

Polímero hidrorretentor e fertilização mineral na implantação de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Water retaining polymer and mineral fertilization in the implantation of hybrid the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*

Carlos Eduardo Siqueira Teixeira^I, Anatoly Queiroz Abreu Torres^{II}, Erick Martins Nieri^{III}, Lucas Amaral de Melo^{IV}, Lucas Vieira dos Santos^V, Soraya Alvarenga Botelho^{VI}

Resumo

O uso de polímeros hidrorretentores surge como uma alternativa para disponibilizar água de forma adequada na fase de implantação de povoamentos florestais, além de reter nutrientes necessários para o estabelecimento e desenvolvimento destes. No presente trabalho, objetivou-se avaliar o efeito do polímero hidrorretentor e a influência de diferentes doses de fertilização mineral no crescimento, teor e acúmulo de nutrientes do híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, na fase de implantação. O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizados completos, em esquema fatorial 2 x 5, sendo duas doses do polímero (0 e 1 g planta⁻¹) e cinco combinações de fertilização mineral (N0P0K0, N0P1K0, N1P0K1, N1P1K1 e N2P2K2, correspondendo à dose de N (N0 = 0, N1 = 62 e N2 = 124 g do fertilizante por planta), P (P0 = 0, P1 = 75 e P2 = 150 g do fertilizante por planta) e K (K0 = 0, K1 = 62 e K2 = 124 g do fertilizante planta)), em três repetições com cinco plantas por parcela. As avaliações foram realizadas aos 30, 60, 120 e 150 dias pós-plantio, quando foram mensurados a altura total e o diâmetro do colo, além da análise química nutricional, aos 150 dias. A partir dos dados obtidos, observou-se que não houve interação entre o efeito do polímero e doses de fertilização mineral. Para o diâmetro do colo, o uso do polímero proporcionou maior crescimento às mudas somente nos 30 primeiros dias de avaliação, e para altura houve maior crescimento nas avaliações aos 30, 60 e 120 dias de plantio. Os tratamentos contendo fósforo (18% de P₂O₅) obtiveram maior incremento em diâmetro em relação aos demais nos primeiros 60 dias pós-plantio. Nas outras avaliações, a maior dose de fertilizante (N2P2K2) foi responsável pelo maior crescimento em diâmetro e altura. A maior dose de fertilização mineral promoveu maior acúmulo de NPK na parte aérea das plantas (caule, ramos e folhas). Portanto, o polímero proporcionou maior crescimento às mudas na fase inicial de desenvolvimento, e o fósforo se mostrou essencial para o crescimento em diâmetro e altura na fase de implantação do híbrido utilizado.

Palavras-chave: Hidrogel; Nutrição florestal; Eucalipto

Abstract

The use of water retaining polymer appears as an alternative to provide adequate water the phase of implantation the forest stands, further retaining nutrients necessary for the establishment and development of these. The objective of this study was to evaluate the effect of the water retaining polymer and influence of the different forms of mineral fertilization at growth, content and nutrient accumulation of a clonal hybrid of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* in the implantation phase. The experiment was carried out in a randomized complete block design at 2 x 5 factorial scheme, with two polymer doses (0 and 1 g plant⁻¹) and five mineral fertilization combinations (N0P0K0, N0P1K0, N1P0K1, N1P1K1 e N2P2K2,

^I Engenheiro Florestal, MSc., Universidade Federal de Lavras, Av. Dr. Sylvio Menicucci, 1001, Kennedy, CEP 37200-000, Lavras (MG), Brasil. carlos.eduardo_teixeira@hotmail.com (ORCID: 0000-0002-2749-9425)

^{II} Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Engenharia Florestal, Laboratório de Estudos em Silvicultura e Restauração Florestal, Universidade Federal de Lavras, Av. Dr. Sylvio Menicucci, 1001, Kennedy, CEP 37200-000, Lavras (MG), Brasil. anatoly_torres@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0002-8910-8258)

^{III} Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal, Laboratório de Estudos em Silvicultura e Restauração Florestal, Universidade Federal de Lavras, Av. Dr. Sylvio Menicucci, 1001, Kennedy, CEP 37200-000, Lavras (MG), Brasil. ericknieri@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0002-9425-9827)

