

**WALQUIRIA CHAVES DA SILVA**

**PARCELAMENTO E LOCALIZAÇÃO DOS FERTILIZANTES NO PLANTIO DE  
*Eucalyptus benthamii* NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Luciano Colpo Gatiboni

**LAGES  
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com  
auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Silva, Walquiria Chaves da  
Parcelamento e localização dos fertilizantes no  
plantio de *Eucalyptus benthamii* no Planalto Sul  
Catarinense / Walquiria Chaves da Silva. - Lages,  
2018.

73 p.

Orientador: Luciano Colpo Gatiboni  
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal, Lages, 2018.

1. Adubação de plantio e cobertura. 2. Produção  
florestal. 3. Macronutrientes. I. Colpo Gatiboni,  
Luciano. II. Universidade do Estado de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação. III. Título.

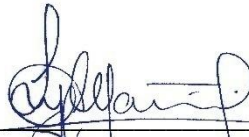
**WALQUIRIA CHAVES DA SILVA**

**PARCELAMENTO E LOCALIZAÇÃO DOS FERTILIZANTES NO PLANTIO DE  
*Eucalyptus benthamii* NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

**Banca examinadora:**

Orientador:



---

(Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni)  
UDESC/Lages-SC

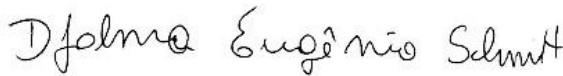
Membro:



---

(Prof. Dr. Otávio Camargo Campoe)  
UFSC/Curitibanos-SC

Membro:



---

(Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt)  
IFC/Santa Rosa do Sul-SC

**Lages, 25 de julho de 2018**



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder o dom da vida.

Aos meus familiares, principalmente aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu orientador Professor Luciano Colpo Gatiboni, pela oportunidade, dedicação, seriedade e por todos os ensinamentos. Seu exemplo nos serve de inspiração em nossa jornada acadêmica.

Ao Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de aprendizado e complementação da minha formação acadêmica.

À Empresa Klabin S.A. e seus colaboradores pelo apoio financeiro, suporte para implantação e condução do experimento e a concessão de bolsa de estudos.

Aos colegas do GEFOSC – Grupo de Estudos do Fósforo em Solos Catarinenses, pela amizade, convivências e ajuda nas saídas a campo e análises laboratoriais.

Aos colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, Djalma Eugênio Schmitt, Sulian Junkes Dal Molin, Jaqueline Muniz Gerber e Wagner Sacomori, pelo apoio e ensinamentos para realização das análises.

Ao Ronan Exterkoetter, por ter me apoiado em todos os momentos, com dedicação e carinho.

À Caroline Aparecida Matias, companheira do Apartamento 201, pela amizade, compreensão e incentivos.

Aos componentes da banca examinadora, por aceitarem fazer parte desse trabalho e contribuírem com os seus conhecimentos.

Agradeço a todos que contribuíram para a realização desse trabalho.



## RESUMO

SILVA, W. C. **Parcelamento e localização dos fertilizantes no plantio de *Eucalyptus benthamii* no Planalto Sul Catarinense.** 2018. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Lages, 2018.

A adubação de florestas comerciais de eucalipto normalmente é realizada em três épocas, sendo uma no plantio e as demais em cobertura, aos três e doze meses de idade, demandando elevada mão-de-obra para tais operações. A redução do número de adubações, sem prejuízo ao desenvolvimento da espécie poderia resultar em ganhos operacionais e econômicos. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi testar diferentes fontes, épocas de aplicação e modos de distribuição dos fertilizantes para estabelecimento de plantios de *Eucalyptus benthamii* no Planalto Sul Catarinense. O experimento foi conduzido no município de Bocaina do Sul, SC, em um Cambissolo Húmico. Os tratamentos foram constituídos por combinações de fontes de fertilizante (fertilizante convencional; fertilizante de liberação lenta), doses de fertilizantes (N; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; K<sub>2</sub>O), épocas de aplicação (plantio; três, nove e doze meses) e modos de aplicação do fertilizante (na cova; na linha; na linha intermitente; em cobertura). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com dez tratamentos e três repetições. Avaliaram-se a mortalidade, o crescimento das plantas, as concentrações dos nutrientes nas folhas e no solo, além de parâmetros químicos da solução do solo. Adubações com 100 ou 150% da dose de NPK no plantio provocaram maior mortalidade de plantas, independente da forma de aplicação ou fonte utilizada. O crescimento e a produtividade das plantas não diferiram em resposta aos tratamentos de fertilização. Os resultados indicam que a aplicação da adubação NPK em dose única no plantio eleva a mortalidade de plantas e o parcelamento da adubação em duas aplicações, ao invés de três aplicações, é uma alternativa viável para a redução da mão-de-obra necessária nesta operação, sem prejuízo ao estabelecimento do eucalipto.

**Palavras-chave:** Adubação de plantio e cobertura. Produção florestal. Macronutrientes.





## ABSTRACT

SILVA, W. C. **Split-application and localization of fertilizers in planting *Eucalyptus benthamii* in the Planalto Sul Catarinense.** 2018. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Lages, 2018.

The fertilization of commercial forests of *eucalyptus* is usually splitted up in three times: at planting, and after three and twelve months of planting. Our hypothesis is that reducing the number of fertilizations or mode of broadcasting the fertilizer will not affect the growing of *eucalyptus*, resulting in operational and economic gains. The objective of this work was to test different sources, times and modes of fertilization for establishment of *Eucalyptus benthamii* plantations in the Planalto Sul Catarinense. The experiment was conducted in the municipality of Bocaina do Sul, SC, Brazil, in a Humic Cambisol. The treatments consisted of combinations of fertilizer sources (conventional fertilizer and low-release fertilizer), fertilizer rates (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O), times of application (at planting, three, nine and twelve months) and modes of fertilizer application (in the pit near the plant, in a continuous furrow, in an intermittent furrow, or broadcasted). The experimental design was a randomized block design, with ten treatments and three replications. Mortality, plant growth, nutrient concentrations in leaves and soil, and chemical parameters of soil solution were evaluated. Fertilization with 100 or 150% of the NPK rate at planting caused higher plant mortality, regardless of the application form or source used. Plant growth and productivity did not differ in response to fertilization treatments. The results indicate that the application of NPK fertilization in a single rate at planting increases plant mortality and fertilization in two applications, instead of three applications, is a viable alternative for the reduction of labor required in this operation, without jeopardizing the establishment of *eucalyptus*.

**Keywords:** Planting and cover fertilization. Forestry production. Macronutrients.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Quadro 1 - | Descrição dos tratamentos de fertilização de plantio e cobertura aplicados....   | 29 |
| Quadro 2 - | Coletas de solução do solo, após precipitações pluviométricas (mm) a cada aplicação de fertilizantes.....  | 33 |
| Figura 1 - | Correlação de Pearson entre o teor de nitrogênio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e o índice de clorofila Falker (ICF) em <i>Eucalyptus benthamii</i> aos 15 meses após o plantio.....        | 46 |
| Figura 2 - | Correlação de Pearson entre o teor de magnésio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e o índice de clorofila Falker (ICF) em <i>Eucalyptus benthamii</i> aos 15 meses após o plantio.....          | 47 |
| Figura 3 - | Correlação de Pearson entre o crescimento volumétrico ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) e o índice de clorofila Falker (ICF) em <i>Eucalyptus benthamii</i> aos 15 meses após o plantio..... | 48 |



## LISTA DE TABELAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabela 1 -  | Recomendação de adubação nitrogenada para eucalipto.....  | 24 |
| Tabela 2 -  | Recomendação de adubação fosfatada e potássica para eucalipto.....  | 25 |
| Tabela 3 -  | Caracterização físico-química do solo da área experimental antes da<br>implantação.....   | 27 |
| Tabela 4 -  | Média do número de plantas mortas imediatamente antes de cada replantio<br>realizado aos 30, 45, 69 dias após o plantio (DAPL). Números entre<br>parênteses indicam os valores percentuais médios em cada tratamento..... | 36 |
| Tabela 5 -  | Estimativa do nível de dano e a média do número de plantas mortas aos<br>118 e 469 dias após o plantio (DAPL). Números entre parênteses indicam<br>os valores percentuais médios em cada tratamento.....                  | 38 |
| Tabela 6 -  | Valores médios de altura e diâmetro do colo de <i>Eucalyptus benthamii</i><br>conduzido sob diferentes tratamentos de fertilização, aos 3 meses após o<br>plantio.....  | 39 |
| Tabela 7 -  | Valores médios de altura e diâmetro a altura do peito (DAP, a 1,30 m do<br>solo) de <i>Eucalyptus benthamii</i> conduzido sob diferentes tratamentos de<br>fertilização, aos 15 meses após o plantio.....                 | 40 |
| Tabela 8 -  | Volume de madeira produzido pelo <i>Eucalyptus benthamii</i> aos 15 meses<br>após o plantio em função dos tratamentos de fertilização.....  | 42 |
| Tabela 9 -  | Índice de Clorofila Falker (ICF) em folhas de <i>Eucalyptus benthamii</i> aos 15<br>meses após o plantio.....   | 45 |
| Tabela 10 - | Valores de pH na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade, dias<br>após o plantio (DAPL) de <i>Eucalyptus benthamii</i> .....   | 49 |
| Tabela 11 - | Condutividade elétrica na solução do solo extraída a 40 cm de<br>profundidade, dias após o plantio (DAPL) de <i>Eucalyptus benthamii</i> .....  | 50 |
| Tabela 12 - | Concentração de N amoniacal ( $N-NH_4^+$ ) na solução do solo extraída a 40<br>cm de profundidade, dias após o plantio (DAPL) de <i>Eucalyptus benthamii</i> ..   | 51 |
| Tabela 13 - | Concentração de N nítrico ( $N-NO_3^-$ ) na solução do solo extraída a 40 cm de<br>profundidade, dias após o plantio (DAPL) de <i>Eucalyptus benthamii</i> .....  | 52 |
| Tabela 14 - | Concentração de P na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade,<br>dias após o plantio (DAPL) de <i>Eucalyptus benthamii</i> .....   | 53 |
| Tabela 15 - | Concentração de K na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade,<br>dias após o plantio (DAPL) de <i>Eucalyptus benthamii</i> .....   | 54 |



## SUMÁRIO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>17</b> |
| 1.1          | HIPÓTESES.....   | 18        |
| 1.2          | OBJETIVOS.....   | 19        |
| <b>1.2.1</b> | <b>Objetivo geral.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>1.2.2</b> | <b>Objetivos específicos.....</b>                                      | <b>19</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                      | <b>21</b> |
| 2.1          | IMPORTÂNCIA DO GÊNERO <i>Eucalyptus</i> .....                          | 21        |
| 2.2          | NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO.....   | 21        |
| 2.3          | FONTES DE FERTILIZANTES.....   | 22        |
| 2.4          | DOSES, MODOS E ÉPOCA DE APLICAÇÃO.....                                 | 23        |
| <b>3</b>     | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>   | <b>27</b> |
| 3.1          | LOCAL DE IMPLANTAÇÃO.....  | 27        |
| 3.2          | IMPLANTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....                            | 27        |
| 3.3          | AVALIAÇÃO DA MORTALIDADE E CRESCIMENTO DO POVOAMENTO..                 | 29        |
| 3.4          | CONCENTRAÇÕES DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS E NO SOLO.....                 | 30        |
| 3.5          | ÍNDICE DE CLOROFILA FALKER (ICF).....                                  | 32        |
| 3.6          | AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO DO SOLO.....                                      | 32        |
| 3.7          | ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....   | 33        |
| <b>4</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                     | <b>35</b> |
| 4.1          | AVALIAÇÃO DA MORTALIDADE E CRESCIMENTO DAS PLANTAS.....                | 35        |
| <b>4.1.1</b> | <b>Mortalidade inicial.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>4.1.2</b> | <b>Efeitos da aplicação de glifosato nas plantas de eucalipto.....</b> | <b>36</b> |
| <b>4.1.3</b> | <b>Crescimento aos 3 meses após o plantio.....</b>                     | <b>38</b> |
| <b>4.1.4</b> | <b>Crescimento aos 15 meses após o plantio.....</b>                    | <b>39</b> |
| 4.2          | CONCENTRAÇÕES DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS E NO SOLO.....                 | 42        |
| 4.3          | ÍNDICE DE CLOROFILA FALKER (ICF).....                                  | 44        |
| 4.4          | PARÂMETROS QUÍMICOS DA SOLUÇÃO DO SOLO.....                            | 48        |
| <b>4.4.1</b> | <b>pH e condutividade elétrica.....</b>                                | <b>48</b> |
| <b>4.4.2</b> | <b>Nitrogênio na solução do solo.....</b>                              | <b>50</b> |
| <b>4.4.3</b> | <b>Concentração de fósforo (P) na solução do solo.....</b>             | <b>52</b> |
| <b>4.4.4</b> | <b>Concentração de potássio (K) na solução do solo.....</b>            | <b>54</b> |
| <b>5</b>     | <b>CONCLUSÕES.....</b>   | <b>57</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>59</b> |
|              | <b>APÊNDICES.....</b>  | <b>65</b> |





## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o segundo maior produtor mundial de celulose, com destaque para o segmento de fibra curta, proveniente da madeira de eucalipto. No ano de 2016, a produção brasileira de celulose, considerando-se o processo químico de fibra curta (eucalipto) e longa (pinus), foi de 18,3 milhões de toneladas, montante 7,7% superior ao de 2015 (IBÁ, 2017). Nesse contexto, os plantios florestais têm crescido na maioria das regiões brasileiras, ganhando mais espaço também no cenário florestal do estado de Santa Catarina. A utilização do eucalipto nos reflorestamentos ocorre principalmente pelo seu rápido crescimento e boa adaptação as condições edafoclimáticas (SILVEIRA; GAVA, 2004). Regionalmente, o plantio das espécies *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* são as mais indicadas para a região do Planalto Sul Catarinense em função de sua maior adaptabilidade a climas frios e tolerância a geadas (FLORIANI et al., 2011).

Por se tratar de uma espécie responsiva à fertilização, para o estabelecimento de povoamentos de alta produtividade torna-se necessário o diagnóstico da disponibilidade de nutrientes no solo e a correta recomendação e manejo de fertilizantes para que a oferta de nutrientes do solo e fertilizantes seja próxima da demanda nutricional das plantas. As condições edafoclimáticas da região do Planalto Sul Catarinense são distintas daquelas onde tradicionalmente os plantios de eucalipto se desenvolveram. Regionalmente é comum os solos, na maioria da ordem dos Cambissolos apresentarem teores elevados de matéria orgânica (MO) e capacidade de troca de cátions (CTC) e, com isso, há que se adotar estratégias de adubação ajustadas para as condições locais.

O manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016) considera a CTC como um fator na avaliação da disponibilidade de potássio (K), pois a CTC reflete a habilidade do solo em reter o K e outros cátions e armazená-los para a absorção das culturas. Assim, solos de baixa CTC ( $< 7,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) tem baixa capacidade de armazenamento de K, não sendo recomendadas adubações elevadas com esse nutriente, sob o risco de ocorrer lixiviação do elemento (FAGERIA, 1982; ERNANI et al., 2007). Outro problema que pode ocorrer nos solos de baixa CTC é o efeito salino na solução do solo, pois a baixa retenção pelas cargas do solo pode elevar demasiadamente o teor de K na solução do solo, aumentando a condutividade elétrica, o que pode afetar as plantas. Nesses solos de baixa CTC, para o suprimento das necessidades de K para as plantas, há necessidade de parcelamento da adubação em pelo menos duas vezes. Contudo, os solos do Planalto Sul Catarinense são de elevada CTC, normalmente acima de 30

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , o que pode sugerir que a necessidade de parcelamento da adubação potássica seja questionável.

Diversas opções de fertilizantes podem ser usadas para garantir o suprimento de nutrientes às plantas, contudo é necessário levar em conta os aspectos técnicos e econômicos destes insumos para definição da fonte ideal a ser utilizada (BAZANI et al., 2014), além de suas doses e modos de aplicação. Na região do Planalto Sul Catarinense, a fertilização para eucalipto ocorre normalmente da seguinte forma: praticamente 100% do fertilizante fosfatado é aplicado no momento do plantio, juntamente com em torno de 30% do nitrogenado e 30% do potássico. Após, são feitas duas adubações de cobertura, aproximadamente aos três e doze meses, aplicando-se o restante do N e K que compõe a dose recomendada.

