



FERNANDA LEITE CUNHA

**USO DOS ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA NA PRODUÇÃO
DE MUDAS E PLANTIO DE EUCALIPTO**

LAVRAS - MG

2020

FERNANDA LEITE CUNHA

**USO DOS ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA NA PRODUÇÃO DE MUDAS E
PLANTIO DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada na Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Nelson Venturin

LAVRAS-MG

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cunha, Fernanda Leite.

Uso de adubos de liberação lenta na produção de mudas e
plantio de eucalipto / Fernanda Leite Cunha. - 2020.

89 p.

Orientador(a): Nelson Venturin.

Coorientador(a): Lucas Amaral de Melo, Erick Martins Nieri.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Nutrição. 2. Fertilização Controlada. 3. Plantios florestais. I.
Venturin, Nelson. II. Melo, Lucas Amaral de. III. Nieri, Erick
Martins. IV. Título.

FERNANDA LEITE CUNHA

**USO DOS ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA NA PRODUÇÃO DE MUDAS E
PLANTIO DE EUCALIPTO**

**USE OF SLOW RELEASE FERTILIZERS IN THE PRODUCTION OF
EUCALYPTUS SEEDLINGS AND PLANTING**

Dissertação apresentada na Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Silvicultura, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA EM 31 DE JANEIRO DE 2020.

Dr. Nelson Venturin - UFLA

Dr. Lucas Amaral de Melo - UFLA

Dra. Diana Suzete Nunes da Silva - UFLA

Dr. Régis Pereira Venturin - EPAMIG

Prof. Dr. Nelson Venturin
Orientador
Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Coorientador
Prof. Dr. Erick Martins Nieri
Coorientador

LAVRAS – MG

2020

*Aos meus pais, Liziane e Marcelo,
Pelo amor incondicional e por serem minha inspiração para um futuro melhor.*

AGRADECIMENTOS

Foram dois longos anos, com muitos desafios, mas sou muito grata por tudo que passei nessa jornada. Hoje parece que foi tudo tão simples e rápido, mas com muita fé e persistência foi possível superar todos os obstáculos. E é claro, não seria possível chegar até aqui sem ajuda, e é com muita satisfação que venho demonstrar meu sentimento de gratidão.

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida, e por ter me dado força e proteção.

Aos meus pais, pelo o amor incondicional, e a base de tudo que venho construindo ao longo desses anos. Minha mãe, por ser minha melhor amiga, meu exemplo de vida, por me ensinar que não existem barreiras que não possam ser quebradas, e lugares que não possam ser ocupados por nós mulheres. Ao meu pai, por sempre me mostrar amor e esperança quando tudo parece estar perdido.

Aos meus irmãos, Filipi e Thiago, por nunca deixarem de acreditar em mim, por serem meus melhores amigos, gratidão por todas as energias positivas emanadas. A todos meus familiares, pelas orações e carinho. Em especial, aos meus tios Gê e Meire, e a minha prima Vanessa, por serem meu amparo em Lavras.

Ao João, por tornar tudo tão fácil, e me receber sempre de sorriso aberto e alma leve. Gratidão por confiar em mim e acreditar no meu potencial, tornando-se indispensável nesta jornada.

Ao meu orientador Nelson Venturin, por todos os conselhos, amizade e sabedoria, obrigada por ter me guiado nestes anos tão intensos. Aos meus coorientadores Lucas Amaral e Erick Nieri, pela amizade, aos ensinamentos, a dedicação e auxílio nos trabalhos. Vocês foram fundamentais para que tudo pudesse ser conquistado.

Aos meus orientados de graduação Paloma, Vinicius, Manuela, Grazyela e Stela, obrigada pelo auxílio na coleta de dados, mesmo quando as tarefas foram árduas, e obrigada pelo incentivo para a realização dos trabalhos.

Aos amigos da graduação e pós-graduação, ao Laboratório de Silvicultura, e ao NES, por todos os valorosos momentos de convivência, conselhos e amizades cultivadas. Em especial, ao Erick, Rodolfo, Celina, Anatoly e Mariana, vocês tornaram os dias mais leves e as dificuldades menos intensas.

Às minhas amigas, que caminham comigo desde a minha chegada na UFLA, ainda na graduação, obrigada por me guiarem até aqui, e por todos os momentos felizes e de apoio uma com as outras.

Agradeço a todos os professores, funcionários e alunos que de alguma forma contribuíram para este trabalho, em especial ao Professor Thales e ao Evandro, pelo auxílio no processamento de dados.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo. À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFLA pela oportunidade de realização deste curso. E à empresa Produquímica, pelo financiamento do trabalho.

Enfim, gratidão a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

Os adubos de liberação lenta (ALL) encontram-se em desenvolvimento mundial, com alto grau de tecnologia empregada, capazes de liberar os nutrientes, por um tempo determinado para planta. O uso dos ALL no setor florestal, ainda é incipiente, devido a carência e a baixa oferta de fertilizantes com formulações compatíveis para espécies florestais. Neste contexto, recentemente surgiu uma nova tecnologia de revestimento de adubos de liberação lenta, com formulações compatíveis para produção de mudas e plantios florestais. Dessa forma, objetivou-se com as pesquisas realizadas testar a eficiência e doses adequadas do fertilizante formulado encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, em detrimento de fertilizantes comumente utilizados, na fase de produção de mudas, em viveiro, e em plantio de eucalipto. Na fase de produção de mudas, o experimento foi conduzido em 180 dias, e foi disposto em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em fatorial 2 x 5, em que o primeiro fator representa dois adubos de liberação lenta testados, ALL1 (encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis) e ALL2 (revestido por polímeros orgânicos composto por uma resina alquídica). O segundo fator, representa as cinco doses testadas (0, 2, 4, 6, 8 kg m⁻³). Ambos os adubos demonstraram eficiência para serem utilizados, devido ao crescimento satisfatório, dentro das recomendações para expedição de mudas, no entanto o ALL2 apresentou crescimento superior das mudas em relação ao ALL1. Além disso, foi recomendado o uso da dose de 4 kg m⁻³ de substrato para ambos os adubos. Para os testes do uso de ALL em plantio de eucalipto, foram realizados dois experimentos, um em vaso e outro em campo. Para o plantio em vaso, o experimento foi conduzido por 120 dias, e foi disposto em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 6x3, seis doses de adubação de base (AB) (0, 50, 75, 100, 125% de fósforo) de ALL e 100% para fósforo, de superfosfato simples (SPS), e três aplicações de adubação de cobertura (AC) (0, 1 e 2 parcelas de KCl e NH₄NH₃, estas aplicadas aos 30 e 60 dias após o plantio, conforme tratamento). As doses de fósforo, potássio e nitrogênio foram baseadas na recomendação de adubação em vasos de 300, 100 e 100 mg dm⁻³. Para o plantio em campo, o experimento foi conduzido em dez meses, e foi disposto em blocos casualizados completos (DBCC), no esquema fatorial 5 x 2. Cinco doses de AB (0, 18, 27 e 36 g de P₂O₅ planta⁻¹) aplicados via ALL e 27 g de P₂O₅ planta⁻¹, aplicados via SPS e duas aplicações de AC (0 e 80 g via adubo formulado 20:00:20, aos oito meses. Para ambos os trabalhos, constatou-se maior crescimento das plantas com o uso do ALL, em detrimento do fertilizante SPS comumente utilizado na atividade para adubação de base. Para esses experimentos foram recomendadas as doses já comumente indicadas para plantio em vaso e plantio em campo (300 mg dm⁻³ e 27 g de P₂O₅ planta⁻¹, aplicadas via ALL, respectivamente), no entanto, com a redução da necessidade de adubação de cobertura. Assim, o uso desta tecnologia de fertilizantes aumentou a qualidade das mudas de eucalipto produzidas, promovendo o aumento do seu crescimento nos plantios de eucalipto.

PALAVRAS CHAVE: Nutrição Florestal. Fertilização controlada. Plantios florestais

GENERAL ABSTRACT

Slow release fertilizers (SRF) are under development worldwide, with a high degree of technology employed, capable of releasing nutrients over time to the plant. The use of SRF in the forest sector, is still incipient due to the lack and low supply of fertilizers with compatible formulations for forest species. In this context, recently, a new slow release fertilizer technology has emerged, with compatible formulations for seedling production and forest plantation. Thus, the objective of this work was to test the quality and adequate doses of the formulated fertilizer encapsulated with elemental sulfur and coated by non-water soluble organic polymers, in the seedling production phase, in nursery, and in eucalyptus plantations. For seedling production, the experiment was conducted in 180 days, and was arranged in randomized isolated design, in a 2 x 5 factorial design, where the first factor represents two tested slow-release fertilizers, SRF1 (encapsulated with elemental sulfur and coated with non-water-soluble organic polymers) and SRF2 (coated with organic polymers composed of an alkyd resin). The second factor, represents five tested doses (0, 2, 4, 6, 8 kg m⁻³). Both fertilizers tested showed efficiency for use, due to the satisfactory growth, within the recommendations for seedling dispatch. However SRF2 showed superior growth of seedlings in relation to SRF1, being recommended the use of 4 kg m⁻³ of substrate for both fertilizers. To test the use of SRF in eucalyptus planting, two experiments were carried out, one in pot and one in field. For planting in pot, was conducted in 120 days, and the experiment was arranged in a randomized block design in a 6x3 factorial scheme, where the first factor corresponds to six doses of BF, (0, 50, 75, 100, 125% phosphorus) of ALL and 100% phosphorus of superphosphate simple (SPS). The second factor corresponds to three applications of CF (0, 1 and 2 parcels of KCl and NH₄NH₃, these applied at 30 and 60 days after planting, according to treatment). Phosphorus, potassium and nitrogen doses were based on the recommendation of fertilization in pots of 300, 100 and 100 mg dm⁻³, respectively. For field planting, the experiment was conducted in ten months, and was arranged in a complete randomized block design, in a 5 x 2 factorial design (five doses of BF (0, 18, 27 and 36 g of P₂O₅ plant⁻¹) applied via RSF and 27 g of P₂O₅ plant⁻¹, applied via simple superphosphate (SPS) and two applications of CF (0 and 80 g of formulated fertilizer 20:00:20, at eight months). For both, it was found higher growth of plants with its use, in detriment of the fertilizer commonly used in the activity for basic fertilization (super phosphates). For these experiments, the doses already recommended for pot planting and field planting were maintained (300 mg dm⁻³ and 27 g of P₂O₅ plant⁻¹, applied via ALL, respectively), however, the need for top cover was reduced. Thus, the use of this technology of fertilizers increased the quality of eucalyptus seedlings, promoting higher growth in plantations.

Keywords: Nutrition. Controlled fertilization. Forest plantations.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Eucalipto.	9
2.2 Adubos de liberação lenta ou controlada	10
2.3 Adubos de liberação lenta do tipo Físico Revestido	12
2.4 Aplicabilidade dos adubos de liberação lenta	15
2.5 Adubação de liberação lenta ou controlada na produção de mudas	16
2.6 Considerações Gerais	20
REFERENCIAS	21
CAPITULO 2 QUALIDADE E LIXIVIAÇÃO DE ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Eucalyptus grandis</i>	28
1 Introdução.....	30
2 Metodologia	31
3 Resultados	34
4 Discussão	38
5 Conclusão	41
6 Agradecimentos	41
REFERÊNCIAS	42
CAPITULO 3 USO DE ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE EUCALIPTO	46
1 Introdução.....	48
2 Material e Métodos.....	49
3 Resultados	53
4 Discussão	57
5 Conclusão	61
REFERÊNCIAS	63
CAPITULO 4 ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA EM PLANTIOS DE EUCALIPTO SOBRE LATOSSOLO VERMELHO	66
1 Introdução.....	68
2. Material e métodos	69
3 Resultado.....	69
4 Discussão	79
5 Conclusão	82
6 Agradecimentos	83
REFERÊNCIAS	84

CAPITULO 1

1 INTRODUÇÃO

O desmatamento subtropical tem contribuído substancialmente para o aumento do gás carbônico atmosférico nos últimos anos (ZARIN, 2012), o que tem contribuído significativamente com as preocupações acerca das mudanças climáticas mundiais (BONAN 2008; FENG et al., 2013; GRISCOM et al., 2017). A mitigação climática baseada em florestas surgiu como um componente chave do recente Acordo Climático de Paris (GRASSI et al., 2017), no qual os países presentes se comprometeram em recuperar 82% da área localizada em regiões tropicais (CHAZDON et al., 2017; HOLL, 2017).

O uso de fertilizantes na agricultura apresenta um papel fundamental neste cenário das mudanças climáticas, visto que sua utilização permite maior produtividade por área e, conseqüentemente, redução da supressão de áreas com florestas nativas. Assim, pode-se estabelecer a manutenção das florestas nativas do mundo, as quais são importantes fontes de estoque de armazenamento de carbono (MACEDO et al., 2012; VITOUSEK et al., 2009).

Uma das tecnologias em desenvolvimento mundial são os adubos de liberação lenta (ALL), os quais contemplam os principais desafios da indústria de fertilizantes (NAZ; SULAIMAN, 2016). Este adubo, é uma tecnologia promissora que tem ocupado espaço no mercado mundial, com taxa de crescimento de 6,5%, entre 2014 e 2019 (FU et al., 2018).

Segundo Yamamoto et al. (2016) e Trenkel (2010), esses adubos liberam os nutrientes ao longo do tempo, visando sincronizar a liberação com a demanda da planta pelo nutriente, com o intuito de reduzir a perda deste para o ambiente. A utilização deste fertilizante promove benefícios, como a redução de gastos com mão de obra, menor perda de nutrientes por lixiviação e nitrogênio por volatilização da amônia, menor dano na semente ou nas plântulas pela salinidade do meio de cultivo, além de manter um sincronismo de liberação dos nutrientes com as necessidades de crescimento e desenvolvimento das plantas (GUO et al., 2016).

Além disso, o aumento da eficiência de absorção dos nutrientes com a utilização destes adubos, favorece o aumento do crescimento das espécies de interesse em detrimento das plantas invasoras, o que do ponto de vista silvicultural, é essencial, para reduzir as necessidades de capina e acelerar o fechamento de copa (YAMAMOTO et al., 2016).

Conforme Silva et al (2015), o uso de ALL em plantios de híbridos de eucalipto promove a redução da necessidade de adubações de cobertura. Este benefício possibilita a redução dos custos de manutenção dos plantios, os quais são concentrados nos primeiros anos do plantio

(BRANCALION et al., 2017). De acordo com Zheng et al. (2016), a utilização de ALL aumentou a produtividade da cultura do milho, e reduziu as doses de adubação, o que consequentemente aumentou o lucro líquido da fazenda.

Perante as vantagens de utilização dos adubos de liberação lenta, diversos estudos têm sido realizados para a obtenção e aprimoramento de novas tecnologias, com a liberação dos nutrientes de forma mais eficiente e com o objetivo de obter formulações que atendam a demanda nutricional de diversas culturas (CHAWAKITCHAREON et al., 2016; CHEN et al., 2018).

No entanto, o uso dos adubos de liberação lenta para as espécies florestais ainda é incipiente, devido à escassez de informações sobre sua eficiência e manejo adequados a serem utilizados desta nova fonte de adubo (SILVA et al., 2015). Dessa forma, de maneira geral, objetivou-se nesse trabalho avaliar a eficiência e as doses adequadas de adubos de liberação lenta, encapsulados com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis na fase de produção de mudas e no plantio de eucalipto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Eucalipto

O gênero *Eucalyptus* sp. possui mais de 600 espécies, pertencente à família das mirtáceas. Sua origem é natural da Austrália, Tasmânia e ilhas da Oceania. Classificado como cultura perene, seu ciclo de produção é de aproximadamente oito anos, o qual foi adaptado ao clima tropical. Seu desenvolvimento e adaptação se expandiu por toda América do Sul, desde então vêm se destacando por sua ampla diversidade de espécies e finalidades produtivas (MARRA et al., 2012).

As plantações de espécies do gênero *Eucalyptus* no Brasil ocupam cerca de 5,67 milhões de hectares. Essa significativa área visa suprir a demanda da indústria brasileira de base florestal, com forte tendência de expansão para o atendimento dos mercados nacional e internacional (IBÁ, 2019). O eucalipto tem sido uma das espécies mais plantadas e utilizadas em programas de melhoramento genético, devido a qualidade de sua madeira para produção de madeira serrada, papel, celulose e carvão vegetal (TUNG et al., 2010).

Normalmente os povoamentos florestais de eucalipto, são implantados em solos de baixa produtividade, aqueles com melhores características físicas e químicas são destinados para culturas agrícolas (SILVEIRA et al., 2001; CAMARGO et al., 2004). De acordo com Camargo et al. (2004), em decorrência da condição natural de baixa fertilidade desses solos, a

utilização de fertilizantes e de outros insumos são práticas obrigatórias, e segundo Bazani et al. (2016) a fertilização é responsável por ganhos entre 30 e 50% na produção de madeira. Os desequilíbrios nutricionais provocados pelo não fornecimento ou fornecimento inadequado de nutrientes inibem o crescimento das plantas e contribuem para o aparecimento de pragas e doenças (SILVEIRA; HIGASHI, 2003).

Dessa forma inúmeros estudos relacionados aos requerimentos nutricionais, assim como as doses e fontes adequadas de fertilizantes para o gênero já foram realizados (BAZANI et al., 2016; DA ROS et al., 2016; SILVA et al., 2015, SILVA et al., 2013). No entanto com o avanço das pesquisas em melhoramento genético, e de novas tecnologias de fertilizantes mais eficazes, torna-se necessário a realização de novos estudos e delimitação de doses mais adequadas para plantios de eucalipto (DIAS, 2016; NI et al., 2013; PEREIRA et al., 2017; TRENKEL, 2010; LARCHER, 2000).

2.2 Adubos de liberação lenta ou controlada

Os adubos de liberação lenta ou controlada são considerados uma tecnologia promissora que tem ocupado o mercado mundial, com taxa de crescimento de 6,5%, entre 2014 à 2019 (FU et al., 2018). De acordo com o Strategic Report (2017), as principais regiões consumidoras desses fertilizantes são a Europa, Ásia-Pacífico, América do Norte, Oriente Médio e África e América Latina.

Os ALL são capazes de retardar ou prolongar a sua disponibilidade para a planta após a aplicação, devido a diversos mecanismos que visam sincronizar a liberação com a demanda da planta pelo nutriente, diminuindo as perdas nutricionais no ambiente (SHAVIV et al., 2003; TRENKEL, 2010). O papel deste fertilizante é liberar nutrientes para o solo por um período de tempo determinado, porém superior que o fertilizante tradicional, de modo que a disponibilidade de nutrientes para absorção pelas plantas seja substancialmente prolongada (YAMAMOTO et al., 2016).

O Comitê Europeu de Normalização (CEN) para fertilizantes de liberação lenta (*Slow Release Fertilizer*) propôs que um fertilizante para ser descrito como liberação lenta deve atender pelo menos três critérios, a uma temperatura de 25°C: 1) não ocorrer mais que 15% de liberação do nutriente em 24 horas; 2) não ocorrer mais que 75% da liberação do nutriente em 28 dias; 3) no mínimo 75% do nutriente liberado no tempo deverá estar de acordo com o declarado pela empresa (TRENKEL, 2010).

Os ALL podem ser classificados em três tipos: físico, químico ou composto (FU et al., 2018). Os físicos, podem ser classificados como aqueles que usam matriz ou revestimento, uma vez que os fertilizantes revestidos possuem uma ou mais camadas de material inerte na superfície das partículas de fertilizante, formando um filme compacto de baixa permeabilidade (TRENKEL, 2010). As diferentes propriedades da estrutura da membrana atingem diferentes efeitos de liberação lenta (GUELFY, 2017).

Os fertilizantes do tipo físico matricial é considerado uma nova fonte de obtenção e de baixo custo para produção de ALL, e consiste principalmente de ureia ou fertilizante formulado baseado em matrizes de diversos materiais, como bentonite, polímeros orgânicos e o de vidro (TRINCHERA et al. 2010; NI et al., 2013; FU et al., 2018). Os nutrientes do adubo são liberados pela dissolução ou degradação de seus próprios materiais. O período de liberação do nutriente é mais curto que os adubos revestidos, porém tem custo menor e não interfere na qualidade da produtividade em campo (NI et al., 2013).

O ALL do tipo químico apresenta como característica a liberação dos nutrientes por ações químicas, inibindo a dissolução de fertilizantes ou a transformação de nutrientes (FU et al., 2018). Segundo o mesmo autor, esta classificação pode ser dividida em duas categorias: 1) fertilizantes quimicamente ligados, em que a combinação de seus componentes é dada por ligação covalente ou iônica, produzindo compostos levemente solúveis ou insolúveis em água; 2) fertilizantes quimicamente inibidos, que liberam o nutriente por adição de inibidores. O efeito desse tipo de ALL é superior ao do tipo físico, mas o custo de produção é relativamente alto (WANG et al., 2012).

Os ALL do tipo composto são preparados por uma combinação abrangente de métodos físicos ou químicos, ou a mistura dos dois. Segundo Gabrielson et al. (2017), a combinação entre os métodos químicos e físicos, podem melhorar significativamente o controle da liberação dos nutrientes no tempo, principalmente para aqueles com fonte de Nitrogênio, em que há alta perda do nutriente no ambiente. Estudos desta composição também foram explorados por Frame et al. (2012) e Li et al. (2011).

Dentre os três tipos de ALL, os adubos do tipo físico, revestidos, abrangem cerca de 95% dos ALL, além de serem considerados como o método mais adequado para o fornecimento consistente de nitrogênio às plantas e para a redução dos efeitos de perda e contaminação (NAZ; SULAIMAN, 2016). Além disso, segundo, o custo de produção destes tipos de adubos é inferior aos demais (FU et al., 2018).

2.3 Adubos de liberação lenta do tipo físico revestido

Os adubos de liberação lenta que possuem revestimento apresentam padrão e a taxa de liberação do nutriente conhecidos e podem ser controlados em seu processo de fabricação. Estes são influenciados pela qualidade e espessura do revestimento, temperatura, umidade do solo e pela quantidade de chuvas e ou irrigações que ocorrem no local de aplicação (GUELFY, 2017; SHAVIV, 2003; MOTA, 2013).

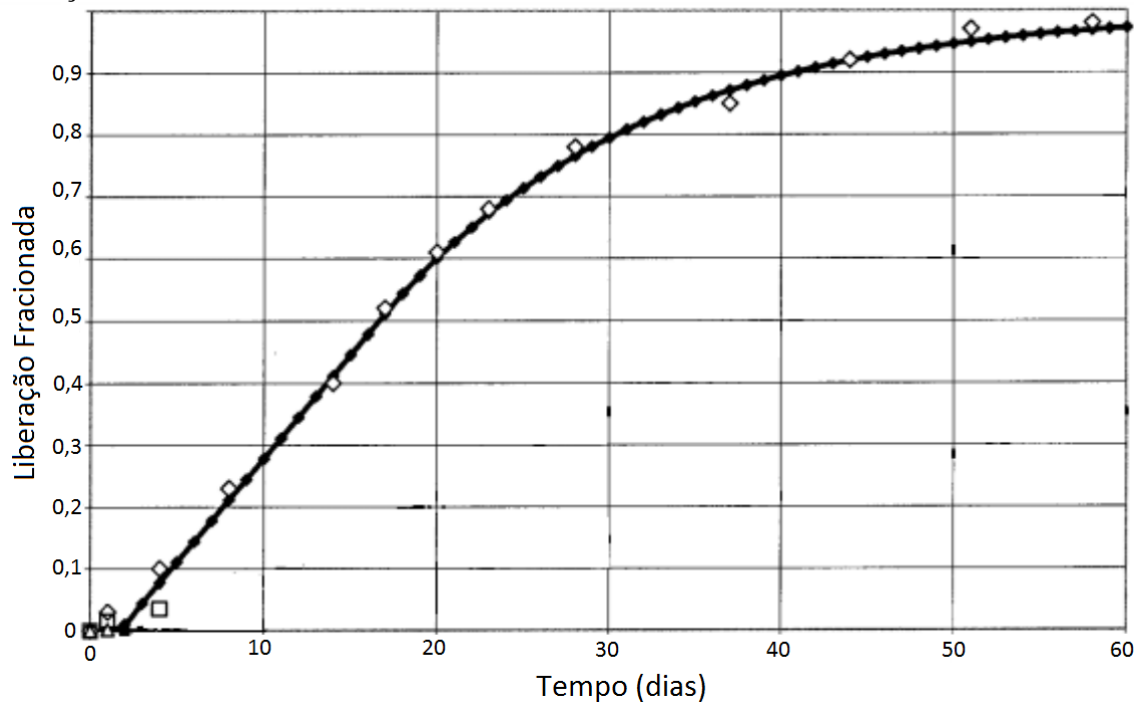
O recobrimento ou encapsulamento desses fertilizantes pode ser realizado com polímeros inorgânicos, orgânicos ou sintéticos. Essas substâncias são derivadas de poliamidas, enxofre elementar (FERREIRA, 2012; MEHMOOD et al., 2019), micronutrientes como cobre e boro, ácidos húmicos ou carvão oxidado (GUIMARÃES, 2011; PAIVA et al., 2012) ou outros aditivos.

O enxofre, a cera e os polímeros são tipos de revestimentos dos grânulos de fertilizante. (RIBEIRO, 2015). As ceras geralmente são utilizadas como um aditivo ou um agente de aderência para fazer boas propriedades de vedação (ZHANG et al., 2005). Para isso, segundo Landels (1994) esta cera é fundida e posteriormente arrefecida abaixo do seu ponto de fusão. As fontes mais utilizadas são a parafina, derivadas de petróleo ou de minerais sintéticos.