^{IV} Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Av. Dr. Sylvio Menicucci, 1001, Kennedy, CEP 37200-000, Lavras (MG), Brasil. lucas.amaral@ufla.br (ORCID: 0000-0001-5219-9179)

^V Graduando em Engenharia Florestal, Laboratório de Estudos em Silvicultura e Restauração Florestal, Universidade Federal de Lavras, Av. Dr. Sylvio Menicucci, 1001, Kennedy, CEP 37200-000, Lavras (MG), Brasil. lukast_florestal@hotmail.com (ORCID: 0000-0001-6630-8890)

^{VI} Engenheira Florestal, Dr^a., Professora do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Av. Dr. Sylvio Menicucci, 1001, Kennedy, CEP 37200-000, Lavras (MG), Brasil. sbotelho@ufla.br (ORCID: 0000-0003-4178-465X)



corresponding to the dose of N (N0 = 0, N1 = 62 e N2 = 124 g of fertilizer per plant), P (P0 = 0, P1 = 75 e P2 = 150 g of fertilizer per plant) e K (K0 = 0, K1 = 62 e K2 = 124 g of fertilizer per plant)) in three replications with five plants per plot. The valuates were performed at 30, 60, 120 and 150 days post-planting, when total height and root collar diameter were measured, as well as nutritional chemical analysis, at 150 days. From the obtained data, observed that there was no interaction between the effect of the polymer and doses of mineral fertilization. For the root collar diameter use of the polymer only provided bigger growth seedlings at 30 days the evaluate, and for the height, there was greater growth in the valuates in the 30, 60 and 120 days of planting. The phosphorus treatments were obtained a bigger increment to the diameter in relation for the others 60 days after planting. These the other evaluations of higher fertilizer dosage (N2P2K2) was responsible for the greater growth in diameter and height. The higher dosage of mineral fertilization promoted greater accumulation at NPK in the aerial part of the plants (stem, branches e leaves). Therefore, the polymer gave a higher growth seedling in the initial phase development, and the phosphorus was shown to be essential for the growth in diameter and height in the phase of implantation of the hybrid used.

Keywords: Hydrogel; Forest nutrition; Eucalipto

Introdução

A disponibilidade hídrica e nutricional durante a fase de implantação de povoamentos florestais é primordial para o estabelecimento e desenvolvimento das mudas. Diante disto, a utilização de polímeros hidrorretentores (hidrogel) surge como alternativa para proporcionar maior umidade ao solo no período inicial de estabelecimento das mudas (THOMAS, 2008).

Em um cenário voltado à racionalização do consumo de água nas várias etapas da produção florestal, os polímeros hidrorretentores podem melhorar propriedades físico-químicas dos solos, reduzir a frequência de irrigações, minimizar a perda de nutrientes por lixiviação, aumentar a sobrevivência de mudas e, conseqüentemente, atenuar os custos de produção (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Os polímeros hidrorretentores, também chamados de polímeros hidroabsorventes ou hidrogéis, são produtos naturais, quando derivados do amido, ou sintéticos, quando derivados do petróleo, sendo ambos utilizados pela sua capacidade de absorver e armazenar água. A solução obtida tem capacidade de fornecer água para as raízes por um tempo variável em função das condições climáticas, do solo e da planta (MORAES *et al.*, 2001). Os benefícios gerados pelos polímeros hidrorretentores podem ser verificados nas condições físicas do solo, uma vez que esse pode influenciar de forma significativa na permeabilidade do solo, em sua estrutura, densidade e nas taxas de infiltração de água, redução da chance de compactação, escoamento e erosão, além de favorecer sua aeração e atividade microbiana. Em relação à química do solo, acredita-se que o produto favoreça a redução na perda de nutrientes por lixiviação, pois parte desses nutrientes estaria retida dentro da rede polimérica do produto (ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008; XIE; WANG, 2009; EKEBAFE *et al.*, 2011).