Em se tratando de solos com alta CTC, não haveria diferença entre a aplicação do K integralmente no plantio ou seu parcelamento em duas ou três épocas (plantio, mais 1 ou 2 coberturas). Seguindo este raciocínio, a adubação de cobertura seria necessária apenas para o fertilizante nitrogenado, o qual tem maiores perdas por volatilização de amônia, lixiviação de nitrato e desnitrificação. Contudo, no caso do fertilizante nitrogenado, talvez o parcelamento em apenas uma época fosse suficiente para diminuir essas perdas. Assim, seria diminuída uma operação de adubação de cobertura, trazendo economia em mão-de-obra. Ainda, há no mercado fertilizantes de liberação lenta que tem como princípio de ação a liberação paulatina dos nutrientes e, neste caso, com uma única aplicação no plantio poder-se-ia suprimir as adubações de cobertura, reduzindo também o dispêndio com mão-de-obra. Por outro lado, a aplicação de todo o fertilizante no plantio de forma localizada (cova) poderia causar uma concentração elevada de sais próximo às plantas. Para evitar isso, ao invés de aplicação localizada, o fertilizante poderia ser distribuído de forma contínua junto às linhas de plantio.

## 1.1 HIPÓTESES

As hipóteses deste estudo foram as seguintes:

- a) o parcelamento da adubação NPK em duas épocas (plantio e uma cobertura) tem a mesma eficiência que o parcelamento em três épocas (plantio e duas coberturas);
- b) a aplicação de todo fertilizante apenas na época de plantio afeta negativamente o crescimento das plantas e aumenta as perdas de nutrientes por lixiviação;
- c) a aplicação na linha de altas doses de fertilizantes diminui os problemas de mortalidade de mudas quando comparado à aplicação em covas;

- d) quando utilizadas doses elevadas de fertilizantes, o uso de fertilizantes de liberação lenta diminui os problemas de mortalidade de mudas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Comparar manejos de adubação para o estabelecimento de plantios de eucalipto no Planalto Sul Catarinense.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar a influência do parcelamento (uma, duas ou três épocas) da adubação NPK e de diferentes modos de distribuição dos fertilizantes (cova; linha; linha intermitente; cobertura) no desenvolvimento inicial de *Eucalyptus benthamii*.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 IMPORTÂNCIA DO GÊNERO *Eucalyptus*

O eucalipto é uma planta originária da Austrália e de outras ilhas da Oceania (PRYOR et al., 1995). São reconhecidas botanicamente cerca de 730 espécies, com diferentes exigências quanto à fertilidade do solo, tolerância à geadas e a seca, possibilitando seu plantio em aproximadamente 100 países tropicais e subtropicais, porém, não mais que 20 delas são atualmente utilizadas para fins comerciais em todo o mundo. Além do elevado número de espécies, existe também, um número muito grande de variedades e híbridos (DRUMOND et al., 2016).

O gênero *Eucalyptus* apresenta excelente potencial para produção de madeira, em função de sua diversidade, adaptabilidade, alta produtividade e características físico-mecânicas (SILVEIRA; GAVA, 2004). Permite inúmeras utilizações: das folhas extraem-se óleos essenciais empregados em produtos de limpeza e alimentícios, em perfumes e até em remédios; a casca oferece tanino, usado no curtimento de couro; o tronco oferece madeira para sarrafos, lambris, ripas, vigas, postes, varas, esteios para minas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis; sua fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação de papel e celulose (VIVIAN, 2015).

No Brasil, as espécies mais utilizadas, em função das características de suas madeiras, são: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*, híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. Na região Sul, destacam-se com potencial de utilização as espécies *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*, devido a sua maior adaptabilidade a climas frios e tolerância a geadas (SANTAROSA et al., 2014).

### 2.2 NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO

Os plantios florestais concentram-se normalmente em solos de baixa fertilidade natural (SMETHURST, 2010). As baixas reservas de nutrientes em solos florestais são atribuídas à exportação de nutrientes nos desbastes e na colheita final, às perdas por processos erosivos e de lixiviação, e a não reposição de nutrientes via adubação (MERINO et al., 2003). O manejo da fertilidade do solo e a nutrição mineral de plantas têm se demonstrado importante para aumentar a produtividade das plantações (SMETHURST, 2000; PINKARD, 2003), ou pelo menos, para manter os níveis para rotações futuras (VIEIRA et al., 2015).

Considerando as propriedades do solo em que os plantios de eucalipto são estabelecidos e com intuito de manter a capacidade produtiva, a fertilização deve ser realizada pelo menos em duas épocas. A primeira aplicação deve ser realizada durante o período de plantio, para adaptação das mudas no campo e a segunda cerca de um ano após o plantio, quando as plantas estão em estágio intensivo de expansão do dossel (maior incremento no índice de área foliar). Essas aplicações de fertilizantes (plantio e manutenção) têm sido essenciais para o estabelecimento de florestas saudáveis, resistentes a fatores bióticos e abióticos (VIEIRA et al., 2016).

A disponibilidade adequada de nutrientes na fase inicial do estabelecimento da floresta favorece o crescimento homogêneo das plantas e conseqüentemente o fechamento mais rápido do dossel. No Brasil, os plantios florestais são fertilizados desde o estabelecimento (embora praticamente 100% do fertilizante fosfatado possa ser aplicado na primeira operação) até o fechamento do dossel (que ocorre normalmente dentro de um a dois anos, dependendo da taxa de crescimento da espécie) (GONÇALVES, 1995). Os fertilizantes nitrogenado e potássico são geralmente aplicados em uma ou mais doses, considerando a perda de nutrientes por lixiviação. A maior absorção de N e K tem sido evidenciada no estágio de fechamento da copa, quando o índice de área foliar do eucalipto é maior (BARROS et al., 1995).

A fertilização de manutenção, usada após o ano de implantação, tem sido realizada quando a fertilização no estabelecimento não atende às necessidades crescentes das plantas ao longo da rotação (VIEIRA et al., 2016). Em estudo conduzido por Dias (2016) na região do Planalto Sul Catarinense, os resultados demonstraram que as espécies *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* apresentam resposta a menores doses de P nos dois primeiros anos de implantação, mas observa-se elevado incremento no volume de madeira a partir do terceiro ano, principalmente quando foram aplicadas altas doses de fósforo na implantação. Isso pode indicar a necessidade de uma adubação inicial para suprir a demanda na implantação do povoamento florestal e uma adubação complementar, para suprir a demanda do povoamento já implantado.

### 2.3 FONTES DE FERTILIZANTES

Diversas opções de fertilizantes podem ser usadas para garantir o suprimento de nutrientes às plantas, contudo é necessário levar em conta os aspectos técnicos e econômicos destes insumos para definição da fonte ideal a ser utilizada (BAZANI et al., 2014), além de suas doses e modos de aplicação.

Os fertilizantes minerais são sais inorgânicos solúveis e a eficiência agrônômica depende da sua solubilidade e das reações químicas que sofrem com os componentes do solo (CQFS-RS/SC, 2016). Os fertilizantes nitrogenados minerais são totalmente solúveis no solo, podem rapidamente ser convertidos em formas que são perdidas por lixiviação ou volatilização, o que diminui a eficiência de utilização do nutriente (FAN et al., 2004; MARTINS et al., 2014). Já para os fertilizantes potássicos, que são também solúveis, as perdas por lixiviação são menores do que as dos nitrogenados, pois o íon  $K^+$  pode ser retido na CTC. A solubilidade dos fertilizantes fosfatados é variável, em função do tipo de fosfato e do tratamento térmico ou químico da rocha fosfatada (CQFS-RS/SC, 2016).

De modo geral, as perdas de N para o ambiente, com o conseqüente menor aproveitamento do N pelas culturas, estão associadas à concentração, na solução do solo, de formas solúveis de N em geral, ou das formas mais susceptíveis a perdas, como o nitrato (CANTARELLA, 2007). Uma das maneiras de aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada ou com inibidores para evitar a rápida transformação do N contido no fertilizante em formas de N menos estáveis em determinados ambientes (CIVARDI et al., 2011).

Existem dois grupos importantes de fertilizantes classificados como de liberação lenta ou controlada. Um deles é formado por compostos de condensação de ureia e ureia formaldeídos (de baixa solubilidade e, portanto, de liberação lenta do N); o segundo, de produtos encapsulados ou recobertos, ou de liberação controlada (CANTARELLA, 2007). A utilização desses produtos pode ocasionar redução da volatilização de amônia (NASCIMENTO et al., 2013; STAFANATO et al., 2013; DALL'ORSOLETTA et al., 2017), além disso, o uso de fertilizantes de liberação lenta, em plantações de eucalipto, reduz a perda de nutrientes por lixiviação (VIEIRA et al., 2016).

#### 2.4 DOSES, MODOS E ÉPOCA DE APLICAÇÃO

Diferentes práticas de manejo na fertilização do eucalipto podem refletir no crescimento individual das plantas e na produtividade do plantio (BAZANI et al., 2014). Em plantios comerciais de eucalipto, estão sendo testados os seguintes modos de aplicação dos fertilizantes: cova (são utilizadas duas covas laterais a 12 cm de profundidade, distantes 10 cm de cada planta); linha (adubação realizada de modo contínuo no sulco de 20 cm de profundidade aberto mecanicamente); linha intermitente (adubação distribuída em uma porção

de 100 cm do sulco, sendo a muda plantada no centro da linha intermitente aos 50 cm); e cobertura (adubação realizada à lanço, na projeção da copa).

O manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016) considera a capacidade de trocas catiônicas (CTC) como um fator na avaliação da disponibilidade de K e na necessidade do fracionamento da adubação, pois a CTC reflete a habilidade do solo em reter o K e outros cátions e armazená-los para a absorção das culturas. Assim, solos de baixa CTC ( $< 7,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) têm baixa capacidade de reter o K, recomendando-se a aplicação parcelada do nutriente para evitar o risco de lixiviação do nutriente (FAGERIA, 1982; ERNANI et al., 2007).

Outro problema que pode ocorrer nos solos de baixa CTC é o efeito salino na solução do solo, quando aplicado altas doses de fertilizantes potássicos, pois a baixa retenção pelas cargas do solo pode elevar demasiadamente o teor de K na solução do solo, aumentando a condutividade elétrica, o que pode causar estresse hídrico devido à redução do potencial osmótico. Nesses solos de baixa CTC, para o suprimento das necessidades de K para as plantas, há necessidade de parcelamento da adubação em, pelo menos, duas vezes. Contudo, os solos do Planalto Sul Catarinense apresentam elevada CTC, normalmente acima de  $30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , o que pode sugerir que a necessidade de parcelamento da adubação potássica seja questionável.

Informações acumuladas a partir de experimentos realizados no sul do Brasil compõem o sistema de recomendação para os plantios de eucalipto preconizado pela CQFS-RS/SC (2016). As doses de N praticadas atualmente variam entre 30 e 90  $\text{kg ha}^{-1}$ , com parcelamento em duas épocas (Tabela 1).

Tabela 1 – Recomendação de adubação nitrogenada para eucalipto.

| Teor de matéria orgânica no solo | Nitrogênio                           |             |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------------|
|                                  | Plantio                              | Crescimento |
| %                                | ----- $\text{kg ha}^{-1}$ de N ----- |             |
| $\leq 2,5$                       | 45                                   | 45          |
| 2,6 – 5,0                        | 30                                   | 30          |
| $> 5,0$                          | 15                                   | 15          |

Fonte: CQFS-RS/SC, 2016.

Para expectativa de rendimento maior que  $40 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  de madeira, acrescentar aos valores da adubação de crescimento  $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N por  $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  adicional de madeira a ser produzida.



Recomenda-se que a adubação nitrogenada de plantio seja realizada juntamente com a adubação de P e K, na cova ou sulco de plantio. A adubação de crescimento deve ser realizada entre três e seis meses após o plantio, escolhendo-se a época de maior crescimento das plantas. Pode-se também parcelar a adubação de crescimento em duas épocas dentro do intervalo de seis meses. O adubo deve ser distribuído na projeção da copa ou em faixa contínua próxima da linha de plantio (CQFS-RS/SC, 2016).

As doses de  $P_2O_5$  e  $K_2O$  praticadas atualmente variam entre  $\leq 50$  e  $130$  kg de  $P_2O_5$  e  $K_2O/ha^{-1}$  (Tabela 2). Devido à baixa mobilidade no solo e ao alto poder competitivo das plantas daninhas, o P deve ser aplicado próximo ao sistema radicular das mudas, de modo uniforme, na linha no fundo do sulco de subsolagem ou em covas laterais, junto às covas de plantio, para garantir a absorção e a uniformidade de distribuição do nutriente por planta. Com isso, há maior homogeneidade de crescimento inicial das plantas (BAZANI et al., 2014).

Tabela 2 – Recomendação de adubação fosfatada e potássica para eucalipto.

| Interpretação do teor de P e K no solo | Fósforo  | Potássio                                |
|--|--|---|
|  | kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | kg ha <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O |
| Muito Baixo                            | 130  | 130                                     |
| Baixo                                  | 90   | 90                                      |
| Médio                                  | 70   | 70                                      |
| Alto                                   | 50   | 50                                      |
| Muito Alto                             | $\leq 50$  | $\leq 50$                               |

Fonte: CQFS-RS/SC, 2016.

Para expectativa de rendimento maior que 40 m<sup>3</sup>/ha/ano de madeira, acrescentar aos valores da tabela 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O por m<sup>3</sup>/ha/ano adicional de madeira a ser produzida.

Quando, os teores de K forem classificados como “Muito Baixo” ou “Baixo”, a adubação potássica pode ser fracionada em duas vezes, aplicando-se 2/3 da dose no plantio e 1/3 em cobertura, na mesma época da adubação nitrogenada de crescimento, sendo que o adubo deve ser distribuído na projeção da copa ou em faixa contínua próxima da linha de plantio. Entretanto, quando os teores de K no solo forem classificados como “Médio”, “Alto” ou “Muito Alto”, recomenda-se a aplicação da adubação potássica inteiramente no plantio, quando existe a possibilidade de incorporação do fertilizante no solo (CQFS-RS/SC, 2016).

Os regimes de fertilização também devem considerar os micronutrientes adicionados. Em algumas situações, como em solos de baixa CTC ( $\leq 7,5$  cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e baixo teor de matéria orgânica ( $\leq 2,5\%$ ), pode haver teores baixos de B, Zn e Cu no solo e, nesses casos,

pode haver resposta à aplicação desses nutrientes. Preventivamente, é recomendado o uso destes nutrientes nas doses de  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de B,  $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn e  $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu, a serem aplicados juntamente com a adubação de plantio (CQFS-RS/SC, 2016).

Avanços no melhoramento genético permitiram que algumas espécies clonais de eucalipto apresentem grande capacidade produtiva. Os ganhos em produtividade, contudo, exigem maiores cuidados com a fertilidade do solo (GONÇALVES et al., 2013). Atualmente, o manejo da fertilidade dos solos cultivados com eucalipto no Planalto Sul Catarinense consiste na realização de adubação subdividida em três épocas: no plantio, aos três meses e aos 12 meses após o plantio. Esse sistema de manejo apresenta como principal inconveniente os elevados custos operacionais. Diante disso, a redução do número de intervenções, possivelmente pela concentração da adubação de cobertura em apenas uma aplicação, permitiria maior eficiência operacional e econômica. Para propor alternativas no sentido de diminuir o número de operações, há que se testar diferentes proporções de fertilizantes e épocas de parcelamento da adubação, bem como métodos de aplicação e tipos de fertilizantes a serem utilizados.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO

A área de estudo localiza-se na Fazenda denominada “Guarujá”, propriedade da empresa Klabin S.A., município de Bocaina do Sul (SC), situada a 27°67'48.04" de latitude sul e 49°99'24.24" de longitude oeste, com altitude de 860 metros (APÊNDICE A). A temperatura média anual é de 16,5 °C, e a precipitação anual de 1500 mm, com chuvas distribuídas ao longo do ano (APÊNDICE B). O clima da região é Cfb – Temperado (mesotérmico úmido e verão ameno) segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). Os solos da região são geralmente ácidos, com textura argilosa a muito argilosa e com baixos teores de nutrientes (Tabela 3). O solo foi classificado como Cambissolo Húmico (SANTOS et al., 2013).

