nutrientes na casca (55%). Para este nutriente, o lenho foi o segundo maior acumulador, com 31%. Outra exceção foi observada para o Mg, mas sem grandes discrepâncias. Para este nutriente, a casca acumulou, em média, 41% e o lenho 36% (Tabela 12).

As folhas apresentaram acúmulo de nutrientes, em geral, maior do que galhos e, em muitos casos, equiparável às raízes, chegando a 6% de diferença entre folhas e galhos no nitrogênio, onde a média de concentração nos tratamentos foi de 13 kg ha<sup>-1</sup> na folha, 7 kg ha<sup>-1</sup> no galho e 11 kg ha<sup>-1</sup> na raiz (Tabela 12). Vale ressaltar que apesar de alocar a menor biomassa em comparação aos demais compartimentos, a folha é um dos compartimentos que mais concentra nutrientes na árvore (Tabela 12).

Quanto ao acúmulo total de nutrientes, o tratamento que apresentou a menor quantidade foi o SPASK. O tratamento com omissão de fósforo (SPASP) também apresentou menor acúmulo de nutrientes quando comparado aos demais tratamentos, porém sem grandes discrepâncias como ocorreu com o tratamento SPASK (Tabela 12).

Ao avaliar os micronutrientes, observou-se um comportamento bastante semelhante aos macronutrientes. O lenho foi o compartimento que mais alocou micronutrientes. A média

de alocação no lenho foi de 41% para Zn até 71 % para B. O Fe, de modo geral, foi o micronutriente que apresentou maiores valores de acúmulo, chegando a 4.691,2 g ha<sup>-1</sup> no lenho do tratamento SPACF (Tabela 13). Assim como para os macronutrientes, o tratamento SPASK apresentou concentração de micronutrientes consideravelmente menor quando comparado aos demais tratamentos.

#### 4.4 Estoque de nutriente na biomassa e na deposição de folheto

A estação do ano e os tratamentos afetaram significativamente a quantidade depositada de folheto ( $p=0,001$ ). A maior deposição de folheto foi observada no tratamento SPASK, e as maiores diferenças entre tratamentos foram observadas na época chuvosa. Nesta época, a deposição de folheto do tratamento SPASK foi 45 % superior à do tratamento SPACF (Tabela 14). No primeiro ano dessa segunda rotação, o SPASK também foi o tratamento que apresentou maior deposição, em média, de 390 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> e no fim desta rotação, apresentou 577,3 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>.

A deposição de folheto foi menor em todos os tratamentos na época seca quando comparada à época chuvosa, exceto para o tratamento SPASP. Em média, a deposição de folheto na época chuvosa foi 24 % superior à observada na época seca. No tratamento SPASP, a deposição de folheto na época chuvosa foi 6 % menor que no época seca, e no tratamento SPASK foi 45% maior (Tabela 14).

A deposição de nutrientes via folheto foi superior na época chuvosa quando comparado a época seca, devido à alta deposição de folheto (Tabelas 14 e 15). Em média, a deposição de Zn foi 32% superior e a de B 16% superior no período chuvoso. No caso dos macronutrientes, a deposição de N e Mg foi 31 e 24 % superior no período chuvoso, respectivamente (Tabela 15).

Em geral, a galhada apresentou um padrão de concentração de nutrientes muito semelhante ao comportamento observado no folheto, não havendo grandes discrepâncias entre os tratamentos. As maiores deposições de nutrientes via galhada foram obtidas para o nitrogênio e para o cálcio, ambos com 0,8 kg ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> nos tratamentos SPASCa e SPACF respectivamente considerando os macronutrientes. Dentre os micronutrientes, o Fe e Mn também foram os que apresentaram as maiores deposições, sendo 25,1 g ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> no SPACF e 63,0 g ha<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> no CReCF, respectivamente (Tabela 16).

Tabela 12 – Quantidade de macronutrientes acumulada na biomassa de uma plantação de *Eucalyptus grandis* aos 9,3 anos, conduzida pela segunda rotação não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg.

	Biomassa				
	Folha	Galho	Casca	Lenho	Raiz
	N (kg ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	45,5	28,9	73,3	204,3	44,4
SPASN	57,7	32,5	82,9	223,3	46,7
SPASP	47,1	29,2	70,8	185,1	37,0
SPASK	16,9	7,7	30,0	61,1	14,0
SPASCa	62,7	32,0	78,6	235,4	48,8
	P (kg ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	3,3	2,4	7,8	44,4	5,6
SPASN	3,5	1,9	9,6	47,8	5,8
SPASP	2,8	1,5	6,7	23,8	4,4
SPASK	1,2	0,5	3,0	9,3	1,9
SPASCa	3,8	3,0	9,8	36,6	6,7
	K (kg ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	18,4	17,0	60,2	86,1	10,8
SPASN	21,3	18,6	80,6	86,7	14,0
SPASP	16,1	16,8	72,0	85,0	14,7
SPASK	4,6	4,1	14,9	25,8	3,6
SPASCa	22,9	19,1	70,3	90,4	13,7
	Ca (kg ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	14,0	24,3	184,7	117,1	11,7
SPASN	16,8	24,6	215,9	123,3	15,6
SPASP	14,2	23,8	218,8	109,1	10,8
SPASK	4,3	8,1	80,1	37,2	4,5
SPASCa	13,9	18,8	145,0	98,9	10,9
	Mg (kg ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	7,7	8,1	39,6	39,3	8,3
SPASN	10,1	8,5	45,9	39,8	8,2
SPASP	7,6	7,7	41,6	35,1	8,8
SPASK	2,3	2,0	16,9	11,3	3,3
SPASCa	6,5	6,2	32,5	36,4	8,5
	S (kg ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	2,5	3,8	10,7	72,1	10,6
SPASN	2,8	4,2	11,1	82,5	11,6
SPASP	2,3	4,2	10,2	81,5	10,7
SPASK	0,7	1,1	3,4	26,4	3,0
SPASCa	2,6	4,3	9,6	85,5	10,8

SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP - Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASK - Sem a parte aérea e sem fertilização potássica, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem.

Tabela 13 – Quantidade de micronutriente acumulada na biomassa de uma plantação de *Eucalyptus grandis* aos 9,3 anos, conduzida pela segunda rotação não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg.

Tratamento	Biomassa				
	Folha	Galho	Casca	Lenho	Raiz
	B (g ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	128,8	152,5	470,2	3803,4	594,3
SPASN	164,1	182,2	564,5	4002,0	727,9
SPASP	124,0	150,9	519,7	3215,3	604,8
SPASK	36,7	44,2	220,1	1179,6	191,9
SPASCa	149,3	192,6	576,8	3504,0	664,4
	Cu (g ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	23,8	58,4	96,1	173,3	22,4
SPASN	24,8	49,5	127,9	177,0	33,2
SPASP	22,1	42,5	117,9	181,7	25,7
SPASK	6,1	12,8	59,0	56,6	8,5
SPASCa	31,4	51,1	97,7	186,3	33,3
	Fe (g ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	424,5	407,0	1552,6	4691,2	1871,8
SPASN	428,5	390,4	1426,8	3637,6	1912,6
SPASP	394,4	317,2	1521,9	2912,2	1471,8
SPASK	90,8	89,6	997,1	926,3	505,0
SPASCa	359,3	389,9	1060,6	3225,9	1085,1
	Mn (g ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	300,8	907,2	1117,0	2965,0	504,5
SPASN	413,0	1151,8	1547,1	3549,4	533,2
SPASP	355,4	959,5	1530,6	3043,8	473,8
SPASK	94,5	244,7	457,8	921,6	134,8
SPASCa	568,2	1453,7	1908,9	3727,2	538,2
	Zn (g ha <sup>-1</sup> )				
SPACF	42,2	42,4	133,4	217,2	200,0
SPASN	47,2	38,5	149,9	306,8	273,9
SPASP	38,9	33,0	155,4	362,8	103,0
SPASK	12,9	10,6	78,6	139,6	128,3
SPASCa	45,5	40,6	129,1	268,0	166,4

SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP - Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASK - Sem a parte aérea e sem fertilização potássica, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem.

Tabela 14 – Quantidade de folheto depositado no período de um mês considerando uma época seca (8 anos e 9 meses) e uma época chuvosa (9 anos) de um plantio de *Eucalyptus grandis* manejado sob diferentes manejos de resíduos e fertilização.