As influências do polímero hidrorretentor são constatadas nos estudos de Navroski *et al.* (2015), ao verificarem que o uso do polímero favoreceu mudas de *Eucalyptus dunnii* e aumentou o intervalo entre irrigações, de modo a reduzir os custos com essa operação. Enquanto Bernardi *et al.* (2012), em estudo sobre o crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e fertilização mineral, verificaram que ocorreu efeito positivo para as variáveis altura e diâmetro de colo com o uso do polímero e que o mesmo pode reduzir em até 40% a fertilização mineral de base e cobertura. Navroski *et al.* (2016) ao avaliarem a qualidade do substrato e a redução da fertilização mineral na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*, verificaram que o polímero pode reduzir a fertilização mineral em 25 a 50%, sem que a qualidade das mudas seja afetada, sendo esta avaliada a partir das variáveis altura total e diâmetro do colo.

Além da grande necessidade de água na fase de implantação de povoamentos florestais, um fator primordial é a correta fertilização mineral realizada. Os efeitos dessa prática, habitualmente aplicada apenas na implantação, ainda são pouco estudados quando se analisa até a idade de rotação (FERRAZ FILHO *et al.*, 2018). Porém, Barros e Novais (1999) destacam a importância da fertilização mineral na fase de implantação, já que, em estudo com *Eucalyptus saligna* até os 6,5

anos de idade, observaram que os crescimentos absolutos em madeira foram sempre crescentes ao longo dos anos.

Conforme verificado na literatura, nota-se poucas pesquisas voltadas ao efeito do hidrogel e fertilização mineral na fase de implantação florestal. Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito do polímero hidrorretentor e a influência de diferentes doses de fertilização mineral no crescimento, teor e acúmulo de nutrientes de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* na fase de implantação.

Material e métodos

O experimento foi instalado em dezembro de 2016 no município de Lavras-MG, em local situado sobre clima com aspecto tropical de altitude, verões suaves, mesotérmico úmido do tipo Cwb (clima subtropical de altitude), segundo classificação de Köppen. A região apresenta temperatura média de 19,6°C e precipitação média anual de 1511 mm, que varia de 16,9 mm no mês mais seco, a 293,9 mm no mês com maior precipitação (ALVARES *et al.*, 2013; INMET, 2017).

O sítio experimental situado nas coordenadas 21° 13' 40" S e 44° 58' 11" O foi classificado, após amostragem da área, como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (66% de argila) (EMBRAPA, 2013), sendo coletada amostra composta para análise química (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo da análise química do solo (camada de 0-20 cm) da área experimental.

Table 1 – Summary of soil chemical analysis (layer of 0-20 cm) of the experimental area.

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	MO g kg ⁻¹	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	m
			mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			%			
0-20	5,40	1,35	37,02	1,22	1,36	0,30	0,10	2,27	4,02	43,65	5,41

Em que: Prof. = Profundidade; MO = Matéria orgânica; T = Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = Índice de saturação por base; m = Índice de saturação de alumínio.

As mudas utilizadas no experimento foram adquiridas do viveiro florestal situado em Lavras-MG. A espécie empregada foi um clone de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, que apresentava padrão de qualidade adequado para o plantio em campo (25 a 30 cm para altura e de 2 a 4 mm para diâmetro do colo).

O controle de formigas e plantas daninhas foi realizado periodicamente de forma manual. Antes da implantação do experimento, realizou-se a limpeza da área de forma mecanizada por meio de trator (4x2TDA) com grade de corte. O preparo do solo envolveu a escarificação do solo com o mesmo trator.

O desenho experimental utilizado foi em esquema fatorial 2 x 5 (duas doses de polímero hidrorretentor e cinco combinações de fertilização mineral) em delineamento de blocos casualizados completos, com três repetições e cinco mudas por parcela em arranjo de 3 x 2 m. As doses de polímero hidrorretentor corresponderam a 0 e 1 g por planta, sendo estas diluídas em 400 ml de água e sua aplicação em cova de dimensão 20 x 20 x 20 cm. A quantidade de hidrogel por planta foi disponibilizada conforme a recomendação do fabricante do produto, que prescreve 1 kg de polímero hidrorretentor para 400 litros de água, o que equivale a 1 g por planta. Os níveis de fertilização mineral foram denominados como N0P0K0, N0P1K0, N1P0K1, N1P1K1 e N2P2K2, correspondendo às doses de N (N0 = 0, N1 = 62 e N2 = 124 g do fertilizante por planta), P (P0 = 0, P1 = 75 e P2 = 150 g do fertilizante por planta) e K (K0 = 0, K1 = 62 e K2 = 124 g do fertilizante por planta).