Tabela 3 – Caracterização físico-química do solo da área experimental antes da implantação.

| Prof.<br>(cm) | pH<br>H <sub>2</sub> O | Índice<br>SMP | Argila<br>----- (%) ----- | MO<br>----- | P<br>mg dm <sup>-3</sup> | K<br>----- | Ca<br>----- | Mg<br>----- | Al<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- | H+Al<br>----- | CTC<br>----- | V<br>--- (%) --- | m<br>--- |
|---------------|------------------------|---------------|---------------------------|-------------|--------------------------|------------|-------------|-------------|--|---------------|--------------|------------------|----------|
| 0-20          | 4,1                    | 4,0           | 52                        | 4,2         | 1,7                      | 53,7       | 0,1         | 0,2         | 11,2   | 41,7          | 42,1         | 1,0              | 96,3     |
| 20-40         | 4,3                    | 4,0           | 49                        | 2,6         | 0,8                      | 43,3       | 0,1         | 0,1         | 11,4   | 41,7          | 42,0         | 0,7              | 97,4     |
| 40-60         | 4,3                    | 4,1           | 52                        | 2,1         | 1,0                      | 41,3       | 0,1         | 0,1         | 11,1   | 40,2          | 40,5         | 0,8              | 97,0     |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Prof. – profundidade de coleta das amostras de solo; pH – pH do solo em água; Índice SMP – pH pelo índice SMP; Argila – teor de argila expresso em %; MO – teor de matéria orgânica expresso em %; P – teor de fósforo disponível expresso em mg dm<sup>-3</sup>; K – teor de potássio disponível expresso em mg dm<sup>-3</sup>; Ca, Mg e Al – teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis expressos em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al – acidez potencial expressa em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC – capacidade de troca de cátions a pH 7,0 expressa em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V – saturação por bases, valores expressos em %; m – saturação por alumínio, valores expressos em %.

#### 3.2 IMPLANTAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

A área experimental havia sido anteriormente cultivada com eucalipto, o qual foi submetido ao corte raso aos 8 anos de idade, sendo deixado sobre o solo resíduos remanescentes do cultivo anterior. O experimento foi instalado em dezembro de 2016, com plantio de mudas clonais de *Eucalyptus benthamii* (clone 116). O preparo do solo consistiu da subsolagem até 40 cm de profundidade da linha de plantio num espaçamento de 3,4 x 2,2 m (1.337 plantas ha<sup>-1</sup>), sem a aplicação de fertilizantes e calcário.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com dez tratamentos e três repetições. A unidade experimental foi composta por 64 plantas, distribuídas em 8 linhas, considerando bordadura composta por uma fileira, totalizando uma área de 478,72 m<sup>2</sup> por parcela, possuindo a parcela útil 36 plantas e área de 269,28 m<sup>2</sup>.

Os tratamentos foram constituídos por combinações de fontes de fertilizante (fertilizante convencional ou fertilizante de liberação lenta), épocas de aplicação (no plantio, 3 meses, 9 meses ou 12 meses após o plantio) e modos de distribuição do fertilizante (na cova, linha, linha intermitente ou cobertura). O tratamento CC-P+3+12 representa o uso de fertilizante convencional com aplicação comercial na cova e parcelada aos 3 e 12 meses, usualmente utilizado pelas empresas do setor florestal na região. Os demais tratamentos foram propostos a fim de diminuir o número de operações de cobertura: CC-P+12 – Fertilizante convencional com aplicação na cova e parcelada aos 12 meses; CC-P+9 – Fertilizante convencional com aplicação na cova e parcelada aos 9 meses; CL-P+12 – Fertilizante convencional com aplicação na linha e parcelada aos 12 meses; CC-P – Fertilizante convencional com aplicação na cova de 100% da dose recomendada; CL-P – Fertilizante convencional com aplicação na linha de 100% da dose recomendada; CLi-P – Fertilizante convencional com aplicação na linha intermitente de 100% da dose recomendada; CL-P150 – Fertilizante convencional com aplicação na linha de 150% da dose recomendada; LL-P – Fertilizante de liberação lenta com aplicação na linha de 100% da dose recomendada; LL-P80 – Fertilizante de liberação lenta com aplicação na linha de 80% da dose recomendada (Quadro 1).

O Quadro 1 apresenta a quantidade de fertilizante aplicada em cada tratamento. A fertilização foi realizada após o plantio, de modo manual, usando recipientes calibrados, simulando a aplicação comercial após o preparo de solo e a demarcação das parcelas. As doses de adubação de referência foram de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, 130 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Foram utilizadas as fontes de fertilizantes convencionais: nitrato de amônio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> – 33% de N); superfosfato triplo (SFT – 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); cloreto de potássio (KCl – 60% de K<sub>2</sub>O), e o fertilizante de liberação lenta NPK na formulação 11-16-16 (+ 0,4% B + 0,2% Zn + 0,2% Cu + 13,55% S).

Quadro 1 – Descrição dos tratamentos de fertilização de plantio e cobertura aplicados.

| Tratamento | Época    | Modo               | Fonte          | Dose (N)                   | Dose (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | Dose (K <sub>2</sub> O) |
|------------|----------|--------------------|----------------|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
|            |          |                    |                | g planta <sup>-1</sup> (%) |                                       |                         |
| CC-P+3+12  | Plantio  | Cova               | Convencional   | 27 (20%)                   | 212 (100%)                            | 56 (30%)                |
|            | 3 meses  | Cobertura          |                | 55 (40%)                   | -                                     | 56 (30%)                |
|            | 12 meses | Cobertura          |                | 55 (40%)                   | -                                     | 75 (40%)                |
| CC-P+12    | Plantio  | Cova               | Convencional   | 68 (50%)                   | 212 (100%)                            | 94 (50%)                |
|            | 12 meses | Cobertura          |                | 68 (50%)                   | -                                     | 94 (50%)                |
| CC-P+9     | Plantio  | Cova               | Convencional   | 27 (20%)                   | 212 (100%)                            | 56 (30%)                |
|            | 9 meses  | Cobertura          |                | 109 (80%)                  | -                                     | 131 (70%)               |
| CL-P+12    | Plantio  | Linha              | Convencional   | 68 (50%)                   | 212 (100%)                            | 94 (50%)                |
|            | 12 meses | Cobertura          |                | 68 (50%)                   | -                                     | 94 (50%)                |
| CC-P       | Plantio  | Cova               | Convencional   | 136 (100%)                 | 212 (100%)                            | 188 (100%)              |
| CL-P       | Plantio  | Linha              | Convencional   | 136 (100%)                 | 212 (100%)                            | 188 (100%)              |
| CLi-P      | Plantio  | Linha intermitente | Convencional   | 136 (100%)                 | 212 (100%)                            | 188 (100%)              |
| CL-P150    | Plantio  | Linha              | Convencional   | 205 (150%)                 | 318 (150%)                            | 281 (150%)              |
| LL-P       | Plantio  | Linha              | Liberção lenta | 638 (100%)                 | 638 (100%)                            | 638 (100%)              |
| LL-P80     | Plantio  | Linha              | Liberção lenta | 510 (80%)                  | 510 (80%)                             | 510 (80%)               |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Realizaram-se as manutenções silviculturais de combate às formigas cortadeiras e aplicação de herbicida para o controle da matocompetição. Para garantir a eficiência das adubações e o pleno desenvolvimento, aos 90 dias após o plantio foi realizada a aplicação de herbicida pós-emergente na entre linha. A dosagem utilizada foi de 2,3 L ha<sup>-1</sup> de herbicida dessecante à base de glifosato.

### 3.3 AVALIAÇÃO DA MORTALIDADE E CRESCIMENTO DO POVOAMENTO

A mortalidade inicial do experimento foi avaliada por meio da contagem do número de plantas mortas. Geralmente, em empresas do setor florestal, o replantio é necessário quando a taxa de mortalidade for maior ou igual a 3%. Assim, para o estabelecimento do povoamento de eucalipto com população considerada normal, foram realizados três replantios, aos 30, 45 e 69 dias após a implantação do experimento.

Aos 90 dias após o plantio (DAPL) foram visualizados sintomas de fitotoxidez nas plantas de eucalipto, em decorrência da aplicação de glifosato. Dessa forma, aos 118 DAPL foram estimados os níveis de danos causados. Os critérios para identificação foram realizados individualmente, planta por planta, utilizando como referência de avaliação uma escala visual da intensidade de dano, com notas de 0 a 4, onde 0 corresponde a ausência; 1, 2, 3 refere-se as intensidades baixa, média e alta, respectivamente; e 4 inclui as plantas mortas. Ainda, avaliou-se a mortalidade aos 118 e 469 DAPL.

Aos 3 meses após o plantio, foram realizadas avaliações de diâmetro do colo e altura das plantas. A partir da altura e do diâmetro, obteve-se a estimativa do volume de madeira com casca produzido ( $m^3$  planta<sup>-1</sup>), através da equação genérica para cálculo de volume do cone, sendo:  $V = [(\pi r^2 h)/3]$  (APÊNDICE C). Aos 15 meses após o plantio, além do crescimento em altura, foram realizadas também mensurações do diâmetro à altura do peito (DAP, a 1,30 m do solo). A partir da altura e do diâmetro, obteve-se a estimativa do volume de madeira com casca ( $m^3$  planta<sup>-1</sup>) através da equação genérica para cálculo de volume cilíndrico, sendo:  $V = H[(\pi DAP^2)/4]$ . Os valores médios de volume de madeira produzido em cada unidade experimental foram calculados excluindo-se as plantas mortas, sendo posteriormente extrapolado para hectare ( $m^3$  ha<sup>-1</sup>). Os dados dendrométricos de diâmetro foram coletados com auxílio de paquímetro digital e posteriormente com fita diamétrica. Os dados de altura foram coletados com régua graduada e posteriormente com hipsômetro Vertex, levando em consideração o crescimento das plantas.

Foram também estimados os valores de altura dominante e volume de madeira acumulado por área, aos 3 e 15 meses após o plantio. A altura dominante foi calculada pela média da altura das 5 árvores de maior diâmetro, desconsiderando as plantas quebradas (APÊNDICE D). O volume de madeira acumulado por área foi estimado pelo somatório do volume de madeira produzido ( $m^3$  planta<sup>-1</sup>) em cada unidade experimental (269,28 m<sup>2</sup>), posteriormente extrapolado para hectare ( $m^3$  ha<sup>-1</sup>), a fim de considerar o efeito da mortalidade (APÊNDICE E).

As avaliações foram realizadas em todas as plantas da área útil de cada unidade experimental.

### 3.4 CONCENTRAÇÕES DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS E NO SOLO

A avaliação nutricional das plantas foi realizada por análise dos teores dos nutrientes nas folhas. Aos 15 meses após o plantio, foram coletadas 10 folhas recém maduras (4<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup>

folha a partir da ponta do ramo), do terço médio da copa de 6 plantas escolhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela (APÊNDICE F). As folhas foram secas em estufa com circulação forçada de ar, regulada a 65 °C até atingirem peso constante. Em seguida moídas em moinho tipo Willey, com peneira de 1 mm. Para a análise dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) no tecido vegetal, foi realizada a digestão por via úmida – digestão sulfúrica (ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado + peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ )), em bloco digestor com elevação da temperatura até 375°C, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). O teor de N total foi determinado por destilação de Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Para determinar a concentração de P, utilizou-se a metodologia de Murphy e Riley (1962). O K foi determinado por fotometria de chama, enquanto Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Foram realizadas coletas de amostras de solo antes da implantação do experimento, para caracterização físico-química do solo e também aos 15 meses após o plantio, com objetivo de verificar as alterações causadas pela adubação e absorção das plantas. A amostragem foi realizada na camada de 0-20 cm de profundidade com auxílio de trado calador (APÊNDICE F). Foram coletadas amostras em 6 pontos escolhidos aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela, na faixa de cultivo, próximo às plantas e dentro da projeção da copa. Em cada ponto foram coletadas 2 subamostras de solo (uma na cova e outra na linha). As amostras de solo foram secas em estufa a 65 °C, moídas e peneiradas em malha de 2 mm. O teor de N-mineral foi extraído do solo com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, com subsequente destilação em micro-Kjeldall e quantificação por titulação com  $H_2SO_4$  diluído na presença de indicador ácido bórico. Os teores de P e K disponíveis foram extraídos por solução de Mehlich 1, sendo o P determinado por Murphy e Riley (1962), em espectrofotômetro de UV – visível a 882 nm e o K por fotometria de chama. Os teores de Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>. Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al foi determinado por titulação ácido-base. A determinação do teor de MO foi realizada pelo método da oxidação de carbono do solo por solução sulfocrômica (dicromato de sódio e ácido sulfúrico) com aquecimento externo e determinado por colorimetria, em comprimento de onda de 645 nm. O pH do solo em água e índice SMP foram determinados em medidor de pH com eletrodo de vidro, por metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Ainda foram calculados, os valores de acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 ( $CTC_{pH\ 7,0}$ ), saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m).

### 3.5 ÍNDICE DE CLOROFILA FALKER (ICF)

Os teores de clorofila foram estimados por meio de um medidor eletrônico de clorofila (modelo ClorofiLOG CFL 1030, Falker, Brasil) aos 15 meses após o plantio. Foram mensuradas 10 folhas saudáveis, totalmente expandidas, expostas à radiação solar, de 6 plantas por tratamento. O sensor clorofiLOG analisa 3 faixas de frequência de luz (635, 660 e 880 nm), utilizando índices de absorção em diferentes frequências, determina o conteúdo relativo de clorofila (índice de clorofila Falker – ICF), levando em consideração a presença de clorofila dos tipos *a*, *b* e *total* (*a+b*).

### 3.6 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO DO SOLO

Para estimar a concentração de nutrientes na solução do solo após a aplicação dos fertilizantes, foram instalados extratores de solução do solo com cápsula porosa em cerâmica. Os extratores foram instalados a 40 cm de profundidade. Em cada parcela instalou-se um extrator de solução, o qual foi disposto ao lado de uma planta. A coleta de solução do solo foi realizada 24 horas após a aplicação de vácuo no interior do extrator, com o uso de uma seringa. Para a coleta de solução, utilizou-se uma seringa com uma mangueira fina (diâmetro de 6 mm) de silicone acoplada à sua extremidade, a qual foi inserida até o fundo do extrator. Retirou-se toda a solução presente no extrator, pois a solução remanescente poderia contaminar a amostra seguinte (APÊNDICE G).

Foram realizadas coletas de solução do solo imediatamente após a primeira chuva subsequente às adubações, sendo: no plantio (1ª coleta: aos 15 dias após a aplicação do fertilizante; 2ª coleta: aos 29 dias após a aplicação do fertilizante); aos 3 meses (3ª coleta: aos 8 dias após a segunda época de aplicação do fertilizante; 4ª coleta: aos 91 dias após a segunda época de aplicação do fertilizante); aos 9 meses (5ª coleta: aos 36 dias após a terceira época de aplicação do fertilizante); aos 12 meses (6ª coleta: aos 42 dias após a quarta época de aplicação do fertilizante). Em cada coleta foram recolhidos aproximadamente 50 mL da solução do solo (Quadro 2).

A análise da solução do solo foi realizada imediatamente após a sua retirada do extrator. Contudo, quando a análise não pode ser realizada rapidamente (no mesmo dia da coleta), a solução foi mantida sob refrigeração, a 4 °C, até o momento da análise.

Na solução do solo coletada foram avaliados o pH, condutividade elétrica, além de teores de N, P e K. As determinações de pH e condutividade elétrica foram feitas sem



tratamento prévio das amostras, logo após o recebimento no laboratório, utilizando medidor de pH com eletrodo de vidro e condutivímetro, respectivamente. Foram determinados N nas formas de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) segundo metodologias descritas por Tedesco et al. (1995). Para determinar a concentração de P nas amostras, utilizou-se a metodologia de Murphy e Riley (1962). O K foi determinado por fotometria de chama.