Tratamentos <sup>(1)</sup>	Seco		Chuvoso		Média
	kg ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>				
CReCF	312,0 ± 34,7 <sup>(2)</sup>	ab <sup>(3)</sup>	319,3 ± 35,3	b <sup>(3)</sup>	315,7
SPACF	323,3 ± 30,7	ab	406,7 ± 116,0	b	365,0
SReCF	290,7 ± 8,0	b	420,7 ± 150,7	b	355,7
SPASN	310,0 ± 55,3	ab	422,7 ± 122,0	b	366,3
SPASP	352,0 ± 40,0	ab	333,3 ± 65,3	b	342,7
SPASK	410,0 ± 54,0	a	744,7 ± 62,0	a	577,3
SPASCa	334,0 ± 28,7	ab	454,0 ± 108,7	b	394,0
CReSF	350,7 ± 31,3	ab	436,0 ± 104,0	b	393,3
Média	335,3 ± 35,3		442,2 ± 95,5		

(1) CReCF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização, SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP – Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASK – Sem a parte aérea e sem fertilização potássica, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem, CReSF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo e sem fertilização; (2) Desvio padrão da média; (3) As letras indicam os grupos significativos a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Tabela 15 – Quantidade de macronutriente e micronutriente acumulada no folheto durante um mês, em época seca e chuvosa em uma plantação de *Eucalyptus grandis*, conduzida pela segunda rotação.

Tratamento	Folheto - época seca										
	kg ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CReCF	2,7	0,1	0,8	1,4	0,6	0,2	11,0	1,7	56,4	47,8	2,0
SPACF	2,5	0,1	0,8	1,4	0,7	0,2	11,1	1,7	55,0	47,7	2,0
SPASN	2,5	0,1	0,8	1,4	0,7	0,2	10,9	1,7	52,0	44,0	2,1
SPASP	2,8	0,1	0,8	1,4	0,7	0,2	11,3	1,7	56,2	42,7	2,1
SReCF	2,5	0,1	0,8	1,3	0,7	0,2	11,3	1,7	54,0	41,4	1,9
SPASCa	2,4	0,1	0,7	1,3	0,6	0,2	9,5	1,7	50,9	41,5	1,8
Tratamento	Folheto - época chuvosa										
	kg ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CReCF	3,0	0,1	0,5	1,4	0,6	0,2	10,5	2,0	57,8	48,9	2,4
SPACF	3,7	0,1	0,5	1,7	0,7	0,3	11,1	2,1	61,6	50,4	2,7
SPASN	4,1	0,2	0,5	2,0	0,9	0,3	13,6	2,6	73,3	61,3	3,1
SPASP	3,5	0,2	0,5	2,0	1,0	0,3	14,1	2,5	76,0	56,9	3,2
SReCF	4,3	0,2	0,6	2,0	1,0	0,3	15,4	2,6	78,2	62,8	3,3
SPASCa	4,5	0,2	0,6	2,0	1,0	0,3	14,8	2,7	76,2	63,0	3,3

(1) Tratamentos: CReCF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização, SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP – Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem, SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização.

Tabela 16– Quantidade de macronutriente e micronutriente acumulada na galhada durante um mês, média da época seca e chuvosa em uma plantação de *Eucalyptus grandis*, conduzida pela segunda rotação.

Tratamento	Galhada										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup> mês <sup>-1</sup>				
CReCF	0,7	0,1	0,3	0,7	0,3	0,1	3,2	1,5	21,6	18,7	0,8
SPACF	0,6	0,1	0,3	0,8	0,3	0,1	3,4	1,6	25,1	17,8	0,8
SPASN	0,5	0,1	0,2	0,6	0,2	0,1	2,6	1,1	16,9	12,8	0,6
SPASP	0,5	0,1	0,2	0,7	0,2	0,1	2,9	1,3	20,0	14,6	0,7
SReCF	0,7	0,0	0,2	0,6	0,2	0,1	2,7	1,4	21,1	15,9	0,9
SPASCa	0,8	0,0	0,2	0,6	0,3	0,1	2,9	1,3	23,4	17,7	0,9

Tratamentos: CReCF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização, SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP - Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem, SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização.

#### 4.5 Produtividade do povoamento de *Eucalyptus*

A remoção de toda a parte aérea das árvores após a colheita (tratamento SPACF), bem como a remoção da parte aérea mais a serapilheira (tratamento SReCF) reduziram em aproximadamente 16% o volume de madeira produzido aos 8,7 anos de idade, quando comparado ao tratamento em que todos os resíduos da colheita foram mantidos sobre o solo (tratamento CReCF). A não fertilização com N (SPASN), P (SPASP) e a não aplicação de calcário (SPASCa) não afetaram o volume de madeira produzido aos 8,7 anos de idade, quando comparados ao tratamento que recebeu fertilização completa (SPACF) (Tabela 17).

Os maiores volumes de madeira observados na segunda rotação de cultivo do experimento foram para os tratamentos em que se manteve os resíduos: SCoCF (453 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e CReCF (439 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Já o menor volume obtido foi para o tratamento com omissão de potássio (SPASK), com 118 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Tabela 17). A não fertilização com K reduziu em 68% o volume de madeira produzido, quando comparado ao tratamento SPACF.

A remoção dos resíduos florestais reduziu a produtividade em 30 % no primeiro ano da segunda rotação de cultivo. Essa resposta reduziu um pouco do primeiro para o segundo ano, mas manteve-se dos 2 aos 8,7 anos de idade. O tratamento que manteve os resíduos, mas sem adubação aos 8,7 anos estabilizou sua redução na produtividade em 30% (Figura 5).

Tabela 17 – Volume de madeira com casca e incremento médio anual (IMA) aos 8,7 anos após o plantio de *Eucalyptus grandis* sob diferentes intensidades de remoção dos resíduos e fertilização.

Tratamentos <sup>(1)</sup>	Volume	IMA
	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
CR <sub>e</sub> CF	439±32 a <sup>(2)</sup>	51,0±3,7 a <sup>(2)</sup>
SC <sub>o</sub> CF	453±21 a	52,6±2,4 a
SPACF	370±23 b	43,0±2,7 b
SReCF	367±6 b	42,7±0,8 b
SPASN	409±16 ab	47,6±1,9 ab
SPASP	375±2 b	43,6±0,2 b
SPASK	118±7 d	13,7±0,8 d
SPASCa	405±23 ab	47,1±2,7 ab
CR <sub>e</sub> SF	309±18 c	36,0±2,1 c

(1) CR<sub>e</sub>CF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização, SC<sub>o</sub>CF – Remoção da copa das árvores (manutenção da serapilheira e da casca das árvores e com fertilização, SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização, SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização, SPASN – Sem a parte aérea (manutenção apenas da serapilheira) e sem fertilização nitrogenada, SPASP - Sem a parte aérea e sem fertilização fosfatada, SPASK - Sem a parte aérea e sem fertilização potássica, SPASCa – Sem a parte aérea e sem calagem, CR<sub>e</sub>SF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo e sem fertilização; (2) Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A resposta à omissão da fertilização com N, P, K e à aplicação de calcário foi alta no início da segunda rotação de cultivo, sendo de -20, -50, -60 e -25 % respectivamente. As respostas à omissão da fertilização com N, P e à aplicação de calcário reduziram com a idade, desaparecendo para N no quarto ano, e para P e calcário no sétimo ano (Figura 5).

Os tratamentos que apresentaram as maiores produtividades aos 8,7 anos obtiveram o pico do ICA entre o terceiro e quarto ano e a idade ótima de corte pelo critério volumétrico (pico do IMA) aos 6 anos. O tratamento SPASK apresentou o pico do ICA aos 5 anos e o ponto ótimo de corte aos 8 anos de idade (Figura 6).