As doses de P foram aplicadas no momento do plantio, na cova, sendo usado como fonte o adubo superfosfato simples (18% de P₂O₅). Já as doses de N (ureia) e K (cloreto de potássio) foram dispostas em cobertura, aos 60 dias pós-plantio, sendo utilizado como fonte o fertilizante NPK

20:0:20 (20% de N e 20% de K₂O).

As variáveis respostas utilizadas foram o diâmetro do colo (DC) e a altura total, mensurados aos coberturas, aos 60 dias pós-plantio, sendo utilizado como fonte o fertilizante NPK 20:0:20 (20% de N e 20% de K₂O).

As variáveis respostas utilizadas foram o diâmetro do colo (DC) e a altura total, mensurados aos 30, 60, 120 e 150 dias de idade. Além dessas, realizou-se a análise química foliar aos 150 dias pós-plantio com o objetivo de obter os teores de nutrientes nas folhas de acordo com as doses de fertilizantes utilizados. Para tal procedimento, foi seguida metodologia de Malavolta (2006), coletando-se folhas recém-maduras de ramos primários de todas as plantas. Após a coleta das amostras, estas foram divididas por tratamento e em subamostras para serem levadas para análise. As subamostras foram levadas ao Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, onde foram submetidas à análise química foliar para determinar os teores de N, P e K.

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). Para a determinação da matéria seca, foram coletadas folhas, ramos e caule das mesmas plantas utilizadas para coleta das amostras, sendo esse material armazenado em sacos de papel e submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante. Posteriormente, procedeu-se a pesagem da massa seca desse material.

Os dados de altura, diâmetro e acúmulo de nutrientes foram submetidos à análise de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk. Ao conferirem normalidade, realizou-se a análise de variância e quando significativos (*p-value* < 0,05), realizou-se o teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. As análises foram feitas por meio do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

Resultados e discussão

Com base na avaliação da altura e do diâmetro do colo das mudas, observou-se que não ocorreu interação entre o hidrogel e os níveis de fertilização mineral testados para plantas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, até os 150 dias pós-plantio (Tabela 2). No entanto, tanto a utilização do polímero hidrorretentor, quanto de doses diferentes de fertilização mineral interferiram significativamente no crescimento das plantas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Os tratamentos com a presença do polímero hidrorretentor foram diferentes significativamente dos demais em altura das mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nos primeiros 120 dias de idade (Tabela 2), uma vez que, segundo Gonçalves *et al.* (2000), nesse período, as raízes das mudas primárias e secundárias iniciam o seu desenvolvimento e necessitam que o solo disponibilize nutrientes e umidade para favorecer o crescimento.

Navroski *et al.* (2014), ao avaliarem a influência das diferentes doses de hidrogel no fornecimento de água para o eucalipto (*Eucalyptus dunnii*), concluíram que o uso do polímero é fundamental para o desenvolvimento significativo em altura nos primeiros meses de estabelecimento das mudas. Navroski *et al.* (2016) também observaram que o polímero influencia de forma significativa o incremento em altura na fase inicial de crescimento de mudas de *Eucalyptus dunnii*.

Apesar do estudo de Navroski *et al.* (2016) ter sido conduzido sob condições ambientais controladas, cujos intervalos entre irrigações eram predefinidos e tinham um substrato como base para crescimento das mudas, os resultados são semelhantes aos obtidos para o híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em fase de implantação, de modo a fortalecer a validação da influência do polímero para o desempenho em altura nos primeiros meses de plantio. Diante da similaridade dos resultados obtidos por Navroski *et al.* (2014) e Navroski *et al.* (2016), é válido ressaltar que o tempo de fornecimento de água pelo polímero é variável e depende de condições de solo, clima e da própria planta.

Tabela 2 – Análise de variância para altura e diâmetro do colo de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 30, 60, 120 e 150 dias de idade, em função do uso de hidrogel e fertilização de implantação.

Table 2 – Analysis of variance for the height and root collar diameter of hybrid the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* at 30, 60, 120 and 150 days of age, as a function of the use of hydrogel and implantation fertilization.