Quadro 2 – Coletas de solução do solo, após precipitações pluviométricas (mm) a cada aplicação de fertilizantes.

| Aplicação de Fertilizantes | Precipitação (mm) | Coleta         | DAAF | DAPL |
|----------------------------|-------------------|----------------|------|------|
| Plantio (06/12/2016)       | 75,2              | 1 <sup>a</sup> | 15   | 15   |
|                            | 2,2               | 2 <sup>a</sup> | 29   | 29   |
| 3 meses (06/03/2017)       | 0,2               | 3 <sup>a</sup> | 8    | 98   |
|                            | 207,6             | 4 <sup>a</sup> | 91   | 181  |
| 9 meses (06/09/2017)       | 14,0              | 5 <sup>a</sup> | 36   | 310  |
| 12 meses (08/12/2017)      | 13,2              | 6 <sup>a</sup> | 42   | 409  |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Precipitação pluviométrica (mm) – dados da primeira chuva após a aplicação de fertilizantes, conforme a estação meteorológica de Rio Bonito, SC (Epagri/Ciram); DAAF – dias após a aplicação do fertilizante; DAPL – dias após o plantio.

### 3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Inicialmente os dados foram analisados por meio do teste de Bartlett, no qual se buscou avaliar a homogeneidade das variâncias dos tratamentos. Para testar a normalidade dos dados efetuou-se o teste de Normalidade de Shapiro-Wilk, sendo realizado com grau de confiança de 95% (nível de significância de 5%). Posteriormente, procedeu-se a transformação Box-Cox (BOX; COX, 1964) para as concentrações de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) e potássio (K) na solução do solo, a fim de normalizar os dados.

Quando aceitas as pressuposições de normalidade e homocedasticidade, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de média de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). Quando rejeitada as pressuposições de normalidade e homocedasticidade, os dados foram submetidos ao Teste de Friedman ( $p < 0,05$ ), seguido por comparações múltiplas.

Também foram ajustados os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) entre o conteúdo relativo de clorofila (ICF), os teores de nitrogênio e magnésio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e o crescimento em volume de madeira produzido ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 AVALIAÇÃO DA MORTALIDADE E CRESCIMENTO DAS PLANTAS

#### 4.1.1 Mortalidade inicial

Foram observadas diferenças significativas na mortalidade inicial do povoamento, aos 30 e 69 dias após o plantio (DAPL) (Tabela 4). Adubações com 100 ou 150% da dose de NPK no plantio, independente da forma de aplicação ou fonte utilizada (tratamentos: CC-P; CL-P; CLi-P; CL-P150; LL-P) provocaram maior mortalidade, especialmente na primeira avaliação realizada (aos 30 DAPL). Assim, para manter a população de árvores por unidade de área, o que contribui para o aumento da produtividade, foi necessário a reposição das mudas.

Após os três replantios para atingir a população comercialmente aceita, não se realizaram mais replantios e a mortalidade total variou de 2 a 19%, sendo significativa a diferença entre os tratamentos (Tabela 4). De modo semelhante ao observado anteriormente, adubações com 100% da dose de NPK no plantio, considerando o uso de fertilizante convencional com aplicação na cova ou na linha intermitente e o uso de fertilizante de liberação lenta com aplicação na linha (tratamentos: CC-P; CLi-P; LL-P) provocaram maior mortalidade. Esse resultado pode ser proveniente do aumento do potencial osmótico na região de deposição dos fertilizantes. A aplicação em dose única no plantio pode causar efeito salino próximo ao sistema radicular das plantas e pode ser responsável pela desidratação das raízes (DIAS; BLANCO, 2010).

O eucalipto apresentou maior taxa de sobrevivência nos tratamentos com o uso de fertilizante convencional parcelado, independente da forma de aplicação (tratamentos: CC-P+3+12; CC-P+12; CC-P+9; CL-P+12), demonstrando ser uma alternativa viável na redução da mortalidade. Todavia, considerando que a aplicação de fertilizante em dose única no plantio reduz o número de parcelas de fertilização de cobertura, a qual necessariamente utiliza mão-de-obra onerosa, o uso de fertilizante convencional com aplicação na linha de 100 ou 150% da dose recomendada (CL-P; CL-P150) ou o uso de fertilizante de liberação lenta com aplicação na linha de 80% da dose recomendada (LL-P80) também podem ser alternativas viáveis para reduzir a mortalidade. Essa constatação corrobora com os resultados obtidos por Silva et al. (2015), cuja aplicação parcelada de fertilizante convencional e a aplicação do

fertilizante de liberação lenta em dose única não resultaram em diferenças de mortalidade às plantas de eucalipto.

Tabela 4 – Média do número de plantas mortas imediatamente antes de cada replantio realizado aos 30, 45, 69 dias após o plantio (DAPL). Números entre parênteses indicam os valores percentuais médios em cada tratamento.

| Tratamento    | Replantio (DAPL) |              |              | Total        |
|---------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
|               | 1º (30)          | 2º (45)      | 3º (69)      |              |
| CC-P+3+12     | 0,33 b (1%)      | 0,67 a (2%)  | 0,33 b (1%)  | 1,33 b (4%)  |
| CC-P+12       | 1,67 b (5%)      | 0,00 a (0%)  | 0,33 b (1%)  | 2,00 b (6%)  |
| CC-P+9        | 0,00 b (0%)      | 0,33 a (1%)  | 0,33 b (1%)  | 0,67 b (2%)  |
| CL-P+12       | 1,00 b (3%)      | 0,00 a (0%)  | 0,00 b (0%)  | 1,00 b (3%)  |
| CC-P          | 4,00 a (11%)     | 1,33 a (4%)  | 1,33 a (4%)  | 6,67 a (19%) |
| CL-P          | 2,00 a (6%)      | 0,33 a (1%)  | 0,67 b (2%)  | 3,00 b (8%)  |
| CLi-P         | 2,67 a (7%)      | 1,33 a (4%)  | 0,00 b (0%)  | 4,00 a (11%) |
| CL-P150       | 2,00 a (6%)      | 0,33 a (1%)  | 1,00 a (3%)  | 3,33 b (9%)  |
| LL-P          | 3,00 a (8%)      | 0,33 a (1%)  | 2,33 a (6%)  | 5,67 a (16%) |
| LL-P80        | 1,00 b (3%)      | 0,33 a (1%)  | 0,00 b (0%)  | 1,33 b (4%)  |
| <b>CV (%)</b> | <b>52,9</b>      | <b>125,9</b> | <b>112,5</b> | <b>50,5</b>  |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; CV (%) – Coeficiente de variação.

#### 4.1.2 Efeitos da aplicação de glifosato nas plantas de eucalipto

A aplicação de glifosato causou danos às plantas de eucalipto por deriva acidental do herbicida. Dessa forma, aos 118 dias após o plantio (DAPL) houve diferença na estimativa do nível de dano causado às plantas (Tabela 5). Os níveis de danos foram maiores nos tratamentos com o uso de fertilizante convencional com aplicação na cova em dose única ou parcelada (tratamentos: CC-P; CC-P+9; CC-P+12; CC-P+3+12). Por consequência, houve aumento no número de plantas mortas aos 118 e 469 DAPL. Aos 118 DAPL a porcentagem de plantas mortas em cada tratamento variou de 0 a 6%. Aos 469 DAPL a mortalidade aumentou consideravelmente, onde os valores variaram de 2 a 19% da população inicial. De modo semelhante ao observado anteriormente, os tratamentos com o uso de fertilizante

convencional com aplicação na cova em dose única ou parcelada em duas e/ou três épocas (tratamentos: CC-P; CC-P+9; CC-P+12; CC-P+3+12) apresentaram as maiores taxas de mortalidade.

O glifosato [N-(fosfometil)glicina] é um herbicida sistêmico de pós-emergência de amplo espectro, não seletivo, frequentemente utilizado para o controle de plantas daninhas em plantios comerciais de eucalipto (SANTOS et al., 2007a; BERNAL et al., 2010). Esse herbicida inibe especificamente a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPS), impedindo que a planta forme os aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano, utilizados para a síntese de proteínas e, também, em alguns metabólitos secundários, como vitaminas, lignina e hormônios (TAIZ; ZIEGER, 2013). O maior problema do uso desse herbicida em eucalipto é a deriva acidental, ou seja, deposição do produto fora do alvo, a qual pode causar a intoxicação das plantas (TIBURCIO et al., 2012). Os prejuízos ocasionados pela deriva de herbicida em eucalipto já foram relatados em muitos trabalhos de pesquisa e observações a campo (SANTOS et al., 2005; 2006ab; 2007bc; 2009). Os danos causados dependem da concentração e quantidade do princípio ativo que chega às plantas. As doses recomendadas de glifosato para eucalipto variam de 360 a 2160 g ha<sup>-1</sup> para o controle de espécies anuais e perenes (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011). Desse modo, plantas de eucalipto em contato com o glifosato apresentam sintomas de intoxicação, redução no crescimento e morte das mesmas (SANTOS et al., 2011), adicionalmente, a qualidade da madeira, pode ser influenciada pelos efeitos do glifosato, considerando que foram verificadas alterações na produção de lignina em plantas tratadas com esse herbicida (RIZZARDI et al., 2003).

Esses resultados evidenciam a necessidade de maiores cuidados quanto à tecnologia de aplicação, principalmente quanto ao treinamento dos aplicadores. Com isso, novas avaliações devem ser realizadas para acompanhar o crescimento e desenvolvimento das plantas até o final do ciclo produtivo da cultura, visando o melhor entendimento dos efeitos do glifosato sobre a produção e qualidade da madeira de eucalipto.

Tabela 5 – Estimativa do nível de dano e a média do número de plantas mortas aos 118 e 469 dias após o plantio (DAPL). Números entre parênteses indicam os valores percentuais médios em cada tratamento.

| Tratamento    | Nível de Dano |             | Mortalidade                |  |
|---------------|---------------|-------------|----------------------------|--|
|               | (Nota 0 a 4)  |             | (Número de Plantas Mortas) |  |
|               | DAPL          |             | DAPL                       |  |
|               | 118           | 118         | 469                        |  |
| CC-P+3+12     | 0,87 a        | 1,00 b (3%) | 5,67 a (16%)               |  |
| CC-P+12       | 1,03 a        | 1,67 a (5%) | 7,00 a (19%)               |  |
| CC-P+9        | 1,32 a        | 2,33 a (6%) | 8,00 a (22%)               |  |
| CL-P+12       | 0,19 b        | 0,00 b (0%) | 0,67 b (2%)                |  |
| CC-P          | 1,11 a        | 2,33 a (6%) | 7,00 a (19%)               |  |
| CL-P          | 0,46 b        | 0,33 b (1%) | 2,67 b (7%)                |  |
| CLi-P         | 0,52 b        | 0,00 b (0%) | 1,67 b (5%)                |  |
| CL-P150       | 0,39 b        | 1,00 b (3%) | 2,67 b (7%)                |  |
| LL-P          | 0,49 b        | 0,00 b (0%) | 3,67 b (10%)               |  |
| LL-P80        | 0,52 b        | 0,67 b (2%) | 1,67 b (5%)                |  |
| <b>CV (%)</b> | <b>33,8</b>   | <b>84,8</b> | <b>59,0</b>                |  |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; CV (%) – Coeficiente de variação.

#### 4.1.3 Crescimento aos 3 meses após o plantio

As fontes, épocas de aplicação e modos de distribuição dos fertilizantes influenciaram o crescimento das plantas de eucalipto aos 3 meses após o plantio. Houve diferença significativa na altura e em diâmetro do colo das plantas (Tabela 6). A aplicação na linha em dose única ou parcelada, independente do fertilizante utilizado, apresentou maior crescimento (tratamentos: CL-P; CL-P150; LL-P80; CL-P+12). No entanto, levando em consideração o efeito da aplicação de herbicida sobre as plantas de eucalipto (item 4.1.2), avaliando apenas os tratamentos que apresentaram menores níveis de danos (tratamentos: CL-P+12; CL-P; CLi-P; CL-P150; LL-P; LL-P80) é possível observar que entre os tratamentos não houve diferença significativa na altura e em diâmetro do colo das plantas (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores médios de altura e diâmetro do colo de *Eucalyptus benthamii* conduzido sob diferentes tratamentos de fertilização, aos 3 meses após o plantio.

| Tratamento    | Altura          |            | Diâmetro do colo |             |
|---------------|-----------------|------------|------------------|-------------|
|               | ----- (m) ----- |            | ----- (cm) ----- |             |
| CC-P+3+12     | 0,82            | b          | 1,24             | b           |
| CC-P+12       | 0,77            | b          | 1,20             | b           |
| CC-P+9        | 0,76            | b          | 1,18             | b           |
| CL-P+12       | 1,01            | a A        | 1,50             | a A         |
| CC-P          | 0,76            | b          | 1,18             | b           |
| CL-P          | 0,93            | a A        | 1,40             | a A         |
| CLi-P         | 0,83            | b A        | 1,28             | b A         |
| CL-P150       | 0,95            | a A        | 1,40             | a A         |
| LL-P          | 0,84            | b A        | 1,25             | b A         |
| LL-P80        | 0,90            | a A        | 1,43             | a A         |
| <b>CV (%)</b> | <b>8,2</b>      | <b>9,2</b> | <b>10,1</b>      | <b>11,8</b> |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação.

#### 4.1.4 Crescimento aos 15 meses após o plantio

Aos 15 meses após o plantio não foi significativa a diferença na altura das plantas. No entanto, houve diferença significativa no diâmetro à altura do peito (DAP). O uso de fertilizante convencional com aplicação na linha em dose única ou parcelada promoveu maior incremento no DAP (tratamentos: CL-P+12; CL-P; CL-P150) (Tabela 7). Resultado coerente com outros experimentos de fertilização de eucalipto (SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2013), cujo crescimento em altura não diferencia as fertilizações estudadas após o primeiro ano, sendo que a possível resposta ocorre apenas no diâmetro das plantas, posteriormente refletindo no volume de madeira produzido. Todavia, levando em consideração o efeito da aplicação de herbicida sobre as plantas de eucalipto (item 4.1.2), avaliando apenas os tratamentos que apresentaram menores níveis de danos (tratamentos: CL-P+12; CL-P; CLi-P;

CL-P150; LL-P; LL-P80) é possível observar que entre os tratamentos não houve diferença significativa na altura e DAP das plantas (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores médios de altura e diâmetro a altura do peito (DAP, a 1,30 m do solo) de *Eucalyptus benthamii* conduzido sob diferentes tratamentos de fertilização, aos 15 meses após o plantio.

| Tratamento    | Altura          |             | DAP              |            |
|---------------|-----------------|-------------|------------------|------------|
|               | ----- (m) ----- |             | ----- (cm) ----- |            |
| CC-P+3+12     | 5,52            | a           | 4,85             | b          |
| CC-P+12       | 5,76            | a           | 4,62             | b          |
| CC-P+9        | 5,70            | a           | 4,66             | b          |
| CL-P+12       | 6,57            | a A         | 5,52             | a A        |
| CC-P          | 5,31            | a           | 4,35             | b          |
| CL-P          | 5,70            | a A         | 5,41             | a A        |
| CLi-P         | 6,19            | a A         | 4,79             | b A        |
| CL-P150       | 6,14            | a A         | 5,54             | a A        |
| LL-P          | 5,62            | a A         | 5,03             | b A        |
| LL-P80        | 5,22            | a A         | 4,77             | b A        |
| <b>CV (%)</b> | <b>9,4</b>      | <b>10,8</b> | <b>7,8</b>       | <b>8,6</b> |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação.

O volume de madeira produzido apresentou o mesmo padrão de resposta observado no crescimento em diâmetro à altura do peito (DAP). O uso de fertilizante convencional com aplicação na linha em dose única ou parcelada (tratamentos: CL-P+12; CL-P; CL-P150) promoveu diferenças significativas no incremento volumétrico em relação aos demais tratamentos (Tabela 8). Porém, levando em consideração o efeito da aplicação de herbicida sobre as plantas de eucalipto (item 4.1.2), avaliando apenas os tratamentos que apresentaram menores níveis de danos (tratamentos: CL-P+12; CL-P; CLi-P; CL-P150; LL-P; LL-P80) é possível observar que não houve diferença significativa no volume de madeira produzido aos 15 meses após o plantio em resposta aos tratamentos de fertilização (Tabela 8).