Já os fertilizantes revestidos por polímeros representam os mais avançados tecnicamente, ao passo que estes não dependem das características do meio como atividade microbiana, potencial redox, força iônica da solução do solo. Porém, dependem da temperatura, umidade e permeabilidade do revestimento. Estes fertilizantes incluem um núcleo de fertilizante solúvel em água e uma ou mais camadas de polímeros (TRENKEL, 2010).

A disponibilização dos nutrientes, normalmente segue em três fases, por um modelo sigmoidal (Figura 1) ocorrendo em um primeiro momento, liberação lenta, seguido por uma fase de liberação mais rápida e posteriormente com liberação total dos nutrientes (SHAVIV et al., 2003; IFAN et al., 2017). Esse padrão pode ser o adequado para atender à demanda das plantas, de forma a aumentar a eficiência de uso dos nutrientes (TRENKEL, 2010).

Figura 1: Fases de liberação dos nutrientes ao longo do tempo em adubos revestidos de liberação lenta.



Fonte: Adaptado de Shaviv et al. (2003).

Na primeira etapa do processo ocorre uma liberação de forma mais lenta dos nutrientes, sendo esta dada pela absorção de umidade pelo grânulo, principalmente em forma de vapor, o qual é condensado, no núcleo do grânulo, dissolvendo uma pequena porção dos nutrientes (SHAVIV et al., 2003). A força motriz para este processo é o vapor gradiente de pressão por meio do revestimento. O volume para o vapor condensado é limitado aos vazios dentro do núcleo sólido e aqueles entre o núcleo e o revestimento, induzindo um acúmulo de pressão interna. Ainda nesta fase, pode ocorrer o mecanismo de falha, em que a pressão interna pode exceder a resistência da membrana e o revestimento é rompido, liberando todo o nutriente de uma só vez. O mecanismo de falha está associado a fragilidade de revestimentos não elásticos (SHAVIV, 2000).

Os autores Du et al. (2006) explicam que o atraso na liberação inicial do fertilizante revestido, na primeira etapa, possivelmente é devido à necessidade do preenchimento de água nos espaços porosos internos do grânulo. Quando esse estágio é atingido, sem que a membrana se rompa, inicia-se a etapa dois, de liberação contínua dos nutrientes para o meio, a qual é impulsionada por um potencial de concentração gerado ou pelo fluxo de massa por um gradiente de pressão, denominado de Mecanismo de Difusão (SHAVIV et al., 2003). Segundo Mariano et al. (2011), a liberação dos nutrientes nessa etapa é dependente da solubilidade, difusividade

e permeabilidade dos nutrientes por meio da película do polímero ou composto que reveste o grânulo, assim como as interações com a temperatura, o tipo do meio sobre o qual é aplicado o fertilizante e a umidade do mesmo.

Já a terceira etapa, é conhecida como queda de liberação dos nutrientes, devido à baixa concentração da solução interna, provocada pelos contínuos fluxos concomitantes de liberação de nutrientes e fluxo de água no grânulo. Essa etapa termina com o esgotamento dos nutrientes contidos no adubo (SHAVIV et al., 2003).

Segundo Viapiana (2014), para uma correta utilização dos ALL, é necessário conhecer as exigências nutricionais da cultura de interesse e as condições ambientais do local para sua implantação, de forma que não ocorra incompatibilidade entre o tempo de liberação de nutrientes pelos fertilizantes e a demanda nutricional da planta, visando evitar perdas de crescimento e mortalidade de mudas. Entretanto, o autor ainda afirma que uma vantagem de utilizar esses fertilizantes está associada com a melhoria nas características físicas dos grânulos revestidos. De acordo com Salman (1989), que realizou avaliações físicas na ureia convencional e recoberta com polímeros, constataram que a última apresentou melhores características para armazenagem e manipulação no momento da aplicação no solo.

No mercado, encontra-se algumas fontes de ureia revestida e formulações de adubos de liberação lenta, no entanto, estas formulações são destinadas apenas para culturas agrícolas, como o café, soja e milho, as quais são culturas tradicionais no agronegócio que possuem um histórico de estudo e investimento maior que as demais. Recentemente uma nova tecnologia de adubos de liberação lenta, encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, se encontra no mercado com formulações compatíveis aos plantios florestais, destinado a adubação de base e para a adubação de cobertura (Tabela 1).

Tabela 1: Diferentes formulações de adubos de liberação lenta destinada a adubação de plantio e de cobertura em povoamentos florestais.

Composição	Adubação de base				Adubação de Cobertura	
	07:26:14	09:30:10	09:36:07	11:22:11	20:00:20	15:00:30
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Nitrogênio (N)	7	9	9	11	20	15
Fósforo (P ₂ O ₅)	26	30	36	22	5	-
Potássio (K ₂ O)	14	10	7	11	20	30
Enxofre (S)	8,58	7,34	1,69	13,61	12,29	4,38
Boro (B)	0,56	0,51	0,44	0,3	0,35	1,06
Cobre (Cu)	0,48	0,44	0,44	0,3	0,3	-
Zinco (Zn)	0,48	0,44	0,44	0,3	0,3	-

Fonte: Da Autora (2020).

Apesar dos esforços de produção de tecnologias de adubos de liberação lenta, serem compatíveis com a produção florestal, as informações acerca da qualidade, manejo adequado nos plantios e o seu efeito no crescimento das plantas ainda são desconhecidos (SILVA et al., 2015). No entanto, alguns estudos têm sido desenvolvidos, em plantios florestais, como forma de otimizar a produção das espécies de interesse.

2.4 Aplicabilidade dos adubos de liberação lenta

Os adubos de liberação lenta são consumidos em atividades de paisagismo, adubação de gramados e campos de golfe, sendo estas atividades mais voltadas para o setor urbano e pouco para o setor agrícola (STRATEGIC REPORT, 2017). A utilização de ALL em telhados verdes, jardins públicos e particulares proporciona a melhora na qualidade da água escoada pelo sistema, uma vez que a lixiviação de nutrientes é reduzida (CLARK; ZHENG, 2014; WARNER et al., 2018).

A viabilidade da utilização dos ALL foi verificada por Zheng et al. (2016), que em plantios de milho na China, constataram aumento de produtividade da cultura, utilizando menores doses de fertilizante, o que consequentemente aumentou o lucro líquido da fazenda. Pereira et al. (2017), demonstrou que o uso de ALL, é uma alternativa prática para aumentar a eficiência da ureia-N, reduzir os impactos ambientais causados pela perda de NH₃ e melhorar a qualidade da forragem cultivada em solos de baixa fertilidade.

Na última década, esta tecnologia apresentou crescimento para a incorporação da produção de cereais e grãos, nos Estados Unidos, e de frutas e legumes na Europa (Fu et al., 2019). No Brasil, encontra-se estudos para algumas culturas, relacionados com a redução da perda dos nutrientes, melhoria da qualidade das culturas e aumento da produtividade, como o café (MARQUES et al., 2013), milho (CIVARD et al., 2011), arroz (KIRAN et al., 2010).

Para o eucalipto, principal espécie florestal plantada no Brasil, os estudos ainda são incipientes com poucas referências que evidenciam a melhoria da eficiência de aplicação de nitrogênio, via uréia de liberação lenta (FARIA et al., 2016). Neste contexto, tem-se o estudo de Silva et al. (2015) que ao utilizarem ALL encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis em plantios de híbridos de eucalipto na adubação de base, verificaram redução da necessidade da adubação de cobertura e consequentemente a redução dos gastos com manutenção do plantio.

Benefícios em crescimento podem ser obtidos com a utilização desse adubo, assim como verificado por Lang et al. (2010), que ao aplicarem ALL, revestidos por um polímero elástico Poligen em detrimento da formulação N:P:K (16:8:12), no estabelecimento de mudas de ipê-roxo e angico-branco em área de domínio ciliar, observaram que os ALL proporcionaram maiores incrementos em altura, diâmetro do coleto e número de folhas, durante os primeiros doze meses.

Apesar dos estudos ainda serem iniciais em plantios florestais, o uso dos ALL já é consolidado na fase de produção de mudas, em que existem diversos estudos avaliando a qualidade e as doses adequadas para diversas espécies (ROSSA et al., 2015, 2013ab, 2011; PIAS et al., 2015; BRACHTVOGEL; MALAVASI, 2010).

2.5 Adubação de liberação lenta ou controlada na produção de mudas

A prática de adubação, na fase de produção de mudas, é fundamental para formação de mudas com qualidade e com crescimento acelerado, ao passo que a eficiência das adubações depende das doses e das fontes do adubo, além das características físicas, químicas e biológicas dos substratos (MENDONÇA et al., 2008; PAGLIARINI et al., 2014).

A adubação de cobertura se caracteriza como complemento da fertilização de base dos substratos para a promoção de maior crescimento das mudas. Esta adubação deve ocorrer de forma parcelada para proporcionar a formação de mudas com qualidade, principalmente, em relação a aplicação do nitrogênio que quando aplicado em doses elevadas, pode ser perdido por

volatilização da amônia (MENDONÇA et al., 2008). Além disso, esta prática apresenta aumento significativo no custo operacional (SERRANO et al., 2006).

A utilização de fontes que apresentam liberação lenta ou controlada dos nutrientes são alternativas para a redução dos gastos com mão de obra, perda de nutrientes por lixiviação e nitrogênio por volatilização da amônia, danos na semente ou nas plântulas pela salinidade do meio de cultivo, além de manter um sincronismo de liberação dos nutrientes com as necessidades de crescimento e desenvolvimento das plantas (SERRANO et al., 2004).

Conforme Davide et al. (2015), dois fabricantes dominam o mercado de ALL para produção de mudas de espécies florestais no Brasil, com produtos de liberação em três, seis, nove e 12 meses. No entanto recentemente, um novo fabricante tem comercializado uma nova fonte de ALL para produção de mudas, sendo suas principais formulações encontradas na Tabela 2.

Tabela 2: Diferentes formulações de adubos de liberação lenta destinada a produção de mudas florestais.

Composição	Fabricante A				Fabricante B		Fabricante C	
	15:09:12	19:06:10	14:14:14	15:01:10	15:08:12	13:06:16	10:15:20	11:11:21
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Nitrogênio (N)	15,00	19,00	14,00	15,00	15,00	13,00	10,00	11,00
Fósforo (P ₂ O ₅)	9,00	6,00	14,00	10,00	8,00	6,00	15,00	11,00
Potássio (K ₂ O)	12,00	10,00	14,00	10,00	12,00	16,00	20,00	21,00
Cálcio (Ca)	3,50	-	-	3,80	-	-	-	-
Magnésio (Mg)	1,50	-	-	1,50	1,20	-	-	-
Enxofre (S)	3,00	3,5	-	3,00	5,00	10,00	10,00	12,96
Ferro (Fe)	1,00	-	-	0,50	0,40	0,26	-	-
Boro (B)	0,02	-	-	0,02	0,02	0,02	0,35	0,38
Cobre (Cu)	0,05	-	-	0,05	0,05	0,05	0,30	0,30
Zinco (Zn)	0,05	-	-	0,05	-	-	0,30	0,30
Manganês (Mg)	0,06	-	-	0,10	0,06	0,06	-	-
Molibidênio (Mo)	0,02	-	-	0,004	0,015	0,02	-	-

Fonte: Adaptado de (DAVIDE et al., 2015).

De acordo com Brodani et al. (2008), o Fabricante A, possui adubo constituído por grânulos que contêm uma combinação homogênea dos nutrientes. Os adubos são revestidos por polímeros orgânicos, os quais são compostos por uma resina alquídica, em que, a água entra

pelo poro ampliado e os nutrientes são liberados através dos microporos (MACHADO, 2012). Já em relação ao fabricante B, nota-se que o mesmo possui combinação homogênea dos nutrientes nos grânulos e os micronutrientes são quelatizados no adubo. Os grânulos são completamente recobertos pelo polímero elástico Poligen (SIMÃO, 2017). Já o fabricante C, encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis.

Experimentos realizados com ALL em comparação com adubos solúveis, constata-se que os primeiros resultam em maior crescimento e em menor taxa de lixiviação de nutrientes (HUETT; MORRIS, 1999; COLE; DOLE, 1997). Apesar de serem mais efetivos, eles possuem custos mais elevados que os adubos de disponibilização imediata (ROSSA et al., 2011). Neste contexto, salienta-se que alguns estudos são desenvolvidos a fim de delimitar as doses adequadas dos adubos de liberação lenta ou controlada, buscando a formação de mudas com maiores índices de crescimento e qualidade e com melhor custo benefício.

Conforme Rossa et al. (2011) e Serrano et al. (2010), há efeito significativo na utilização de doses crescentes de ALL, revestido por polímero Poligen, na formulação (N:P:K, 13:06:16), para produção de mudas de espécies florestais (*Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*) e agronômicas (*Carica papaya*, mamão). Já Brachtvogel e Malavasi (2010) e Moraes Neto et al. (2003a) comparando o efeito de diferentes doses de ALL, revestido por resina alquídica (N-P-K, 14-14-14), com aplicação de adubação de cobertura a cada 15 dias com adubos de disponibilidade imediata (MAP), na produção de mudas florestais observaram que a aplicação de ALL proporciona produção de mudas de maior qualidade.

Em estudos realizados por José et al. (2009) com diferentes volumes de tubetes (50 e 150 cm³) e doses crescentes do ALL, revestido por resina alquídica (N:P:K, 14:14:14), no crescimento de mudas de *Schinus terebinthifoli*, demonstraram que a altura das plantas aumentou à medida que se elevaram as doses do fertilizante, conseqüentemente, aumentando também as doses de nitrogênio, que proporcionaram alturas de aproximadamente de 60 cm ao aplicar 21 g L⁻¹ do ALL no tubete de 150 cm³ e de 30 cm em tubete de 50 cm³. Estes resultados corroboram com o estudo de Rossa et al. (2013a), que encontraram para *Schinus terebinthifolius* aumento crescente da altura à medida que se aumentou a dose de ALL, revestido de polímero Poligen (N:P:K, 13:06:16), sendo o crescimento máximo atingido com a aplicação de 10,88 Kg m⁻³ em tubetes de 180 cm³.

No trabalho de Serrano et al. (2006), foi observado resposta linear crescente para as características da altura, área foliar, diâmetro e número de folhas, na produção de porta-enxerto cítrico limoeiro “cravo” (*Citrus limonia*) ao testar diferentes doses de ALL, revestido por resina

alquídica (N:P:K, 14:14:14), cultivados em tubetes. Conforme Brondani et al. (2008), a dose de 2 kg m⁻³ obteve resultados superiores para o crescimento das características morfológicas de *Anadenanthera colubrina* em tubetes de 110 cm³.

Para produção de mudas de *Pinus taeda*, observou-se que a utilização de ALL influenciou positivamente o crescimento da espécie com exceção da massa seca das raízes, sendo recomendado a utilização de 2,93 kg m⁻³ de ALL, revestido por resina alquídica (N:P:K, 19:06:10), por proporcionar mudas com melhor padrão de qualidade (WILSEN NETO; BOTREL, 2009).

Moraes Neto et al. (2003a), comparando a utilização de ALL, revestido por resina alquídica (N:P:K, 14:14:14), e a adubação convencional de liberação imediata, em casa de vegetação aos 125 dias, encontraram respostas em crescimento para o aumento das doses de ALL (de 2,14 para 6,42 kg m⁻³) no substrato para produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Peltophorum dubium*, em tubetes de 50 cm³. Scivittaro et al. (2004), em estudo semelhante, observaram que a elevação na dose de ALL promoveu aumento no diâmetro do caule, na produção de matéria seca da parte aérea e acúmulo de N, P, K, Mg e B nas plantas de *Poncirus stri foliata*, sendo a melhor resposta obtida com a dose de 6 kg m³. Já Moraes Neto et al. (2003b), ao estudarem espécies florestais nativas, concluíram que doses entre 3,2 e 4, 8 kg m⁻³ resultaram em mudas de superior qualidade para todas as espécies estudadas.

Comparando o efeito da utilização de doses crescentes de dois ALL, revestido com resina alquídica (N:P:K, 15:09:12), com liberação dos nutrientes de cinco a seis meses, e revestido por polímero Poligen (13:06:16), com liberação dos nutrientes em três meses, para produção de mudas de *Eucalyptus guineenses*, o uso do formulado (15:09:12) proporcionou crescimento superior para a altura (TEIXEIRA et al., 2009). No entanto, no trabalho de Dinali et al. (2012) ao compararem a utilização dos dois adubos nas doses de zero e três kg m⁻³, não foram observadas diferenças significativas no crescimento das mudas de *Vigna radiata*.

Estudando diferentes doses de ALL e de adubo de liberação imediata, para produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em tubete de 53 cm³, Rossa et al. (2015), observaram que para todos os tratamentos a utilização de ALL proporcionou maior crescimento em altura, o que aponta para a importância de uma contínua disponibilização dos nutrientes durante o período de desenvolvimento da muda.

Segundo Rossa et al (2013b), os custos de manutenção das mudas nos viveiros com a utilização de ALL, podem ser menores quando comparado ao uso de fertilizantes convencionais. A utilização de fertilizantes convencionais exige atividades adicionais de

adubação de cobertura em viveiro e campo. Essas atividades geram despesas pelo uso da mão de obra, incluindo salário e encargos sociais, e de equipamentos, composto pelos custos de aquisição, depreciação, manutenção entre outros.

Dessa forma, a utilização de ALL na produção de mudas, tem propiciado melhorias no desenvolvimento em viveiro propiciando melhor qualidade, como exigido para o plantio de mudas em campo, o que pode garantir menor índice de mortalidade, resultando em menores custos de replantio, e maior produtividade dos plantios florestais.

2.6 Considerações gerais

Os ALL podem ser utilizados para diversas culturas agronômicas, no cultivo de jardins, plantios florestais e na produção de mudas.

A utilização de maneira correta pode gerar redução da perda dos nutrientes, melhoria da qualidade das culturas e aumento da produtividade.

O emprego de ALL pode minimizar impactos ambientais, principalmente, pela redução da perda de nutrientes por lixiviação.

REFERENCIAS

BAZANI ET AL, J. H.; BATISTUZZO, G. Z. B.; ZUCON, A. R. S.; PRIETO, M. R.; GONÇALVES, J. L. M. ROCHA, J. H. T.; MELO, E. S. A. C. Qualidade Silvicultural: a fertilização de base e sua influência no desenvolvimento inicial de plantações de eucalipto. **Série Técnica, IPEF**, Piracicaba, v. 24, n. 45, julho de 2016.

BRACHTVOGEL, E. L.; MALAVASI, U. C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (sprengel) taubert em viveiro. **Revista Árvore**. Viçosa v. 34, n.2 p. 223-232, 2010. DOI:

BRANCALION, P. H. S.; LAMB, D.; CECCON, E.; BOUCHER, D. ; HERBOHN, J.; STRASSBURG, B.; EDWARD, D. P. Using markets to leverage investment in forest and landscape restoration in the tropics. **Forest Policy and Economics**. v.85, p.103–113, 2017.

BRONDANI, G. E.; SILVA, A. A. J. C.; REGO, S. S. D.; GRISI, F. A.; NOGUEIRA, A. 23 C; WENDLING, I.; ARAÚJO, M. A. Fertilização de liberação controlada no crescimento inicial de angico-branco. **Scientia Agraria**. Curitiba, v. 9, p. 167-176, 2008.

BONAN, G. B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**. Washington, v.320, p.1444-1449.

BURNEY, J, A, DAVIS, S. J.; LOBELL, D. B.; ROBERTSON, G. P. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. **National Academy of Sciences**. v. 107, n. 26, p. 12052-12057, 2010.

CAMARGO, M. L. P. de; MORAES, C. B. de; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A.; MELLO, E. J. de; ODA, S. Considerations on nutritional efficiency in Eucalyptus. **Científica**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.191-196, 2004.

CLARK, M. J. C.; ZHENG, Y. Effect of fertilizer rate on plant growth and nutrient content of leachate during production of green roof modules with sedum vegetation. **Hort Science**. v.49, p.819-826, 2014.

CHAWAKITCHAREON, P., R. ANUWATTANA, AND J. BUATES. 2016. Production of slow release fertilizer from waste materials. **Advanced Materials Springer International Publishing**. v.83, n.4, p.534–540.

CHAZDON, R. L.; P. H. S.; BRANCALION, D.; LAMB, L.; LAESTADIUS, M.; CALMON,; C. KUMAR. A policy-driven knowledge agenda for global forest and landscape restoration. *Conservation Letters*. v.10, p.125–132, 2017.

CHEN, S. L.; YANG, M.; BA, C.; YU, S. S.; JIANG, Y. F.; ZOU, H. T. ZHANG, Y. L. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by biochar-based waterborne copolymers. **Science of the Total Environment**. v. 615, p. 431- 437, 2018.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. G.; BROD, E. Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.

COLE, J. C.; DOLE, J. M. Temperature and phosphorus source affect phosphorus retention by a pine bark-based container medium. **Hort Science**. v. 32, n. 2, p. 236-240, 1997.

DA ROS, C. O. et al. Crescimento inicial de povoamentos mistos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Toona ciliata* M. Roem var. australis com supressão de macronutrientes primários. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.44, n.111, p. 769- 777, set. 2016.

DAVIDE, A. C., MELO, L. A., TEIXEIRA, L. A. F.; PRADO, N. J. S.; FIORINE, R. A.; CARVALHO, R. P. Fatores que afetam a qualidade de mudas destinadas aos projetos de restauração de ecossistemas florestais. In: DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais**. 1ed, Lavras: Editora UFLA, 2015.

DIAS, L. P.R. **Fósforo e boro na adubação de *Eucalyptus Dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em solos do planalto sul catarinense**. Tese Doutorado, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages - Santa Catarina, 2016.

DINALLI, R. P.; CASTILHO, R. M. M.; GAZOLA, R. N. Utilização de adubos de liberação lenta na produção de mudas de *Vigna radiata* L. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Garça, v. 21, p. 10-15, 2012.

DU, C.; ZHOU, J.; SHAVIV, A. Release characteristics of nutrients from polymer-coated compound controlled release fertilizers. **Journal of Polymers and the Environment**. Nova York, v.14, p.223-230, 2006.

FARIA, L. A.; NASCIMENTO, C. A. C.; BARDELLA, G. R.; MOURA, T. A.; MENDES, F. L.; VITTI, G. C. NH₃ Volatilization from Urea-NBPT in Eucalyptus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.47, n.6, p. 769-774, 2016.

FERREIRA, D A. **Eficiência agronômica da ureia revestida com polímero na adubação do milho**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo.

FRAME, W. H.; ALLEY, M. M.; WHITEHURST, G. B.; WHITEHURST, B. M.; CAMPBELL, R. In vitro evaluation of coatings to control ammonia volatilization from surface-applied urea. **Agronomy Journal**. v.104, n.5, 1201–1207, 2012.

FENG, X. M.; FU, B. J.; LU, N.; ZENG, Y.; WU, B. F. How ecological restoration alters ecosystem services: an analysis of carbon sequestration in China's Loess Plateau. **Scientific Reports**. v. 3, p.2846, 2013.

FU, J. WANG; C. CHEN, X.; HUANG, Z.; CHEN. D. Classification research and types of slow controlled release fertilizers (SRFs) used - a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 49, n.:17, p. 219-2230, 2018.

GRASSI, G., J.; HOUSE, F.; DENTENER, S.; FEDERICI, M.; DEN ELZEN, J.; PENMAN. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. **Nature Climate Change**. v.7, p.220, 2017.

GRISCOM, B. W., et al. Natural climate solutions. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**. v. 114, p.11645– 11650, 2017.

GABRIELSON, K. D.; WERTZ, S. L.; BOBECK, D. R.; SUTTON, A. R. **Compositions of urea formaldehyde particles and methods of making thereof**. US009682894B2, 20 Jun. 2017.

GUELFY, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta e controlada. **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, n. 151, p. 1- 14, 2017.

GUIMARÃES, G. G. F. **Substâncias húmicas como aditivos para o controle da volatilização de amônia proveniente da ureia**. 2011. 26 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) UFV, Viçosa, Minas Gerais.

GUO, C.; LI, P.; LU, J.; REN, T.; CONG, R.; LI, X. Application of controlled-release urea in rice: Reducing environmental risk while increasing grain yield and improving nitrogen use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 47, n.9, p.1176–1183, 2016.

HOLL, K. D. Restoring tropical forests from the bottom up. **Science**. Washington, v.355, p. 455–456, 2017.

HUETT, D. O.; MORRIS, S. C. Fertiliser use efficiency by containerised nursery plants. 3. Effect of heavy leaching and damaged fertiliserprills on plant growth, nutrient uptake, and nutrient loss. **Australian Journal Agricultural Research**. v. 50, n. 2, p. 217-222, 1999.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Iba 2018. 100 p. Disponível em: < http://www.iba.org/shared/iba_2018_pt.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019

IFAN, S. A.; RAZALI, R; KUSHARI, K.; MANSOR, N.; AZEEM, B.; VERSYPT, A. N. F. A review of mathematical modeling and simulation of cotrolled-Realise fertilizers. **Journal Control Realise**. v. 271, p. 45-54, 2017.

JOSÉ, A.C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Agrarian**. Dourados, v. 2, p. 73-86, 2009.

KIRAN, J. K.; KHANIF, Y. M.; AMMINUDDIN, H.; ANUAR, A. R. Efeitos da uréia de liberação controlada no rendimento e nutrição de nitrogênio do arroz inundado. **Comunicações em ciência do solo e análise de plantas**. v.41, n. 7, 811-819, 2010.

LANDELS, S. **Controlled release fertilizers: supply and demand trends in US Nonfarm Markets**. SRI International, Menlo Park, California, USA, 1994.