FV	GL	30 dias	60 dias	120 dias	150 dias
		Quadrado médio (Altura)			
Bloco	2	37,820481*	0,011560 ^{ns}	0,279576*	3638,15278*
Hidrogel (H)	1	139,82407*	0,001470*	0,161504*	3,900009 ^{ns}
Dose (D)	4	156,509384*	0,092461*	0,525550*	5338,808296*
H*D	4	3,516282 ^{ns}	0,001733 ^{ns}	0,017956 ^{ns}	402,002324 ^{ns}
Erro	18	12,892800	0,004550	0,023530	487,821000
CVH(%)	-	7,74	10,10	9,58	10,92
MH(cm)	-	46,43	66,77	160,19	202,21
Quadrado médio (Diâmetro do colo)					
Bloco	2	2,199707*	3,078591 ^{ns}	8,858133 ^{ns}	1,898052 ^{ns}
H	1	3,216159*	0,185496 ^{ns}	5,188907 ^{ns}	1,216053 ^{ns}
D	4	8,69284*	31,153844*	127,151707*	161,287699*
H*D	4	0,109925 ^{ns}	0,392509 ^{ns}	0,837659 ^{ns}	1,345537 ^{ns}
Erro	18	0,396180	1,933950	3,078110	2,868460
CVD(%)	-	10,64	15,16	9,38	7,46
MD(mm)	-	5,91	9,18	18,71	22,71

Em que: FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; CVH = Coeficiente de variação para altura; CVD = Coeficiente de variação para diâmetro do colo; MH = Média geral para altura; MD = Média geral para o diâmetro do colo; (^{ns}) Resultados não significativos a 5% de probabilidade do erro; (*) Resultados significativos a 5% de probabilidade de erro.

Para o diâmetro do colo, aos 30 dias pós-plantio, os tratamentos com presença do polímero apresentaram médias (6,24 mm) estatisticamente superiores aos tratamentos sem polímero (5,58 mm). Enquanto, aos 60, 120 e 150 dias, pode-se observar que as médias dos tratamentos com e sem o polímero hidrorretentor foram estatisticamente iguais. A presença do polímero nos 30 dias que sucedem o plantio é fundamental para o estabelecimento das mudas, por proporcionar maior umidade ao solo e, provavelmente, aumentar a superfície de contato do sistema radicular com o solo, de modo a auxiliar na absorção de água e nutrientes. Conforme estudos de Thomas (2008), o uso do polímero permite a ocorrência da uniformização da reposição de água ao solo, sem que as plantas apresentem sintomas de estresse hídrico nos primeiros 30 dias pós-plantio, o que possibilita maior incremento em diâmetro do colo das mudas.

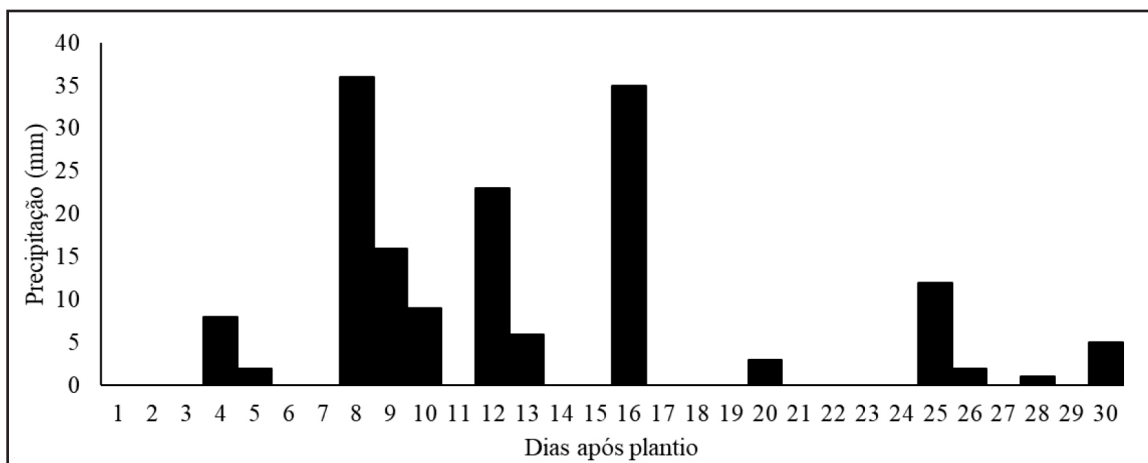
Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017), não houve uniformidade na distribuição da precipitação diária no mês que sucedeu o plantio (Figura 1), o que possivelmente favoreceu a influência do polímero nas duas variáveis analisadas.