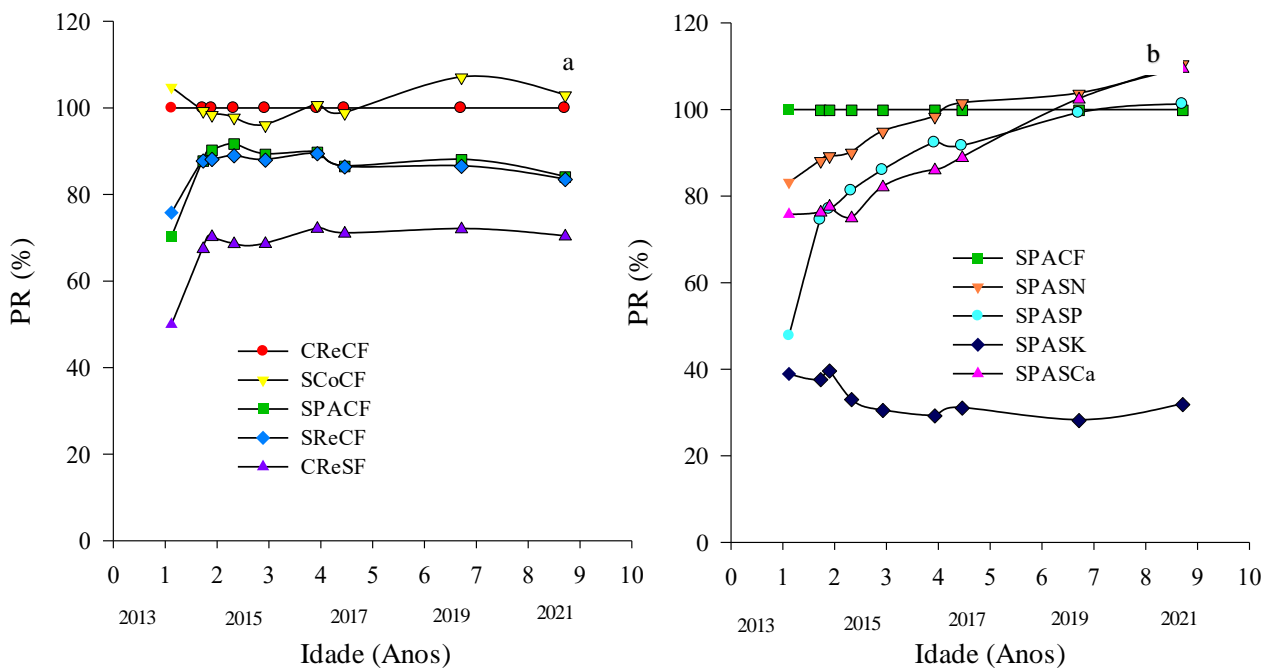


Figura 5 – Produtividade relativa (PR) ao tratamento com todos os resíduos (a) e ao tratamento com fertilização completa (b) da segunda rotação da plantação de *Eucalyptus grandis* conduzida sob diferentes manejos de resíduos e não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg.

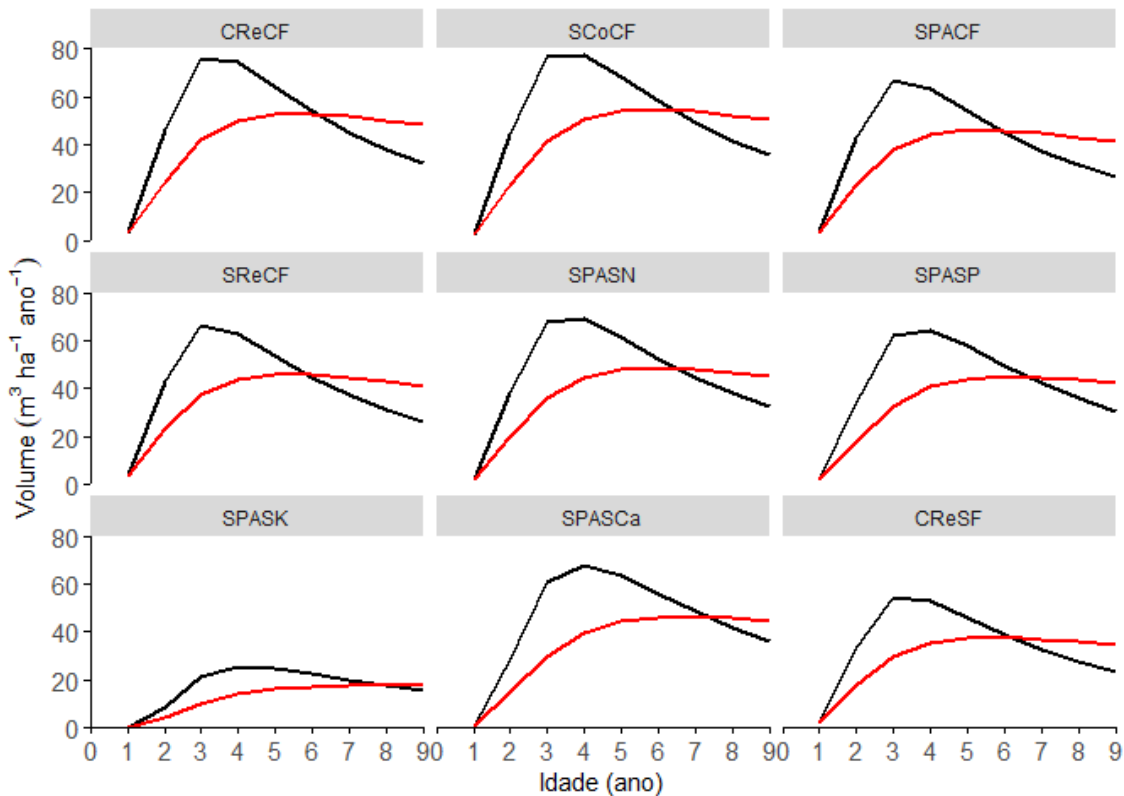


Figura 6. Incremento médio anual (linha vermelha) e incremento corrente anual (linha preta) da segunda rotação de cultivo de uma plantação de *Eucalyptus grandis* conduzida sob diferentes manejos de resíduos e não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg.

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Mineralização de N *in situ*

A temperatura e a precipitação interferiram na taxa de mineralização, sendo que no período chuvoso, as temperaturas médias mais elevadas e os maiores índices pluviométricos encontrados podem ter favorecido o crescimento da população microbiana, e por consequência aumento na taxa de mineralização do nitrogênio. Nos trabalhos de Gomes (2009) e Pulito (2009), também se observou essa influência, constatando-se que, ao incubar uma amostra de solo coletada durante períodos de alta precipitação e temperatura, incubava-se também uma maior população microbiana, o que vai ocasionar em uma maior taxa de mineralização, demonstrando assim que as condições climáticas afetam a disponibilidade de nitrogênio.

As imobilizações de nitrogênio, observadas para alguns tratamentos, inclusive na época chuvosa, podem estar relacionadas, em parte, à variação do clima. Nardoto e Bustamante (2003) avaliaram a taxa de mineralização líquida de N e observaram que o pico nas atividades microbianas ocorreu com início das chuvas, onde houve um período inicial de imobilização líquida, seguida de mineralização líquida, podendo ser o que aconteceu no tratamento SReCF. Outra possível explicação é que os resíduos de eucalipto apresentam baixa taxa de decomposição decorrente de seu elevado grau de recalcitrância, o que pode ter contribuído para maior imobilização de N, sobretudo no início da rotação, quando os resíduos foram recém-estabelecidos. Considerando que dentre os tratamentos com manutenção dos resíduos, há tratamentos com galhos e casca e esses materiais representam uma grande contribuição no montante de nutrientes acumulados, sendo ainda de elevada recalcitrância e elevada relação C/N, o processo de decomposição e mineralização de nutrientes fica mais lento (ROCHA & GONÇALVES, 2017). Isto faz com que os microrganismos utilizem a maior parte ou todo o N para compor a sua biomassa, levando à imobilização. Portanto, alto teor de lignina, e a elevada relação C/N podem influenciar negativamente na velocidade da decomposição e por consequência a taxa de mineralização (DICK et al., 2009).

No *Pinus* ocorreu imobilização de nitrato, fato que pode ser devido a distribuição sazonal das chuvas, pois as mesmas influenciam a atividade microbiana no solo, com um acúmulo de nitrato em curtos períodos após as primeiras chuvas e posterior imobilização deste nitrato, como observado por Nardoto e Bustamante (2003).