LANG, A.; MALAVASI, U. C.; DECKER, V.; PÉREZ, P. V.; ALEIXO, M. A.; MALAVASI, M. M. Aplicação de fertilizante de liberação lenta no estabelecimento de mudas de ipê-roxo e angico-branco em área de domínio ciliar. **Floresta**. Curitiba, v. 41, n. 2, p. 271-276, 2010.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000.

LI, D. P.; WU, Z. J.; LIANG, C. H. Traits of urea nitrogen release from starch acetate coated urea and amended with biological inhibitors in meadow brown soil. **Chinese Journal of Soil Science**. v.42, p.1376-81. 2011.

MACEDO, M. N.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.; GALFORD, G. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** v. 109, p. 1341-1346, 2012.

MACHADO, V. J. **Resposta da cultura do Milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros**. 2012, 60 F. Dissertação (Mestrado em Solos). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

MARRA, L. M. **Solubilização de fosfatos por bactérias e sua contribuição no crescimento de leguminosas e gramíneas**. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MARIANO, E.; COSTA, H. T.; CORRALES, R. A. F.; VITTI, G. C. Adubos e adubação. **Revisão de literatura**. Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2011.

MARQUES, H. M. C.; ROMAGNOLI, T.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PAIVA, R. F.; MAURI, R. Desenvolvimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), com doses de co-polímero hidroabsorvente em adubação convencional e de liberação controlada. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 2994-3002, 2013.

MEHMOOD, A.; KHAN NIAZI, M. B.; HUSSAIN, A.; BEIG, B.; JAHAN, Z.; ZAFAR, N.; ZIA, M. Slow release urea fertilizers from starch, sulfur, plaster and starch coated formulations. **Journal of Plant Nutrition**. v.42, n.10, 1218-1229, 2019.

MENDONÇA, V.; ABREU, N. A. A.; SOUZA, H. A.; TEIXEIRA, G. A.; HAFLE, O. M.; RAMOS, J. D. Diferentes ambientes e osmocote diferentes ambientes na produção de mudas de tamarindeiro (*Tamarindus indica*). **Ciência e agrotecnologia**. Lavras, v. 32, n. 2, p. 391-397, 2008.

MOTA, E. P. **Fertilizantes nitrogenados de liberação gradual: longevidade e volatilização em ambiente controlado**. 2013. 104 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

MORAES NETO, GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR Jr., J. C.; DUCATTI, F. D.; AGUIERRI Jr., J. H. Fertilização de mudas de espécies arbóreas nativas e exóticas. **Revista Árvore**. Viçosa, v.27, n.2, p.129-137, 2003a.

MORAES NETO, S. P.; GONÇALVES, J. L. M.; RODRIGUES, C.J. ; GERES, W.L.A.; DUCATTI, F. ; AGUIRRE JR, J.H. . Produção de mudas de espécies arbóreas nativas com combinações de adubos de liberação controlada e prontamente solúveis. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 27, n.6, p. 779-789, 2003b.

NAZ, M. Y., e SULAIMAN, S. A. Slow Release Coating Remedy for Nitrogen Loss from Conventional Urea: A Review. **Journal of Controlled Releas**. v.225, p.109–120, 2016.

NI, X. Y.; WU, Y. J.; WU, Z. Y.; WU, L.; QIU, G. N.; YU, L. X. A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. **Biosystems Engineering**. v. 115, p.274-282, 2013.

PAGLIARINI, M. K.; CASTILHO, R. M. M. ; ALVES, M. C. . Influência de fertilizantes convencional e de liberação lenta no desenvolvimento. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**. João Pessoa, v. 8, p. 23-27, 2014.

PAIVA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; GUIMARÃES, G. G. F.; SILVA, I. R. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.36, p.1221-1229, 2012.

PEREIRA, E. I., A. NOGUEIRA, A. R., CRUZ, C. C. T., GUIMARÃES, G. G. F., FOSCHINI, M. M., BERNARDI, A. C. C., RIBEIRO, C. Controlled Urea Release Employing Nanocomposites Increases the Efficiency of Nitrogen Use by Forage. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**. p.5, n.11, p.9993–10001, 2017.

PIAS, O. H. C.; BERGHETTI, J, SOMAVILLA, L.; CANTARELLI, E. B. Produção de mudas de cedro em função de tipos de recipiente e fontes de fertilizante. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 35, n. 82, p. 153-158, 2015.

RIBEIRO, V. J. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados e de liberação lenta: volatilização e disponibilidade para planta**. 2015, 82F. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

ROSSA, U. B.; ANGIO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; REISSMANN, C. B.; GROSSI, F.; RAMOS, M. R. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucariaangustifolia* e *Ocoteaodorifera*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 491-500, jul./set. 2011.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; WESTPHALEN, D. J.; BASSACO, M. V.; MILIANI, J. E. F.; BIANCHIN, J. E. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Schinus terebinthifolius* e *Sebastiania commersoniana*. **Floresta**. Curitiba, PR, v. 43, n. 1, p. 93 - 104, jan./mar. 2013a.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; BOGNOLA, I. A.; POMIANOSKI, D. J. W.; SOARES, P. R. C.; BARROS, L. T. S. Fertilização de liberação lenta no crescimento de mudas de paricá em viveiro. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 227-234, jul./set. 2013b.

ROSSA, U. BOARETTO; ANGELO, ALESSANDRO CAMARGO; BOGNOLA, I. A.; WESTPHALEN, DANIELLE JANAINA; MILANI, JAÇANAN ELOISA. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, p. 85, 2015.

SALMAN, O. Polyethylene-coatedurea. 1. Improved storage and handling properties. **Industrial and Engineering Chemistry Research**. Washington, v.28, p.630-632. 1989.

SCIVITTARO, W. B.; OLIVEIRA, R. P.; RADMANN, E. B. Doses de fertilizante de liberação lenta na formação do porta-enxerto 'Trifoliata'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 26, n.1, p. 131-135, 2004.

SERRANO, L. A. L.; MARINHO, C. S.; CARVALHO, A. J. C.; MONNERAT, P. H. Efeito de sistemas de produção e doses de adubo de liberação lenta no estado nutricional de porta-

enxerto cítrico. **Revista Brasileira de Fruticultura (Impresso)**, Jaboticabal, v. 26, n.3, p. 524-528, 2004.

SERRANO, L. A. L.; MARINHO, C. S.; BARROSO, D. G.; CARVALHO, A. J. C. Sistema de blocos prensados e doses de adubo de liberação lenta na formação de portaenxerto cítrico. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 36, n.2, p. 441-447, 2006.

SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F.; FERREGUETTI, G. A. Adubo de liberação lenta na produção de mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 874-883, 2010.

SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.301, p. 67-71, 2013.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; SILVA, A. A.; PRADA NETO, I.; PAULA, R. C. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, v. 21, p. 473-481, 2015.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. Seja o doutor do seu eucalipto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.93, p.1-31, 2001. Encarte Técnico.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N. **Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o eucalipto**. Piracicaba: Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, 2003. p.1-13. (Circular Técnica, 200).

SIMÃO, L. A. **Fertilizantes de liberação controlada no crescimento e desenvolvimento do mamoeiro ‘THB**. 2017, 30 F. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2017.

SHAVIV, A.; RABAN, S.; ZAIDEL, E. Modeling controlled nutrient release from polymer-coated fertilizers: diffusion release from single granules. **Environmental Science & Technology**. Washington, v. 37, n. 10, p. 2251-2256, 2003.

SHAVIV, A. Advances in Controlled Release of Fertilizers. **Advances in Agronomy**. v. 71, p. 1-49, 2000.

STRATEGIC REPORT. 2017. Controlled Release Fertilizers Market: Global Market Estimation, Dynamics, Regional Share, Trends, Competitor Analysis 2012 to 2016 and Forecast 2017 to 2023. **Precision Business Insights (PBI)**. 1–209. London, England. website: www.precisionbusinessinsights.com

TEIXEIRA, P. C.; RODRIGUES, H.S.; LIMA, W. A. A.; ROCHA, R. N. C.; CUNHA, R. N. V.; LOPES, R. Influência da disposição dos tubetes e da aplicação de fertilizantes de liberação lenta, durante o pré-viveiro, no crescimento de mudas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 157-168, 2009.

TUNG, E. S. C.; FREITAS, M. L. M.; FLORSHEIM, S. M. B.; LIMA, I. L.; LONGUI, E. L.; SANTOS, F. W.; MORAES, M. L. T.; SEBBENN, A. M. Variação genética para caracteres silviculturais e anatômicos da madeira em progênies de *Myracrodruon urundeuva* (Engler) Fr. Allem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 499- 508, set. 2010.

TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

TRINCHERA, A.; ALLEGRA, M.; REA, E.; ROCCUZZO, G.; RINALDI, S.; SEQUI, P.; INTRIGLILOLO, F. Organo-mineral fertilisers from glass-matrix and organic biomasses: a new way to release nutrients. A novel approach to fertilisation based on plant demand. **Science of Food and Agriculture**. v.91, n.13, p. 2386–2393, 2010.

VIAPIANA, A. M. **Fertilizantes de liberação lenta e controlada de n como estratégia para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada no híbrido de milho as1565**. 2014. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

VITOUSEK, P. M.; NAYLOR, R.; CREWS, T., DAVID, M. B.; DRINKWATER, L. E.; HOLLAND E.; JOHNES, P. J.; KATZENBERGER, J.; MARTINELLI, L. A.; MATSON P. A.; NZIGUHEBA, G.; OJIMA, D.; PALM, C. A.; ROBERTSON, G. P.; SANCHEZ, P. A.; TOWNSEND, A. R.; ZHANG, F. S. Agriculture: Nutrient imbalances in agricultural development. **Science**. Washinton, v.324, p.1519-1520, 2009.

WANG, Y.; LIU, M.; NI, B.; XIE, L. κ -Carrageenan–Sodium alginate beads and superabsorbent coated nitrogen fertilizer with slow-release, water-retention, and anticompaction properties. **Industrial & Engineering Chemistry Research** 51:1413–22, 2012.

WARNER, L. A.; LAMM, A. J.; KUMAR CHAUDHARY, A. Florida residents' perceived role in protecting water quantity and quality through landscape practices. **Landscape and Urban Planning**. v.171, p.1–6, 2018.

WILSEN NETO, A.; BOTREL, M. C. G. Doses de fertilizante de liberação lenta na produção mudas de Pinus. **Agrarian**. Dourados, v.2, n.3, p. 65-72, 2009.

YAMAMOTO, C. F., E. I. PEREIRA, L. H. C. MATTOSO, T. MATTOSO, AND C. RIBEIRO. Slow release fertilizers based on urea/urea–Formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**. v.287, p.390-397, 2016.

ZARIN, D. J. Carbon from tropical deforestation. **Science**, v.336, p.1518–1519, 2012.

ZHANG, M.; YANG, Y. C.; SONG, F. P.; SHI, Y.X. Study and industrialized development of coated controlled release fertilizers. **Journal of Chemical Fertilizer Industry**, v.32, p.7-12, 2005.

ZHENG, W.; ZHANG, M.; LIU, Z.; ZHOU, H.; LU, H.; ZHANG, W; YANG, Y.; LI, C.; CHEN, B. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system. **Field Crops Research**. v.197, p.52–62, 2016.

CAPITULO 2 EFICIÊNCIA DE ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis*

RESUMO

O presente trabalho teve dois objetivos, avaliar a eficiência e as doses adequadas do adubo de liberação lenta encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis (ALL1), em detrimento do adubo de liberação lenta revestido por polímero orgânico de resina alquílica, para produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. Já o segundo foi, avaliar a perda de nutrientes ao longo do tempo por lixiviação. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizados (DIC), em fatorial 2 x 5, em que o primeiro fator representa dois adubos de liberação lenta (ALL1 e o ALL2), o segundo fator representa as doses dos adubos que foram utilizadas (0, 2, 4, 6, 8 kg dm⁻³). Para isso, aos 180 dias realizou-se a mensuração da altura (H), diâmetro de coleto (DC), relação H/DC, área foliar (AF), massa seca da parte área (MSPA), sistema radicular (MSSR) e total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Para cada variável foi realizado o cálculo da dose máxima de eficiência técnica (DMET). Além disso, avaliou-se a lixiviação dos adubos ao longo do tempo, medindo-se a condutividade elétrica (CE), da solução liberada pelo substrato. As médias obtidas de CE foram submetidas à regressão não linear de Henderson. Todas as variáveis apresentaram comportamento quadrático, para ambos os adubos avaliados, com crescimento satisfatório para plantio em campo. No entanto, observou-se que o ALL2 proporcionou um crescimento superior das mudas em relação ao ALL1. O ALL2 apresentou menor perda de nutrientes por lixiviação. Ambos os adubos são adequados para produção de mudas de *Eucalyptus grandis*, na dose de 4 kg m⁻³.

Palavras Chaves: Nutrição Florestal. Fertilização controlada. Qualidade de produção de mudas.

EFFICIENCY OF SLOW RELEASE FERTILIZERS IN THE *Eucalyptus grandis* SEEDLINGS PRODUCTION

ABSTRACT

The present work aim to evaluate the quality and the doses applied by the non-water soluble polymer coated slow-release fertilizer (SRF1) rather than the resin-reduced polymer-coated slow reducing fertilizer for the *Eucalyptus grandis* seedlings production. Further, we aimed to assess nutrient loss over time by leaching. The experiment was conducted in a randomized isolated design, in a 2 x 5 factorial design, where the first factor represents two slow release fertilizers (SRF1 and SRF2). The second factor represents as doses of the fertilizers that were used (0, 2, 4, 6, 8 kg dm⁻³). For this, height (H), stem diameter (SD), H / SD, leaf area (LA), dry mass of the area (DMA), root system (DMRS) and total (DMT) were measured. Also, we measured Dickson Quality Index (DQI). For each variable, was calculated the maximum dose of technical efficiency (MDTE). In addition, the fertilizers leaching were evaluated over the time, measuring the electrical conductivity (EC) of the solution released by the substrate. EC media were subjected to a nonlinear regression of Henderson. All of the variables showed quadratic behavior for both fertilizers, with satisfactory growth for field planting. However, applying SRF2 provided higher eucalyptus seedlings growth than SRF1. SRF2 showed less nutrient loss from leaching. Both fertilizers were capable of producing *Eucalyptus grandis* seedlings, in the dose of 4.00 kg dm⁻³

Keywords: Florest nutrition. Controlled fertilization. Seedling production quality.

1 Introdução

A utilização de mudas com qualidade é essencial para garantir o sucesso do estabelecimento de povoamentos florestais, uma vez que essa possibilita o aumento da sobrevivência e crescimento pós-plantio, reduzindo assim, o replantio e a demanda por tratos culturais de manutenção (SILVA et al., 2015). Para isso, as mudas devem apresentar um bom estado nutricional para assegurar o seu vigor e as características necessárias para plantio.

Os adubos de liberação lenta (ALL) entram como uma alternativa para a produção de mudas, visto que estes apresentam características de liberação gradual e contínua dos nutrientes, reduzindo as perdas de adubo por lixiviação e volatilização (DINALI et al., 2012). Essa redução é considerada um grande avanço, pois a principal perda de nutrientes em sistemas de produção de mudas em viveiros descobertos é decorrente de irrigações excessivas e chuva (DA ROS et al., 2017). Ademais, a sua utilização pode reduzir gastos com mão de obra e energia, danos em sementes ou nas plântulas pela salinidade do meio de cultivo, além de manter um sincronismo de liberação dos nutrientes com as necessidades de crescimento e desenvolvimento das plantas (YAMAMOTO et al., 2016).

No Brasil, a produção de adubos de liberação lenta para mudas florestais é dominada por dois fabricantes, que distinguem seu produto pela composição de seus revestimentos em polímero orgânico composto por uma resina alquídica e em polímero elástico Poligen (BRODANI et al., 2008; DAVIDE et al., 2015; SIMÃO, 2017). Conforme Brachtvogel e Malavasi (2010), e Moraes Neto et al. (2003), doses crescentes de ALL revestidas por resina alquídica (N:P:K, 14:14:14) para a produção de mudas florestais, proporcionam uma produção de mudas de maior qualidade. Já Rossa et al. (2011) e Serrano et al. (2010), observaram que há efeito significativo na utilização de doses crescentes de ALL, revestidos por polímero Poligen na formulação (N:P:K, 13:06:16), para a produção de mudas de espécies florestais (*Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*) e agrônômicas (*Carica papaya*, mamão).

Perante as vantagens de utilização dos adubos de liberação lenta, pode-se verificar que muitos estudos foram realizados para o aprimoramento e obtenção de novas tecnologias. Estas possibilitaram a liberação dos nutrientes de forma mais eficiente, menor custo de produção e com o objetivo de obter formulações que atendam à demanda nutricional de diversas espécies (CHAWAKITCHAREON et al., 2016; CHEN et al., 2018). Dessa forma, pode-se observar a presença de uma nova tecnologia de adubos de liberação lenta, visto que estes são encapsulados

com enxofre elementar, revestidos por polímeros orgânicos não hidrossolúveis e com formulações compatíveis à produção de mudas.

Apesar dos esforços para produção de diferentes tipos de ALL, a perda de nutrientes na água percolada proveniente dos tubetes se constata como um parâmetro pouco estudado durante a produção de mudas em sistemas automatizados de irrigação (DA ROS et al., 2017). Neste contexto, objetivou-se avaliar a qualidade dos adubos de liberação lenta, com o intuito de: a) Avaliar as doses adequadas para o ALL encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, em comparação do ALL revestido por polímero orgânico composto por resina alquídica, comumente utilizado para produção de mudas florestais; b) Avaliar a perda de adubo ao longo do tempo, para produção de mudas de *Eucalyptus grandis*.

2 Material e métodos

Os experimentos foram instalados e conduzidos no viveiro florestal na região sul de Minas Gerais (21° 13' 14,033" S e 44° 58' 0,232" O). O clima da região foi classificado conforme proposta de Köppen como Cwb de aspecto tropical de altitude, verões suaves, mesotérmico úmido (ALVARES et al., 2013).

As mudas foram produzidas no período de abril a outubro com temperatura média de 28,31 °C, e precipitação média mensal mínima de 8,6 mm e máxima de 190,2 mm. Foram utilizadas sementes provenientes de coletas realizadas em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, no sul de Minas Gerais, as quais foram semeadas em tubetes de 55 cm³. As mudas permaneceram por 50 dias na casa de sombra (50% de irradiância e irrigação por microaspersão três vezes ao dia com cinco minutos de duração cada, e vazão de 140 L h⁻¹). Posteriormente, elas foram transferidas para pleno sol, para rustificação (irrigação quatro vezes ao dia com cinco minutos de duração cada, e vazão de 95 L h⁻¹).

Os tratamentos foram compostos por dois tipos de adubos de liberação lenta. O ALL1, caracteriza-se por ser encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis. Este adubo apresenta liberação dos nutrientes de quatro a seis meses e possui a formulação de 10% de N, 15% de P₂O₅, 20% de K₂O, 8,64% de S, 0,39% de B, 0,39% de Cu e 0,39% de Zn. O ALL2, caracteriza-se em ser revestido por um polímero orgânico, composto por resina alquídica, comumente utilizado para produção de mudas florestais. O tempo de liberação dos nutrientes é de quatro a seis meses e possui formulação de 15% de N,

9% de P₂O₅, 12% de K₂O, 1,3% de Mg, 5,9% de S, 0,46% de Fe, 0,05% de Cu e 0,05% de Mn e 0,02% de Mo.

O substrato utilizado foi a base de 50% de Substrato comercial Maxfertil (casca de *Pinus*, cinzas, vermiculita, serragem e bioestabilizantes), 25% de casca de arroz carbonizada e 25% de fibra de coco. Para homogeneizar as doses testadas ao substrato base se utilizou uma betoneira por cinco minutos.

Para responder aos objetivos, fez-se necessário a disposição de dois experimentos. O primeiro experimento, consistiu na avaliação da qualidade e das doses ideais dos adubos ALL1 e ALL2. O desenho experimental foi disposto em esquema fatorial 2 x 5 (dois tipos de ALL por cinco doses) em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, sendo a parcela composta por 20 mudas. Os adubos de liberação lenta utilizados foram o ALL1 e ALL2 nas doses de 0, 2, 4, 6, 8 kg dm⁻³.

Aos 180 dias foi mensurado a altura (H) e o diâmetro de coleto (DC) das 12 mudas centrais de cada parcela. A altura foi medida com o auxílio de uma régua milimetrada em cm, a partir do nível do substrato até a gema apical. O DC foi mensurado no nível do substrato por meio de um paquímetro digital com precisão em 0,01 milímetros.

Também foi avaliado a matéria seca da parte aérea (MSPA), a matéria seca do sistema radicular (MSSR) e, pelas somas destas, a matéria seca total (MST). Para estas avaliações, foram utilizadas cinco mudas por parcela, sendo o material seco em estufa de circulação forçada de ar regulada em 75 °C, por 72 horas.

A partir dos dados das variáveis analisadas, foram calculados os índices morfológicos: Índice de Robustez (H/DC) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON et al., 1960), calculado por meio da equação:

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSSR}} \quad (1)$$

Em que: MST= matéria seca total; H= altura; DC= diâmetro de coleto; MSPA= massa seca da parte aérea e MSSR= matéria seca do sistema radicular.

A área foliar (AF) foi mensurada aos 180 dias, sendo coletadas todas as folhas de quatro mudas dentro da parcela. Em seguida, efetuou-se a captura de imagens digitais com auxílio de

uma câmera digital, apoiada em um suporte com altura de 0,5 m, de todas as folhas das mudas fixadas sobre uma folha branca de papel A4, ao lado de uma régua milimétrica. Esta mensuração direta da área foliar foi realizada por meio de imagens digitais, utilizando o *software* ImageJ® (*Powerful Image Analysis*) de domínio público.

O *software* ImageJ® captura a imagem das folhas por meio dos contrastes de cores, sendo a folha de cor escura e fundo contrastante de cor clara. Para o cálculo da área foliar real, baseou-se na comparação com uma escala real presente (JADOSKI et al., 2012).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade do erro. Ao conferirem normalidade, realizou-se a análise de variância (ANOVA), e uma vez verificada a diferença significativa, foram realizadas a comparação de médias pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro, para os dois adubos utilizados, e foi feita regressão das médias em nível de 5% de probabilidade de erro, para as doses utilizadas, por meio do *software* SISVAR® (FERREIRA, 2014).

A dose de máxima eficiência técnica (DMET) foi calculada para as variáveis em que apresentaram diferença significativa pelo teste F a 5% de probabilidade do erro. Para isso, foi realizada análise de regressão linear das variáveis em função das doses dos fertilizantes testados, considerando a significância dos coeficientes, ao nível de 5% de probabilidade de erro, e pelo coeficiente de determinação (R^2). A DMET, das variáveis de interesse, foi correspondente à primeira derivada das equações ajustadas igualadas a zero. Quando o valor calculado excedeu a dose máxima testada, a DMET considerada foi de 8 kg m^{-3} ,

O Segundo experimento foi estabelecido/disposto para avaliar a lixiviação dos ALL1 e ALL2. Para isso, utilizou-se um desenho experimental em esquema fatorial 2×5 (dois tipos de ALL e cinco doses de ALL) disposto em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições e parcelas subdivididas no tempo (STEEL; TORRIE, 1980).

Para a quantificação da lixiviação dos adubos, realizou-se a leitura da condutividade elétrica (CE) da solução de água que percolou sobre o substrato e ficou armazenado nos recipientes que englobaram o tubete. Os recipientes utilizados foram sacos de polietileno com dimensões de $20 \times 5 \times 0,5$ cm fixados em quatro mudas por parcela para armazenar a solução percolada. A cada avaliação a solução contida no recipiente era descartada. As mensurações foram realizadas a cada sete dias, até os 100 dias de produção das mudas, momento em que não apresentou variações significativas nas médias de condutividade elétrica.

A quantificação da lixiviação dos adubos foi realizada por meio da leitura de condutividade elétrica (CE) da solução de água que permanecia nos sacos plásticos pela percolação da água da irrigação no substrato, a cada avaliação a solução contida no plástico era descartada. As mensurações foram realizadas a cada sete dias, até os 100 dias de produção das mudas, momento em que não houve variações significativas nas médias de condutividade elétrica.

Os dados coletados foram tabulados e analisados por meio da ANOVA, e uma vez verificada a diferença significativa, foi realizado a regressão dos dados. Para observar o comportamento da lixiviação, optou-se em utilizar um modelo não linear, de Henderson com dois parâmetros (Equação 2) (HENDERSON; PABIS, 1961), de modo que este representasse a condutividade elétrica (CE) em função do tempo em que ficou instalado o experimento (dias). Assim, o modelo foi aplicado na amostra representativa sem interferência do ALL (dose de 0 kg m⁻³), e para as diferentes doses de adubo aplicadas no teste (0, 2, 4, 6, 8 kg dm⁻³).

$$CE = \theta_0 \exp(-\theta_1 t_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

Em que: θ_i : parâmetros estimados; t_i : variável independente dias; ε_i : erro aleatório.

O coeficiente de determinação (R^2) e a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) (Equação 3) foram utilizados para a verificação da acuracidade dos ajustes.