Adubações com 150% da dose de NPK no plantio (CL-P150) não demonstraram ganhos em produtividade em relação aos demais tratamentos. A partir desse resultado, observa-se que a aplicação de quantidade de fertilizantes acima do recomendado, além de não representar ganhos em produtividade, aumenta os custos de produção. No mesmo sentido, a própria aplicação de uma quantidade de nutrientes levemente inferior ao recomendado, como testado com a aplicação na linha de 80% da dose recomendada (LL-P80) pode ser economicamente viável, pois não representou prejuízos ao desenvolvimento das plantas até a idade avaliada. Contudo, a menor dose pode resultar em falta de nutrientes em estágios mais avançados do desenvolvimento das plantas e, por isso, é importante continuar avaliando o experimento. A substituição do adubo convencional por fontes alternativas, como as de liberação lenta de nutrientes, não se mostrou viável, já que não houveram ganhos em produtividade. Além disso, ressalta-se que grande parte dos adubos de liberação lenta apresentam custo mais elevado, acarretando em perda de renda aos produtores.

Com relação aos modos de localização dos fertilizantes, não foram observadas diferenças entre a aplicação na linha ou a aplicação na linha intermitente. Apesar de serem resultados parciais, provenientes do estágio inicial de crescimento do eucalipto, a escolha entre uma forma de aplicação ou outra deve ser baseada no custo operacional, já que a resposta da planta é similar. Destaca-se, no entanto, que resultados mais concretos e confiáveis poderão ser obtidos apenas por meio de avaliações contínuas, realizadas especialmente até o final do ciclo da cultura. De maneira geral, apesar de representar um custo inicial normalmente mais elevado, espera-se bons resultados para a aplicação dos fertilizantes na linha intermitente, com localização dos nutrientes na projeção da copa, local este em que há maior concentração de raízes.

O volume médio de madeira produzido variou de 14,83 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no tratamento (LL-P80) a 22,98 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no tratamento (CL-P+12). Os resultados deste trabalho foram condizentes com o esperado para a silvicultura da região. Os trabalhos de pesquisa do Programa Cooperativo sobre Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídrico, Térmico e Bióticos (TECHS), em parceria com o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), e 26 empresas do setor florestal, demonstram resultados parciais de 18 clones diferentes do gênero *Eucalyptus*, distribuídos em 36 sítios experimentais no Brasil e Uruguai (STAPE et al., 2014). Considerando apenas os resultados do sítio experimental pertencente à empresa Klabin, denominado 23-KLO, o volume médio de madeira produzido pelo *Eucalyptus benthamii* foi de aproximadamente 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, avaliado também aos 15 meses de

idade, na mesma região deste estudo. Dessa forma, observa-se que as produtividades médias encontradas no presente estudo foram superiores às encontradas pelo projeto.

Tabela 8 – Volume de madeira produzido pelo *Eucalyptus benthamii* aos 15 meses após o plantio em função dos tratamentos de fertilização.

| Tratamento    | Volume   |             |
|---------------|--|-------------|
|               | ----- (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) ----- |             |
| CC-P+3+12     | 16,00  | b           |
| CC-P+12       | 15,10  | b           |
| CC-P+9        | 16,84  | b           |
| CL-P+12       | 22,98  | a A         |
| CC-P          | 13,23  | b           |
| CL-P          | 19,85  | a A         |
| CLi-P         | 17,61  | b A         |
| CL-P150       | 22,61  | a A         |
| LL-P          | 17,34  | b A         |
| LL-P80        | 14,83  | b A         |
| <b>CV (%)</b> | <b>19,6</b>                                    | <b>20,7</b> |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação.

#### 4.2 CONCENTRAÇÕES DOS NUTRIENTES NAS FOLHAS E NO SOLO

Não foram observadas diferenças nas concentrações foliares de N, P e Ca (APÊNDICE H) aos 15 meses após o plantio. A concentração de K nas folhas diferiu entre os tratamentos, sendo que o uso de fertilizante de liberação lenta com aplicação na linha de 80% da dose recomendada (LL-P80) resultou na maior concentração foliar (21,48 g kg<sup>-1</sup>). A concentração de Mg nas folhas também diferiu entre os tratamentos onde, em geral, a aplicação na linha em dose única ou parcelada, independente do fertilizante utilizado (tratamentos: CL-P+12; LL-P; LL-P80) provocou aumento nos teores foliares de Mg. No entanto, levando em consideração o efeito da aplicação de herbicida sobre as plantas de

eucalipto (item 4.1.2), avaliando apenas os tratamentos que apresentaram menores níveis de danos (tratamentos: CL-P+12; CL-P; CLi-P; CL-P150; LL-P; LL-P80), somente a concentração de K nas folhas diferiu entre os tratamentos, sendo que o uso de fertilizante de liberação lenta com aplicação na linha de 80% da dose recomendada (LL-P80) resultou na maior concentração foliar (21,48 g kg<sup>-1</sup>). Este resultado pode estar relacionado à concentração de K na solução do solo (item 4.4.4), onde em geral, quando utilizado o fertilizante de liberação lenta aplicado na linha, foram detectadas menores concentrações de K na solução do solo, favorecendo a absorção pelas plantas. Por outro lado, quando esse fertilizante foi aplicado em dose de 100% (tratamento LL-P), não foi observado esse efeito, o que coloca em dúvida a maior eficiência de absorção de K no tratamento LL-80.

Considerando as faixas de concentrações adequadas de nutrientes para as espécies de *Eucalyptus* cultivadas na região Sul do Brasil (CQFS-RS/SC, 2016) (N de 15,0 a 20,0 g kg<sup>-1</sup>; P de 1,0 a 1,3 g kg<sup>-1</sup>; K de 9,0 a 13,0 g kg<sup>-1</sup>; Ca de 6,0 a 10,0 g kg<sup>-1</sup> e Mg de 5,0 a 8,0 g kg<sup>-1</sup>) verifica-se que as concentrações foliares de N, P e K apresentam teores adequados no período avaliado. No entanto, Ca e Mg encontram-se com teores abaixo das concentrações adequadas, em todos os tratamentos de fertilização. Os baixos teores podem ser atribuídos à falta de reposição de Ca e de Mg por meio da calagem, já que a mesma não foi realizada no momento da implantação do experimento. Todavia, mesmo que as concentrações de Ca e Mg nas folhas estejam abaixo da faixa mencionada pela CQFS-RS/SC (2016), não é possível afirmar que a produtividade esteja sendo afetada, uma vez que as plantas estão apresentando crescimento compatível com a idade.

Os atributos químicos do solo avaliados aos 15 meses após o plantio, em resposta aos tratamentos de fertilização, estão apresentados no APÊNDICE I. Não houve diferença significativa nas variáveis químicas do solo: pH do solo em água (pH – H<sub>2</sub>O); teor de matéria orgânica (MO); teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), alumínio (Al); capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC); saturação por bases (V) e por alumínio (m). Apenas as variáveis pH pelo índice SMP (Índice SMP), teor de magnésio (Mg) e acidez potencial (H+Al) apresentaram diferenças significativas em função dos tratamentos.

Na interpretação dos resultados analíticos indicadores da acidez e fertilidade do solo, visando um enquadramento qualitativo nas faixas de disponibilidade segundo a CQFS-RS/SC (2016) observa-se que os teores de MO do solo variaram de 4,34% (tratamento LL-P) a 6,46% (tratamento CL-P150) enquadrando-se nas classes de disponibilidade “Médio” e “Alto”, respectivamente. A CTC enquadrou-se na classe de disponibilidade “Muito Alta”, onde os valores variaram de 43,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (tratamento CC-P+12) a 52,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (tratamento LL-

P80). Os teores de P no solo variaram de 10,97 mg dm<sup>-3</sup> (tratamento CC-P+9) a 87,79 mg dm<sup>-3</sup> (tratamento CC-P+12), sendo classificados como teores “Alto” e “Muito Alto”, respectivamente. Os teores de K no solo variaram de 93,33 mg dm<sup>-3</sup> (tratamento LL-P80) a 236,00 mg dm<sup>-3</sup> (tratamento CC-P+3+12), sendo classificados como teores “Médio” e “Muito Alto”, respectivamente. Os teores de Ca variaram de 0,40 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (tratamento LL-P80) a 1,57 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (tratamento CC-P+3+12) enquadrando-se na classe de disponibilidade “Baixo”. Os teores de Mg no solo variaram de 0,17 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (tratamento CL-P150) a 0,47 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (tratamento CC-P+9), também estando na classe de disponibilidade “Baixo”. A saturação por bases variou de 5,9% (tratamento CC-P+3+12) a 1,7% (tratamento LL-P80), indicando a necessidade de aplicação de calcário, visando o adequado suprimento de Ca e de Mg às plantas.

#### 4.3 ÍNDICE DE CLOROFILA FALKER (ICF)

O maior conteúdo relativo de clorofila nas folhas foi evidenciado em todos os tratamentos com aplicação na linha, em dose única ou parcelada, independente do fertilizante utilizado (tratamentos: CL-P+12; CL-P; CLi-P; CL-P150; LL-P e LL-P80) (Tabela 9). No entanto, levando em consideração o efeito da aplicação de herbicida sobre as plantas de eucalipto (item 4.1.2), avaliando apenas os tratamentos que apresentaram menores níveis de danos (tratamentos: CL-P+12; CL-P; CLi-P; CL-P150; LL-P; LL-P80) é possível observar que os teores de clorofila nas folhas não diferiram em resposta aos tratamentos de fertilização (Tabela 9). O conteúdo relativo de clorofila nas folhas é influenciado por diversos fatores bióticos e abióticos, estando diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética das plantas (TAIZ; ZIEGER, 2013). Dessa forma, torna-se importante sua quantificação em estudos relacionados ao manejo das plantas a fim de aumentar o potencial fotossintético e a produtividade das mesmas.

Tabela 9 – Índice de Clorofila Falker (ICF) em folhas de *Eucalyptus benthamii* aos 15 meses após o plantio.

| Tratamento    | ICF        |            |            |            |                        |            |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|------------|
|               | <i>a</i>   |            | <i>b</i>   |            | Total ( <i>a + b</i> ) |            |
| CC-P+3+12     | 46,50      | a          | 16,07      | b          | 62,57                  | b          |
| CC-P+12       | 46,57      | a          | 15,83      | b          | 62,37                  | b          |
| CC-P+9        | 46,53      | a          | 16,33      | b          | 62,87                  | b          |
| CL-P+12       | 47,90      | a A        | 17,50      | a A        | 65,40                  | a A        |
| CC-P          | 45,30      | a          | 15,13      | b          | 60,47                  | b          |
| CL-P          | 47,20      | a A        | 16,97      | a A        | 64,13                  | a A        |
| CLi-P         | 47,17      | a A        | 16,70      | a A        | 63,90                  | a A        |
| CL-P150       | 47,53      | a A        | 17,03      | a A        | 64,57                  | a A        |
| LL-P          | 47,37      | a A        | 17,17      | a A        | 64,53                  | a A        |
| LL-P80        | 47,57      | a A        | 17,17      | a A        | 64,77                  | a A        |
| <b>CV (%)</b> | <b>1,7</b> | <b>1,1</b> | <b>4,5</b> | <b>3,4</b> | <b>2,3</b>             | <b>1,6</b> |

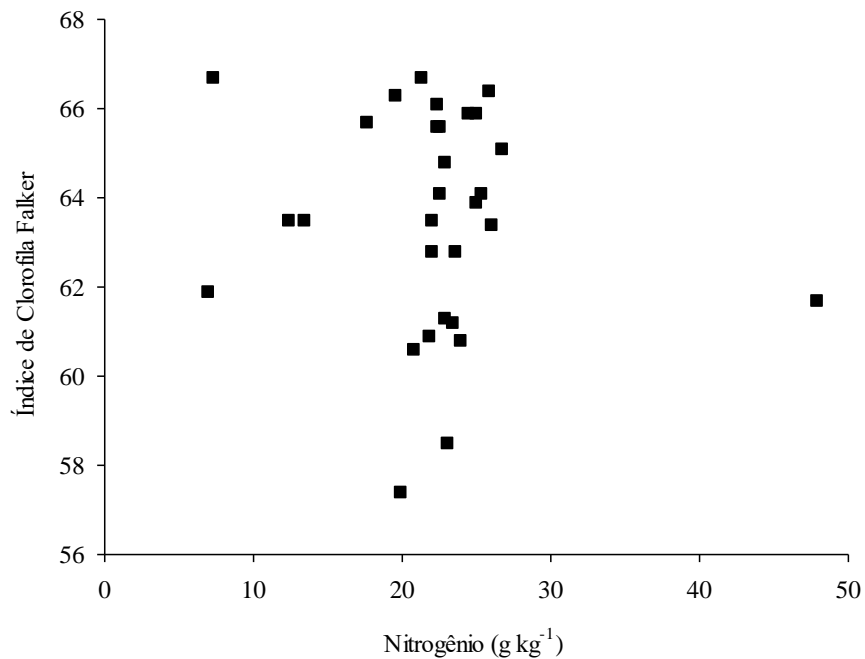
Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação.

Não houve correlação entre o conteúdo relativo de clorofila (ICF) e o teor de nitrogênio (N) foliar ( $P = 0,6008$ ) (Figura 1). Resultado semelhante foi observado em plantios de *Eucalyptus nitens* e *Eucalyptus globulus*, onde os autores evidenciaram correlação fraca entre clorofila e teor de N foliar, sendo que os teores de clorofila, também foram estimados por medidor portátil (PINKARD et al., 2006). Apesar desse resultado, frequentemente, a concentração de clorofila nas folhas correlaciona-se positivamente com a concentração foliar de N, uma vez que 70% do N contido nas folhas estão nos cloroplastos, os quais participam da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila, assim influenciando o desenvolvimento e a produção das culturas (GIL et al., 2002).

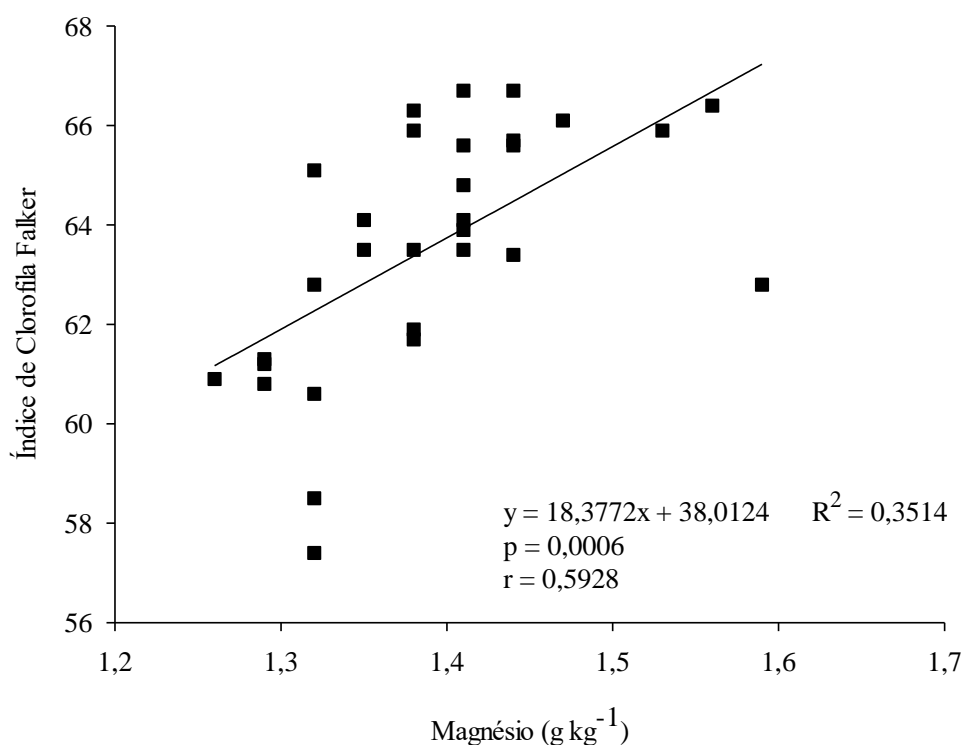
Figura 1 – Correlação de Pearson entre o teor de nitrogênio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e o índice de clorofila Falker (ICF) em *Eucalyptus benthamii* aos 15 meses após o plantio.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Houve correlação entre o conteúdo relativo de clorofila (ICF) e o teor de magnésio (Mg) foliar ( $P = 0,0006$ ) (Figura 2). Esse efeito pode estar relacionado ao fato do Mg fazer parte da clorofila, sendo configurado como o átomo central da molécula. Em estudo conduzido por Freitas et al. (2013), os autores também encontraram coeficientes de correlação linear significativos a 5% entre o conteúdo relativo de clorofila e o teor de Mg foliar, em plantas de arroz de terras altas, submetidas ao estresse por  $\text{Al}^{3+}$  e aplicação de Si, em solo com textura média argilosa.