Nos tratamentos do experimento, também houve maior imobilização de nitrato do que de amônio, na época seca pós-colheita. Podendo ser associado ao fato de que a nitrificação é um processo que depende de condições ambientais mais específicas e que é realizado por um grupo mais seletivo de bactérias do que a amonificação (VIEIRA, 2017). Assim, a presença de material recalcitrante pode afetar ainda mais a disponibilização de nitrato do que de amônio, pois para nitrificação ocorrer essa depende da amonificação, sobretudo em período com menor disponibilidade hídrica (VIEIRA, 2017, CARDOSO, ANDREOTE, 2016). Desta forma, a microbiota do solo pode ter imobilizado bem mais o nitrato em comparação ao amônio, como no caso CReCF que manteve todos os resíduos e sofreu imobilização na época seca.

As temperaturas do solo foi o fator que mais contribuiu para explicar as variâncias dos valores de N mineralizado. Segundo Stanford et al. (1973), solos com teor de umidade próximo a capacidade de campo, a taxa de mineralização ocorre em função da temperatura, em seus resultados o coeficiente de temperatura foi de aproximadamente 2,0, ou seja, a taxa de mineralização dobrava com um aumento de 10°C na temperatura. Desta maneira esse resultado está relacionado às condições ótimas de temperatura que são necessários para ação dos microrganismos, especialmente, a formação de nitrato no processo de nitrificação, o qual depende de condições climáticas, o que inclui a temperatura, bem mais específicas (CANTARELLA, 2007, CARDOSO, ANDREOTE, 2016).

### **5.1 Propriedades químicas do solo**

Segundo a interpretação dos resultados de análise de solo para plantações de eucalipto, proposta por Gonçalves et al. (2022), a média do teor de matéria orgânica do solo na profundidade de 0 a 20 cm, no tratamento com remoção dos resíduos mostrou-se baixa, enquanto para o tratamento com manutenção do resíduo, o teor de matéria orgânica foi médio. Tal resultado era esperado, pois a presença de resíduos orgânicos provenientes da rotação anterior, bem como o não revolvimento do solo (práticas comuns no sistema de cultivo mínimo), fazem com que ocorra o incremento de matéria orgânica do solo, o que tem possíveis reflexos positivos na estrutura e na resistência do solo à compactação, por consequência na CTC do solo (REICHERT et al., 2011), permitindo o melhor desenvolvimento das plantas.

O teor de potássio trocável (K), na camada de 0-5 cm, no tratamento com remoção de todos os resíduos (SReCF), classificou-se como muito baixo quando comparado com o tratamento em que se mantiveram todos os resíduos (CReCF), o qual apresentou teor médio. Considerando esta mesma camada do solo, os teores de fósforo disponível e magnésio trocável foram baixos no tratamento sem resíduo, e altos para o tratamento em que manteve o resíduo no solo. E mesmo o cálcio (Ca) que se apresentou de baixo teor no tratamento com todos os resíduos, teve diferença com o tratamento sem resíduo que ficou com teor muito baixo. Os maiores potenciais de resposta à fertilização são vistos em solos com muito baixos teores de nutrientes, e em solos com teor médio de nutrientes, o eucalipto apresenta baixo a moderado potencial de resposta à fertilização, e em solos com teores altos, as respostas são inexistentes ou pequenas (GONÇALVES et al., 2022) Assim, o maior potencial de resposta do eucalipto à fertilização na área do presente estudo, como esperado, é com os tratamentos em que ocorreu a remoção do resíduo. Bellote et al. (2008), em seu estudo, observaram que a manutenção dos resíduos da colheita é uma fonte importante de nutrientes. Essa disponibilização de nutrientes ocorre por meio da mineralização da matéria orgânica derivada destes resíduos, que por consequência melhora o estado nutricional das árvores e a produtividade da floresta, principalmente a médio e longo prazo, uma vez que essa disponibilização de nutrientes se dá gradualmente.

Houve uma diferença menor entre os tratamentos com resíduos e sem resíduos afetados pelo incêndio tanto para concentração (Tabela 10) quanto para o acúmulo (Tabela 11) de nutrientes. Isto se deve ao fato de que o fogo causa esterilização parcial do solo, e em seguida aumento dos microrganismos, que são resultantes do aumento na disponibilidade dos nutrientes, da oxidação da matéria orgânica do solo (MOS), do aumento da fonte de carbono (C), e da alteração do pH (SANTOS et al., 1992). Considerando que na condição sem incêndio, a discrepância, sobretudo, do acúmulo de nutrientes no solo é maior entre a manutenção e a remoção dos resíduos, uma vez que os resíduos servem como um repositório constante e gradual de nutrientes, devido ao caráter lábil e recalcitrante dos resíduos florestais (CAMARGO et al, 1997). No entanto com o incêndio, essa diferença entre os dois tipos de tratamentos diminui, pois mesmo com a remoção dos resíduos, o solo se beneficia com a piromineralização da matéria orgânica e a consequente disponibilização de nutrientes (JÚNIOR et al., 2015).

Mesmo com incêndio, o tratamento que manteve os resíduos (I-CReCF) mostrou mudanças menos expressivas devido a cobertura sobre o solo quando comparado ao tratamento sem resíduo (I-SReCR). Isto se deve, em parte, ao possível tamponamento das

alterações químicas, associado aos elevados teores de matéria orgânica (ALMEIDA et al., 1999), proporcionados pela manutenção destes resíduos. Já no caso dos tratamentos com a remoção dos resíduos, mesmo com disponibilidade imediata dos nutrientes, tais efeitos tendem a desaparecer rapidamente, devido a lixiviação dos nutrientes pela ação de chuvas (KNICKER, 2007), ao passo que, nos tratamentos com resíduos, em pouco tempo estes se recompõem ao estado original, anterior à queima, ainda mais no caso do tratamento que recebeu transposição de serapilheira, onde a reposição de nutrientes e o restabelecimento da microbiota ocorrerá em prazo menor devido ao efeito da cobertura mencionado anteriormente.

Como observado, as maiores alterações ocorreram primeiros centímetros de solo, esse mesmo comportamento foi visto no estudo feito por Meirelles (1990), onde não houve nenhuma diferença significativa entre as áreas queimadas e áreas não queimadas em maiores profundidades.

A redução no estoque de nutrientes do solo após as rotações, tais como N e P, como ocorreu neste experimento, pode ter vários fatores interferentes, como o solo apresentar baixo teor de argila, estar localizado em área quente e úmida, podendo ainda ser uma área produtiva que, após sucessivas rotações com remoção dos resíduos, apresenta uma redução maior ainda no estoque de nutrientes (ROCHA, 2017; LACLAU et al. 2010). Isto é corroborado pelos resultados observados no presente estudo, em que se obteve uma considerável redução nos estoques de N e P do solo com a remoção dos resíduos no tratamento SReCF.

Na primeira rotação, obteve-se uma pequena redução de N da camada de 0-20 cm entre os tratamentos SReCF e CReCF. Porém, ao final dessa segunda rotação, a discrepância foi maior, o que pode estar associado à alta exportação de N no tratamento SReCF, juntamente com o fato de ter havido rotações consecutivas com baixa fertilização nitrogenada (PULITO et al. 2015) e a remoções sucessivas dos resíduos florestais (ROCHA et al. 2018). Tais fatores em conjunto podem resultar em concentrações decrescentes de nitrogênio ao longo dos ciclos.

A remoção dos resíduos florestais resultou em pequena redução do estoque de P quando comparado ao com resíduo, na primeira rotação também houve uma discrepância. Como visto por Rocha (2017), o resultado pode ser atribuído a dois fatores principais: a diminuída exportação de fósforo no tratamento CReCF e a elevada quantidade de matéria orgânica no solo (MOS) do tratamento CReCF, o que ocasiona a redução da fixação do fósforo no solo, resultando em uma maior disponibilidade.

Como observado, a repetitiva remoção dos resíduos florestais ocasionou uma diminuição nos estoques de nutrientes. Deste modo, manter os resíduos florestais permite o

maior acúmulo de nutrientes, além disso essa camada protetora desempenha um papel importante na conservação do solo contra a erosão, no incremento da concentração de matéria orgânica no solo (MOS) e no aumento tanto da quantidade quanto da disponibilidade dos nutrientes (ROCHA, 2017).