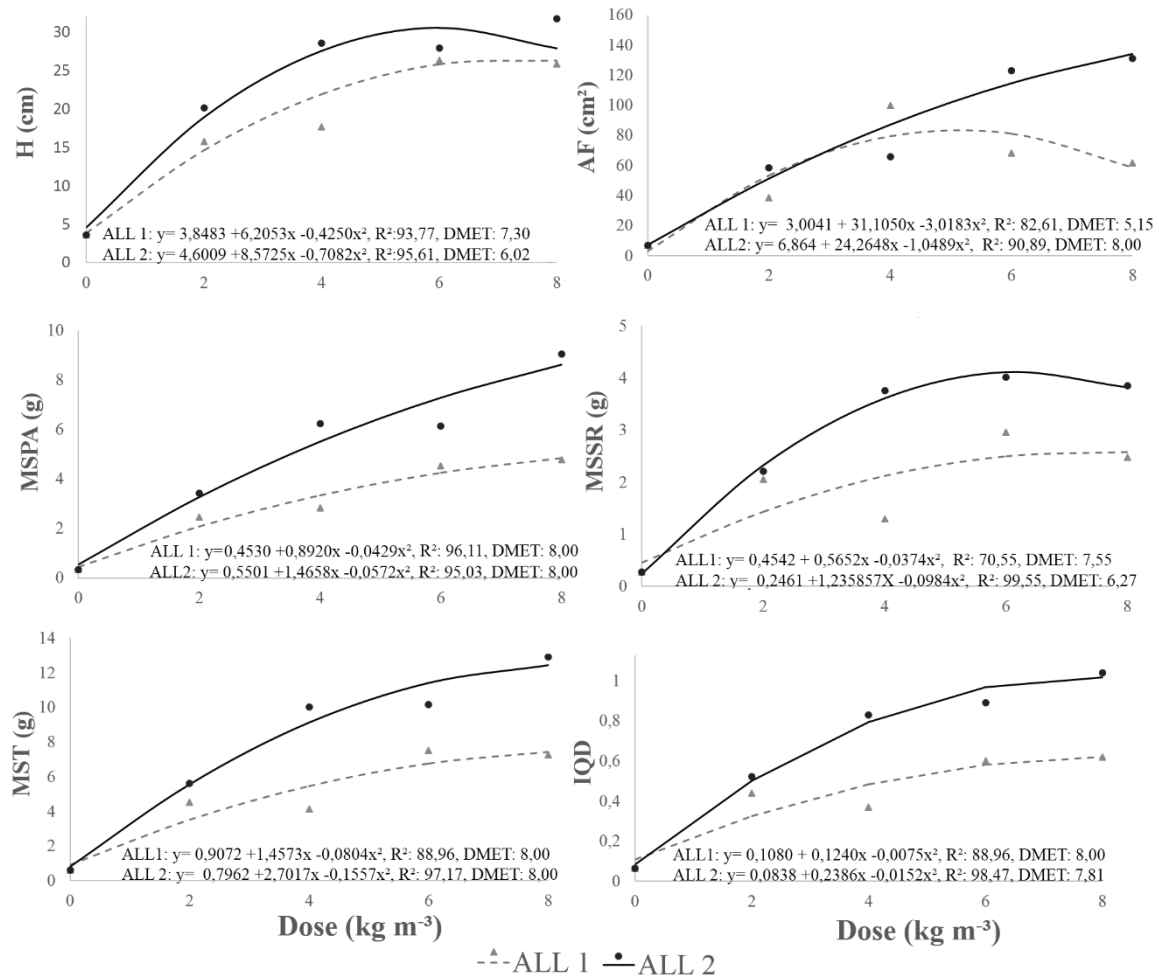
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \frac{\sum (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Em que: RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio; n: número de observações; y_t : média; \hat{y}_t : média estimada.

3 Resultados

As variáveis H, AF, MSPA, MSSR, MST e IQD apresentaram interação significativa entre os tipos de fertilizantes e as doses aplicadas. Para estas variáveis, observa-se que o crescimento para as mudas adubadas com ALL2 foi superior ao ALL1, Figura 1.

Figura 1: Efeito das doses de ALL no crescimento das mudas e a dose de máxima de eficiência técnica (DMET) das variáveis altura (H), área foliar (AF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca do sistema radicular (MSSR), matéria seca total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD), para as doses do ALL 1 e ALL 2, em mudas de *Eucalyptus grandis*, aos 180 dias de idade.



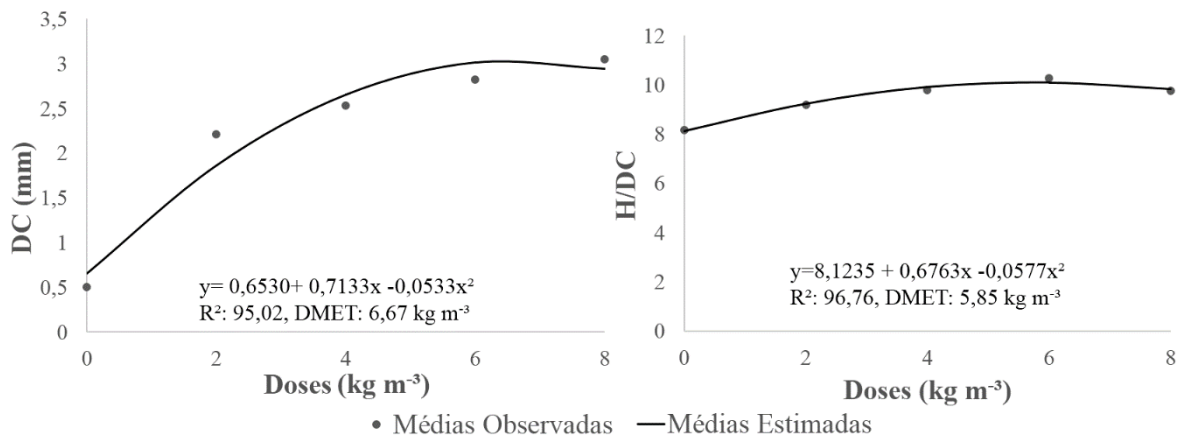
Fonte: Da autora (2020).

As doses de máxima eficiência técnica encontradas para o ALL1 e ALL2, para H foram de 7,20 kg m⁻³ e 6,02 kg m⁻³, para a AF encontrou-se 5,15 kg m⁻³ e 8 kg m⁻³, para a MSPA obteve-se 8,00 kg m⁻³ e 8,00 kg m⁻³, para a MSSR 7,55 kg m⁻³ e 6,20 kg m⁻³, para a MST 8,00 kg m⁻³ e 8,00 kg m⁻³ e para o IQD obteve-se 8,00 kg m⁻³ e 7,81 kg m⁻³, respectivamente.

O diâmetro de coleta e o índice de robustez (H/DC) (Figura 2), apresentaram diferenças significativas entre as doses dos adubos, com DMET de 6,67 mm e 5,85 mm, respectivamente. Em relação à diferença entre os dois adubos de liberação lenta, verificou-se que para o índice de robustez não houve diferença significativa e média de 9,47 para ambos os adubos. Já para

o diâmetro de coleto, o ALL 2 (2,50 mm) proporcionou crescimento superior ao ALL 1 (2,07 mm).

Figura 2: Efeito médio das doses de adubação e suas respectivas doses máximas de eficiência técnica (DMET), nas variáveis diâmetro de coleto (DC) e índice de robustez (H/DC), nas diferentes doses dos adubos aplicados, em mudas de *Eucalyptus grandes*, aos 180 dias de idade. Fonte: Da autora (2020).



Fonte: Da autora (2020).

Em relação ao ajuste da condutividade elétrica, os parâmetros utilizados, o R^2 e o RMSE encontram-se na tabela 1. As diferentes doses de cada adubo, o melhor ajuste encontrado foi para a dose de 0 kg m⁻³, visto que esta obteve elevado R^2 de 79%, e baixo RMSE de 0,0006 S cm⁻¹. No geral, o ajuste das doses para ambos os adubos foi satisfatório, com exceção da dose de 8 kg m⁻³, devido obter R^2 inferior a 60%.

Tabela 1: Parâmetros estimados, para o modelo não linear de Henderson, (θ_1 e θ_2), e seus coeficientes de determinação (R^2) e sua raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

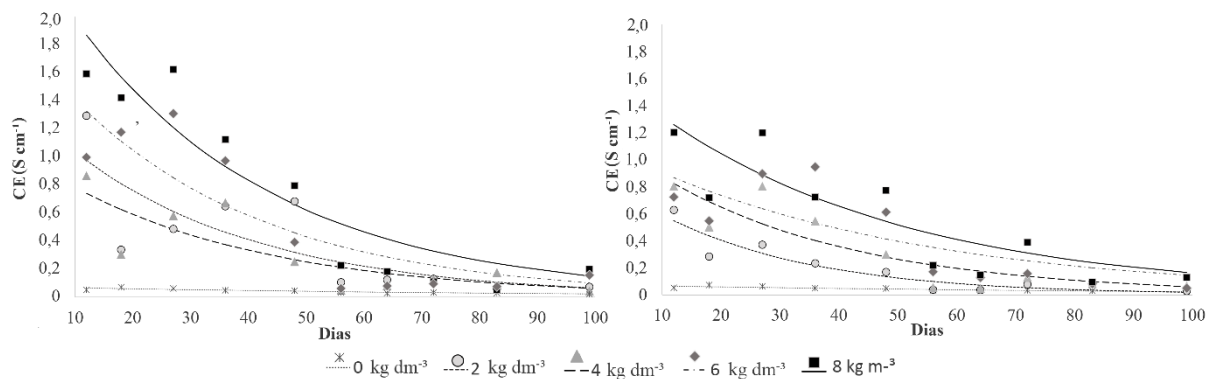
Adubo	Dose	θ_0	θ_1	R^2 (%)	RMSE ($S\ cm^{-1}$)
ALL1	0	0,076 *	0,011 *	79,70	0,006
	2	0,876 *	0,038 *	62,00	0,231
	4	3,082 *	0,037 *	64,40	0,160
	6	1,177 *	0,029 *	75,50	0,292
	8	1,112 *	0,020 *	69,30	0,242
ALL 2	0	0,076 *	0,011 *	79,70	0,006
	2	1,410 *	0,030 *	88,00	0,065
	4	1,037 *	0,028 *	76,20	0,350
	6	2,641 *	0,028 *	75,80	0,132
	8	1,886 *	0,029 *	48,00	0,210

Em que: θ_i : parâmetros estimados; R^2 : coeficiente de determinação; RMSE: erro padrão médio quadrático. *significativo ao nível de probabilidade de 5% do erro.

Fonte: Da autora (2020).

Na Figura 3, notam-se os resultados da condutividade elétrica para ALL1 e ALL2 ao longo do tempo. Ao observar os resultados, constata-se que em ambos os adubos e para todas as doses se obteve um comportamento em jota invertido, ou seja, ao decorrer dos dias de irrigação ocorreu a redução da média de condutividade elétrica nas soluções recolhidas. O ALL1 apresentou maior perda de adubo em relação ao ALL2, com média de condutividade elétrica 46% maior. A dose que apresentou maior condutividade elétrica foi de $8\ kg\ m^{-3}$, com $1,8\ S\ cm^{-1}$ para o ALL1 e de $1,3\ S\ cm^{-1}$ para o ALL2. A dose que apresentou menor condutividade elétrica foi $0\ kg\ m^{-3}$. A partir dos 60 dias, as médias obtidas da variável, para ambos os adubos passaram a ser semelhantes.

Figura 3: Lixiviação dos adubos ALL1 (A) e ALL2 (B) por meio da condução elétrica, ao longo dos 100 primeiros dias de produção das mudas de *Eucalyptus grandis*



Fonte: Da autora (2020).

4 Discussão

Ao verificar os resultados, nota-se que o menor crescimento ocorreu para o tratamento sem adubação em todas às variáveis, o que comprova a necessidade de complementação nutricional para um bom desenvolvimento das mudas em tubetes, independentemente do substrato. Como o encontrado nos trabalhos de Marschner (2012) Rossa et al. (2015) e Muniz et al. (2013).

De acordo com a DMET, as doses ideais para o ALL1 e o ALL2 seriam de 7,30 e 6,02 kg m^{-3} , respectivamente. No entanto, as médias encontradas para o eucalipto a partir das doses de 4 kg m^{-3} para ambos os adubos são consideradas adequadas para o plantio, conforme Wendling e Dutra (2010) ao comentarem que mudas de *Eucalyptus sp.* aptas para plantio, devem possuir altura mínima de 15 cm e Xavier et al. (2013) ao recomendarem altura entre 20 a 40 cm para eucalipto. Corroborando com o trabalho de Navroski et al. (2016), ao utilizarem o adubo ALL2 (19:06:10) a partir da dose de 4 kg m^{-3} para a produção de mudas de *Eucalyptus durni*, constataram que essas estavam prontas para plantio aos 100 dias. No entanto, Rossa et al. (2015), estudando o uso de ALL revestido com polímero elástico Poligen, na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*, observaram que com a dose de 2 kg m^{-3} de substrato, as mudas atingiram altura ideal para o plantio apenas aos 174 dias.

A área foliar é uma das variáveis mais importantes para o crescimento das plantas, uma vez que está relacionada com a área fotossintética (MENDES et al., 2013), o que pode justificar o maior crescimento das mudas com o ALL2, visto que este adubo apresenta maior porcentagem de N em sua composição. Ademais, o N está ligado à síntese de clorofilas e ao sistema energético, possibilitando assim a formação de proteínas e o crescimento da área foliar (SMETHURST et al., 2003; DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Nota-se que o ALL1, apresentou crescimento em H, AF, MSPA, MSSR, MST e IQD inferior ao ALL2. Este crescimento está relacionado ao menor teor de N (10%) na formulação do ALL1 quando comparado com o teor de N (15%) do ALL2. Assim como o observado, Navroski et al. (2016), estudando doses de ALL2 (16:06:10), em *Eucalyptus durni* encontraram AF superior aos dois adubos estudados com DMET de 5,60 kg m^{-3} , correspondente a 103,4 cm^2 , a qual pode estar relacionado a maior porcentagem de N (16%). O menor teor de N, no ALL1 e ALL2, possivelmente, foi o fator responsável pelo menor crescimento para as demais variáveis, como a massa seca, que segundo Pinto et al. (2011) está diretamente relacionada a área foliar, que é um critério importante e fundamental para o vigor de espécies florestais.

A massa seca da parte aérea está diretamente relacionada à AF, à atividade fotossintética e à alocação de carbono em diferentes partes das plantas (NAVROSKI et al., 2016). Com isso, infere-se que mudas com maior valor de MSPA apresentam maior capacidade de se adaptar em campo, por obter maior percentual de reservas energéticas essenciais para suprimento das necessidades vitais (BELLOTE; SILVA, 2000). Assim, as doses ideais para que as plantas atinjam o máximo de MSPA, para ambos os adubos seria de $8,00\text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, sendo estas próximas às encontradas por Mendonça et al. (2008) que obtiveram a DMET próximo a 9 kg m^{-3} para MSPA, para *Tamarindus indica*.

Segundo Rossa et al. (2015) o uso de adubação de liberação lenta, ocasionou maior MSPA, MSSR e MST, em relação ao uso de adubos convencionais formulados, de liberação imediata, na adubação do substrato, em mudas de *Eucalyptus grandis*, mesmo em doses inferiores.

O IQD é apontado como bom indicador de qualidade de mudas, porque são utilizados para seu cálculo, o índice de robustez (H/DC) e o equilíbrio da distribuição da biomassa (MSPA/ MSR) (GONZAGA et al., 2016), os quais ponderam os resultados de várias características morfológicas importantes empregadas para avaliação da qualidade. Os autores ainda ressaltam que quanto maior o IQD, melhor é a qualidade da muda produzida. Neste contexto, verifica-se que a DMET indicada foi de $8,26\text{ kg m}^{-3}$ para o ALL1 e de $7,81\text{ kg m}^{-3}$ para o ALL2. Os resultados deste trabalho foram superiores aos apresentados por Rossa et al. (2015), que encontraram IQD máximo de 0,10 na dose de 8 kg m^{-3} , ao utilizarem diferentes dosagens de ALL2 em mudas de *Eucalyptus grandis*.

Para o diâmetro de coleto, segundo Wendling e Dutra (2010), o valor mínimo recomendado para o plantio em campo é de 2 mm, assim verifica-se que as quatro dosagens testadas ($2, 4, 6$ e 8 kg m^{-3}), apresentaram crescimento apropriado. Todavia, Baldin et al. (2015), aponta que quanto maior for o diâmetro de coleto, maior a capacidade de sobrevivência e emissão de novas raízes pela muda em campo. Dessa forma a DMET indicada para esta variável foi de $6,67\text{ kg m}^{-3}$.

Em relação ao índice de robustez (H/DC) as mudas não estão em conformidade, segundo Araújo et al. (2018), o índice ideal deve se situar entre 5,4 e 8,1. Porém, ressalta-se que essa faixa pode não estar adequada para o gênero *Eucalyptus sp.*, visto que as mudas apresentaram vigor na avaliação, estando aptas para plantio. Simões et al. (2012) e Kratz e Wedling (2016) também observaram relação H/DC fora do intervalo indicado, entre 9,39 e 12,13, e o valor de 14,04, para mudas de *Eucalyptus camaldulensis*, respectivamente.

De forma geral, as variáveis apresentaram crescimento quadrático positivo quando se aumentaram as doses de ALL1 e ALL2. Comportamentos semelhantes para as mesmas variáveis descritas anteriormente foram observados em mudas de angico branco (*Anadenanthera colubrina*) (BRONDANI et al., 2008) e *Eucalyptus grandis* (ROSSA et al., 2015) com diferentes doses de máxima eficiência técnica variando de 1,6 a 2,7 g dm⁻³ e 9,1 a 11,8 g dm⁻³, respectivamente.

Ao analisar a condutividade elétrica encontrada pelos adubos de liberação lenta, verifica-se que esta apresentou um comportamento em jota invertido, ou seja, a lixiviação do adubo foi maior nos primeiros dias do ciclo de produção de mudas, reduzindo ao longo do tempo. Esse resultado foi semelhante à lixiviação dos nutrientes de adubos de liberação lenta, encontradas por Wang e Alva (1996), Xiaoyu et al. (2013) e Gwenzi et al. (2018). No entanto este comportamento contradiz ao padrão de liberação dos ALL descrito por Trekel (2010), ao relatar que a liberação ocorre em fases, sendo a primeira de menor liberação (fase 1), seguido por uma fase de liberação mais rápida (fase 2) e posteriormente com liberação total dos nutrientes (fase 3).

Os autores Gwenzi et al. (2018), apesar de terem encontrado comportamento em jota invertido, verificaram que os pontos observados de lixiviação dos nutrientes apresentaram picos, ao longo do tempo, assim como encontrado no presente trabalho até os 50 dias, principalmente para as doses mais elevadas (6 e 8 kg m⁻³), o que pode corresponder ao comportamento de liberação dos nutrientes descrito por Trekel (2010), em sua fase 2, ou seja, há pontos de maior e mais rápida liberação dos nutrientes.

O maior crescimento encontrado foi para as mudas de eucalipto adubadas com o ALL2. Esse desempenho está relacionado ao padrão de liberação e lixiviação dos nutrientes, uma vez que todas as doses do ALL1 nos primeiros dias de produção das mudas apresentaram condutividade elétrica superiores, cerca de 46%, as do ALL2, o que não é desejado, já que neste período, segundo Oliveira et al. (2012), as plantas ainda não têm sistema radicular desenvolvido para absorver os nutrientes, propiciando assim perdas de nutrientes para o ambiente por lixiviação, e redução do potencial de crescimento das mudas.

Devido as diferentes eficiências e formulações de ALL encontradas no mercado, enfatiza a necessidade de estudos como este, buscando as doses adequadas para o melhor desenvolvimento das plantas. De acordo com Yeager et al. (1993), o atendimento adequado da necessidade de adubação é necessário especialmente durante esta era de melhores práticas de manejo de viveiros e sustentabilidade ambiental, evitando perda de nutrientes para o ambiente,

pelo substrato. De acordo com a DMET, as doses médias apropriadas dos ALL1 e ALL2, são de 7,71 kg m⁻³ e de 8,00 kg m⁻³ respectivamente. No entanto, recomenda-se o uso da dose de 4 kg m⁻³, já que esta dose, proporciona mudas com crescimento adequado para plantio em campo, evitando o uso de doses elevadas, o que pode aumentar o custo de produção de mudas, além de elevar a perda de nutrientes para o ambiente.

Dessa forma, observou-se que ambos os adubos atendem as exigências mínimas de crescimento e qualidade de produção de mudas para eucalipto. No entanto o uso do ALL2 proporcionou maiores crescimentos e mudas com melhor qualidade, o que pode proporcionar plantios com maior sobrevivência e desenvolvimento em campo. O maior crescimento das mudas adubadas com o ALL2 pode estar relacionado a menor lixiviação dos nutrientes pelo substrato, além de maior teor de nitrogênio contido neste adubo.

A perda de nutrientes na água percolada proveniente dos tubetes (lixiviação), é um parâmetro pouco estudado durante a produção de mudas (DA ROS et al., 2017). No entanto, a partir deste estudo, observa-se a importância desta avaliação na escolha do fertilizante utilizado por um viveirista. A escolha do fertilizante adequado a ser usado vai depender do planejamento estabelecido, quanto a época de produção de mudas, da qualidade de formação das mudas, e do custo para adquirir cada fonte de adubo, de forma sempre a optar pela fonte de maior custo benefício.

5 Conclusão

Os adubos revestidos por polímero orgânico, composto por polímeros orgânicos não hidrossolúveis (ALL1) e por polímeros orgânicos compostos por resina alquídica (ALL2) são eficientes para produção de mudas de *Eucalyptus grandis*, na dose de 4,00 kg m⁻³. No entanto, o ALL 2 proporcionou maior crescimento das mudas.

O ALL 1 apresentou maior perda de nutrientes por lixiviação para o ambiente, e a dose de 8 kg m³ de substrato foi a que apresentou maior lixiviação dos nutrientes.

6 Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Empresa Produquímica e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart*. v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013.
- ARAÚJO, M. M.; NAVROSKU, M. C.; SCHORN, L. A. **Produção de sementes e mudas - Um enfoque à silvicultura**. Camobi - Santa Maria, Editora UFSM: Universidade Federal de Santa Maria, v. 1, 2018. 448p.
- BALDIN, T.; CONTE, B.; DENARDI, L.; MORAES, R.; WITT, C. Crescimento de mudas de angico-vermelho em diferentes volumes de substratos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 31-37, 2015.
- BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J. L. DE M.; BENEDETTI, V. (Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba, IPEF - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, 2000. p. 105-133.
- BRONDANI, G. E.; SILVA, A. A. J. C.; REGO, S. S.; GRISI, F. A.; NOGUEIRA, A. C.; WENDLING, I. ; ARAÚJO, M. A. Fertilização de liberação controlada no crescimento inicial de angico-branco. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, p. 167-176, 2008.
- BRACHTVOGEL, E. L.; MALAVASI, U. C. Volume do recipiente, adubação e sua forma de mistura ao substrato no crescimento inicial de *Peltophorum dubium* (sprengel) taubert em viveiro. **Revista Árvore**. Viçosa v. 34, n.2 p. 223-232, 2010.
- CHAWAKITCHAREON, P., R. ANUWATTANA, AND J. BUATES. 2016. Production of slow release fertilizer from waste materials. **Advanced Materials Springer International Publishing**. v.83, n.4, p.534–540.
- CHEN, S. L.; YANG, M.; BA, C.; YU, S. S.; JIANG, Y. F.; ZOU, H. T. ZHANG, Y. L. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by biochar-based waterborne copolymers. **Science of the Total Environment**. v. 615, p. 431- 437, 2018.
- DAVIDE, A. C., MELO, L. A., TEIXEIRA, L. A. F.; PRADO, N. J. S.; FIORINE, R. A.; CARVALHO, R. P. Fatores que afetam a qualidade de mudas destinadas aos projetos de restauração de ecossistemas florestais. In: DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. **Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais**. 1ed, Lavras: Editora UFLA, 2015.
- DA ROS, C. O.; SILVESTRIN, T. B. ; SOMAVILLA, L. ; SILVA, R.F. ; SILVA, V. R. . Perdas de Nutrientes por Lixiviação na Produção de Mudanças de Cedro Australiano. **Floram**, v. 24, p. e20160081, 2017.
- DINALLI, R. P.; CASTILHO, R. M. M.; GAZOLA, R. N. Utilizaçãto de adubos de liberação lenta na produção de mudas de *Vigna radiata* L. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Garça, v. 21, p. 10-15, 2012.
- DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**. Ottawa, v. 36, p. 10- 13, 1960

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 91-132, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

GONZAGA, L. M.; SILVA, S. S. S.; CAMPOS, S. A.; FERREIRA, R. P.; CAMPOS, A. N. R.; CUNHA, A. C. M. C. M. (2016). Recipientes e substratos para a produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 64-73.

GWENZI, W.; NYAMBISHI, T. J.; CHAUKURA, N.; MAPOPE, N. Synthesis and nutrient release patterns of a biochar-based N-P-K slow-release fertilizer. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* v.15, p.405-414, 2018.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.6, n.3, p.169-174, 1961.

JADOSKI, S. O.; LOPES, E. C.; MAGGI, M. F.; SUCHORONCZEK, A.; SAITO, L. R.; DENEGA, S. Método de determinação da área foliar da cultivar de batata Ágata a partir de dimensões lineares. **Ciências Agrárias**. Recife, v. 33, p. 2545-2554, 2012.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos à base de casca de arroz carbonizada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, p. 348-354, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London: Academic, 2012. 889 p.

MENDES, H. S. J.; FIGUEIREDO, P. N.; SCARPINATTI, E. A.; CESAR, P. R. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**. Lavras, v. 19, p. 603-611, 2013.

MENDONÇA, V.; ARRUDA, N. A. A.; SOUZA, H. A.; TEIXEIRA, G. A.; HAFLE, O. M.; RAMOS, J. D. Diferentes ambientes e osmocote na produção de mudas de tamarindeiro (*Tamarindus indica*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 391-397, 2008.

MUNIZ, C.O.; LÔBO, L.M.; FERNANDES, F.P.R.; FERREIRA, E.M.; BRASIL, E.P.F. Efeito de diferentes adubos NPK no processo de produção de mudas de eucalipto. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.9, n.17, p.1162, 2013.