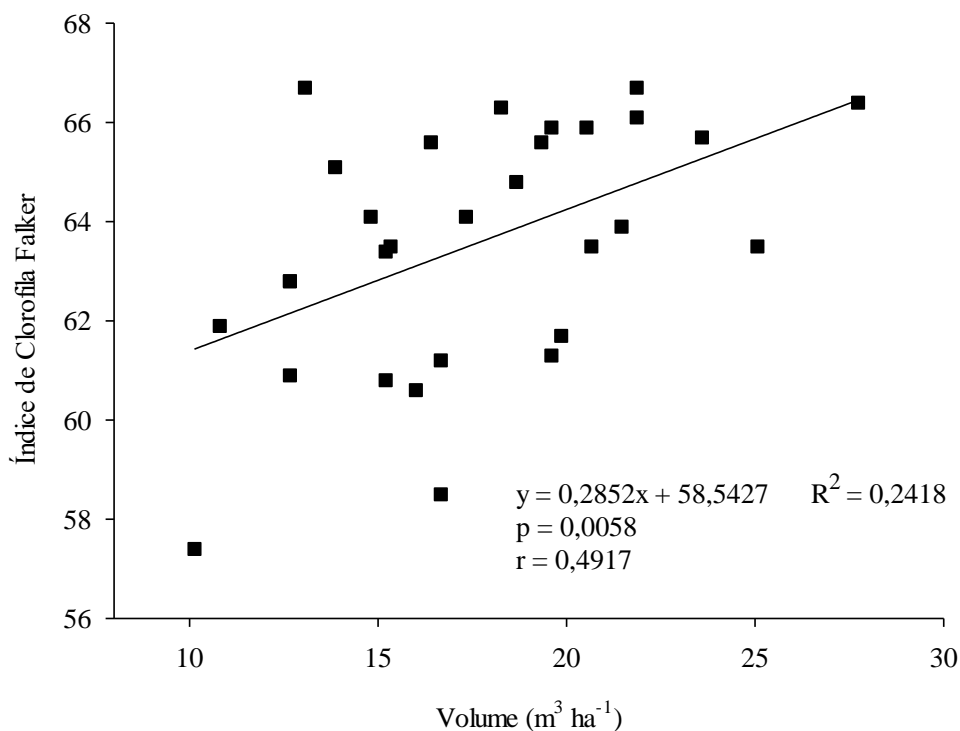
Figura 2 – Correlação de Pearson entre o teor de magnésio foliar ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e o índice de clorofila Falker (ICF) em *Eucalyptus benthamii* aos 15 meses após o plantio.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Também houve correlação entre o conteúdo relativo de clorofila (ICF) e o crescimento em volume de madeira produzido ( $P = 0,0058$ ) (Figura 3). Por esta razão, o conteúdo de clorofila nas folhas pode ser considerado como um dos fatores que estão ligados à eficiência fotossintética das plantas de eucalipto, e conseqüentemente com seu crescimento, produtividade e adaptabilidade a diferentes ambientes. Nogueira et al. (2013) evidenciaram que plantas com alta concentração de clorofila são capazes de atingir altas taxas fotossintéticas, sendo um fator de fundamental importância para o seu crescimento e um bom indicativo para avaliar a produtividade.

Figura 3 – Correlação de Pearson entre o crescimento volumétrico ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) e o índice de clorofila Falker (ICF) em *Eucalyptus benthamii* aos 15 meses após o plantio.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

#### 4.4 PARÂMETROS QUÍMICOS DA SOLUÇÃO DO SOLO

##### 4.4.1 pH e condutividade elétrica

Houve alteração do pH da solução do solo, em função dos tratamentos, nas coletas realizadas aos 98, 181 e 409 dias após o plantio (DAPL). Os maiores valores de pH foram observados nos tratamentos com adubação na cova, especialmente na coleta aos 98 DAPL. (Tabela 10). A aplicação do fertilizante fosfatado superfosfato triplo, de reação ácida no solo, de maneira localizada pode reduzir o pH do solo na adjacência do local de deposição dos grânulos de adubo (ERNANI et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2014). A diminuição do pH nas regiões fertilizadas pode ser atribuída ao uso de fertilizantes fosfatados acidificantes, como o superfosfato triplo (ERNANI et al., 2001), assim como pode ser atribuída a alguns adubos nitrogenados (MANTOVANI et al., 2007). Normalmente, o baixo pH não prejudica a produção de eucalipto, por ser uma espécie considerada tolerante à presença de Al nos solos ácidos (SILVA et al., 2004).



Tabela 10 – Valores de pH na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade, dias após o plantio (DAPL) de *Eucalyptus benthamii*.

| Tratamento    | DAPL                 |                      |                     |                      |                      |                       |
|---------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
|               | 15                   | 29                   | 98                  | 181                  | 310                  | 409                   |
| CC-P+3+12     | 6,19 <sup>(ns)</sup> | 5,37 <sup>(ns)</sup> | 4,38 a <sup>*</sup> | 4,64 ab <sup>*</sup> | -                    | -                     |
| CC-P+12       | 5,61                 | 3,39                 | 4,87 a              | 6,21 a               | 3,93 <sup>(ns)</sup> | 4,09 a <sup>(*)</sup> |
| CC-P+9        | 7,21                 | 5,42                 | 5,51 a              | 5,96 ab              | 4,06                 | 3,58 b                |
| CL-P+12       | 7,22                 | 3,96                 | 4,07 b              | 5,02 ab              | 4,32                 | 3,78 b                |
| CC-P          | -                    | -                    | -                   | -                    | -                    | -                     |
| CL-P          | 5,94                 | 3,92                 | 3,94 b              | 4,38 ab              | 4,21                 | 3,70 b                |
| CLi-P         | 5,74                 | 3,77                 | 3,82 b              | 4,30 b               | 3,76                 | 3,80 b                |
| CL-P150       | 5,40                 | 4,73                 | 3,91 b              | 4,35 ab              | 4,35                 | 3,87 a                |
| LL-P          | 6,42                 | 4,12                 | 3,85 b              | 4,43 ab              | 4,38                 | 3,68 b                |
| LL-P80        | 7,09                 | 5,49                 | 4,08 b              | 4,78 ab              | 4,24                 | 3,98 a                |
| <b>CV (%)</b> | <b>22,49</b>         | <b>21,94</b>         | <b>11,58</b>        | <b>10,42</b>         | <b>4,37</b>          | <b>3,37</b>           |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

DAPL – Dias após o plantio.

- Dados não estimados; \* Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Friedman, a 5% de probabilidade; (\*) Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; (ns) – não significativo estatisticamente; CV (%) – Coeficiente de variação.

Não houve influência dos tratamentos na condutividade elétrica (CE) da solução do solo (Tabela 11). Os baixos valores observados, apesar da aplicação de doses de fertilizantes, podem ser atribuídos, em parte, à alta CTC do solo que, neste estudo, foi de 42,1  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , em média. A alta CTC provoca maior retenção dos cátions aplicados, principalmente o K, diminuindo o efeito salino dos fertilizantes na solução do solo e evitando modificações bruscas na CE do solo.

Tabela 11 – Condutividade elétrica na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade, dias após o plantio (DAPL) de *Eucalyptus benthamii*.

| Tratamento    | DAPL (mS/cm)         |                      |                      |                      |                      |                      |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|               | 15                   | 29                   | 98                   | 181                  | 310                  | 409                  |
| CC-P+3+12     | 0,43 <sup>(ns)</sup> | 0,37 <sup>(ns)</sup> | 0,85 <sup>(ns)</sup> | 0,42 <sup>(ns)</sup> | -                    | -                    |
| CC-P+12       | 1,33                 | 2,66                 | 3,54                 | 0,60                 | 1,68 <sup>(ns)</sup> | 0,06 <sup>(ns)</sup> |
| CC-P+9        | 0,34                 | 0,25                 | 2,79                 | 0,09                 | 0,58                 | 0,14                 |
| CL-P+12       | 0,32                 | 0,45                 | 0,38                 | 0,16                 | 0,06                 | 0,04                 |
| CC-P          | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    | -                    |
| CL-P          | 0,74                 | 0,47                 | 0,64                 | 0,25                 | 0,11                 | 0,04                 |
| CLi-P         | 0,76                 | 0,73                 | 1,55                 | 0,21                 | 0,14                 | 0,05                 |
| CL-P150       | 0,94                 | 0,52                 | 0,41                 | 0,19                 | 0,08                 | 0,03                 |
| LL-P          | 0,78                 | 0,48                 | 1,27                 | 0,23                 | 0,08                 | 0,09                 |
| LL-P80        | 0,33                 | 0,20                 | 0,60                 | 0,15                 | 0,08                 | 0,04                 |
| <b>CV (%)</b> | <b>96,93</b>         | <b>48,90</b>         | <b>81,40</b>         | <b>81,76</b>         | <b>35,35</b>         | <b>61,81</b>         |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

DAPL – Dias após o plantio.

- Dados não estimados; <sup>(ns)</sup> – não significativo estatisticamente pelo teste de Friedman, a 5% de probabilidade; CV (%) – Coeficiente de variação.

#### 4.4.2 Nitrogênio na solução do solo

Não houve diferença na concentração de N amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) na solução do solo coletada aos 15, 29 e 181 DAPL. No entanto, houve diferença significativa aos 98, 310 e 409 DAPL. Aos 98 DAPL as concentrações variaram de 53,04 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CC-P+12 a 2,78 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CL-P. Aos 310 DAPL as concentrações variaram de 23,10 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CC-P+9 a 1,96 mg L<sup>-1</sup> no tratamento LL-P. Aos 409 DAPL as concentrações variaram de 2,07 mg L<sup>-1</sup> no tratamento LL-P80 a 0,90 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CC-P+12 (Tabela 12). Em geral, as concentrações de N amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) na solução do solo foram maiores quando a fertilização foi realizada na cova, de maneira mais localizada.

Tabela 12 – Concentração de N amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade, dias após o plantio (DAPL) de *Eucalyptus benthamii*.

| Tratamento    | DAPL (mg L <sup>-1</sup> ) |                      |                        |                       |                       |                       |
|---------------|----------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|               | 15                         | 29                   | 98                     | 181                   | 310                   | 409                   |
| CC-P+3+12     | 6,83 <sup>(ns)</sup>       | 6,14 <sup>(ns)</sup> | 42,12 a <sup>(*)</sup> | 11,96 <sup>(ns)</sup> | -                     | -                     |
| CC-P+12       | 17,54                      | 29,54                | 53,04 a                | 21,61                 | 6,91 a <sup>(*)</sup> | 0,90 d <sup>(*)</sup> |
| CC-P+9        | 10,41                      | 14,25                | 17,70a                 | 2,68                  | 23,10 a               | 1,60 b                |
| CL-P+12       | 7,24                       | 6,30                 | 4,00 b                 | 5,07                  | 3,21 b                | 1,06 d                |
| CC-P          | -                          | -                    | -                      | -                     | -                     | -                     |
| CL-P          | 26,45                      | 12,24                | 2,78 b                 | 5,37                  | 2,63 b                | 1,09 d                |
| CLi-P         | 17,60                      | 13,78                | 23,18 a                | 4,41                  | 2,03 b                | 1,54 b                |
| CL-P150       | 24,10                      | 21,44                | 3,43 b                 | 4,78                  | 2,52 b                | 1,34 c                |
| LL-P          | 34,07                      | 19,99                | 38,43 a                | 8,33                  | 1,96 b                | 1,72 b                |
| LL-P80        | 8,27                       | 8,89                 | 4,67 b                 | 3,89                  | 3,66 b                | 2,07 a                |
| <b>CV (%)</b> | <b>112,44</b>              | <b>73,50</b>         | <b>118,87</b>          | <b>112,98</b>         | <b>26,18</b>          | <b>8,50</b>           |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

DAPL – Dias após o plantio.

- Dados não estimados; <sup>(\*)</sup> Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; <sup>(ns)</sup> – não significativo estatisticamente; CV (%) – Coeficiente de variação.

Não houve diferença na concentração de N nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) na solução do solo coletada 15, 181 e 310 DAPL. Da mesma forma ao observado para a concentração de N amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), isso se deve principalmente à grande variabilidade constatada nos dados. No entanto, houveram diferenças significativas nas coletas realizadas aos 29, 98 e 409 DAPL. Aos 29 DAPL as concentrações variaram de 68,08 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CC-P+12 a 10,19 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CC-P+9. Aos 98 DAPL as concentrações variaram de 91,26 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CLi-P a 17,22 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CC-P+12. Aos 409 DAPL as concentrações variaram de 2,38 mg L<sup>-1</sup> no tratamento LL-P80 a 1,09 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CL-P+12 (Tabela 13). Em geral, os maiores valores ocorrem principalmente nos tratamentos onde foram aplicadas as maiores doses de N no plantio, de forma semelhante ao N amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), onde a aplicação foi realizada na cova.

Observa-se que os valores encontrados de N nítrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) aos 40 cm de profundidade podem ser considerados altos, conforme consta na Resolução CONAMA nº 420

de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, valores de concentração de N na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) acima de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  na água de consumo pode ser prejudicial a saúde humana. Na camada mais superficial do solo o aumento na concentração dos nutrientes na solução do solo gera uma maior disponibilidade para as plantas dos nutrientes aplicados. No entanto, o aumento rápido da concentração dos nutrientes na solução do solo em profundidade, gera o risco de ocorrer lixiviação, uma vez que após o plantio não existe sistema radicular em profundidade para absorção dos nutrientes.

Tabela 13 – Concentração de N nítrico ( $\text{N-NO}_3^-$ ) na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade, dias após o plantio (DAPL) de *Eucalyptus benthamii*.

| Tratamento    | DAPL ( $\text{mg L}^{-1}$ ) |                        |                        |                       |                        |                       |
|---------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|               | 15                          | 29                     | 98                     | 181                   | 310                    | 409                   |
| CC-P+3+12     | 22,12 <sup>(ns)</sup>       | 20,41 b <sup>(*)</sup> | 17,22 c <sup>(*)</sup> | 30,99 <sup>(ns)</sup> | -                      | -                     |
| CC-P+12       | 49,25                       | 68,08 a                | 47,39 b                | 20,42                 | 101,97 <sup>(ns)</sup> | 1,11 c <sup>(*)</sup> |
| CC-P+9        | 4,33                        | 10,19 b                | 23,36 c                | 6,44                  | 29,05                  | 1,54 b                |
| CL-P+12       | 19,64                       | 27,61 a                | 24,70 c                | 9,84                  | 5,05                   | 1,09 c                |
| CC-P          | -                           | -                      | -                      | -                     | -                      | -                     |
| CL-P          | 59,67                       | 26,43 a                | 46,37 b                | 15,83                 | 5,42                   | 1,49 b                |
| CLi-P         | 40,20                       | 37,88 a                | 91,26 a                | 13,42                 | 4,55                   | 2,23 a                |
| CL-P150       | 43,79                       | 28,62 a                | 28,58 c                | 12,08                 | 5,10                   | 1,67 b                |
| LL-P          | 12,24                       | 11,43 b                | 77,50 a                | 13,63                 | 3,41                   | 2,24 a                |
| LL-P80        | 13,23                       | 10,90 b                | 51,52 b                | 11,31                 | 6,29                   | 2,38 a                |
| <b>CV (%)</b> | <b>125,94</b>               | <b>69,78</b>           | <b>42,23</b>           | <b>71,72</b>          | <b>26,49</b>           | <b>13,09</b>          |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

DAPL – Dias após o plantio.