A relação C/N, foi maior com a manutenção dos resíduos em comparação à remoção dos resíduos, na profundidade de 0-5 cm. Segundo Pegoraro et al. (2011), na serapilheira do eucalipto existe maior teor de grupamentos fenólicos derivados na lignina, mais carboidratos e assim maior relação C/N. Por conta disto a permanência dos resíduos ocasiona uma predominância de casca e material lenhoso, altamente lignificado. Isto denota a maior recalcitrância e, conseqüentemente, menor labilidade da serapilheira e um processo de decomposição microbiana mais lento comparado ao tratamento em que houve a remoção dos resíduos de colheita. Porém, tal discrepância entre os dois tratamentos não foi tão acentuada nas profundidades maiores do solo, o que mostra que o efeito da maior recalcitrância do material depositado é mais acentuado superficialmente e não tem tanto efeito em maiores profundidades. No estudo de Pegoraro et al. (2011) ainda aponta que ciclo longo do eucalipto e o sistema radicular possivelmente reduziu o aporte de lignina e a relação C/N.

## 5.2 Acúmulo de nutrientes na biomassa

Com exceção do tratamento sem potássio, houve paridade dos tratamentos entre si, os quais se diferenciavam com a omissão de um dos nutrientes se deve ao avanço da idade do povoamento, onde as diferenças silviculturais tendem a ficar menores, como já mencionado anteriormente e como também observado por Rocha et al. (2019). Após o fechamento do dossel, a competição intraespecífica começa a se estabelecer (LACLAU et al., 2009), e assim há maior eficiência no uso de nutrientes (ROCHA et al., 2016), juntamente com um aumento na ciclagem biogeoquímica e bioquímica dos nutrientes (ROCHA, 2017), sendo alguns dos fatores que explicam as poucas diferenças no acúmulo de biomassa da floresta.

A falta de potássio no tratamento SPASK influenciou significativamente na alocação de biomassa e acúmulo de nutriente em cada compartimento da árvore. Faria et al. (2002) avaliaram o estado nutricional e o balanço de K em *Eucalyptus grandis* em segunda rotação. Estes autores observaram que o K aumentou em 54% o volume dos troncos das árvores, e por consequência 69% no acúmulo de N, P, Ca e Mg nas árvores, dessa forma a omissão de K no tratamento SPASK influenciou os demais nutrientes, que fez assim este tratamento destoar dos demais em todos os aspectos. Isto ressalta que o K é bem exigido no eucalipto, e essa

demanda cresce nos ciclos posteriores com a colheita da madeira, variando por materiais genéticos, pois cultivares com maior eficiência nutricional requerem menores quantidades de nutrientes para produzir a mesma quantidade de biomassa em relação às menos eficientes (GAZOLA et al., 2019), a ausência do K influencia na ausência de outros nutrientes, como observado por estes autores. E como isso influencia na produção final. Tal fato está associado, principalmente ao papel do K como regulador osmótico nos tecidos da planta. Com isto, além de ser fundamental no funcionamento dos estômatos, na ativação de vários sistemas enzimáticos, como a respiração e fotossíntese (ERNANI, ALMEIDA, SANTOS, 2007), deste modo o K também possui importância particular na retranslocação da maioria dos nutrientes.

Como estudado por Gonçalves et al. (2008), a aplicação de K levou a aumentos consideráveis nas respostas com o envelhecimento da cultura, ao contrário das aplicações de N e P, em que se observaram respostas menores com o passar da idade. Como visto, o acúmulo no tratamento sem fertilização fosfatada não se mostrou com grandes discrepâncias dos demais, sendo de escala bem menor quando comparado com o potássio. A redução na taxa de retranslocação de P foi observada no início desta rotação, e ainda assim teve alta produtividade, mesmo com baixa disponibilidade de P no solo e a não aplicação da fertilização fosfatada, mostrando a alta eficiência na absorção e utilização de P desta espécie (ROCHA, 2017).

O alto acúmulo de nitrogênio observado neste estudo se deve a esse nutriente ser constituinte de diversos compostos nas plantas, como a clorofila, os aminoácidos e ácidos nucléicos, deste modo as principais reações bioquímicas abrangem a presença do N, o que o torna um dos elementos absorvidos, sendo assim importante nos ciclos biogeoquímicos e no metabolismo das plantas (EPSTEIN & BLOOM, 2005). Rocha (2017) observou que o tratamento que não recebeu fertilização nitrogenada apresentou menor quantidade absoluta de N retranslocada no início da segunda rotação, quando comparado ao tratamento SPACF, associando esse efeito em partes pela maior quantidade de N retranslocada em relação à quantidade inicial nas folhas recém-maduras (taxa de retranslocação). Deste modo, explica o fato do maior acúmulo de N em relação aos outros nutrientes no fim desta rotação, principalmente no tratamento sem nitrogênio, o que confirma a conclusão de Rocha (2017) que sob condições de baixa disponibilidade deste nutriente, o eucalipto aumenta a taxa de retranslocação como forma de amenizar suas deficiências.

O maior acúmulo de nutrientes e de biomassa observados no lenho está atrelado ao fato deste ser o compartimento com maior volume e densidade da árvore. Isto é corroborado por Verão et al. (2016) que obteve 89% de acúmulo de nutriente no lenho, constatando assim

que esses são os compartimentos da biomassa mais representativas. Faria e et al. (2008), também verificaram que as árvores tenderam a alocar maior percentual de biomassa do tronco em relação à copa. O Ca foi uma exceção do acúmulo, onde apresentou maior acúmulo na casca, o mesmo resultado foi obtido por Gazola et al. (2019). Isso é devido à baixa mobilidade ou imobilidade de cálcio na planta (MALAVOLTA, 2006).

A maior concentração de nutriente encontrada nas folhas em relação galhos e raízes, é em função de sua alta demanda de nutrientes, pois as principais atividades metabólicas da planta ocorrem neste compartimento (VIERA et al., 2013). Este processo se intensifica quando a floresta está em fase de fechamento de copas, o que impulsiona a retranslocação de nutrientes pelo ciclo bioquímico e a decomposição das folhas depositadas pelo solo, com o ciclo biogeoquímico (BENATTI, 2013).

Segundo o estudo de Rocha (2017) que obteve resultados deste experimento até o começo desta segunda rotação, classificou os nutrientes pela mobilidade na planta da seguinte forma, como móveis o N, P, K, S e Zn; como pouco móveis o Mg, Cu e B; imóvel o Ca, sendo esse último considerado imóvel pois foi utilizado para corrigir possíveis alterações na folha durante o processo de senescência, e no Fe e Mn não foi observado retranslocações.

Apesar do B ser um micronutriente altamente exigido, sobretudo, devido suas características estruturais na constituição de tecidos, o papel do complexo boro-pectina na formação da parede celular (TREVIZAM, 2005), ele não se mostrou tão expressivo na alocação dos nutrientes neste estudo, tanto nesta segunda rotação como na primeira, isso é devido à baixa retranslocação de B, apesar de espécies de eucalipto produzem quantidades significativa de polióis, estruturas que o B depende para mobilidade, essas são em pequenas quantidades (BROWN e HU, 1996; LEITE et al., 2010).

O S e o Zn apesar de ser considerados pouco móveis, apresentam alta mobilidade no *E. grandis* no início da segunda rotação, sendo que se mantem um acúmulo consideravelmente alto no fim deste ciclo. Gonçalves et al. (2000) também observaram nesta espécie com 8 anos, uma alta retranslocação de Zn.

### **5.3 Estoque de nutriente na biomassa e na deposição de folheto**

A deposição de folheto, bem como a deposição de nutrientes neste folheto foram altamente influenciados pela sazonalidade, sendo as maiores deposições observadas nos períodos de maior disponibilidade hídrica e maiores temperaturas, do que no período seco.



Este é um comportamento comumente observado em espécies perenifólias (Kolm e Poggiani, 2003), como é o caso do eucalipto.

Assim como observado por Zaia e Gama Rodrigues (2004) a alta ciclagem bioquímica do P correspondeu a uma ciclagem biogeoquímica baixa, ou seja, baixa deposição via folheto. Comportamento semelhante foi observado para o nitrogênio (N), o potássio (K) e, em menor medida para o magnésio (Mg). No caso do cálcio (Ca), não ocorreu retranslocação (ciclagem bioquímica) e esse elemento tende a se acumular na serapilheira, resultando em uma ciclagem biogeoquímica elevada.