MORAES NETO, GONÇALVES, J. L. M.; ARTHUR Jr., J. C.; DUCATTI, F. D.; AGUIERRI Jr., J. H. Fertilização de mudas de espécies arbóreas nativas e exóticas. **Revista Árvore**. Viçosa, v.27, n.2, p.129-137, 2003.

NAVROSKI, M.C.; NICOLETTI, M. F.; LOVATEL, Q. C.; PEREIRA, M. O.; TONETT, E.C.; MAZZO, M. V.; MENEGUZZI, A.; FELIPPE, D. Efeito do volume do tubete e doses de fertilizantes no crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Agrarian**, Dourados, v. 9, p. 26-33, 2016.

OLIVEIRA, A. S.; NETO, A. J. S.; RIBEIRO, A.; RASCON, N. J. L.; RODY, Y. P.; ALMEIDA, A. Q. Determinação do tempo térmico para o desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.11, p.1223–1228, 2012.

OLIET, J.; SEGURA, M.L.; DOMINGUEZ, F.M.; BLANCO, E.; SERRADA, R.; ARIAS, M.L.; ARTERO, F. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero: efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. **Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**. v.8, n.1, 1999.

PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; Neves, J.C.L.; FAQUIN, V. ; Moretti, Bruno da Silva . Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 523-533, 2011.

ROSSA, U. B.; CAMARGO, A. A.; BOGNOLA, I. A.; WESTPHALEN, D. J.; MILANI, J. E. Fertilizante de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, p. 85, 2015.

ROSSA, U. B.; ANGIO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; REISSMANN, C. B.; GROSSI, F.; RAMOS, M. R. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 3, p. 491-500, jul./set. 2011.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; SILVA, A. A.; PRADA NETO, I.; PAULA, R. C. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, v. 21, p. 473-481, 2015.

SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F.; FERREGUETTI, G. A. Adubo de liberação lenta na produção de mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 874-883, 2010.

SIMÃO, L. A. **Fertilizantes de liberação controlada no crescimento e desenvolvimento do mamoeiro ‘THB**. 2017, 30 F. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2017.

SIMÕES, D.; SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, p. 91-100, 2012.

SMETHURST, P.; BAILLIE, C.; CHERRY, M.; HOLZ, G. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 176, p. 531-542, 2003.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

TRENKEL, M. **Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. 2nd ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.

XAVIER A, WENDLING I, SILVA RL. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; 2013. 279p.

XIAOYU, N.; YUEJIN, W.; ZHENGYAN, W.; LIN, W.; GUANNA, Q.; LIXIANG, Y. A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. **Biosystems engineering**. v. 115, 274-282, 2013.

WENDLING, I.; DUTRA L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas; 2010. p. 13-47.

YAMAMOTO, C. F., E. I. PEREIRA, L. H. C. MATTOSO, T. MATTOSO, AND C. RIBEIRO. Slow release fertilizers based on urea/urea–Formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**. v.287, p.390-397, 2016.

WANG, F. L.; ALVA, A. K. Leaching of Nitrogen from Slow-Release Urea Sources in Sandy Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 60, p. 1454-1458, 1996.

YEAGER, T., R. WRIGHT, D. FARE, C. GILLIAM, J. JOHNSON, T. BILDERBACK, AND R. ZONDAG. Six state survey of container nursery nitrate nitrogen runoff. **J. Environ. Hort.** v. 11, p.206–208, 1993.

CAPITULO 3 USO DE ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA NO CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO

RESUMO

Objetivou-se avaliar as doses adequadas do adubo de liberação lenta (ALL), em comparação à aplicação de superfosfato simples (SPS) na adubação de base (AB) e o seu impacto sobre a necessidade de adubação de cobertura (AC) em mudas de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, cultivadas em vaso. O experimento foi disposto em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 6x3, em que o primeiro fator corresponde a seis doses de AB (0, 50, 75, 100, 125% de fósforo) de ALL e 100% para fósforo, de superfosfato simples (SPS). O segundo fator, corresponde a três aplicações de AC (0, 1 e 2 parcelas de KCl e NH₄NH₃, estas aplicadas aos 30 e 60 dias após o plantio, conforme tratamento). As doses de fósforo, potássio e nitrogênio foram baseadas na recomendação de adubação em vasos de 300, 100 e 100 mg dm⁻³, respectivamente. Avaliou-se aos 120 dias a altura (H), o diâmetro do coleto, a área foliar (AF), o número de folhas (NF), a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa seca do sistema radicular (MSSR), a massa seca total (MST) e o Índice de Qualidade de Dickson. Ademais, calculou-se as doses de máxima eficiência técnica (DMET). As médias obtidas pela AB via ALL, de todas as variáveis foram superiores ao SPS. Em relação a H recomenda-se o uso de uma AC, com DMET de 252,56 mg dm⁻³, de P, por ter obtido crescimento semelhante ao SPS. Para as demais variáveis, DMET para a AB, variou de 236,52 à 327 mg dm⁻³, de P. Já em relação a AC, o D, NF, MSPA, MSPA/MSSR e IQD, não apresentaram diferenças significativas. Assim a DMET indicada para plantios da espécie é 100% ALL garantindo crescimento inicial satisfatório e uso de apenas uma AC.

Palavras-chave: Adubação de Base. Adubação de Cobertura. Fertilizante de liberação controlada. Nutrição.

USE OF SLOW RELEASE FERTILIZERS IN THE GROWTH OF EUCALYPTUS CLONES

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the adequate doses of slow release fertilizer (RSF), compared to the application of simple superphosphate (SPS) in the base fertilization (BF) and its impact on the need for cover fertilization (CF) in seedlings. a hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, grown in a pot. The experiment was arranged in a randomized block design in a 6x3 factorial scheme, where the first factor corresponds to six doses of BF, (0, 50, 75, 100, 125% phosphorus) of ALL and 100% phosphorus of superphosphate simple (SPS). The second factor corresponds to three applications of CF (0, 1 and 2 of KCl and NH₄NH₃, these applied at 30 and 60 days after planting, according to treatment). Phosphorus, potassium and nitrogen doses were based on the recommendation of fertilization in pots of 300, 100 and 100 mg dm⁻³, respectively. Evaluated at 120 days, Height (H), stem diameter, leaf area (LA), leaf number (LN), shoot dry mass (SDM), root system dry mass (RSDM), total dry mass were evaluated. (TDM) and the Dickson Quality Index (DQI). In addition, the doses of maximum technical efficiency (DMTE) were calculated. The averages obtained by BF of ALL of all variables were higher than SPS. The H it is recommended to use one CF, with DMTE of 252.56 mg dm⁻³, of P, because it had similar growth to SPS. For the other variables, DMTE for AB ranged from 236.52 to 327 mg dm⁻³ of P. In relation to CF, D, NF, RSDM, RSDM/SDM and DQI showed no significant differences. Thus, the DMTE indicated for plantations of the species is 100% ALL ensuring satisfactory initial growth and use of only one CF.

Keywords: Base Fertilization. Cover Fertilization. Controlled Release Fertilizer. Nutrition.

1 Introdução

No Brasil, a silvicultura é responsável por 6,1% do produto interno bruto (PIB) e apresenta expansão, ocupando cerca de 7,84 milhões de ha de área plantada, na qual o eucalipto se destaca como o principal grupo de espécies utilizado (IBÁ, 2019). No entanto, para que o setor continue crescendo, faz-se necessária a utilização de técnicas e tecnologias adequadas, para obter plantas vigorosas e produtivas (SILVA et al., 2015).

Diante desse cenário e, considerando que as espécies de eucaliptos, e principalmente os clones, são exigentes em nutrientes, principalmente o fósforo, na fase inicial do plantio, a adubação se torna essencial para obter elevada produtividade (TEIXEIRA et al., 2019). No mercado, existem inúmeros tipos de fertilizantes, que variam na sua composição, forma (pó, grânulos e encapsulados) e solubilidade (VALDERRAMA et al., 2011). Dentre estes, pode-se ressaltar os adubos de liberação lenta (ALL), os quais apresentam fertilizantes com maior nível de tecnologia, e promovem melhorias na fertilidade do solo (FU et al., 2018).

A taxa de crescimento mundial anual dos ALL foi de 6,5% entre 2014 e 2019, concentrada na Europa e América do Norte. Segundo estes autores, o crescimento do uso de ALL está voltado principalmente para as culturas agrícolas, como cereais, grãos, frutas e legumes. O principal efeito desses adubos envolve o atraso ou prolongamento da disponibilidade de nutrientes no solo, devido a mecanismos que sincronizam a liberação com a demanda da planta, o que acarreta na redução de perdas deste ao ambiente, como por lixiviação ou volatilização da amônia (TRENKEL, 2010; YANG et al., 2012).

Segundo Trenkel (2010), para uma correta utilização dos ALL, é primordial conhecer tanto as exigências nutricionais da cultura de interesse, quanto às condições ambientais do local para sua implantação, de forma que não ocorra incompatibilidade entre o tempo de liberação de nutrientes pelo fertilizante e a demanda nutricional da planta, o que evita a mortalidade de mudas e perdas de crescimento. Assim, as utilizações dessas fontes de fertilizantes promovem a redução da necessidade de adicionar doses elevadas de fertilizantes no solo, o que reduz o gasto com insumos e mão de obra, além de reduzir danos às mudas pela salinidade do meio de cultivo (ZHENG et al., 2016; SILVA et al., 2015).

O uso de ALL para espécies florestais pode ser satisfatório, porém, estes fertilizantes apresentam custo superior às fontes solúveis mais comumente utilizadas, como o superfosfato simples. Além disso, são poucos os trabalhos científicos que atestam a qualidade e quantidade ideal exigida pelas espécies florestais. Diante deste contexto, objetivou-se avaliar as doses

adequadas de ALL (fertilizante encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis), em comparação à aplicação de uma dose padrão de superfosfato simples na adubação de base, e o seu impacto sobre a necessidade de adubação de cobertura em mudas de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, cultivadas em vaso.

2 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no município de Lavras, no sul do estado de Minas Gerais (21° 13' 14,033" S e 44° 58' 0,232" O). O clima da região é classificado de acordo com Köppen como Cwb (clima subtropical de altitude), sendo a temperatura média anual de 19,6 °C, variando entre 14,8 °C e 26,5 °C nos meses mais frios e mais quentes, respectivamente, e com precipitação média anual de 1511 mm (ALVARES et al., 2013; IMET, 2019).

O experimento foi instalado em vasos com capacidade volumétrica para 5 dm³. Para o preenchimento dos vasos, coletou-se um Latossolo Vermelho Distrófico, que foi seco ao ar livre e peneirado, sendo retiradas amostras para realização das análises físicas e químicas (Tabela 1). Os recipientes foram vedados em sua parte inferior a fim de evitar a lixiviação dos nutrientes durante o período experimental.

Tabela 1: Resultado da análise química e física do Latossolo Vermelho utilizado como substrato para o preenchimento dos vasos.

Atributos	Resultados	Atributos	Resultados
pH (H ₂ O)	5,50	m (%)	0,64
P (mg dm ⁻³)	0,40	M.O. (g Kg ⁻¹)	1,22
K (mg dm ⁻³)	3,39	Zn (mg dm ⁻³)	0,55
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,45	Fe (mg dm ⁻³)	32,50
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,10	Mn (mg dm ⁻³)	4,11
AL ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,01	B (mg dm ⁻³)	48,87
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,08	Cu (mg dm ⁻³)	2,44
SB (cmol _c dm ⁻³)	1,56	S (mg dm ⁻³)	11,54
(t) (cmol _c dm ⁻³)	1,57	Areia (dag kg ⁻¹)	13,00
(T) (cmol _c dm ⁻³)	3,64	Silte (dag kg ⁻¹)	21,00
V (%)	42,82	Argila (dag kg ⁻¹)	66,00

Em que: SB: soma de base; t: CTC efetiva; T: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por base; m: índice de saturação por alumínio.

Fonte: Da autora (2020).

A calagem foi realizada como forma de elevar a saturação por bases para 60%, com base na análise química do solo. Para isso, utilizou-se o calcário dolomítico calcinado com 36% de CaO e 14% de MgO (Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) igual a 100%). As doses aplicadas foram de 1,70 g por vaso, conforme fórmula proposta por Raij (2011).

As mudas utilizadas no experimento foram adquiridas de um viveiro florestal situado em Lavras-MG. A espécie empregada foi um clone de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (I144). As mudas tinham em média de 14 cm de altura e 1,80 mm de diâmetro de coleto.

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 6x3, em que o primeiro fator representa as doses de adubação de plantio, e o segundo fator representa o número de adubações de cobertura realizadas. O experimento foi instalado com quatro repetições e parcelas de planta única.

As doses das fontes foram calculadas baseadas na recomendação para adubação de solos em vaso de acordo com Malavolta (1980). Para a adubação de base foi considerada a recomendação de P pelo autor de 300 mg dm^{-3} , sendo a fonte de adubo o superfosfato simples (SPS), contendo 18% de P_2O_5 , 16% de Ca e 8% de S, correspondente a 100%. Para a adubação de liberação lenta (ALL), utilizou-se um adubo formulado, encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, que apresenta a composição de 11% de N, 22% de P_2O_5 , 11% de K_2O , 12,29% de S, 0,35% de B, 0,30% de Cu e 0,30% de Zn, com doses correspondentes a 0, 50, 75, 100 e 125% do nível de P_2O_5 em relação aos 300 mg dm^{-3} aplicados sob a forma de superfosfato simples (Tabela 2).

As doses para a adubação de cobertura (AC) foram baseadas nos níveis de K e N, recomendadas por Malavolta (1980), as quais correspondem a 100 mg dm^{-3} para ambos nutrientes. A adubação foi feita via fontes p.a. de cloreto de potássio (KCl) e nitrato de amônia (NH_4NH_3), sendo testadas três diferentes doses/parcelamentos dos adubos correspondentes a 0 e 50 mg dm^{-3} aos 30 dias após o plantio e de 100 mg dm^{-3} divididas em duas aplicações, sendo estas aos 30 e 60 dias após o plantio.

Tabela 2: Doses e épocas de aplicação de adubação de base (AB) e adubação de cobertura (AC), utilizadas no plantio de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (clone I144).

Adubação de base				
Fertilizante	Tratamentos	Dose de P (mg dm⁻³)	Aplicação	
SPS	100% SPS	300	Plantio	
	0% ALL	0	Plantio	
ALL (11-22-11)	50% ALL	150	Plantio	
	75% ALL	225	Plantio	
	100% ALL	300	Plantio	
	125% ALL	375	Plantio	
Adubação de cobertura				
Fertilizante	Tratamentos	Dose de N e K (mg dm⁻³)	Aplicação	
KCl e NH ₄ NH ₃	0 AC	0	Sem aplicação	
	1 AC	50	30 dias após plantio	
	2 AC		100	Dividida em duas
				aplicações (aos 30 e 60 dias após plantio)

Em que: SPS: superfosfato simples; ALL: adubo de liberação lenta.

Fonte: Da autora (2020).

Aos 120 dias após o plantio, realizou-se a mensuração da altura da parte aérea (H), do diâmetro de coleto (DC) e do número de folhas por planta. Também foram realizadas análises destrutivas por meio da separação do sistema radicular e da parte aérea, a qual foi subdividida em folhas e galhos. Após a divisão, efetuou-se a lavagem do material com água deionizada, com posterior armazenamento em embalagem de papel para serem secas em estufa de circulação forçada de ar, com a temperatura de 65°C até atingir peso constante (aproximadamente, 72h).

Com o material seco, realizou-se a pesagem em balança de precisão (0,01 g) para obtenção da massa seca dos galhos (MSG), da massa seca das folhas (MSF), da massa seca da parte aérea (MSPA) que corresponde a MSG + MSF, da massa seca do sistema radicular (MSSR) e da massa seca total (MST). Como forma de verificar a qualidade morfológica das mudas, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON et al., 1960), Equação 1.

$$IQD = \frac{MST}{\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSSR}} \quad (\text{Eq.1})$$

Além das medidas de crescimento, foram feitas a análise da área foliar e a análise química das folhas. A área foliar (AF) foi avaliada aos 120 dias, sendo o procedimento de análise realizado por meio da coleta de todas as folhas em todas as parcelas. Em seguida, efetuou-se a captura de imagens digitais com auxílio de uma câmera digital, apoiadas em um suporte com altura de 0,5 m, de todas as folhas das mudas fixadas sobre uma folha branca de papel A4, ao lado de uma régua milimétrica. Esta mensuração direta da área foliar foi realizada por meio de imagens digitais, utilizando o *software* ImageJ[®] (*Power ful Image Analysis*) de domínio público.

O *software* ImageJ[®] captura a imagem das folhas por meio dos contrastes de cores, sendo a folha de cor escura e o fundo contrastante de cor clara, e com base na comparação com uma escala real presente, calcula a área foliar real (JADOSKI et al., 2012).

A análise química foliar foi realizada por meio de sub amostras das matérias secas de todas as folhas das quatro repetições por tratamento, obtidas das avaliações destrutivas morfológicas. Estas amostras foram moídas em moinho tipo *Wiley*, e encaminhadas para o Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, para análise química, dos teores de N, P, K, S, B, Cu e Zn. Com base nos teores dos elementos avaliados e na produção de matéria seca, foram calculados os acúmulos de nutrientes na MSF, por meio da multiplicação dos valores de teores destes elementos pelos valores de matéria seca das plantas, conforme metodologia de Prezotti e Bragança (2013).

Os dados obtidos das características morfológicas, foram submetidos à análise de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk. Ao conferirem normalidade realizou-se a análise de variância (ANOVA), e uma vez verificada a diferença significativa, foi realizado o teste Dunnet, à 5% de probabilidade do erro, o qual foi utilizado para comparar o tratamento com adubação via SPS com as demais adubações, por meio do *software* R. Também foram realizadas a análise de regressão em nível de 5% de probabilidade de erro, para as adubações de base, e pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro, para a adubação de cobertura, por meio do *software* SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

Para indicar a melhor dose a ser aplicada para o ALL, foi calculada a dose máxima de eficiência técnica (DMET), para as variáveis em que foram verificadas diferenças significativas

pelo teste F. Para isso, foi realizada análise de regressão linear das variáveis em função das doses dos fertilizantes testados, considerando a significância dos coeficientes, ao nível de 5% de probabilidade de erro, e pelo coeficiente de determinação (R^2). A DMET das variáveis de interesse, foram correspondentes a primeira derivada das equações ajustadas, igualadas a zero. Quando o valor calculado excedeu a dose máxima testada, a DMET considerada foi de 125% ALL (375 mg dm^{-3})

3 Resultados

Ao comparar a média do crescimento das mudas entre os tratamentos com adubo de liberação lenta e o SPS, Tabela 3, de modo geral o SPS foi superior a apenas o 0% ALL, exceto para a AF, em que o SPS também foi superior a adubação via 50% ALL. Em relação a superioridade do ALL ao SPS, apenas a altura e a MSPA, apresentaram médias com diferenças significativas, para os tratamentos 75, 100 e 125% de ALL.

Tabela 3: Médias observadas para a altura (H), diâmetro de coleto (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), MSPA/MSSR, massa seca total (MST), e área foliar (AF), para a adubação de base via adubos de liberação lenta (ALL) e superfosfato simples (SPS), para híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos 120 dias de idade.

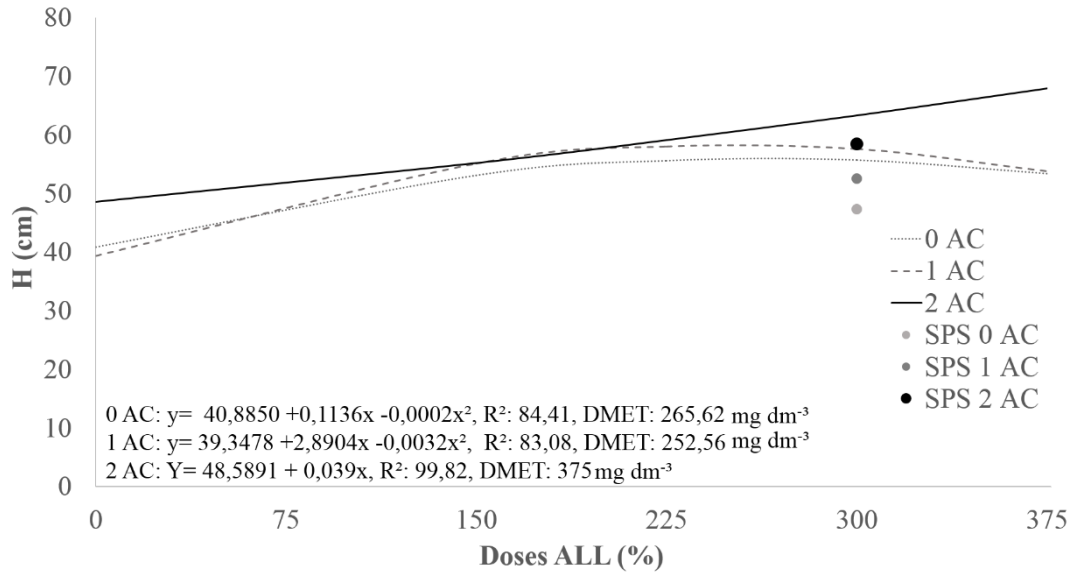
Tratamentos	H (cm)	DC (mm)	NF	MSPA (g)	MSSR (g)	MSPA/MSSR	MST (g)	IQD	AF (cm ²)
0% ALL	42,78*	4,58*	24,56*	5,82*	2,33 ^{ns}	2,53 ^{ns}	8,15*	0,68*	657,21*
50% ALL	52,87 ^{ns}	5,43 ^{ns}	43,75 ^{ns}	8,52 ^{ns}	3,25 ^{ns}	3,01 ^{ns}	11,77 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1106,06*
75% ALL	57,50*	5,92 ^{ns}	48,63 ^{ns}	10,72 ^{ns}	2,96 ^{ns}	4,11 ^{ns}	13,67 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1175,12 ^{ns}
100% ALL	61,88*	6,56 ^{ns}	47,33 ^{ns}	10,90*	2,75 ^{ns}	4,03 ^{ns}	13,65 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1188,64 ^{ns}
125% ALL	55,38*	6,02 ^{ns}	38,25 ^{ns}	9,35 ^{ns}	2,81 ^{ns}	3,56 ^{ns}	12,16 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1137,21 ^{ns}
SPS	51,63	5,99	39,80	9,06	2,82	3,28	11,88	1,00	1358,56

Em que: ALL: adubo de liberação lenta; SPS: superfosfato simples. Médias seguidas de * apresentaram diferença significativa em relação ao tratamento SPS, e médias seguidas de ns não apresentaram diferença significativa com o tratamento SPS, pelo Teste Dunnnett a 5% de probabilidade do erro.

Fonte: Da autora (2020).

Em relação ao teste de regressão e ao teste de médias para a adubação de base (AB) e a adubação de cobertura (AC), a altura foi a única variável que apresentou interação entre os fatores analisados. Na Figura 1, verifica-se que o crescimento em altura para os tratamentos com duas AC foi semelhante ao uso de uma AC, até a dose de ALL 75%, a partir desta dose se constata que as mudas cresceram mais com o uso de duas adubações de cobertura. A DMET, com o uso de nenhuma, uma e duas AC foi de 265,62, 252,56 e 375,00, mg dm^{-3} .

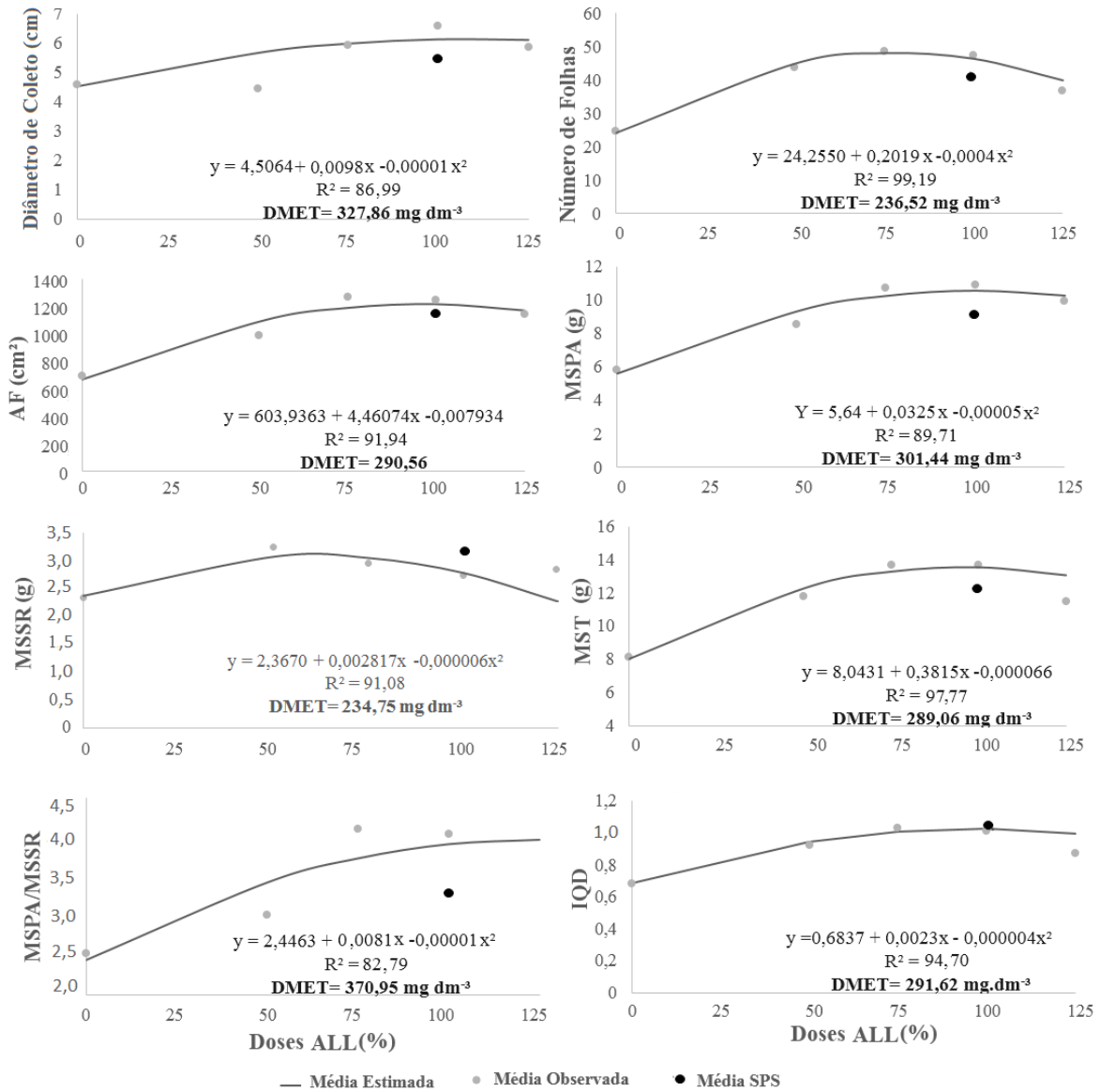
Figura 1: DMET e o efeito do adubo ALL sobre o crescimento das alturas nas diferentes adubações de base com o adubo de liberação lenta (ALL) e adubação de cobertura, em híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos 120 dias de idade.