Os quatro primeiros meses pós-plantio apresentaram valores de chuva acumulada de aproximadamente 160, 60, 160 e 110 mm. Apesar dessa distribuição ser satisfatória em termos de

consumo de água para um bom desenvolvimento da espécie, baseando-se em uma média anual entre 800 e 1200 mm (FOELKEL, 2005), o polímero hidrorretentor favoreceu o incremento em diâmetro no primeiro mês e altura nos quatro primeiros meses de estudo. Esse fato corrobora os estudos de Thomas (2008) já que, possivelmente, o polímero uniformizou a reposição de água ao solo, tendo como base uma escala diária de ocorrência de chuva.

Figura 1 – Precipitação em Lavras-MG, durante os 30 primeiros dias pós-plantio.

Figure 1 – Rainfall in Lavras, MG state, during the first 30 days after planting.



Fonte: Autores (2019)

Analisando o efeito da fertilização mineral, verifica-se que o P foi essencial para o crescimento das mudas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, já que, quando o mesmo não foi fornecido, o desempenho das mudas foi inferior ao daquelas que receberam P (Tabela 3). Segundo Carmo Pinto *et al.* (2011), as espécies de eucalipto apresentam maior exigência desse nutriente quanto mais jovens forem as plantas, ou seja, o nível crítico é maior na fase de implantação, diminuindo ao longo da idade do povoamento. Verifica-se que já nos 30 dias iniciais, as mudas que receberam P na fertilização mineral de plantio apresentaram médias superiores e estatisticamente diferentes às mudas dos tratamentos com ausência do nutriente, para as duas variáveis analisadas (Tabela 3).

Esses resultados refletem a importância do P para a espécie na fertilização mineral de plantio, assim conforme destacado por Gonçalves *et al.* (2000), que afirmam que a disponibilidade do P para solos classificados como Argissolos e Latossolos é um dos indicadores utilizados para avaliar o potencial do desenvolvimento do eucalipto em resposta à fertilização. O desempenho expressivo obtido com a adição de P é reflexo da fertilização mineral realizada de forma eficaz e da eficiência do seu uso pelo híbrido em estudo, visto que, diante da importância desse nutriente para as culturas, ele é o maior responsável por limitar a produção vegetal no Brasil, tanto pela baixa disponibilidade em solos tropicais, quanto pela alta capacidade de reagir com componentes do solo formando compostos de baixa solubilidade (FURTINI NETO *et al.*, 2001; GONÇALVES *et al.*, 2000; CARMO PINTO *et al.*, 2011).

Rocha *et al.* (2013), analisando o crescimento de mudas de eucalipto sob diferentes doses de P, concluíram que esse elemento teve um efeito positivo no crescimento das plantas. Estes autores ressaltam ainda a importância de se utilizar uma correta dose do nutriente, já que doses superiores às ideais podem gerar fitotoxidez e conseqüentemente atrapalhar o crescimento. Ademais, Carmo Pinto *et al.* (2011) destacam que, apesar dessa importância do nutriente, dependendo da área em que se realiza o plantio, bons ganhos em produtividade são obtidos com

a aplicação de outros nutrientes, tais como o N e o K.

Tabela 3 – Altura e diâmetro do colo de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 30, 60, 120 e 150 dias pós-plantio, em função dos níveis de fertilização mineral.

Table 3 – Height and Root collar diameter of hybrid the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* at 30, 60, 120 and 150 days post-planting, as a function on the mineral fertilization levels.

Níveis de fertilização mineral	Dias após o plantio							
	30		60		120		150	
Altura (cm)								
N0P0K0	39,86	b [*]	54,66	b	137,47	c	167,09	c
N0P1K0	49,64	a	78,27	a	173,82	b	208,47	b
N1P0K1	42,14	b	52,41	b	121,53	c	173,87	c
N1P1K1	48,49	a	71,08	a	174,95	b	207,70	b
N2P2K2	51,75	a	77,40	a	193,19	a	238,05	a
DC (mm)								
N0P0K0	4,54	b	6,98	b	14,80	c	17,16	d
N0P1K0	6,84	a	11,16	a	18,81	b	23,01	c
N1P0K1	4,69	b	6,44	b	13,58	c	17,90	d
N1P1K1	6,47	a	10,33	a	21,87	b	26,64	b
N2P2K2	7,03	a	10,96	a	24,47	a	28,87	a

*Médias seguidas por mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Skott-knott a 5% de probabilidade de erro.