Como observado neste estudo, a resposta à fertilização reduz com o decorrer da idade. Isso porque o eucalipto é uma espécie com alta capacidade para ciclagem bioquímica e biogeoquímica, e conforme a floresta se torna madura, há um aumento dessa habilidade de tamponar o impacto da ausência de fertilização (ZAIA E GAMA RODRIGUES, 2004). O eucalipto desenvolveu diversos mecanismos adaptativos ao longo da evolução, visando sua adaptação em condições desfavoráveis de nutrientes, que permitiram melhor exploração do solo e, conseqüentemente, maior eficiência no uso dos nutrientes. Dentre eles, a associação simbiótica com fungos micorrízicos e exsudação de carboxilatos e enzimas na rizosfera se destacam (SPECHT, 1996). Podendo assim explicar ausência de resposta à fertilização na fase madura do povoamento, ressaltando a eficiência de aquisição de nutrientes por outros mecanismos adaptativos. No entanto, como concluído por Rocha, (2017) reduzir ciclos de cultivo pode ameaçar a sustentabilidade, pois estes influenciam diretamente na capacidade de tamponamento do sistema.

#### **5.4 Produtividade da floresta**

A remoção dos resíduos florestais por duas rotações de cultivo consecutivas reduziu em 16% a produção de madeira aos 8,7 anos da segunda rotação. Ao final da primeira rotação, a redução era de aproximadamente de 5% (ROCHA & GONÇALVES, 2017), ou seja, essa diferença entre os tratamentos está aumentando ao decorrer das rotações. Esse fato destaca a importância da manutenção dos resíduos florestais para a sustentabilidade da produção florestal. Essa importância vai além da contribuição nutricional dos resíduos, visto que, mesmo com a dose de fertilizantes aplicada, a resposta à remoção dos resíduos está aumentando com o decorrer da idade (Figura 4).

Diferente da omissão de N, P e calcário, a resposta à remoção dos resíduos se manteve com o decorrer da idade (Figura 4). Isto se deve ao impacto negativo da remoção dos resíduos

na fertilidade do solo, uma vez que a colheita promove a remoção de nutrientes, e a reposição dos mesmos por meio de fertilização mineral apresenta um efeito residual muito mais efêmero do que a manutenção dos resíduos (ROCHA, 2017). O estudo de Laclau et al. (2010) também observou a redução da produtividade no tratamento que removia os resíduos, cerca de um terço comparado ao tratamento que manteve o resíduo na plantação de eucalipto com idade de 7 anos. Os autores atribuem este resultado à mineralização e disponibilização gradual de nutrientes proveniente dos resíduos, o que faz com tais resíduos sirvam como um repositório de nutrientes. Estes nutrientes são então absorvidos pelas árvores ao longo do seu desenvolvimento. Entretanto, com este estudo, fica evidente que a contribuição dos resíduos vai além da contribuição nutricional.

Apesar de Rocha e Gonçalves (2017) terem observado, nesse mesmo experimento, aos 4,5 anos de idade, que a não fertilização com P e a não aplicação de calcário reduziu em 8 e 12% o volume de madeira, no presente estudo, a não fertilização com N (SPASN), P (SPASP) e a não aplicação de calcário (SPASCa) não afetaram o volume de madeira produzido aos 8,7 anos. Essa redução da resposta do eucalipto à fertilização com o decorrer da idade já foi observada por outros autores (SANTANA et al., 2008, LACLAU et al., 2009, PULITO et al., 2015). O fósforo está relacionado à diversas estruturas do desenvolvimento vegetal, a principal delas, na produção de energia (ATP) e, conseqüentemente, à produção de fotoassimilados na fotossíntese (VIEIRA et al., 2015). Portanto, a falta de fósforo implica na redução da produção de biomassa por meio da produção de fotoassimilados, o que tem reflexos diretos na produção de volume, sobretudo nos primeiros anos de plantio (PASTORINI et al., 2000). Com o decorrer da idade há intensificação dos processos de ciclagem biogeoquímica de nutrientes, o que ocorre, especialmente após o fechamento das copas. Isto faz com que os nutrientes deixem de ser o principal fator limitante ao crescimento (LACLAU et al., 2009; ROCHA, 2017), além disso, nessa fase a disponibilidade hídrica limita em grande parte o crescimento (CHRISTINA et al., 2017).

Na primeira rotação de cultivo da área experimental, a não fertilização com K reduziu em 56% o volume de madeira produzido, no fim da segunda rotação essa diferença aumentou para 68%, indicando que a resposta está aumentando ao decorrer das rotações. Em outros estudos (LACLAU et al., 2009; MELO et al., 2016), observou-se que o potássio também foi o elemento que mais impactou a produtividade. A deficiência de K no solo reduz a área foliar, já que este nutriente é um regulador osmótico e, por isso, regula o funcionamento estomático, conseqüentemente, as trocas gasosas, afetando a fotossíntese, e

assim reduzindo também a assimilação de CO<sub>2</sub> e a interceptação de luz, impactando diretamente na produtividade do plantio (ROCHA & GONÇALVES, 2017).

No fim da segunda rotação de cultivo, o tratamento sem fertilização e com todos os resíduos (CReSF) reduziu em 30% a produtividade quando comparado ao tratamento com toda fertilização e todos os resíduos (CReCF). Este resultado pode ser explicado pela condição do solo, altamente intemperizado e apresentando baixos estoques de nutrientes (VITOUSEK et al., 2009). Isto mostra que mesmo com a disponibilização de nutrientes pelos resíduos, as condições naturais de fertilidade e acidez desfavoráveis do solo ainda podem ter impactos negativos na produtividade quando não há a fertilização mineral como forma de reposição dos nutrientes removidos pela colheita da rotação anterior. No entanto, como mencionado anteriormente, a não manutenção do resíduo (SReCF) em relação ao que mantém (CReCF), faz com que a produtividade continue a cair aos 8,7 anos em quase 20%. Com isto, é provável que, se continuasse o cultivo do povoamento nesta mesma rotação, tal discrepância os tratamentos com e sem resíduos poderia ser maior ainda. Isto reforça a ideia de que a fertilização mineral, por si só, não é suficiente para garantir a sustentabilidade da produtividade volumétrica do povoamento a médio e longo prazo.

A manutenção dos resíduos colabora para a redução das oscilações hídricas e térmicas do solo, o que por consequência impulsiona ou no mínimo favorece a continuidade da atividade microbiana (SERRANO, 1997). Sabe-se que os microrganismos são responsáveis pela manutenção do aporte de matéria orgânica estabilizada (BARRETOS et al., 2008), a qual é importante tanto para a melhoria da estruturação do solo quanto para o aumento da CTC deste solo, o que ressalta a importância da criação de um ambiente favorável à atividade microbiana, como por exemplo, por meio da manutenção dos resíduos. Além disso, apesar de boa parte dos nutrientes serem disponibilizados lentamente pela biomassa microbiana devido ao caráter lábil e recalcitrante dos resíduos florestais (CAMARGO et al., 1997), a decomposição da matéria orgânica ajuda na maior disponibilização de nutrientes. Estes fatores em conjunto podem ter impulsionado a produtividade do eucalipto. Deste modo, o impacto de remover o resíduo mesmo com a fertilização completa afeta na produtividade ao longo dos anos.

A partir dos resultados obtidos, é possível afirmar que a manutenção dos resíduos florestais sobre o solo em plantações de *Eucalyptus grandis* pode resultar em ganhos de produtividade na segunda rotação. Esse efeito é ainda maior quanto mais rotações forem realizadas, mesmo com reposição de nutrientes via fertilização (ROCHA & GONÇALVES, 2017). Isso ocorre, pois, a contribuição dos resíduos vai além da questão nutricional. A

redução dos teores de matéria orgânica no solo por decorrência da remoção dos resíduos, conforme observado por Rocha e Gonçalves (2017), pode prejudicar a atividade microbológica no solo e, conseqüentemente, a ciclagem dos nutrientes e a adequada nutrição das plantas.