Fonte: Da autora (2020).

As doses de P, aplicadas via ALL, que apresentaram a máxima eficiência técnica (DMET) para as variáveis avaliadas foram de $327,86 \text{ mg dm}^{-3}$ para o DC, $291,62 \text{ mg dm}^{-3}$ para a AF, $236,52 \text{ mg dm}^{-3}$ para NF, $301,44 \text{ mg dm}^{-3}$ para a MSPA, $289,06 \text{ mg dm}^{-3}$ para a MST, $370,95 \text{ mg dm}^{-3}$ para a MSPA/MSSR e $290,56 \text{ mg dm}^{-3}$ para o IQD. Em geral, nota-se que as doses de 75 e 100% ALL, apresentam médias semelhantes entre si, para todas as variáveis, o que representa um potencial de redução da dose de adubação de base. Além disso, nota-se que para todas as variáveis, há uma queda de crescimento na dose de ALL 125%, Figura 2.

Figura 2: Diâmetro de coleto (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), MSPA/MSSR, Índice de Qualidade de Dickson (IQD), e doses de máxima eficiência técnica (DMET), em função de diferentes doses de adubo de liberação lenta (ALL), em híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.



Fonte: Da autora (2020).

Conforme se verifica na Tabela 4, o DC, o NF, a MSPA/MSSR e o IQD não apresentaram diferenças significativas entre as doses de AC, com médias de 5,63 mm, 40,28, 3,33 e 0,94, respectivamente. Para as variáveis MSPA (10,14 g), MSSR (3,40 g), MST (13,52 g) a utilização de duas AC apresentaram resultados superiores às demais aplicações. Enquanto

para a AF, a utilização de uma AC (1070,34 cm²) e duas AC (1249,20 cm²) foi superior à aplicação de zero AC (952,31 cm²).

Tabela 4: Médias das variáveis morfológicas de plantas de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos 120 dias de idade, em função da adubação de cobertura.

Tratamentos	DC (cm)	NF	MSPA (g)	MSSR (g)	MSPA/ MSSR	MST (g)	IQD	AF (cm ²)
0 AC	5,47 a	39,20 a	8,35 b	2,46 b	3,25 a	10,81 b	0,86 a	952,31 b
1 AC	5,84 a	40,00 a	8,79 b	2,66 b	3,35 a	11,46 b	0,94 a	1070,34 ba
2 AC	5,94 a	41,66 a	10,14 a	3,38 a	3,59 a	13,52 a	1,02 a	1249,20 a

Em que: DC: diâmetro do coleto; NF: números de folhas; MSPA: massa seca da parte aérea; MSSR: massa seca do sistema radicular; MST: massa seca total; IQD: Índice de Qualidade de Dickson; SPS: superfosfato simples e AC: adubação de cobertura; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não se diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade do erro.

Fonte: Da autora (2020).

Os resultados obtidos para as análises foliares se encontram nas Tabelas 5. Quanto maior as doses aplicadas de ALL, e quando foi aplicada a AC, observa-se que houve um aumento na concentração dos nutrientes nas folhas. Para adubação via SPS, nota-se que o acúmulo dos macronutrientes N e K apenas se aproximam com a adubação via ALL, quando realizado em duas adubações de cobertura. Em relação aos micronutrientes, o B se destaca, por ter obtido um grande acúmulo no tratamento adubado com a dose de 125% ALL.

Tabela 5: Acúmulo de macro e micronutrientes na massa seca das folhas, correspondentes a adubação de base e de cobertura, para o plantio de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos 120 dias de idade.

AB	AC	g planta ⁻¹					mg planta ⁻¹		
		N	K	P	S	Zn	Cu	B	
SPS	0 AC	93,42	62,78	8,59	9,34	81,46	12,70	41,10	
SPS	1 AC	154,86	92,92	10,68	14,95	97,19	25,63	58,74	
SPS	2 AC	198,12	127,00	13,97	18,42	145,42	37,47	42,55	
Sem adubação	0 AC	74,1	51,47	3,29	9,86	69,35	20,08	64,97	
Sem adubação	1 AC	76,73	47,63	3,40	7,94	94,50	23,81	51,03	
Sem adubação	2 AC	94,65	61,55	3,26	9,79	90,45	19,12	59,21	
50% ALLP	0 AC	128,3	39,37	7,29	6,80	79,22	14,09	272,16	
50% ALLP	1 AC	161,24	86,90	10,99	12,56	101,56	34,03	168,57	
50% ALLP	2 AC	175,41	104,05	10,35	14,16	145,45	47,39	384,05	
75% ALLP	0 AC	187,27	104,74	11,11	14,28	111,09	35,44	305,16	
75% ALLP	1 AC	210,67	139,54	14,36	19,84	136,08	47,20	307,80	
75% ALLP	2 AC	195,62	133,65	10,33	14,58	164,84	39,49	356,00	

AB	AC	N	K	P	S	Zn	Cu	B
		g planta ⁻¹				mg planta ⁻¹		
100% ALLP	0 AC	164,62	103,88	9,65	13,62	107,86	27,25	303,7
100% ALLP	1 AC	177,45	115,34	12,42	13,6	106,47	40,22	337,12
100% ALLP	2 AC	207,23	136,85	12,38	14,99	119,91	44,31	348,64
125% ALLP	0 AC	140,50	96,62	10,45	14,1	120,64	40,21	368,16
125% ALLP	1 AC	189,20	138,76	11,05	15,19	176,73	46,94	439,74
125% ALLP	2 AC	202,70	116,43	11,59	14,48	133,23	41,71	447,76

Em que: AB: adubação de base; AC: adubação de cobertura; ALL: adubo de liberação lenta; SPS: superfosfato simples.

Fonte: Da autora (2020).

4 Discussão

De forma geral, para todos os parâmetros de crescimento, de acordo com o Teste Dunnet a 5% de probabilidade do erro, tabela 3 todas as doses testadas do ALL, estão apropriadas para o crescimento de todas as variáveis, das mudas de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, devido não apresentarem diferenças estatísticas em relação à adubação via SPS, adubo comumente utilizado em plantios florestais. No entanto a dose de 75, 100 e 175% ALL, se destacaram por apresentarem médias superiores ao SPS, o que demonstra o potencial da utilização de ALL. Assim como o encontrado neste trabalho, Marques et al. (2013) verificaram ganhos em crescimento com o uso de ALL em detrimento do uso de SPS em plantios de café. Yang et al. (2012) também observaram que o uso de ureia de liberação controlada proporcionou melhor absorção de nitrogênio e maior crescimento, em plantios de arroz, em detrimento do uso de ureia convencional.

Em relação à altura, o ALL se mostrou superior aos pontos observados do SPS, dentro do tratamento sem adubação e com uma adubação de cobertura, o que está associado, ao fato do ALL apresentar além do P, os nutrientes N, K, S e os micronutrientes em sua composição. Além disso, de acordo com as médias apresentadas na figura 1, observa-se que com apenas uma adubação de cobertura, nas doses de 75 e 100% ALL, as mudas atingiram crescimento próximo ao SPS com duas adubações de cobertura. A DMET para uma adubação de cobertura foi de 252,56 mg dm⁻³ de P, ou seja, este tratamento possibilitou reduzir a dose de adubação de base e conseqüentemente, reduzir a necessidade de adubação de cobertura, possibilitando economia de gastos. Este resultado foi possível devido à porcentagem de N e K fornecidas na dose (252,56 mg dm⁻³ de P) aplicadas no plantio, ser o suficiente para suprir a demanda nutricional das plantas. Silva et al. (2015) ao observarem que aos 18 meses de plantio, o uso de ALL formulado

06:30:10 (N:P:K), na dose de 395 g planta⁻¹, não apresentou diferenças significativas ao uso de fertilizantes de liberação imediata, de forma parcelada.

Normalmente, as adubações de plantio contemplam baixo teor de N e K, tornando imprescindível as adubações de cobertura como forma de suprir a demanda por estes nutrientes. Da Ros et al. (2016), estudando supressão de macronutrientes em plantio de *E. grandis*, observaram que a redução da altura e matéria seca foram ocasionadas pela omissão de N, visto que esse nutriente é requerido em maior quantidade, principalmente, pelo fato de controlar o ritmo de crescimento, tamanho e vigor das plantas em diversos processos fisiológicos na planta (MALAVOLTA, 1980; XU et al., 2012). Zheng et al. (2016) observou que o uso dos ALL, foi oportuna, em plantios de milho e trigo, já que o seu uso reduziu gastos com insumos, mão de obra, além de potencializar a absorção de nutrientes pela planta, ocasionando ganhos em produtividade.

Ao observar o diâmetro do coleto, nota-se que o menor crescimento está nos tratamentos sem adubação de base e com dose de 50% ALL. Esse resultado pode estar relacionado às baixas disponibilidades de P na massa seca das folhas, uma vez que conforme Pinto et al. (2011) os plantios de eucalipto possuem maior exigência de P na fase inicial do plantio, diminuindo ao longo da idade, assim como encontrado por Teixeira et al. (2019), que observaram maiores incrementos em diâmetro do colo, aos 30 dias de idade, nos tratamentos que receberam adubação com P.

O fósforo tem uma importante função no metabolismo vegetal (MALAVOLTA, 1980; TEIXEIRA et al., 2019), visto que este nutriente desempenha um papel fundamental na respiração vegetal, no processo fotossintético, na síntese das proteínas, assim como no crescimento das raízes, o que pode justificar o menor crescimento em diâmetro nos tratamentos 50% ALL e sem adubação. Além da importância de sua função fisiológica, o P é o nutriente que mais limita a produção vegetal no Brasil, principalmente por este elemento apresentar baixa disponibilidade nos solos brasileiros, por ter alta capacidade de reagir com componentes do solo e por formar compostos de baixa solubilidade (FLEITAS et al., 2018).

De acordo com Trenkel (2010), cerca de 10 a 25% do P aplicado é perdido por não estar disponível na solução do solo, o que influencia na quantidade do nutriente aplicado, sendo esta maior do que a quantidade exigida pela planta. Dessa forma, a utilização de fontes de P em adubos de liberação lenta, torna-se importante, pois está fornece o nutriente para planta, de acordo com sua demanda, evitando a imobilização do nutriente no solo.

A utilização de espécies e ou clones que possuem eficiência na absorção de P é importante para reduzir perdas do nutriente para o ambiente, assim como observado por Pinto et al. (2011), que estudando diversos clones de eucaliptos, constataram que o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (clone I144), foi classificado com alta eficiência na absorção e utilização do P, o que maximiza o efeito da adubação. Estes resultados corroboram com o observado no presente trabalho, visto que a fonte de liberação lenta, somado à eficiência de absorção dos nutrientes pelo o clone utilizado, reduziu em até 25% da dose recomendada para adubação de base, para H, DC, MSPA e MST, MSPA/MSSR e AF.

A liberação gradual dos nutrientes garante a assimilação pela planta durante o crescimento do sistema radicular (SILVA et al., 2015). Este comportamento possibilita a redução de perdas de nutrientes por lixiviação e maximiza a absorção dos nutrientes pela planta. De acordo com Silva et al. (2014), os riscos de perda de nutrientes por lixiviação em plantio com eucalipto ocorrem apenas na fase inicial por meio da percolação destes ao solo, sendo nula após esta fase.

De acordo com Ramos et al. (2009), ao estudarem o efeito de doses crescentes de B, em clones de *C. citriodora*, cultivados em vasos de 3 dm³, preenchidos por Latossolo Vermelho, observaram que a partir da dose de 2,25 mg dm⁻³ de B ocorreu queda da matéria seca da planta, e com dose de 6,25 mg dm⁻³, as mudas apresentaram brotações que não se desenvolveram aos 110 dias. Assim como observado pelos autores, nota-se que a queda de matéria seca ocorreu na adubação com 125% de ALL, o que corresponde 5,96 mg dm⁻³ de B. Apesar do papel fisiológico do nutriente, ainda não se conhece bem seus sintomas de toxidez, por ser menos comum em relação a sua deficiência (MARSCHNER, 2012).

Dessa forma, a redução de NF, MSPA e MST, principalmente nas médias observadas, no tratamento 125% de ALL, pode estar relacionado a alta concentração de boro na massa seca foliar, devido ao ALL conter 0,35% de B na sua formulação. A maior absorção do micronutriente, também pode estar relacionada a maior concentração externa de íons no solo, nas doses mais elevadas, a qual, segundo Marschner (2012) acarreta a maior absorção iônica radicular.

A maior parte do boro adicionado ao solo, na faixa de pH da maioria dos solos agrícolas, permanece na forma neutra, a qual praticamente não interage com a fase sólida do solo, permanecendo em grande parte na sua solução (RAMOS et al., 2009). Segundo Marschner (2012), o seu transporte até as raízes ocorre por fluxo de massa, assim a adição de doses de boro

além da necessidade da planta, como observado no tratamento 125% ALL, pode ter levado a um nível de toxidez, promovendo redução no crescimento das plantas.

As menores relações entre a MSPA/MSSR foram observadas nos tratamentos 0 e 50% ALL, evidenciando o maior investimento relativo em produção de raízes que em parte aérea. Essa baixa relação pode ser benéfica em condições de baixo nível de fertilidade do solo, pois haverá maior superfície radicular para suprir as necessidades da planta (PINTO et al., 2011). Por outro lado, a maior translocação de fotoassimilados para o sistema radicular pode limitar o desenvolvimento vegetativo da parte aérea, diminuindo a área fotossinteticamente ativa (HORN et al., 2006).

A área foliar é uma das variáveis mais representativas do crescimento e produção da planta, por ser relacionada com a área fotossintética (MENDES et al., 2013). De acordo com Smethurst et al. (2003), a área foliar é significativamente influenciada pelo aumento das doses de N, em plantios de *Eucalyptus nitens*, uma vez que este justifica o aumento da AF com a adição/aplicação de duas AC. De acordo com Dechen e Nachtigall (2007), a maior absorção de nitrogênio, na fase inicial do ciclo vegetativo, resulta em maior área foliar e, conseqüentemente, maior fixação de CO₂, já que participa da síntese de clorofilas, como componente dos sistemas energéticos na planta e dos ácidos nucléicos e aminoácidos, os quais formam as proteínas. Ademais, a área foliar está diretamente relacionada com a produção de massa seca, sendo este um critério importante e fundamental para o vigor de espécies florestais (PINTO et al., 2011).

Em relação ao acúmulo de nutrientes na massa seca das folhas, o teor dos nutrientes nas folhas das mudas foi crescente com o aumento das doses do ALL, conforme observado por Teixeira et al. (2019). Para a dose de 0% de ALL e adubação via SPS, os teores dos nutrientes foram inferiores aos encontrados com as adubações via ALL, principalmente para os micronutrientes. Já para K, S e P, os tratamentos sem adubação e 50% ALL, apresentaram os menores teores. A adubação 50% ALL, apresenta metade da dose recomendada para cultivos em vasos, o que justifica as menores concentrações dos nutrientes encontradas. A adubação com SPS apresentou concentração de P e S como as demais doses do ALL, por conter 18% de P₂O₅ e 8% de S.

Ao determinar para a adubação de base a DMET, obteve-se resultados entre 236,96 e 327,86 mg dm⁻³ para o nível de P no ALL. Assim, recomenda-se utilizar a dose de 300 mg dm⁻³ para obter maior produtividade (MALAVOLTA, 1980).

O uso de adubos de liberação lenta em detrimento dos convencionais (liberação imediata) proporcionou a redução da utilização de fertilizantes e ganhos semelhantes ou

superiores em produtividade, assim como o encontrado no cultivo da banana por Nomura et al. (2008), no arroz, por Yang et al. (2012), e no eucalipto, por Silva et al. (2015).

Ao observar o efeito do parcelamento da adubação de cobertura para as características DC, NF, MSPA/MSSR, IQD e a AF, verifica-se que não ocorreu perda de qualidade das mudas, com a redução da AC. Para a H uma adubação de cobertura nas doses de 75 e 100% de ALL apresentou crescimento satisfatório e próximas às médias observadas na adubação convencional via SPS com duas adubações de cobertura. Dessa forma, a aplicação da metade da dose recomendada para adubação de cobertura (50 mg dm^{-3}), em uma parcela, foi eficiente para ambos os tratamentos, devido ao ALL, conter N e K na sua formulação. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2013; 2015), que recomendam o uso de apenas uma adubação de cobertura, porém, em dose completa usando o ALL (06:30:10) nos plantios de eucalipto

De modo geral, salienta-se que a utilização de ALL, encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, aumentou a qualidade do crescimento das mudas. Constatou-se ainda que ao utilizar o ALL, possibilita a redução de operações da adubação de cobertura, com aplicação de metade da dose indicada de N e K, realizadas em apenas uma operação. Logo, a principal vantagem na redução do número de parcelas da fertilização de cobertura está associada com o emprego da mão de obra, que é cada vez mais escassa e onerosa para implantação e manutenção florestal.

5 Conclusão

A utilização do ALL, encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, garante maior crescimento das mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, quando comparada à adubação comumente utilizada em plantios florestais via SPS.

Para as condições estudadas, recomenda-se utilizar a dose de 100% de ALL, o que equivale a 300 mg dm^{-3} de P, do fertilizante, na adubação de base, adicionando numa única aplicação, a metade da dose recomendada de N e K (50 mg dm^{-3}).

A utilização da dose de 125% de ALL, ou seja, 375 mg dm^{-3} de P, promoveu toxidez de B nas plantas, promovendo queda de crescimento.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Empresa Produquímica e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart*. v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013.
- DA ROS, C. O. et al. Crescimento inicial de povoamentos mistos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Toonaciliata* M. Roem var. australis com supressão de macronutrientes primários. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.44, n.111, p. 769- 777, set. 2016.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132, 2007.
- DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*. Ottawa, v. 36, p. 10- 13, 1960.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FLEITAS, A. C.; PAIVA, L. M.; FERNANDES, H. J. ; DUARTE, C. F. DOMINGUES ; FALCÃO, K. R. S.; BISERRA, T. T. Características morfogênicas do capim-convert HD364® adubado com fontes de fósforo de diferentes solubilidades. **Agrarian**. v. 11, p. 59-67, 2018.
- FU, J. WANG; C. CHEN, X.; HUANG, Z.; CHEN. D. Classification research and types of slow controlled release fertilizers (SRFs) used - a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 49, n.:17, p. 219-2230, 2018.
- HORN, D.; ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; SCHWEITZER, C. & CASSOL, P.C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:77-85, 2006.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais>>. Acesso em: 29 set. 2019.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2018**. Ibá. Brasília - DF, 2018. Disponível em: <<http://www.iba.org>>. Acesso em: 02 out. 2019.
- JADOSKI, S. O.; LOPES, E. C. ; MAGGI, M. F. ; SUCHORONCZEK, A.; SAITO, L. R. ; DENEGA, S. Método de determinação da área foliar da cultivar de batata Ágata a partir de dimensões lineares. **Ciências Agrárias**. v. 33, p. 2545-2554, 2012.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- MARQUES, H. M. C.; ROMAGNOLI, T.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PAIVA, R. F. ; MAURI, R. . DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.), COM DOSES DE CO-POLÍMERO HIDROABSORVENTE EM ADUBAÇÃO CONVENCIONAL E DE LIBERAÇÃO CONTROLADA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 2994-3002, 2013.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012. 889 p.

MENDES, HÉLIO SANDOVAL JUNQUEIRA; PAULA, NÁDIA FIGUEIREDO DE ; SCARPINATTI, EDIMAR APARECIDO ; PAULA, RINALDO CESAR DE . Respostas fisiológicas de genótipos de *E. grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**. Lavras, v. 19, p. 603-611, 2013.

NOMURA, E. S.; LIMA, J. D.; G., V. A. ; RODRIGUES, D. S.; NOMURA, E. S. . Crescimento de mudas micropropagadas da bananeira cv. Nanicão, em diferentes substratos e fontes de fertilizante. **Acta Scientiarum. Agronomy** (Online), v. 30, p. 359-363, 2008

PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M. Acúmulo de massa seca, N, P, e K em diferentes materiais genéticos de café conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 284-294, 2013.

PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; Neves, J.C.L.; FAQUIN, V. ; Moretti, Bruno da Silva . Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 523-533, 2011.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; FERREIRA, R. M. A.; ARAÚJO, J. L.; CARVALHO, J. G. Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois Latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 57-65, 2009.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.301, p. 67-71, 2013.

SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; LIMA, W.P.; LIBARDI, P. L. Soil water dynamics and litter production on eucalypt and native vegetation in Southeastern Brazil. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, v.71, n.5, p. 374-379, 2014.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; SILVA, A. A.; PRADA NETO, I.; PAULA, R. C. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, Lavras, v. 21, p. 473-481, 2015.

SMETHURST, P.; BAILLIE, C.; MARIA CHERRY, M., HOLZ, G. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology Management**. 176:531-542, 2003.

TEIXEIRA, C. E.; TORRES, A, Q, A.; NIERI, E. M.; MELO, L.A.; SANTOS, L. V.; BOTELHO, S. A. Polímero hidrorretentor e fertilização mineral na implantação de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 988-1003, 2019.

TRENKEL, M.E. **Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture**. International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France pp. 11–122, 2010.

VALDERRAMA, M. BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M. C. M.T. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiania, v. 41, n. 2, p. 254-263, abr./jun. 2011.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A. J. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. **Annual Reviews Plant Biology**. v. 63, p. 153–82, 2012.

YANG, T.; ZHANG, M.; LI, Y. X. F. GENG, Y. Controlled Release Urea Improved Nitrogen Use Efficiency, Activities of Leaf Enzymes, and Rice Yield. **Soil Science Society of America Journal**. v. 76, n. 6, p. 2307-2317.2012.

ZHENG, W.; ZHANG, M.; LIU, Z.; ZHOU, H.; LU, H.; ZHANG, W; YANG, Y.; LI, C.; CHEN, B. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system. **Field Crops Research**. v.197, p.52–62, 2016.

CAPITULO 4 ADUBOS DE LIBERAÇÃO LENTA EM PLANTIOS DE CLONES DE EUCALIPTO SOBRE LATOSSOLO VERMELHO

RESUMO

Os adubos de liberação lenta (ALL) tem se destacado no mercado mundial, no entanto, seu uso na área florestal ainda é incipiente. Neste contexto o objetivo deste trabalho foi testar a eficiência e as doses adequadas de ALL revestido com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, em comparação à aplicação de uma dose padrão de superfosfato simples na adubação de base (AB), e o seu impacto sobre a necessidade de adubação de cobertura (AC) em mudas de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*), aos dez meses de idade. O experimento foi disposto no esquema fatorial 5 x 2 (cinco doses de AB (0, 18, 27 e 36 g de P₂O₅ planta⁻¹) aplicados via ALL e 27 g de P₂O₅ planta⁻¹, aplicados via superfosfato simples (SPS) e duas aplicações de AC (0 e 80 g via adubo formulado 20:00:20), em delineamento de blocos casualizados completos com quatro repetições e três plantas por parcela. Foram avaliadas, a cada dois meses a altura (H), o diâmetro a altura do solo (DAS), e a área de copa (ACo) e aos dez meses, foi aferido a massa seca da parte aérea (MSPA). Ademais, foram calculadas as doses de máxima eficiência técnica (DMET). A H e a ACo, apresentaram interação entre os fatores, demonstrando crescimento semelhante, entre os tratamentos com e sem AC, para todas as doses, para a adubação via ALL. A AB feita via ALL, também demonstrou superioridade ao uso de SPS. Para as demais variáveis, na AB, foi observado que o uso de ALL foi superior ao uso de SPS. As doses de 27 e 36 g de P₂O₅ planta⁻¹, apresentaram crescimento superior as demais, para todas as variáveis. A DMET variou de 24,62 a 54,63 g de P₂O₅ planta⁻¹. Dessa forma, de acordo com o indicado para adubação em campo, recomenda-se o uso de ALL na dose de 27 g de P₂O₅ planta⁻¹, e sem a realização de AC.

Palavra-chave: Nutrição florestal. Fertilizante de liberação controlada. Plantios florestais.