- Dados não estimados; <sup>(\*)</sup> Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; <sup>(ns)</sup> – não significativo estatisticamente; CV (%) – Coeficiente de variação.

#### 4.4.3 Concentração de fósforo (P) na solução do solo

Não houve diferença significativa na concentração de P na solução do solo coletada aos 15, 29, 98, 181 e 409 DAPL. No entanto, houve diferença significativa aos 310 DAPL, na

qual as concentrações de P na solução do solo variaram de 0,70 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CC-P+12 a 0,12 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CLi-P (Tabela 14). Apesar de todos os tratamentos de fertilização utilizados terem fornecido P, os valores observados deste nutriente na solução do solo foram baixos. Apenas uma pequena fração do P aplicado ao solo fica disponível na solução do solo, sendo grande parte aderido à superfície de compostos orgânicos e inorgânicos, principalmente por complexos de esfera interna (adsorção específica) (BORTOLUZZI et al., 2015) não sendo disponibilizado na solução do solo em quantidade suficiente para ser perdido em profundidade. Gatiboni et al. (2017) estudando cultivos florestais sobre Cambissolo Húmico, encontraram teores de P muito baixos em profundidade, demonstrando o reduzido risco de lixiviação desse elemento neste tipo de solo.

Tabela 14 – Concentração de P na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade, dias após o plantio (DAPL) de *Eucalyptus benthamii*.

| Tratamento    | DAPL (mg L <sup>-1</sup> ) |                      |                      |                      |             |                      |
|---------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|----------------------|
|               | 15                         | 29                   | 98                   | 181                  | 310         | 409                  |
| CC-P+3+12     | 0,02 <sup>(ns)</sup>       | 0,02 <sup>(ns)</sup> | 0,01 <sup>(ns)</sup> | 0,04 <sup>(ns)</sup> | -           | -                    |
| CC-P+12       | 0,03                       | 0,52                 | 0,53                 | 0,65                 | 0,70 a *    | 0,03 <sup>(ns)</sup> |
| CC-P+9        | 0,15                       | 0,01                 | 0,02                 | 0,06                 | 0,14 ab     | 0,00                 |
| CL-P+12       | 0,01                       | 0,02                 | 0,01                 | 0,05                 | 0,15 ab     | 0,03                 |
| CC-P          | -                          | -                    | -                    | -                    | -           | -                    |
| CL-P          | 0,03                       | 0,02                 | 0,01                 | 0,05                 | 0,15 ab     | 0,00                 |
| CLi-P         | 0,03                       | 0,04                 | 0,01                 | 0,05                 | 0,12 b      | 0,00                 |
| CL-P150       | 0,38                       | 0,08                 | 0,01                 | 0,06                 | 0,15 ab     | 0,00                 |
| LL-P          | 0,02                       | 0,02                 | 0,00                 | 0,05                 | 0,13 ab     | 0,00                 |
| LL-P80        | 0,01                       | 0,02                 | 0,00                 | 0,05                 | 0,14 ab     | 0,00                 |
| <b>CV (%)</b> | <b>255,40</b>              | <b>184,03</b>        | <b>266,32</b>        | <b>172,75</b>        | <b>9,55</b> | <b>102,05</b>        |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

DAPL – Dias após o plantio.

- Dados não estimados; \* Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Friedman, a 5% de probabilidade; <sup>(ns)</sup> – não significativo estatisticamente; CV (%) – Coeficiente de variação.

#### 4.4.4 Concentração de potássio (K) na solução do solo

Não houve diferença na concentração de K na solução do solo coletada aos 15, 29, 98 e 181 DAPL, mesmo com a aplicação dos diferentes tratamentos de fertilização (Tabela 15). No entanto, houve diferença significativa aos 310 e 409 DAPL. Aos 310 DAPL as concentrações de K na solução do solo variaram de 88,50 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CC-P+12 a 2,17 mg L<sup>-1</sup> no tratamento LL-P e aos 409 DAPL as concentrações variaram de 4,60 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CLi-P a 1,80 mg L<sup>-1</sup> no tratamento CL-P+12. O fertilizante convencional, quando aplicado na cova (CC-P+12) resultou em maiores concentrações de K, podendo ocorrer a lixiviação do elemento em profundidade no solo. Esse resultado já era esperado, uma vez que os extratores de solução do solo foram alocados próximos às covas. Entretanto, quando utilizado o fertilizante de liberação lenta aplicado na linha (LL-P), menores foram as concentrações de K em profundidade. Resultado coerente com outros experimentos de fertilização de eucalipto (SILVA et al., 2013; LACLAU et al., 2013; SILVA et al., 2015).

Tabela 15 – Concentração de K na solução do solo extraída a 40 cm de profundidade, dias após o plantio (DAPL) de *Eucalyptus benthamii*.

| Tratamento    | DAPL (mg L <sup>-1</sup> ) |                       |                       |                       |                        |                       |
|---------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
|               | 15                         | 29                    | 98                    | 181                   | 310                    | 409                   |
| CC-P+3+12     | 13,47 <sup>(ns)</sup>      | 13,17 <sup>(ns)</sup> | 42,40 <sup>(ns)</sup> | 21,93 <sup>(ns)</sup> | -                      | -                     |
| CC-P+12       | 36,08                      | 58,30                 | 68,19                 | 34,55                 | 88,50 a <sup>(*)</sup> | 3,90 a <sup>(*)</sup> |
| CC-P+9        | 12,73                      | 10,70                 | 6,70                  | 3,15                  | 70,20 a                | 2,67 b                |
| CL-P+12       | 5,77                       | 7,07                  | 12,10                 | 3,37                  | 2,90 b                 | 1,80 b                |
| CC-P          | -                          | -                     | -                     | -                     | -                      | -                     |
| CL-P          | 27,37                      | 16,50                 | 31,78                 | 8,50                  | 3,20 b                 | 2,10 b                |
| CLi-P         | 26,83                      | 12,87                 | 54,30                 | 11,80                 | 4,40 b                 | 4,60 a                |
| CL-P150       | 40,53                      | 29,37                 | 29,80                 | 15,35                 | 7,53 b                 | 1,97 b                |
| LL-P          | 20,97                      | 7,23                  | 46,57                 | 15,17                 | 2,17 b                 | 2,60 b                |
| LL-P80        | 11,70                      | 8,40                  | 20,78                 | 5,00                  | 2,60 b                 | 2,37 b                |
| <b>CV (%)</b> | <b>107,51</b>              | <b>151,47</b>         | <b>129,80</b>         | <b>134,92</b>         | <b>8,52</b>            | <b>38,43</b>          |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

DAPL – Dias após o plantio.

- Dados não estimados; (\*) Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; (ns) – não significativo estatisticamente; CV (%) – Coeficiente de variação.

De maneira geral, levando em consideração o efeito da aplicação de herbicida sobre as plantas de eucalipto em alguns tratamentos, percebe-se que o crescimento e a produtividade das plantas não diferiram em resposta aos tratamentos de fertilização. Dessa forma, todos os tratamentos poderiam ser recomendados para o estabelecimento de plantios de eucalipto na região de estudo. No entanto, em plantações comerciais a aplicação de fertilizantes é generalizada e requer a adoção de critérios para definição de fontes, épocas e modos de localização dos fertilizantes em relação à planta. Apesar do menor custo operacional, a aplicação de todo o fertilizante no plantio pode trazer prejuízos ao estabelecimento das plantas, como observado pela maior mortalidade de mudas. Contudo, uma opção interessante sob o ponto de vista econômico e que não afeta o estabelecimento das mudas é o parcelamento da adubação em duas épocas. Neste sentido, a redução do número de aplicações de fertilizantes, de três (manejo tradicional) para duas não afetou o estabelecimento das mudas e tampouco o crescimento das plantas, podendo ser considerada com uma prática viável a ser adotada em cultivos florestais comerciais. Em relação à escolha das fontes de fertilizante a serem utilizadas, a substituição das fontes convencionais por de liberação lenta/controlada pode trazer alguns benefícios ao solo (como observado com a redução do K em solução do solo). Contudo não foi observado qualquer benefício no estabelecimento e crescimento das plantas de eucalipto. Desta forma, o uso de fontes alternativas de fertilizantes para o cultivo de eucalipto deve ser adotado apenas sob condições onde estes apresentem custo efetivo final similar ou inferior aos fertilizantes convencionais.





## 5 CONCLUSÕES

A aplicação da adubação NPK em dose única no plantio, independentemente do modo de aplicação, eleva a mortalidade de plantas.

As diferentes fontes, épocas de aplicação e modos de localização dos fertilizantes não influenciaram o crescimento e a produtividade das plantas de eucalipto.

O parcelamento da adubação NPK em duas aplicações de 50% da dose recomendada ao invés de três aplicações é uma alternativa para a redução da mão-de-obra necessária nesta operação, sem prejuízo no estabelecimento do eucalipto.

A aplicação de 80% da adubação NPK no plantio, na forma de fertilizante de liberação lenta, reduz a mortalidade de mudas de eucalipto.



## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BARROS, N. F. et al. NUTRICALC 2.0 - Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque**, v. 16, n.1, p. 129-131, 1995.

BAZANI, J. H. et al. Nutrição fosfatada em plantações de eucalipto. **Informações Agronômicas**, v. 148, n. 11, p. 1-11, 2014.

BERNAL, J. et al. Development and validation of a liquid chromatography–fluorescence–mass spectrometry method to measure glyphosate and aminomethylphosphonic acid in rat plasma. **Journal of Chromatography B**, v. 878, n. 31, p. 3290-3296, 2010.

BORTOLUZZI, E. C. et al. Occurrence of iron and aluminum sesquioxides and their implications for the P sorption in subtropical soils. **Applied Clay Science**, v. 104, p. 196-204, 2015.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v. 26, p. 211-252, 1964.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 376-449.

CIVARDI, E. A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n.1, p. 52-59, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de Calagem e Adução para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. 11. ed. Porto Alegre, 2016. 376 p.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2009. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n.249, 7 dez. Seção 1, p.81-84.

DALL'ORSOLETTA, D. J. et al. Urea coated with poultry litter as an option in the control of nitrogen losses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 6, p. 398-403, 2017.

DIAS, L. P. R. **Fósforo e boro na adubação de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em solos do Planalto Sul Catarinense**. 2016. 158 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 129-141.

DRUMOND, M. A.; OLIVEIRA, V. R.; RIBASKI, J. **Eucalipto no Semi árido Brasileiro**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2016. 42 p. (Documentos, 297)

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 939-946, 2001.

ERNANI, P. R.; DIAS, J.; FLORE, J. A. Annual additions of potassium to the soil increased apple yield in Brazil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 33, n. 7-8, p. 1291-1304, 2002.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 551-589.

FAN, X. et al. Fertilization with a new type of coated urea: evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 5, p. 853-865, 2004.

FAGERIA, N. K. Nutrição e adubação potássica do arroz no Brasil. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. POTÁSSIO NA AGRICULTURA – SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. **Anais**. Londrina: Fundação IAPAR, 1982. p. 421-436.

FLORIANI, M. M. P.; STEFFENS, C. A.; CHAVES, D. M. Rustificação de plantas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e a relação entre as concentrações de carboidratos solúveis totais e de prolina foliar e a tolerância ao frio. **Revista Árvore**, v. 35, p. 21-29, 2011.

FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S. C. M. Índice de clorofila em plantas de arroz de terras altas submetidas a estresse por alumínio e aplicação de silício. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 2, n.2, p. 229-241, 2013.

GIL, P. T. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

GATIBONI, L. C. et al. Phosphorus fractions in soil after successive crops of *Pinus taeda* L. without fertilization. **Ciência Rural**, v. 47, n. 7, 2017.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Adubação para Eucalyptus, Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica. 1. ed. Piracicaba: ESALQ, 1995. 15 p. (Documentos Florestais, 15)

GONÇALVES, J. L. M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 6-27, 2013.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório 2017**. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em: 16 de janeiro de 2018.

LACLAU, J. P. et al. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 243, 2013.

MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n.3, p. 271-279, 2014.

MANTOVANI, A.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L. Adição de superfosfato triplo e a percolação de nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 887-895, 2007.

MERINO, A. et al. Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. **Annals of Forest Science**, v. 60, n. 6, p. 509-517, 2003.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Anal Chem Acta, Oxford**, v. 27, n. 1, p. 31-36, 1962.

NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, 2013.

NOGUEIRA, N. O. et al. Teor de nitrogênio, clorofila e relação clorofila-carotenoide em café arábica em solo submetido a diferentes corretivos de acidez. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 390-395, 2013.

OLIVEIRA, J. P. M. et al. Alterações químicas e avaliação de P disponível na região adjacente aos grânulos de superfosfato triplo e diamônio fosfato em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1526-1536, 2014.

PINKARD, E. A. Physiological and growth responses related to pattern and severity of green pruning in young *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 182, n. 1, p. 231-245, 2003.

PINKARD, E. A.; PATEL, V.; MOHAMMED, C. Chlorophyll and nitrogen determination for plantation-grown *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* using a non-destructive meter. **Forest Ecology and Management**, v. 223, n. 1-3, p. 211-217, 2006.

PRYOR, L. D.; WILLIAMS, E. R.; GUNN, B. V. A morphometric analysis of *Eucalyptus urophylla* and related taxa with descriptions of two new species. **Australian Systematic Botany**, v. 8, n. 1, p. 57-70, 1995.

RIZZARDI, M. A. et al. Ação de herbicidas sobre mecanismos de defesa das plantas aos patógenos. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, 2003.

RODDRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina: Ed. Dos Autores, 2011. 697 p.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Transferência de tecnologia florestal: cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Florestas, 2014. 138 p.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, L. D. T. et al. Crescimento do eucalipto sobre efeito da deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 133-137, 2007c.

- SANTOS, L. D. T. et al. Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito da deriva do glyphosate. **Cerne**, v. 13, n. 4, p. 347-352, 2007b.
- SANTOS, L. D. T. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005.
- SANTOS, L. D. T. et al. Glyphosate reduces urediniospore development and *Puccinia psidii* disease severity on *Eucalyptus grandis*. **Pest management science**, v. 67, n. 7, p. 876-880, 2011.
- SANTOS, L. D. T. et al. Intoxicação de espécies de eucalipto submetidas à deriva do glyphosate. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 359-364, 2006a.
- SANTOS, L. D. T. et al. Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 521-526, 2006b.
- SANTOS, L. D. T. et al. Leaf anatomy and morphometry in three eucalypt clones treated with glyphosate. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 1, p. 129-136, 2009.
- SANTOS, L. D. T. et al. Morphological responses of different eucalypt clones submitted to glyphosate drift. **Environmental and experimental botany**, v. 59, n. 1, p. 11-20, 2007a.
- SILVA, I. R. et al. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. **Tree physiology**, v. 24, n. 11, p. 1267-1277, 2004.
- SILVA, P. H. M. et al. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 845-854, 2008.
- SILVA, P. H. M. et al. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, v. 301, p. 67-78, 2013.
- SILVA, P. H. M. et al. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 473-481, 2015.

SILVEIRA, R. L. V. A.; GAVA, J. L. Nutrição e Adubação Fosfatada em Eucalyptus. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 495-530.

SMETHURST, P. J. Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. **Plant and Soil**, v. 335, n. 1-2, p. 83-100, 2010.

SMETHURST, P. J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1, p. 397-411, 2000.

STAFANATO, J. B. et al. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 726-732, 2013.

STAPE, J. L. et al. Fatores hídricos e as decisões de silvicultura, de melhoramento e de proteção na eucaliptocultura. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., 2014, Campinas. **Anais**. Curitiba: Embrapa Florestas, 2014. p. 81-98.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. UFRGS/FA/DS, 1995.

TIBURCIO, R. A. S. et al. Crescimento de mudas de clones de eucalipto submetidos à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 65-73, 2012

VIEIRA, M. et al. Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 3, p. 432-439, 2015.