## 6. CONCLUSÕES

– O efeito da omissão de nutrientes na produtividade reduziu ao longo dos anos, mas o efeito da manutenção ou remoção dos resíduos manteve-se ao longo dos anos. Dessa forma, a manutenção dos resíduos florestais sobre o solo em plantações de *Eucalyptus grandis* pode resultar em ganhos de produtividade na segunda rotação. Esse efeito é ainda maior quanto mais rotações forem realizadas, mesmo com reposição de nutrientes via fertilização;

– A falta de potássio no tratamento SPASK, influenciou na produtividade do eucalipto e por consequência na alocação de biomassa e acúmulo de nutriente em cada compartimento da árvore;

– O compartimento de maior acúmulo de biomassa foi o lenho, porém as folhas apresentaram acúmulo de nutrientes expressivo, devido à alta mobilidade de nutrientes na planta, onde as principais atividades metabólicas ocorrem neste compartimento;

– A deposição de folheto demonstrou sazonalidade, sendo as maiores deposições observadas nos períodos chuvosos, os efeitos de ausência da fertilização reduziram com o decorrer da idade, isso se nota pela pouca variação dos resultados de deposição tanto na galhada que é mínima comparando os tratamentos, quanto para o folheto;

– O tratamento com resíduo (CReCF) se sobressaiu sobre o sem resíduo (SReCF) nas propriedades químicas do solo, e apesar da disponibilidade imediata dos nutrientes advindos do incêndio, o tratamento que manteve os resíduos (I-CReCF) mostrou mudanças menos expressivas devido a cobertura sob o solo quando comparado ao tratamento sem resíduo (I-SReCR).

– Os efeitos da variação da temperatura do solo, afetou diretamente as taxas de amonificação e nitrificação. Dessa forma, o microclima da plantação de eucalipto pode exercer forte influência sobre as taxas de mineralização de N, por consequência, sobre a quantidade e a forma de N disponível no solo;

Assim, retomando as perguntas iniciais do estudo, verifica-se que:

Na primeira questão, neste estudo o Cerrado demonstrou na época chuvosa uma elevada taxa de N-total no primeiro ano de avaliação, mas se equiparou aos demais tratamentos nas outras coletas, desta forma é necessário mais estudo a respeito.

No segundo e terceiro questionamento, não se obteve nenhuma resposta concreta, pois a interação tratamento e época na taxa de mineralização não foi estatisticamente diferente.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J.A.; ERNANI, P.R. & MAÇANEIRO, K.C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo Sul do **Brasil**. **Ci. Rural**, 29:651-656, 1999.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. D. & SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22, 711-728, 2013.
- ARAÚJO, A. D. M.; BRASIL, E. C; BENTES, M. P. M.; PEREIRA, N. C.; GAMA, M. A. P. Desenvolvimento de plantas de Eucalipto em função da adubação nitrogenada e potássica no sudeste paraense. XXXVI Congresso brasileiro de ciência do solo, **Embrapa**, Belém – Pará, 2017.
- ARNOLD, J.; CORRE, M.D.; VELDKAMP, E. Cold storage and laboratory incubation of intact soil cores do not reflect in-situ nitrogen cycling rates of tropical Forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford: Elsevier Science, v.40, p. 2480-2483, 2008.
- BARRETOS, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; FONSECA, S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em seqüência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, 611–619p, 2008.
- BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 56, p. 31-41, 2008.
- BRAMAN, R.S., HENDRIX, S.A. Nanogram nitrite and nitrate determination in environmental and biological materials by vanadium (III) reduction with chemiluminescence detection. **Anal. Chem.** 61, 2715–2718, 1989.
- BENATTI, B. P. **Compartimentalização de biomassa e de nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. Dissertação. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2013.
- BROWN, P. H. & HU, H. N. 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. **Annals of Botany**, 77, 497-505, 1996.
- CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21(4), 575–579, 1997.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES (Eds.), J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.



- CANTARELLA, H; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SANTANA, M. B. M. (Ed.). Simpósio sobre adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus, 1984. Anais. Ilhéus: **CEPLAC, SBCS**, p.47-79, 1986.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D.; **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 221 p., 2016.
- CHRISTINA, M., NOUVELLON, Y., LACLAU, J. P., STAPE, J. L., BOUILLET, J. P., LAMBAIS, G. R. & LE MAIRE, G. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. **Functional Ecology**, 31, 509-519, 2017.
- DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.1-67, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**- 5 edição revisada e ampliada – Brasília, DF, 2018.
- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspective**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 400p, 2005.
- ERNANI, P. R.; ALMEIDA J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES (Eds.), J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 551-594, 2007.
- FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus spp.* no Vale do Jequitinhonha, MG. **Cienc Florest**.18:363-73., 2008.
- FARIA, G. E. BARROS, N. F., NOVAIS, R. F., LIMA, J. C., & TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. **Revista Árvore**, 26(5), 577-584, 2002.
- GARCIA, G.; CARDOSO, A. A.; SANTOS, O. A. M. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. **Quím. Nova** vol.36 no.9 São Paulo, 2013.
- GAZOLA, R. N., BUZETTI, S., TEIXEIRA FILHO, M. C. M., GAZOLA, R. P. D., CELESTRINO, T. S., SILVA, A. C., & DA SILVA, P. H. M. Potassium fertilization of eucalyptus in an entisol in low-elevation Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 43, e0180085, 2019
- GOMES, S. S.; GONÇALVES, J. L. M. **Predição da disponibilidade de nitrogênio e potencial de resposta à fertilização nitrogenada em plantações de Eucalipto**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba 80p, 2009.
- GONÇALVES, J. L. M. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **For. Ecol. Manag**, v. 193, p. 45–61, 2004.

- GONÇALVES, J. L. M., ARTHUR JÚNIOR, ROCHA, J. H. T., J. C.; FERRAZ, A. V., GUERRINI, I. A. Plantações Florestais e Seringueira. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, QUAGGIO D. M. J., et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas e Fundação IAC, p. 437 -456, 2022.
- GONÇALVES, J.L.D., ALVARES, C.A., HIGA, A.R., SILVA, L.D., ALFENAS, A.C., STAHL, J., FERRAZ, S.F.D., LIMA, W.D.P., BRANCALION, P.H.S., HUBNER, A., BOUILLET, J.P.D., LACLAU, J.P., NOUVELLON, Y., EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **For. Ecol. Manage.** 301, 6–27, 2013.
- GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S.; NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, S.; BROWN, A., eds. **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra, ACIAR Austrália/CSIRO Austrália/CIFOR Indonésia, p.379-418, 1997.
- 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**, Viçosa, v.25, p.601-616, 2001.
- GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; LACLAU, J.P.; BOUILLET, J.P.; RANGER, J. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast growing Eucalypt plantations: The Brazilian experience. **South. For.**, v.70, p.105–118, 2008.
- GONÇALVES, J. L. M., STAPE, J. L., BENEDETTI, V., FESSEL, V. A. G. & GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: **Nutrição e Fertilização Florestal**. eds J. L. M. GONÇALVES & V. BENEDETTI, IPEF, Piracicaba, pp. 1-58, 2000.
- IBÁ. Relatório 2021. **Indústria Brasileira de Árvores**. 2021.
- JESUS, G. L.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L. HENRIQUE, E. P. LIMA, V. C. FERNANDES, L. V. SOARES, E. M. B. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade do eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do Solo** vol.36 n.1 Viçosa . 2012.
- JÚNIOR, J. C. de S.; BRAGA, A. C. M.; SANTOS, C. R. C. dos; JÚNIOR, M. L. da S.; SILVA, G. R. da; MELO, V. S. de. O manejo com a trituração da vegetação favorece o incremento de matéria orgânica e as formas de fósforo no solo. **Scientia Plena**, 11, 090201, 2015.
- KAMOGAWA, M. Y., BRASIL, M. A. S. Flow analysis system for applications in agronomic samples, fully produced in the laboratory. **46º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. Lindóia, SP, 2023
- KAMOGAWA, M.Y.; TEIXEIRA, M.A. Auto-amostrador de baixo custo para análise por injeção em fluxo. **Química Nova**, São Paulo, 2009.

- KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? a review. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 85, n. 11, p. 91-118, 2007.
- KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos a prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.79-93, 2003.
- LACLAU, J. P., ALMEIDA, J. C. R., GONÇALVES, J. L. M., SAINT-ANDRE, L. VENTURA, M., RANGER, J., MOREIRA, R. M. & NOUVELLON, Y. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in Eucalyptus plantations. **Tree Physiology**, 29, 111-124, 2009.
- LACLAU, J.-P., RANGER, J., DE MORAES GONÇALVES, J. L., MAQUERE, V., KRUSCHE, A. V., M'BOU, A. T., NOUVELLON, Y., SAINT-ANDRE, L., BOUILLET, J.-P., PICCOLO, M. D. C. & DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, 259, 1771-1785, 2010.
- LEITE, S. M. M., MARINO, C. L. & BONINE, C. A. V. Response of *Eucalyptus grandis* and *E. grandis* x *E. urophylla* clones to boron suppression. **Scientia Forestalis**, 38, 19-25, 2010.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres; 2006.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 201, 1989.
- MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade do solo em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 7, p. 359-360, 1990.
- MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H.; WENZEL, A. V. A.; JÚNIOR, J. C. A.; BORGES, J. S.; MALHEIROS, R.; LEMOS, C. C. Z.; FERREIRA, E. V. O.; FERRAZ, A. V. Responses of clonal eucalypt plantations to N, P and K fertilizer application in different edaphoclimatic conditions. **Forests**, 7, 0002, 2016.
- MENEGALE, M. L, C; ROCHA, J. H. T.; HARRISON, R.; GONÇALVES, J. L. M.; ALMEIDA, R. F; PICCOLO, M. C.; HUBNER, A. ARTHUR JÚNIOR, J. C.. FERRAZ, A. V.; JAMES, J. N; CORREA, S. M. Effect of timber harvest intensities and fertilizer application on stocks of soil C, N, P, and S. **Forests**, 7, 319p, 2016.
- NARDOTO, G.B; BUSTAMANTE M.M.C; Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesq Agropec Bras** v.38, p.955–962, 2003.
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 3, chemical methods**. Madison: Soil Science of America and American Society of Agronomy, p. 961-1010, 1996.

- OLIVEIRA, S.A. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo. **Pesq. Agropec. Bras.**, 24:131-148, 1989.
- PARRON, L. M. **Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico, em uma mata de galeria no distrito federal.** Universidade de Brasília - Instituto de Ciências Biológicas. Pag. 184 Brasília, DF, 2004.
- PASTORINI, L. H.; BACARIN, M. A.; LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.
- PEGORARO, R. F., SILVA, I. R., NOVAIS, R. F., BARROS, N. F., & FONSECA, S. Fenóis derivados da lignina, carboidratos e aminoácidos em serapilheira e solos cultivados com eucalipto e pastagem. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.359-370, 2011.
- PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus*.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 58 p., 2009.
- PULITO, A. P.; GO NÇALVES, J. L. M.; SMETHURST, P. J.; JÚNIOR, J. C. A.; ALVARES, C. A.; ROCHA, J. H. T.; HUBNER, A.; MORAES, L. F.; MIRANDA, A. C.; KAMOGAWA, M. Y.; GAVA, J. L.; CHAVES, R.; SILVA, C. R. Available nitrogen and responses to nitrogen fertilizer in Brazilian eucalypt plantations on soils of contrasting texture. **Forests**, v.6, p.973-991, 2015.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p. 173-180, 1987.
- RAISON, R. J.; CONNELL, M.J.; KHANNA, P.K. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N *in situ*. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.19, p.521-530, 1987.
- REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I.; KAISER, D. R.; MINELLA, J. P. G.; REINERT, D. J. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, MG: SBCS, v. 7., p. 1-54, 2011.
- ROCHA, J. H. T. **Manejo de resíduos florestais e deficiência nutricional em duas rotações de cultivo de eucalipto.** USP/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2017. 173 p. Piracicaba, 2017.
- ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. M.; BRANDANIC, C. B.; FERRAZ, A. V.; FRANCIE, A. F.; MARQUES, E. R. G.; JÚNIOR J. C. A.; HUBNER, A. Forest residue removal decreases soil quality and affects wood productivity even with high rates of fertilizer application. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p.188–195, 2018.

- ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. M.; FERRAZ, A. V.; POIATIA, D. A.; JÚNIOR J. C. A.; HUBNER, A. Growth dynamics and productivity of an *Eucalyptus grandis* plantation under omission of N, P, K Ca and Mg over two crop rotation. **Forest Ecology and Management**, v.447, p. 158–168, 2019.
- ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. M; BRANDANI, C. B.; FERRAZ, A. V; FRANCI, A. F.; MARQUES, E. R. G.; JÚNIOR ARTHUR, J. C. HUBNER, A. Forest residue removal decreases soil quality and affects wood productivity even with high rates of fertilizer application. **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 188–195, 2018.
- ROCHA, J. H. T.; MENEGALE, M. L. C.; RODRIGUES, M.; GONÇALVES, J. L. M.; PAVINATO, P. S.; FOLTRANA, E. C.; HARRISON, R.; JAMES, J. N. Impacts of timber harvest intensity and P fertilizer application on soil P fractions. **Forest Ecology and Management**, v.437, p.295–303, 2019.
- ROCHA. J. H. T.; GONÇALVES, J. L. M. **Dinâmica de crescimento de plantações de eucalipto conduzidas pela segunda rotação sob diferentes manejos de resíduos florestais e não fertilizadas com N, P, K, Ca e Mg.** USP/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba, 173p, 2017.
- SANTANA, R.C., BARROS, N.F., LEITE, H.G., COMERFORD, N.B., & NOVAIS, R.F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.697-706, 2008.
- SANTOS, D., BAHIA, V. G., TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n.176, p. 62-68, 1992.
- SCHENEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada a engenharia florestal.** Santa Maria: CEPEF, p. 217, 1997.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734, 1933.
- SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria.** v. 1. Lavras - MG: UFLA/FAEPE, p. 285, 2004.
- SPECHT, R. L. The influence of soils on the evolution of the eucalypts. In: eds P. M. Attiwill & M. A. Adams. **Nutrition of *Eucalypts*.**, CSIRO, Australia, pp. 31-60, 1996.
- SERRANO, M. I. P. **Mineralização, absorção e lixiviação de nitrogênio em povoamentos de *Eucalyptus grandis* sob cultivo mínimo e intensivo do solo.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1997.
- STANFORD, G.; LEGG, J.D.; SMITH, S.J. Soil nitrogen availability evaluation based on nitrogen mineralization potentials and uptake of labeled and unlabeled nitrogen by plant. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p.113-124, 1973.
- STANFORD, G. Assesment of soil nitrogen availability. In: STEVENSON, F.J. **Nitrogen in agricultural soils.** Madison, ASA-SSSA, p.651-688, 1982.

- TEDESCO, M.J. Perspectivas do uso de métodos de diagnose na recomendação de fertilizantes nitrogenados no Brasil. In: SANTANA, M.B.M., ed. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus, CEPLAC-SBCS, p.244-273, 1985.
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. 1955. The water balance. **Publications in Climatology**, 8, 1-104, 1955.
- TREVIZAM, R. **Análises histológicas e bioquímicas em calos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake cultivados *in vitro* sob interação nutricional de boro e cálcio**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
- VERÃO, D. S.; BLEICH, M. E.; MARTINS, N. P.; BASSOTTO, J. M.; MORTAT, A. F.; SANTOS, A.F.A. Concentração de nutrientes em *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T Blake) com sete anos de idade na borda sul da Amazônia. **Biodiversidade**. 15:35-44, 2016.
- VIEIRA, C.R.; WEBER, O.L.S; SCARAMUZZA, J.F. Saturação por bases e doses de P no crescimento e nutrição de mudas de cerejeira (*Amburana Acreana* Ducke). **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 1-9, 2015.
- VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V.; TRÜBY, P.; ARAÚJO, E. F. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul - RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**. 1:1-13., 2013.
- VIERA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Embrapa. Brasília, DF 163 p. 2017.
- VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forest. **Ecology**, v.65, p.285–298, 1984.
- VITOUSEK, P. M., NAYLOR, R., CREWS, T., DAVID, M. B., DRINKWATER, L. E., HOLLAND, E., JOHNES, P. J., KATZENBERGER, J., MARTINELLI, L. A., MATSON, P. A., NZIGUHEBA, G., OJIMA, D., PALM, C. A., ROBERTSON, G. P., SANCHEZ, P. A., TOWNSEND, A. R. & ZHANG, F. S. Nutrient imbalances in agricultural development. **Science**, 324, 1519-1520, 2009.
- ZAIA, F. C. & GAMA-RODRIGUES, A. C. Nutrient cycling and balance in eucalypt plantation systems in north of Rio de Janeiro state, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28, 843-852, 2004.