SLOW RELEASE FERTILIZERS IN EUCALYPT PLANTS ON RED LATOSOL

ABSTRACT

Slow release fertilizers (RSF) has been prominent in the world market, however, their use in the forest area is still incipient. In this context, the objective of this work was to test the efficiency and the adequate doses of elemental sulfur coated and coated by non-water soluble organic polymers RSF, compared to the application of a standard dose of simple superphosphate in the base fertilizer (BF), and its impact on the need for cover fertilization (CF) in seedlings of a *Eucalyptus urophylla* x (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*) hybrid, at ten months of age. . The experiment was arranged in a 5 x 2 factorial design (five doses of BF (0, 18, 27 and 36 g of P₂O₅ plant⁻¹) applied via RSF and 27 g of P₂O₅ plant⁻¹, applied via simple superphosphate (SPS) and two applications of CF (0 and 80 g of formulated fertilizer 20:00:20), in a complete randomized block design with four replications and three plants per plot. Every two months, the height (H), diameter at ground height (DGH), and crown area (CA), and at ten months, shoot dry mass (SDM), were evaluated. The doses of maximum technical efficiency (DMTE) were also calculated. H and CA showed interaction between factors, presenting similar growth between treatments with and without CF, for all doses and for RSF fertilization. BF made with RSF also demonstrated superiority to the use of SPS. For the other variables, in BF, it was observed that the use of RSF was higher than the use of SPS. The doses of 27 and 36 g of P₂O₅ plant⁻¹ showed higher growth than the others for all variables. DMTE ranged from 24.62 to 54.63 g of P₂O₅ plant⁻¹. Thus, according to the field fertilizer indication, it is recommended to use RSF at a dose of 27 g P₂O₅ plant⁻¹, and without CF.

Keyword: Florest nutrition. Controlled release fertilizer. Forest plantations.

1 Introdução

O uso de fertilizantes na agricultura contribui para a redução das emissões globais de gases do efeito estufa (ZARIN, 2012). A sua utilização permite maior produtividade por área e, conseqüentemente, redução da supressão de áreas com florestas nativas, as quais são importantes sumidouros de carbono (MACEDO et al., 2012; VITOUSEK et al., 2009).

Uma das tecnologias em desenvolvimento mundial, são os adubos de liberação lenta (ALL), os quais liberam os nutrientes ao longo do tempo para a planta, reduzindo a perda deste por lixiviação e por volatilização do nitrogênio (GWENZI et al., 2018). Os ALL melhoram as condições de crescimento das plantas, uma vez que estes fornecem nutrientes de acordo com a sua demanda, além de reduzir o estresse e toxicidade específica resultante do suprimento excessivo de nutrientes nas zonas radiculares (GUO et al., 2016).

Devido aos seus benefícios, estes adubos, têm ocupado o mercado mundial, com taxa de crescimento de 6,5%, entre 2014 a 2019, com crescimento principalmente para as culturas agrícolas, como na produção de cereais e grãos, nos Estados Unidos, e de frutas e legumes na Europa (FU et al., 2019). No Brasil, existem estudos para algumas culturas, relacionados com a redução da perda dos nutrientes, melhoria da qualidade das culturas e aumento da produtividade, como o café (MARQUES et al., 2013), milho (CIVARD et al., 2011), e arroz (KIRAN et al., 2010).

De acordo com Silva et al. (2015) e Lang et al. (2010), o uso de ALL, no plantio de espécies florestais pode promover a redução da necessidade de adubações de cobertura e ainda promover ganhos em crescimento. Estes benefícios possibilitam a redução dos custos de manutenção dos plantios, os quais são concentrados nos primeiros anos (BRANCALION et al., 2017). No entanto, segundo FARIA et al. (2016), o uso de ALL no setor florestal ainda é incipiente, com poucas referências que evidenciam a melhoria da eficiência de aplicação de nitrogênio, via ureia. Neste contexto, tem-se o estudo de Silva et al. (2015), ao utilizarem ALL encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis em plantios de híbridos de eucalipto na adubação de base, verificaram redução da necessidade da adubação de cobertura e, conseqüentemente, a redução dos gastos com manutenção do plantio.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi testar a eficiência e as doses adequadas de ALL (adubo revestido com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis), em comparação à aplicação de uma dose padrão de superfosfato simples na adubação de base, e o seu impacto sobre a necessidade de adubação de cobertura em mudas de

um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), cultivadas em Latossolo vermelho distrofico.

2. Material e métodos

A área experimental se situou no sul do estado de Minas Gerais (21° 13' 14,033" S e 44° 58' 0,232" O), com clima do tipo Cwb, de acordo com a classificação proposta por Köppen (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 19,6 °C, variando entre 14,8 °C e 26,5 °C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente. A precipitação média anual corresponde a 1511 mm, variando de 16,9 mm no mês mais seco a 293,9 mm no mês mais úmido. A umidade relativa média anual é de 76,2% e a evaporação total anual de 901,1mm (INMET, 2019).

O plantio foi realizado em um Latossolo vermelho distrófico à 919 m acima do nível do mar. As análises físicas e químicas do solo foram determinadas, conforme Donagema et al. (2011) e Silva (2009), Tabela 1.

Tabela 1: Resultado da análise química e física do Latossolo vermelho Distrófico.

Atributos	Resultados	Atributos	Resultados
pH (H ₂ O)	4,80	m (%)	0,00
P (mg dm ⁻³)	1,71	MO (g Kg ⁻¹)	8,60
K(mg dm ⁻³)	0,06	Zn (mg dm ⁻³)	0,30
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,40	Fe (mg dm ⁻³)	17,17
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,10	Mn (mg dm ⁻³)	1,80
AL ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00	Cu (mg dm ⁻³)	1,43
H +Al(cmol _c dm ⁻³)	5,05	B (mg dm ⁻³)	0,38
SB(cmol _c dm ⁻³)	0,55	S (mg dm ⁻³)	20,70
(t)(cmol _c dm ⁻³)	0,55	Areia (dag kg ⁻¹)	160,00
(T)(cmol _c dm ⁻³)	5,60	Silte (dag kg ⁻¹)	200,00
V (%)	10,00	Argila (dag kg ⁻¹)	640,00

Em que: SB: soma de base; t: CTC efetiva; T: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por base; m: índice de saturação por alumínio.

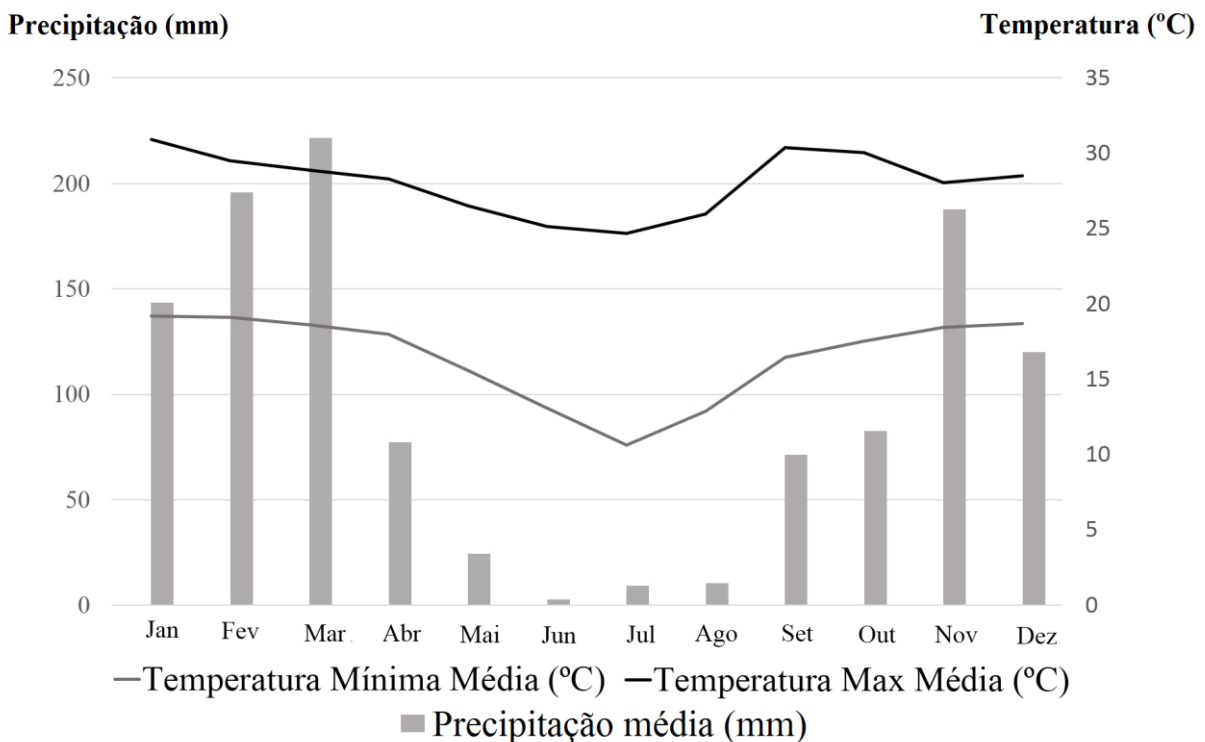
Fonte: Da autora (2020).

Na área experimental, fez-se necessário corrigir o solo com a aplicação de calcário dolomítico para suprimento de Ca e Mg na proporção de 750 kg⁻¹ ha⁻¹ de calcário (PRNT de

70%), conforme fórmula proposta por Rajj (2011). O preparo do solo consistiu em gradagem total da área, e o controle de formigas e plantas daninhas foi realizado periodicamente de forma manual. A aplicação de fertilizantes, foi realizada no plantio, de forma manual com recipientes calibrados simulando a aplicação comercial após o preparo de solo e demarcação das parcelas.

O plantio das mudas do híbrido *Eucalyptus urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), foi realizada no espaçamento de 3 x 2 m, no mês de fevereiro de 2019. As médias mensais de temperatura mínima e máxima e precipitação ocorridas no ano, estão dispostas na Figura 1.

Figura 1: Médias mensais de temperatura mínima e máxima e precipitação na região de Lavras no ano de 2019.



Fonte: Da autora (2020).

O experimento foi instalado em esquema fatorial 5x2 (cinco doses de adubação de base e duas doses de adubação de cobertura) em delineamento de blocos casualizados completos (DBCC) com quatro repetições e três plantas por parcela. As mudas foram distribuídas em cinco linhas de plantio, tendo no início e fim de cada linha duas plantas de bordadura.

As doses utilizadas, Tabela 2, foram baseadas na recomendação de adubação de eucalipto utilizada em Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999). Para a comparação entre os fertilizantes, as doses da adubação de base, foram calculadas de acordo com os níveis de P_2O_5 ,

sendo utilizado o adubo superfosfato simples (SPS) na dose de 150 g planta⁻¹ como controle e correspondente a 27 g de P₂O₅ planta⁻¹. As doses de fertilizantes de liberação lenta encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis (ALL) (11% de N, 22% de P₂O₅, 11% de K₂O, 12,29% de S, 0,35% de B, 0,30% de Cu e 0,30% de Zn), com liberação dos nutrientes em até seis meses, consistiram nas doses de 0, 85, 125 e 165 g plantas⁻¹, as quais são correspondentes a 0, 18, 27 e 36 g de P₂O₅ planta⁻¹. A adubação de cobertura foi realizada aos oito meses utilizando doses de 0 e 80 g plantas⁻¹, do formulado (NPK) 20-00-20.

Tabela 2: Doses e épocas de aplicação de adubação de base (AB) e adubação de cobertura (AC) utilizadas no plantio.

Adubação de base				
Fertilizante	Tratamento	Dose de P₂O₅ (g planta⁻¹)	Doses correspondentes ao SPS (g planta⁻¹)	Aplicação
SPS	SPS	27	150	Plantio
ALL (11-22-11)	0 g ALL	0	0	Plantio
	85 g ALL	18	100	Plantio
	125 g ALL	27	150	Plantio
	165 g ALL	36	200	Plantio
Adubação de cobertura				
Fertilizante	Tratamentos	Dose (g planta⁻¹)		Aplicação
NPK (20:00:20)	0 AC	0		Sem aplicação
	1 AC	80		8 meses após plantio

Em que: SPS: superfosfato simples; ALL: adubo de liberação lenta Polyblen, AC: Adubação de cobertura.

Fonte: Da Autora (2020).

As mensurações realizadas consistiram na avaliação altura (H), diâmetro à altura do solo (DAS) e área de copa (ACo) aos dois, quatro, seis, oito e dez meses após o plantio. A área de copa foi calculada de acordo com Nieri et al. (2018), a partir da mensuração dos diâmetros de copa, que foram determinados em campo medindo-se quatro raios de projeção de copa com auxílio de uma trena, tomando como ponto de referência o centro do tronco das árvores, distanciando-se até o limite da copa em direções fixas, formados por ângulos de 90°. Com as médias dos raios obtidos, foi calculado a área de um círculo, que foi denominada como ACo. Aos dez meses após o plantio foram coletadas a massa seca da parte aérea (MSPA), sendo as

amostras lavadas em água deionizada e acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, regulada a 65 °C.

Os teores de nutrientes nas folhas foram obtidos por meio da análise química foliar, sendo necessário coletar sub amostras da massa seca foliar de cada dose de fertilizantes aplicados. Para a realização da análise química, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 40 mesh conforme métodos descritos por Malavolta et al. (1980). Com o objetivo de estimar o acúmulo de N, P e K da planta (caule, ramos e folhas), foi realizada a multiplicação dos valores de teores destes elementos pelos valores de matéria seca de cada tratamento, conforme metodologia de Prezotti e Bragança (2013).

Os dados obtidos das características morfológicas foram submetidos à análise de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade do erro. Ao conferirem normalidade, realizou-se a análise de variância (ANOVA), e uma vez verificada a diferença significativa, foram realizadas análise de regressão em nível de 5% de probabilidade de erro, para as adubações de base, e pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro, para a adubação de cobertura, por meio do *software* SISVAR[®] (FERREIRA, 2014). Para comparar a adubação via SPS com adubação de liberação lenta foi realizado o teste Dunnett a 5% de probabilidade do erro por meio do *software* R.

Para indicar a melhor dose a ser aplicada para o ALL, foi calculada a dose máxima de eficiência técnica (DMET), para as variáveis em que foram verificadas diferenças significativas pelo teste F a 5% de probabilidade do erro. Para isso foi realizado análise de regressão linear das variáveis em função das doses dos fertilizantes testados, considerando a significância dos coeficientes, ao nível de 5% de probabilidade de erro, e pelo coeficiente de determinação (R^2). A DMET das variáveis de interesse, foram correspondentes a primeira derivada das equações ajustadas igualadas a zero. Quando o valor calculado excedeu a dose máxima testada, a DMET considerada foi de 36 g P_2O_5 ALL.

3 Resultados

Ao comparar a média do crescimento entre os tratamentos com adubo de liberação lenta e o SPS, Tabela 3, nota-se que as três doses utilizadas de P_2O_5 via ALL, obtiveram médias superiores ao uso do SPS.

Tabela 3: Médias das variáveis de crescimento, dos tratamentos com adubação ALL comparadas às médias do tratamento SPS, pelo Teste Dunnet à 5% de probabilidade do erro, para o plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla* x (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*) aos dez meses de idade.

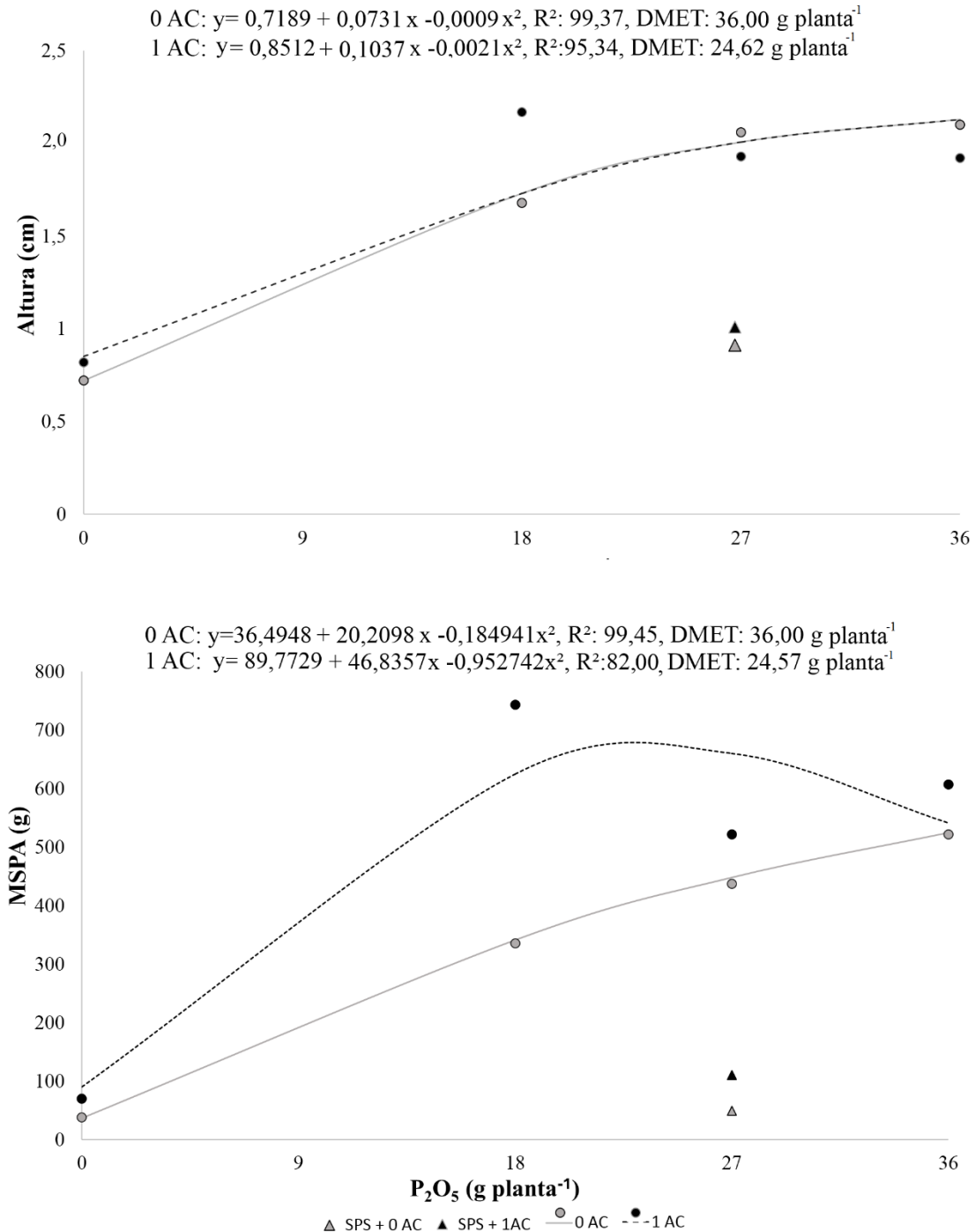
Tratamentos	H (m)	DAS (mm)	ACo (m ²)	MSPA (g)
0 g P ₂ O ₅ ALL	0,77 ns	11,00 ns	0,32 ns	53,65 ns
18 g P ₂ O ₅ ALL	1,92*	26,65 *	1,26 *	522,50 *
27 g P ₂ O ₅ ALL	2,00*	27,78 *	1,41 *	477,67 *
36 g P ₂ O ₅ ALL	2,01*	28,56 *	1,50 *	552,87 *
SPS	0,93	13,11	0,47	79,92

Em que: ALL: adubo de liberação lenta; SPS: superfosfato simples; H: altura; DAS: diâmetro à altura do solo; ACo: Área de copa; MSPA: massa seca da parte aérea. Médias seguidas de * obtiveram diferença significativa em relação ao tratamento SPS, e médias seguidas de ns não obtiveram diferença significativa com o tratamento SPS, pelo Teste Dunnett à 5% de probabilidade do erro.

Fonte: Da autora (2020).

A altura e a MSPA apresentaram interação entre a adubação de base (AB) e a adubação de cobertura (AC) (Figura 1). Para a altura, o ALL se mostrou superior à adubação com SPS. Os tratamentos sem e com AC, apresentaram médias de altura semelhantes com o uso de ALL, apresentando DMET de 36,00 e 24,62 g P₂O₅ planta⁻¹, respectivamente. Para a MSPA, o ALL também se mostrou superior ao uso do SPS, e o uso de uma adubação de cobertura foi superior ao tratamento sem esta adubação, em que suas respectivas DMET são 24,57 e 36,00 g P₂O₅ planta⁻¹. No entanto, com o uso da dose de 36 g de P₂O₅ planta⁻¹ via ALL, a adubação de cobertura pode ser dispensada, para esta variável.

Figura 1: Efeito das doses do adubo de liberação lenta (ALL) e da adubação de cobertura, no crescimento da altura e massa seca da parte aérea (MSPA), com suas respectivas doses de máxima eficiência técnica (DMET), no plantio do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), aos dez meses de idade.

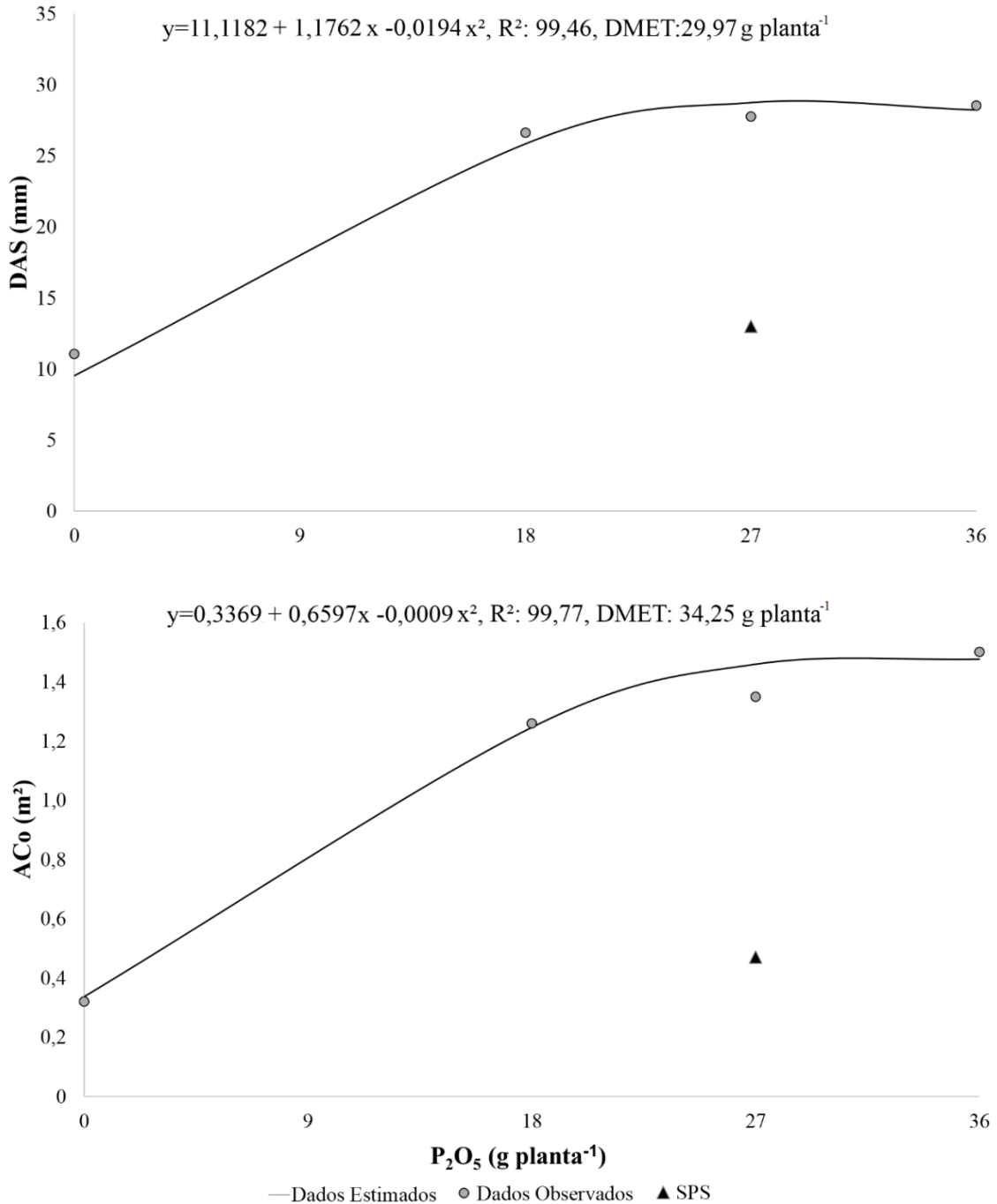


Fonte: Da autora (2020).

Em relação ao DAS e a ACo, não houve diferença significativa entre o uso da dose de 27 e 36 g de P_2O_5 planta⁻¹. Para as duas variáveis as DMET encontradas, foram de 29,97 e 34,25

g planta⁻¹, respectivamente. Além disso, nota-se que para ambas as variáveis o crescimento com adubação via SPS foi inferior as demais utilizadas.

Figura 2: Efeito das doses do adubo de liberação lenta (ALL) e da adubação de cobertura, no crescimento do diâmetro à altura do solo (DAS) e área de copa (ACo) com suas respectivas doses de máxima eficiência técnica (DMET), no plantio do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), aos dez meses de idade.



Fonte: Da autora (2020).

As médias de DAS e ACo, dentro dos tratamentos, com e sem adubação de cobertura, encontram-se na Tabela 4. Para o DAS, o uso da adubação de cobertura apresentou superioridade e média de 25,09 mm. Já para a ACo, não houve diferença significativa entre os tratamentos, com média de 1,13 m².

Tabela 4: Médias do diâmetro à altura do solo (DAS) e área de copa (ACo), correspondente a adubação de cobertura (AC), para o plantio de clones de *Eucalyptus urophylla* x (*E. camaldensis* x *E. grandis*), aos dez meses de idade.