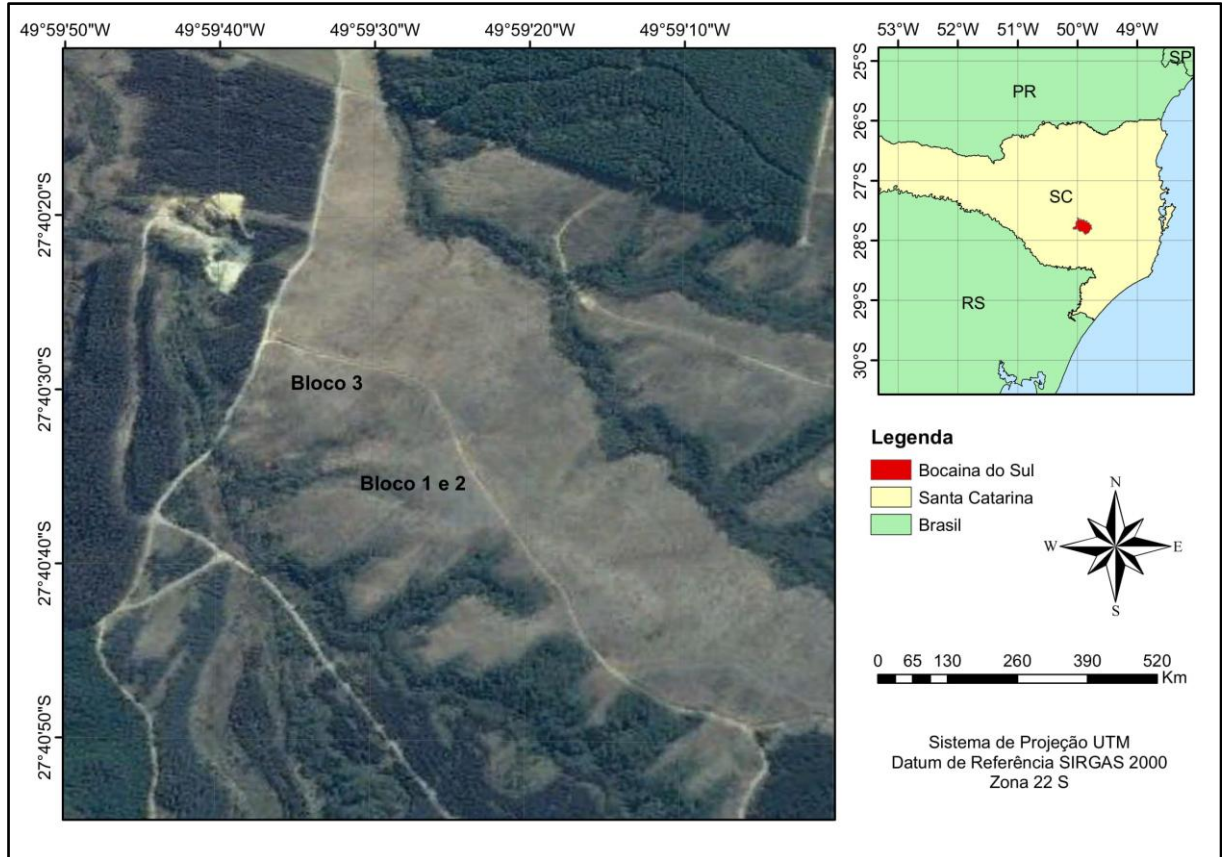
VIEIRA, M.; FERNÁNDEZ, F. R.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. Nutritional Prescriptions for Eucalyptus Plantations: Lessons Learned from Spain. **Forests**, v. 7, n. 4, p. 84, 2016.

VIVIAN, M. A. **Aumento da eficiência do processo kraft de polpação a partir de pré-tratamento de cavacos de madeira de eucalipto**. 2015. 125 f. Tese (Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.



## APÊNDICES

APÊNDICE A – Localização da área de estudo na Fazenda Guarujá, município de Bocaina do Sul, no Planalto Sul Catarinense.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

APÊNDICE B – Temperatura média mensal do ar e precipitação mensal média durante o período de condução do experimento (de dezembro/2016 a março/2018). Estação meteorológica de Lages, SC (1583/INMET) (Epagri/Ciram).

| <b>Mês/Ano</b> | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Precipitação (mm)</b> |
|----------------|-------------------------|--------------------------|
| Dezembro/2016  | 19,2                    | 155,0                    |
| Janeiro/2017   | 20,8                    | 114,6                    |
| Fevereiro/2017 | 21,3                    | 98,6                     |
| Março/2017     | 18,8                    | 86,6                     |
| Abril/2017     | 15,8                    | 86,4                     |
| Mai/2017       | 14,7                    | 355,6                    |
| Junho/2017     | 12,2                    | 247,2                    |
| Julho/2017     | 11,9                    | 14,2                     |
| Agosto/2017    | 13,2                    | 117,4                    |
| Setembro/2017  | 17,6                    | 51,2                     |
| Outubro/2017   | 16,4                    | 130,0                    |
| Novembro/2017  | 17,1                    | 172,6                    |
| Dezembro/2017  | 19,9                    | 159,4                    |
| Janeiro/2018   | 19,7                    | 191,8                    |
| Fevereiro/2018 | 19,0                    | 65,8                     |
| Março/2018     | 19,6                    | 149,8                    |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

APÊNDICE C – Volume de madeira produzido pelo *Eucalyptus benthamii* aos 3 meses após o plantio em função dos tratamentos de fertilização.

| Tratamento    | Volume   |
|---------------|--|
|               | ----- (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) ----- |
| CC-P+3+12     | 0,07 a   |
| CC-P+12       | 0,06 a   |
| CC-P+9        | 0,07 a   |
| CL-P+12       | 0,09 a A                                       |
| CC-P          | 0,06 a   |
| CL-P          | 0,09 a A                                       |
| CLi-P         | 0,06 a A                                       |
| CL-P150       | 0,08 a A                                       |
| LL-P          | 0,07 a A                                       |
| LL-P80        | 0,09 a A                                       |
| <b>CV (%)</b> | <b>22,0 23,7</b>                               |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação.

APÊNDICE D – Média da altura dominante (m) e do volume acumulado por área ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) de *Eucalyptus benthamii* conduzido sob diferentes tratamentos de fertilização, aos 3 meses após o plantio.

| Tratamento    | Altura dominante |            | Volume acumulado                            |             |
|---------------|------------------|------------|---|-------------|
|               | ----- (m) -----  |            | ----- ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) ----- |             |
| CC-P+3+12     | 1,23             | a          | 0,07  | a           |
| CC-P+12       | 1,17             | a          | 0,06  | a           |
| CC-P+9        | 1,27             | a          | 0,06  | a           |
| CL-P+12       | 1,30             | a A        | 0,10  | a A         |
| CC-P          | 1,17             | a          | 0,06  | a           |
| CL-P          | 1,30             | a A        | 0,09  | a A         |
| CLi-P         | 1,20             | a A        | 0,07  | a A         |
| CL-P150       | 1,20             | a A        | 0,08  | a A         |
| LL-P          | 1,17             | a A        | 0,07  | a A         |
| LL-P80        | 1,27             | a A        | 0,08  | a A         |
| <b>CV (%)</b> | <b>7,7</b>       | <b>9,0</b> | <b>22,7</b>                                 | <b>26,4</b> |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação.

APÊNDICE E – Média da altura dominante (m) e do volume acumulado por área ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) de *Eucalyptus benthamii* conduzido sob diferentes tratamentos de fertilização, aos 15 meses após o plantio.

| Tratamento    | Altura dominante |  | Volume acumulado                            |  |
|---------------|------------------|--|---|--|
|               | ----- (m) -----  |  | ----- ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) ----- |  |
| CC-P+3+12     | 6,87 a           |  | 13,50 b                                     |  |
| CC-P+12       | 6,80 a           |  | 12,14 b                                     |  |
| CC-P+9        | 7,30 a           |  | 12,92 b                                     |  |
| CL-P+12       | 7,70 a A         |  | 22,47 a A                                   |  |
| CC-P          | 6,33 a           |  | 10,59 b                                     |  |
| CL-P          | 6,70 a A         |  | 18,44 a A                                   |  |
| CLi-P         | 7,50 a A         |  | 16,75 b A                                   |  |
| CL-P150       | 7,23 a A         |  | 21,00 a A                                   |  |
| LL-P          | 6,57 a A         |  | 15,82 b A                                   |  |
| LL-P80        | 6,57 a A         |  | 14,18 b A                                   |  |
| <b>CV (%)</b> | <b>9,3 10,1</b>  |  | <b>21,2 23,6</b>                            |  |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação.

APÊNDICE F – Avaliação nutricional das plantas de eucalipto: a) coleta de amostras de solo; b) e coleta de folhas.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.



APÊNDICE G – Estimativa da concentração de nutrientes na solução do solo: a) extrator de solução instalado ao lado da planta; b) representação da inclinação utilizada para instalação; c) coleta de solução do solo após aplicação de vácuo no interior do extrator.



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

APÊNDICE H – Teores de macronutrientes em folhas de *Eucalyptus benthamii* submetido a diferentes tratamentos de fertilização, aos 15 meses após o plantio.

| Tratamento    | N                                 |             | P           |             | K          |            | Ca         |            | Mg         |            |
|---------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|               | ----- (g kg <sup>-1</sup> ) ----- |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| CC-P+3+12     | 25,00                             | a           | 1,51        | a           | 16,39      | b          | 1,49       | a          | 1,33       | b          |
| CC-P+12       | 21,61                             | a           | 1,45        | a           | 15,69      | b          | 1,45       | a          | 1,33       | b          |
| CC-P+9        | 28,73                             | a           | 1,37        | a           | 15,48      | b          | 1,40       | a          | 1,40       | b          |
| CL-P+12       | 25,23                             | a A         | 1,42        | a A         | 16,29      | b B        | 1,67       | a A        | 1,50       | a A        |
| CC-P          | 22,25                             | a           | 1,24        | a           | 16,88      | b          | 1,36       | a          | 1,31       | b          |
| CL-P          | 21,96                             | a A         | 1,41        | a A         | 18,52      | b B        | 1,80       | a A        | 1,37       | b A        |
| CLi-P         | 21,61                             | a A         | 1,37        | a A         | 17,36      | b B        | 1,58       | a A        | 1,36       | b A        |
| CL-P150       | 14,20                             | a A         | 1,36        | a A         | 18,06      | b B        | 1,56       | a A        | 1,39       | b A        |
| LL-P          | 17,24                             | a A         | 1,33        | a A         | 16,66      | b B        | 1,59       | a A        | 1,43       | a A        |
| LL-P80        | 22,02                             | a A         | 1,47        | a A         | 21,48      | a A        | 1,51       | a A        | 1,48       | a A        |
| <b>CV (%)</b> | <b>31,8</b>                       | <b>25,9</b> | <b>10,1</b> | <b>11,3</b> | <b>7,8</b> | <b>7,3</b> | <b>9,5</b> | <b>9,8</b> | <b>4,0</b> | <b>4,7</b> |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

CC – Fertilizante convencional aplicado na cova; CL – Fertilizante convencional aplicado na linha; CLi – Fertilizante convencional aplicado na linha intermitente; LL – Fertilizante de liberação lenta aplicado na linha; P – Adubação realizada no plantio; 3; 9; 12 – Épocas de aplicação (3, 9 e 12 meses); P150 – 150% da dose recomendada aplicada no plantio; P80 – 80% da dose recomendada aplicada no plantio.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação.



APÊNDICE I – Atributos químicos do solo em resposta aos tratamentos de fertilização em *Eucalyptus benthamii* aos 15 meses após o plantio.

| Tratamento    | pH               | Índice     | MO          | N                   | P                   | K           | Ca                                 | Mg          | Al         | H+Al       | CTC        | V           | m          |
|---------------|------------------|------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
|               | H <sub>2</sub> O | SMP        | (%)         | mg kg <sup>-1</sup> | mg dm <sup>-3</sup> |             | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |             |            |            |            | (%)         |            |
| CC-P+3+12     | 3,95 a           | 4,04 a     | 6,30 a      | 36,87 a             | 84,65 a             | 236,00 a    | 1,57 a                             | 0,43 a      | 7,33 a     | 41,8 b     | 44,4 a     | 5,9 a       | 73,8 a     |
| CC-P+12       | 3,94 a           | 4,03 a     | 5,81 a      | 18,20 a             | 87,79 a             | 155,33 a    | 1,13 a                             | 0,33 a      | 8,27 a     | 42,0 b     | 43,9 a     | 4,2 a       | 82,4 a     |
| CC-P+9        | 3,89 a           | 3,87 b     | 6,17 a      | 27,88 a             | 10,97 a             | 146,00 a    | 0,83 a                             | 0,47 a      | 8,93 a     | 50,6 a     | 52,2 a     | 3,2 a       | 84,4 a     |
| CL-P+12       | 4,05 aA          | 3,95 aA    | 5,03 aA     | 18,55 aA            | 54,40 aA            | 136,00 aA   | 0,73 aA                            | 0,23 bA     | 7,80 aA    | 46,5 bA    | 47,9 aA    | 2,8 aA      | 85,4 aA    |
| CC-P          | 3,97 a           | 4,02 a     | 5,25 a      | 21,12 a             | 20,71 a             | 176,67 a    | 0,87 a                             | 0,40 a      | 8,10 a     | 42,6 b     | 44,2 a     | 3,9 a       | 82,6 a     |
| CL-P          | 4,01 aA          | 3,87 bA    | 5,30 aA     | 18,08 aA            | 44,38 aA            | 148,00 aA   | 0,87 aA                            | 0,27 bA     | 8,97 aA    | 50,2 aA    | 51,7 aA    | 2,8 aA      | 86,2 aA    |
| CLi-P         | 4,04 aA          | 3,95 aA    | 5,21 aA     | 16,68 aA            | 50,22 aA            | 158,00 aA   | 0,80 aA                            | 0,23 bA     | 8,43 aA    | 46,1 bA    | 47,5 aA    | 2,9 aA      | 85,8 aA    |
| CL-P150       | 3,85 aA          | 3,98 aA    | 6,46 aA     | 20,18 aA            | 45,16 aA            | 184,67 aA   | 0,77 aA                            | 0,17 bA     | 8,00 aA    | 44,6 bA    | 46,0 aA    | 3,1 aA      | 84,8 aA    |
| LL-P          | 4,04 aA          | 3,86 bA    | 4,34 aA     | 15,63 aA            | 24,16 aA            | 133,33 aA   | 0,57 aA                            | 0,27 bA     | 9,20 aA    | 51,2 aA    | 52,3 aA    | 2,1 aA      | 89,6 aA    |
| LL-P80        | 4,09 aA          | 3,85 bA    | 4,84 aA     | 15,17 aA            | 27,64 aA            | 93,33 aA    | 0,40 aA                            | 0,20 bA     | 9,03 aA    | 51,8 aA    | 52,6 aA    | 1,7 aA      | 91,2 aA    |
| <b>CV (%)</b> | <b>2,4</b>       | <b>2,0</b> | <b>14,8</b> | <b>17,3</b>         | <b>50,9</b>         | <b>22,6</b> | <b>45,9</b>                        | <b>43,7</b> | <b>9,9</b> | <b>9,1</b> | <b>8,9</b> | <b>36,5</b> | <b>5,0</b> |

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

pH – pH do solo em água; Índice SMP – pH pelo índice SMP; MO – teor de matéria orgânica expresso em %; N – teor de nitrogênio mineral expresso em mg kg<sup>-1</sup>; P e K – teores de fósforo e potássio disponíveis expressos em mg dm<sup>-3</sup>; Ca, Mg e Al – teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis expressos em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al – acidez potencial expressa em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC – capacidade de troca de cátions a pH 7,0 expressa em cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V – saturação por bases, valores expressos em %; m – saturação por alumínio, valores expressos em %.

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas colunas diferem entre si e comparam todos os tratamentos pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; Médias seguidas de letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, considerando apenas os tratamentos com menores níveis de danos pela aplicação de herbicida; CV (%) – Coeficiente de variação refere-se à comparação apenas dos tratamentos com aplicação de fertilizante na linha.