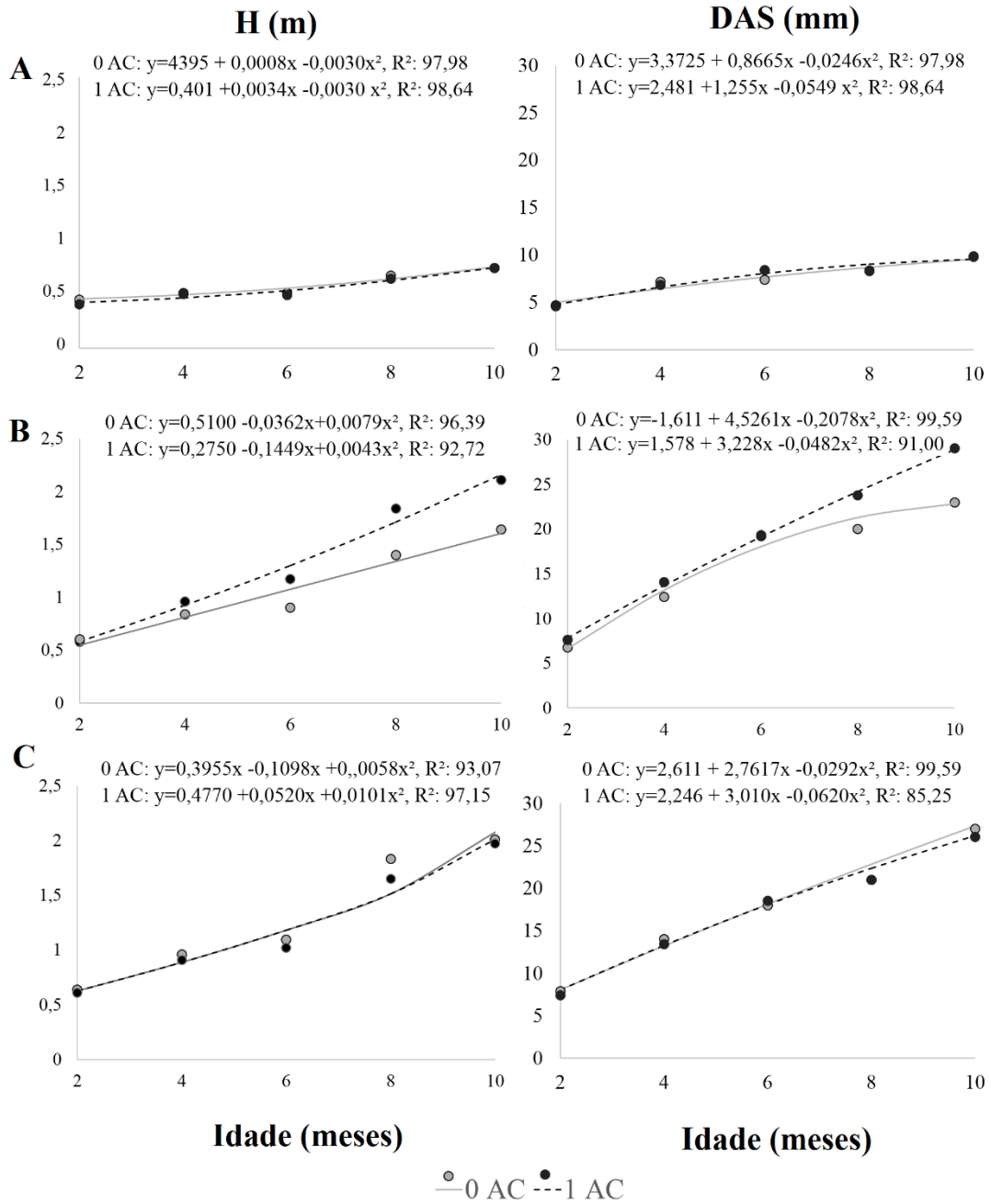
AC	DAS (mm)	ACo (m ²)
0 AC	22,36 b	1,11 a
1 AC	25,09 a	1,16 a

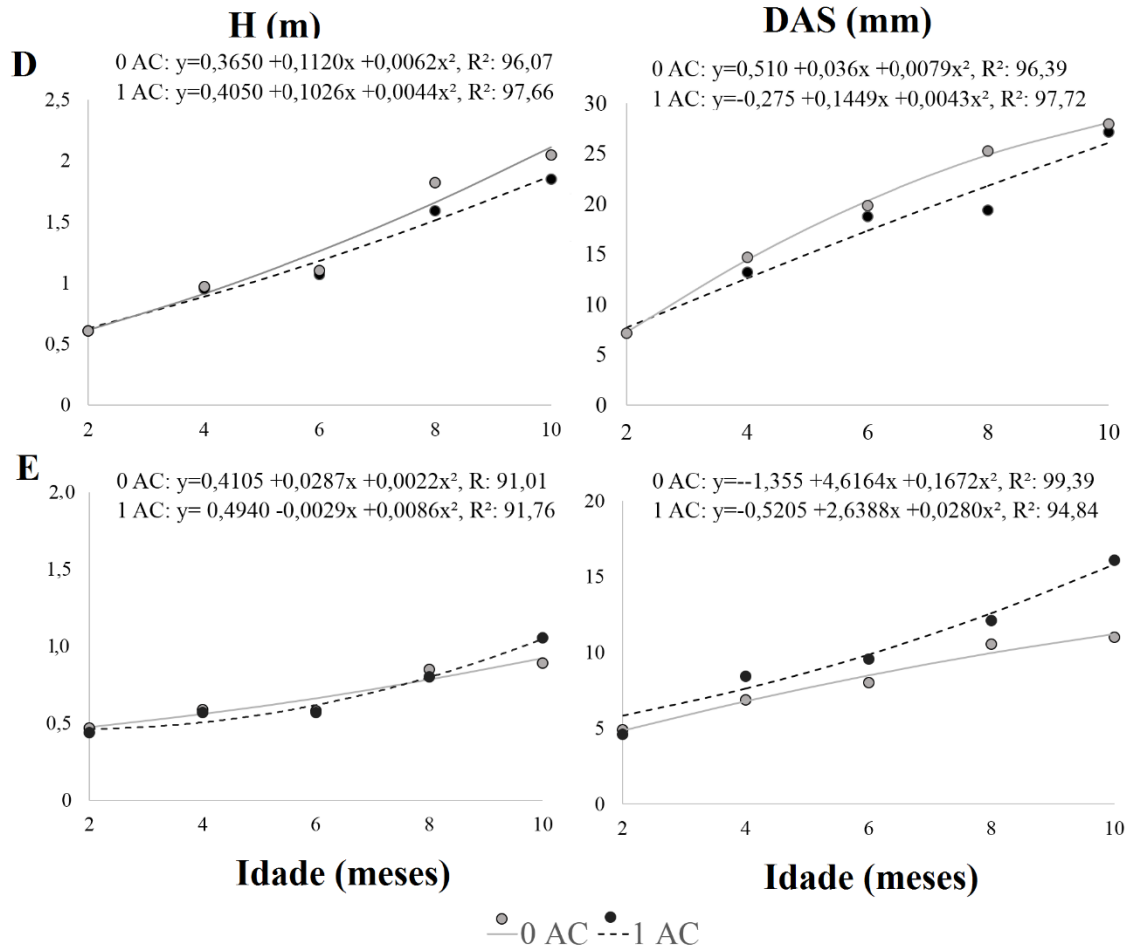
Em que: Médias seguidas pela mesma letra, não se diferem entre si, pelo teste Tukey, à 5% de probabilidade do erro.

Fonte: Da autora (2020).

Em relação a taxa crescimento das plantas ao longo do tempo, observou-se que quanto maior a dose de ALL, mais acentuada foi a curva, o que indica maior taxa de crescimento por intervalo de tempo. Para os tratamentos adubados com o SPS e com dose de 18 g de P₂O₅, aplicado via ALL, observa-se que o uso da adubação de cobertura acarretou em aumento de crescimento. Para a dose de 27 g de P₂O₅ pode-se observar que a taxa de crescimento entre os tratamentos com e sem adubação de cobertura são semelhantes. Já para a dose de 36 g de P₂O₅, aplicada via ALL, o tratamento sem adubação de cobertura obteve maior taxa de crescimento.

Figura 3: Taxa de crescimento em altura (H) e diâmetro a altura do solo (DAS), em híbridos de *E. urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), ao longo dos dez meses de avaliação, dos tratamentos 0, 18, 27, 36 g de P₂O₅ adubados com ALL, e 27 g de P₂O₅ adubados com SPS, correspondente as letras A, B, C, D e E, respectivamente.





Fonte: Da autora (2020).

Ao observar os resultados das análises foliares, Tabela 5, nota-se que os menores teores dos nutrientes foram encontrados para os tratamentos sem adubação de base, seguido por SPS. Em geral, observa-se que ao aumentar as doses de ALL, ocorre o aumento da concentração dos nutrientes. Em relação aos micronutrientes, o B se destaca, por ter obtido um grande acúmulo no tratamento adubado com dose de 36 g de ALL.

Tabela 5: Acúmulo de macro e micronutrientes na massa seca das folhas correspondentes à adubação de base e de cobertura, para o plantio de clones de *Eucalyptus urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), aos dez meses de idade.

AB	AC	N	K	P	S	B	Cu	Zn
		g planta ⁻¹				mg planta ⁻¹		
0	0	443,26	220,60	37,11	49,48	383,47	329,87	616,44
0	1	906,45	477,08	55,66	453,23	387,46	576,47	791,16
18	0	4254,24	1867,72	293,99	415,05	2888,04	2576,76	4686,58
18	1	7377,71	3207,70	609,46	737,77	6639,94	4619,09	6319,17
27	0	3653,95	1922,13	285,47	361,59	8107,21	2416,94	4129,73
27	1	6370,14	2324,24	401,72	631,28	9928,24	3787,65	5222,37
36	0	4389,55	1688,29	363,63	571,42	11454,39	3636,31	4649,29
36	1	6756,43	3095,46	416,70	505,99	16519,02	3809,79	5238,46
SPS	0	533,14	315,47	44,17	63,09	2214,58	406,95	507,90
SPS	1	1301,40	624,67	98,33	121,46	4228,10	763,49	1336,10

Em que: SPS: superfosfato simples; AB: adubação de base; AC: número de adubações de cobertura.

4 Discussão

Todas as doses utilizadas do ALL, apresentaram crescimento superior ao uso do SPS, para todas as variáveis estudadas, segundo o teste Dunnet a 5% de probabilidade do erro. Este resultado demonstra a eficiência e o potencial de uso da tecnologia dos ALL em plantios florestais, como já previsto por Silva et al. (2015) e Faria et al. (2016). Além disso, o crescimento encontrado para as variáveis avaliadas, altura, DAS, ACo e MSPA apresentaram comportamento quadrático positivo.

A altura obteve diferença entre as adubações realizadas com o ALL e o adubo SPS, diferenciando-se do encontrado por Silva et al. (2008; 2013), em que estes não observaram diferenças significativas em altura entre as plantas de eucalipto após 12 meses de idade. A diferença encontrada entre os adubos utilizados, corresponde ao fato do ALL conter fósforo, nitrogênio, potássio e alguns micronutrientes, e estes serem disponibilizados ao longo do tempo para planta.

Ademais, nota-se que o plantio foi realizado no fim das chuvas (fevereiro) e a adubação de cobertura no início do período chuvoso aos oito meses de idade (outubro). Ressalta-se que há necessidade das adubações de cobertura serem realizadas no momento em que há aumento

das médias de temperatura e precipitação, o que aumenta a otimização de absorção e uso dos nutrientes pela planta, acarretando em maior crescimento. Este desempenho pode ser observado na Figura 3, em que houve aumento da taxa de crescimento das plantas aos seis meses, no mês de agosto. Além disso, segundo Teixeira et al. (2019), é válido ressaltar que a aplicação da adubação de cobertura deve ser feita quando o sistema radicular das mudas estiver bem desenvolvido, o que resulta na aplicação da adubação conforme o ritmo de desenvolvimento de cada espécie florestal, e ainda reduz a perda de nutrientes por lixiviação.

Para a altura, os tratamentos adubados com ALL, com e sem adubação de cobertura não apresentaram diferença significativa, aos dez meses de idade, ou seja, verifica-se a possibilidade de realizar o plantio de clones de eucalipto com dose única na adubação de base. Dessa forma, constata-se que para esta variável, o recomendado é aplicar 36 g de P_2O_5 planta⁻¹ de ALL, o que possibilita a redução da demanda por adubação de cobertura. Corroborando com estes resultados, Silva et al. (2015), observaram que a aplicação de ALL (06:30:06), em dose única, no plantio de clones de eucalipto, proporcionou crescimento satisfatório.

Ao observar os resultados da MSPA, em geral, verifica-se que o uso de doses crescentes de ALL, juntamente com a adubação de cobertura, proporcionaram maior acúmulo de MSPA, corroborando com Lima et al. (2017), que relatam aumento em crescimento da parte aérea pela segunda aplicação de nitrogênio. Esses resultados estão relacionados ao fato de que a aplicação de nitrogênio, em doses elevadas, tende a aumentar a biomassa foliar e consequentemente a superfície foliar das plantas, o que está diretamente relacionada à produção de massa seca, sendo este, um critério importante e fundamental para o vigor e a capacidade de resistência das mudas às condições adversas, após o plantio em campo (SILVA et al., 2008; LANG et al. 2010; PINTO et al., 2011).

Normalmente, as adubações de plantio contemplam baixo teor de N e K, tornando imprescindível as adubações de cobertura como forma de suprir a demanda por estes nutrientes. Devido à importância de ambos atuarem nos processos fisiológicos, crescimento vegetativo e à resistência a condições adversas (FURTINI, et al., 2001), sendo que o nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade, por todas as culturas (MALAVOLTA, 1980; DE JESUS et al. 2012).

No entanto, ao utilizar a dose de 36 g de P_2O_5 planta⁻¹ de ALL, recomenda-se a dispensa da adubação de cobertura para a MSPA, por apresentar teores de nitrogênio e potássio satisfatórios, garantindo assim o incremento em MSPA semelhante entre os tratamentos com e sem adubação de cobertura. Apesar desta dose ser superior ao recomendado de 27 g de P_2O_5

planta⁻¹, via ALL, constata-se que ao proporcionar a redução da adubação de cobertura, gera uma redução de custo oportuna, por reduzir a demanda pelo uso da mão de obra para a atividade, a qual é responsável pelo seu elevado custo (ZHENG et al., 2016).

Em relação ao DAS e a ACo, observa-se que ocorreu diferença de incremento entre o ALL e o SPS, assim como no trabalho de Silva et al. (2015), que ao estudarem diferentes fertilizantes de liberação imediata e de liberação lenta, observaram que o ALL promoveu maior incremento, refletindo em maior volume de madeira produzida. O uso do ALL, gerou incorporação de doses mais elevadas de nitrogênio e potássio em relação a adubação com SPS, o que promoveu maior incremento na ACo e conseqüentemente em área foliar, a qual está relacionada ao potencial fotossintético das plantas (MENDES et al., 2013).

Ao observar a taxa de crescimento das variáveis, ao longo do tempo, observa-se que para o tratamentos sem adubação, a adição da adubação de cobertura não acarretou em aumento de crescimento, para a altura e o DAS. Já para a dose de 18 g de P₂O₅ planta⁻¹, de ALL, e no tratamento adubado com SPS, houve um aumento de crescimento com a adição da adubação de cobertura. Estes resultados estão relacionados aos baixos teores dos nutrientes encontrados na massa seca foliar, o que é um reflexo da ausência ou das baixas doses de nutrientes aplicados nesses tratamentos, quando comparados às doses mais elevadas de ALL. Dessa forma, enfatiza-se a importância da adubação em solos de baixa fertilidade natural, como forma de efetivar o estabelecimento e o aumento do crescimento das florestas de alta produtividade (ROCHA et al., 2013; LIMA et al., 2017).

Para os tratamentos adubados com 27 de P₂O₅ planta⁻¹ de ALL, observa-se que não houve diferenças significativas entre o crescimento das mudas, com e sem adubação de cobertura. Isso pode estar relacionado aos altos teores de nutrientes encontrados na massa seca foliar, o que enfatiza a eficiência do adubo em reduzir a demanda por adubação de cobertura.

Para a dosagem de 36 g de P₂O₅ planta⁻¹ de ALL, observa-se que para as variáveis altura e DAS, há uma queda de crescimento, no tratamento com uma adubação de cobertura em relação ao sem adubação. A queda de crescimento coincide com o período de liberação total dos nutrientes, indicada pelo fabricante, em até seis meses, com um retorno do crescimento, possivelmente provocado pelo retorno do aumento das temperaturas e precipitação na região. Este resultado, possivelmente, pode estar atrelado às altas concentrações de macro e micronutrientes encontradas na massa seca foliar, o que pode ter acarretado início de toxidez, atrasando o crescimento das mudas. Apesar do papel fisiológico do boro, cobre e zinco, ainda

não se conhece bem seus sintomas de toxidez em eucalipto, em campo, por serem menos comuns em relação a sua deficiência (MARSCHNER, 2012). No entanto, Faquin (2005), indica que um dos sintomas de toxidez do cobre é a redução do crescimento enquanto que o boro a toxidez manifesta-se como uma clorose malhada e depois manchas necróticas nos bordos das folhas mais velhas, que coincidem com as regiões da folha onde há maior transpiração.

Ao analisar o efeito da fertilização mineral no teor de nutrientes nas folhas das mudas, nota-se que com o aumento das doses há um aumento na concentração de nutrientes na folha. Observa-se também aumento da eficiência de absorção dos nutrientes P, S, B, Cu e Zn, quando adicionada a adubação de cobertura, o que corrobora com Marschner, 2012, que relatam que a concentração externa de íons é um dos fatores que afetam a absorção iônica radicular.

Em relação a adubação de base via ALL, observa-se que a DMET varia de acordo com a variável analisada. Os valores variaram de 24,62 à 36 g de P_2O_5 planta⁻¹. No entanto, de acordo com as condições ambientais do presente trabalho, o crescimento das plantas adubadas via ALL, independente da dose utilizada, foi superior ao uso de SPS, sendo assim é recomendado o uso de 27 g de P_2O_5 planta⁻¹, ou seja, uso de 125 g de ALL planta⁻¹. A superioridade do uso de ALL em detrimento aos adubos convencionais de liberação imediata também foi encontrado por Nomura et al. (2008) e Yang et al. (2012). Ademais, ao observar o crescimento das variáveis ao longo tempo, nota-se que o uso da dose de 27 g de P_2O_5 planta⁻¹ de ALL não propiciou a necessidade de adubação de cobertura, semelhante ao encontrado por Silva et al. (2015).

De forma geral, verifica-se que o uso do ALL encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, garante aumento de crescimento/produtividade das plantas com qualidade superior ao uso de adubos de liberação imediata, nas condições empregadas no presente trabalho. Ademais, o seu uso é oportuno, por reduzir gastos com mão de obra, a qual é cada vez mais cara e onerosa, Além de potencializar a absorção dos nutrientes ao longo do tempo pela planta, devido sua característica de liberação lenta, garantindo ganhos em crescimento e possibilitando ganho em receita líquida dos plantios florestais, como observado por Zheng et al. (2016).

5 Conclusão

O uso de ALL, encapsulado com enxofre elementar e revestido por polímeros orgânicos não hidrossolúveis, garante crescimento e qualidade superior ao uso da adubação via SPS, em

plantios de mudas clonais de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x (*Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus grandis*).

A adubação de base com 27 g de P_2O_5 planta⁻¹ (125 g de ALL planta⁻¹) em dose única é recomendada em plantios de mudas clonais de um híbrido de *E. urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*).

6 Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Empresa Produquímica e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart*. v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013.
- BRANCALION, P. H. S.; LAMB, D.; CECCON, E.; BOUCHER, D. ; HERBOHN, J.; STRASSBURG, B.; EDWARD, D. P. Using markets to leverage investment in forest and landscape restoration in the tropics. *Forest Policy and Economics* v.85, p.103–113, 2017.
- CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. G.; BROD, E. Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e uréia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.
- DE JESUS, G. L. et al. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade de eucalipto e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n.1, p. 201-214, 2012.
- DONAGEMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230 p.
- FARIA, L. A.; NASCIMENTO, C. A. C.; BARDELLA, G. R.; MOURA, T. A. ; MENDES, F. L. ; VITTI, G. C. NH₃ Volatilization from Urea-NBPT in Eucalyptus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 47, p. 769-774, 2016.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras, FAEPE, 2005, 186 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FU, J. WANG; C. CHEN, X.; HUANG, Z.; CHEN, D. Classification research and types of slow controlled release fertilizers (SRFs) used - a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 49, n.:17, p. 219-2230, 2018.
- FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001, 261 p.
- GUO, C.; LI, P.; LU, J.; REN, T.; CONG, R.; LI, X. Application of controlled-release urea in rice: Reducing environmental risk while increasing grain yield and improving nitrogen use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 47, n.9, p.1176–1183, 2017.
- GWENZI, W.; NYANBISHI, T. J.; CHAUKUARA, N.; MAPOPE. Synthesis and nutrient release patterns of a biochar-based N–P–K slow-release fertilizer. **Int. J. Environ. Sci. Technol.** v. 15, p. 405-414, 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas**. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais>>. Acesso em: 29 set. 2019.
- KIRAN, J. K.; KHANIF, Y. M.; AMMINUDDIN, H.; ANUAR, A. R. Efeitos da uréia de liberação controlada no rendimento e nutrição de nitrogênio do arroz inundado. **Comunicações em ciência do solo e análise de plantas**. v.41, n. 7, 811-819, 2010.

- LANG, A.; MALAVASI, U. C.; DECKER, V.; PÉREZ, P. V.; ALEIXO, M. A.; MALAVASI, M. M. Aplicação de fertilizante de liberação lenta no estabelecimento de mudas de ipê-roxo e angico-branco em área de domínio ciliar. **Floresta**. Curitiba, v. 41, n. 2, p. 271-276, 2010.
- LIMA, A. S. F. et al. Efeitos da fertilização nos teores de micronutrientes em eucalipto em segunda rotação. **Revista ciência, tecnologia e ambiente**, Araras, v.5, n.1, p 8-14, 2017.
- MENDES, H. S. J.; Paula, N. F. ; Scarpinatti, E. A. ; Paula, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *E. grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**. Lavras, v. 19, p. 603-611, 2013.
- MACEDO, M. N.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.; GALFORD, G. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** v. 109, p. 1341-1346, 2012.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 1980. 251p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012. 889 p.
- MARQUES, H. M. C.; MAGNOLLI, T.; JUNIOR, E. F. F.; PAIVA, R.; MAURI, R. Desenvolvimento inicial do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), com doses de copolímero hidro absorvente em adubação convencional e de liberação controlada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.16, p. 2994-3002, 2013.
- NOMURA, E. S.; LIMA, J. D.; G., V. A. ; RODRIGUES, D. S.; NOMURA, E. S. . Crescimento de mudas micropropagadas da bananeira cv. Nanicão, em diferentes substratos e fontes de fertilizante. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 359-363, 2008.
- NIERI, E. M.; MACEDO, R. L.G.; MARTINS, T. G. V.; MELO, L. A.; VENTURIN, R. P.; VENTURIN, N. Comportamento silvicultural de espécies florestais em arranjo para integração pecuária floresta. **FLORESTA**, Curitiba, v. 48, n. 2, p.195-202, 2018.
- PINTO, I. C.; FURTINI NETO, A. E.; Neves, J.C.L.; FAQUIN, V.; Moretti, Bruno da Silva. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 523-533, 2011.
- PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M. Acúmulo de massa seca, N, P, e K em diferentes materiais genéticos de café conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 284-294, 2013.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999.
- ROCHA, J. H. T.; PIETTR, M. R.; BORELL, K.; BACKES, C.; NEVES, M. B. Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 535-543, out./dez. 2013.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; STAPE, J. L. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, p. 79-88, 2008.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, P.H.M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 67-71, 2013.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; SILVA, A. A.; PRADA NETO, I.; PAULA, R. C. Mortalidade, crescimento e solução do solo em eucalipto com aplicação de fertilizante de liberação lenta. **Cerne**, v. 21, p. 473-481, 2015.

TEIXEIRA, C. E.; TORRES, A, Q, A.; NIERI, E. M.; MELO, L.A.; SANTOS, L. V.; BOTELHO, S. A. Polímero hidrorretentor e fertilização mineral na implantação de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 988-1003, 2019.

VITOUSEK, P. M.; NAYLOR, R.; CREWS, T., DAVID, M. B.; DRINKWATER, L. E.; HOLLAND E.; JOHNES, P. J.; KATZENBERGER, J.; MARTINELLI, L. A.; MATSON P. A.; NZIGUHEBA, G.; OJIMA, D.; PALM, C. A.; ROBERTSON, G. P.; SANCHEZ, P. A.; TOWNSEND, A. R.; ZHANG, F. S. Agriculture: Nutrient imbalances in agricultural development. **Science**. Washinton, v.324, p.1519-1520, 2009.

YANG, T.; ZHANG, M.; LI, Y. X. F. GENG, Y. Controlled Release Urea Improved Nitrogen Use Efficiency, Activities of Leaf Enzymes, and Rice Yield. **Soil Science Society of America Journal**. v. 76, n. 6, p. 2307-2317.2012.

ZARIN, D. J. Carbon from tropical deforestation. **Science**. Washinton, v.336, p.1518–1519, 2012.

ZHENG, W.; ZHANG, M.; LIU, Z.; ZHOU, H.; LU, H.; ZHANG, W; YANG, Y.; LI, C.; CHEN, B. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system. **Field Crops Research**. v.197, p.52–62, 2016.