Para ambas as variáveis analisadas, aos 120 dias observa-se que os tratamentos contendo as maiores doses de N, P e K (N2P2K2) diferiram dos demais significativamente (Tabela 3). Conforme ressaltado, aos 60 dias de plantio foi realizada uma fertilização mineral de cobertura com um formulado NPK 20-0-20, o que proporcionou esses resultados e corroboram a boa resposta do híbrido utilizado a esses dois nutrientes.

O N se destaca por ser o nutriente mais exigido pelas culturas, apresentando, assim como o K, uma alta mobilidade no solo (FURTINI NETO *et al.*, 2001; DE JESUS *et al.* 2012). Para Sette Junior *et al.* (2010), a alta eficiência de absorção de K pela planta é um parâmetro desejável, já que os solos tropicais apresentam baixo conteúdo trocável do nutriente, pouca matéria orgânica e baixa capacidade de troca catiônica, o que torna necessário parcelar a fertilização mineral potássica. Essa alta mobilidade dificulta a manutenção desses nutrientes em camadas do solo cujo sistema radicular consiga absorvê-los, ou seja, são facilmente lixiviados. Dessa forma, Paiva *et al.* (2011) destacam que a aplicação do N e do K deve ser realizada entre 40 a 60 dias pós-plantio, preferencialmente, com solo úmido e particionando sua aplicação para evitar a perda por lixiviação. Se houver necessidade de realizar a fertilização mineral em época seca, deve-se incorporar o fertilizante, de modo a evitar perdas de N por volatilização. É válido ressaltar que a aplicação dos dois nutrientes deve ser feita quando o sistema radicular das mudas estiver bem desenvolvido. Sendo assim, a idade de aplicação pode variar com o ritmo de desenvolvimento de cada espécie florestal.

Apesar da importância dos nutrientes N e K, principalmente no que se refere, respectivamente, ao crescimento vegetativo e à resistência a condições adversas (FURTINI

NETO *et al.*, 2001), nota-se que no presente estudo, a aplicação desses, sem a adição do P (tratamento N1P0K1) não gera incremento satisfatório em altura e diâmetro das plantas. Já os resultados de altura e diâmetro do tratamento N1P1K1 mostram que, mesmo sob uma dose menor, comparando-se com o tratamento N2P2K2, a presença do nutriente P foi responsável por um maior crescimento das mudas. Em estudo analisando a resposta de mudas de *Eucalyptus saligna* sob diferentes doses de N, P e K, Barros e Novais (1999) concluíram que a aplicação do P melhorou a qualidade do sítio de estudo consideravelmente e condicionou as respostas ao N e K, o que pode ser confirmado pelo presente estudo.

Ao analisar o efeito da fertilização mineral no teor de nutrientes nas folhas das mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, nota-se que a aplicação das doses crescentes de N, P e K promoveu aumento gradativo da absorção desses nutrientes (Tabela 4). Segundo Prezotti e Bragança (2013), a concentração externa de íons é um dos fatores que afetam a absorção iônica radicular.

Entre os macronutrientes analisados, observou-se, sob as maiores doses de N, P e K, um menor teor de cálcio (Ca) nas mudas. Isso se deve provavelmente ao fato de a disponibilidade desse nutriente ser afetada por outros cátions presentes na solução do solo, como K^+ e NH_4^+ . No caso do NH_4^+ especificamente, o Ca^{2+} presente em solução sofre inibição competitiva com o cátion, que é rapidamente absorvido pelas plantas. Dessa forma, em condições em que há baixa taxa de nitrificação deve-se evitar o uso de fertilizantes amoniacais, impedindo assim a deficiência por Ca nas mudas (FURTINI NETO *et al.*, 2001).

Segundo Furtini Neto *et al.* (2001), a nitrificação é mediada por um grupo específico de bactérias, e por isso, o processo é afetado por fatores ambientais, como aeração, acidez, temperatura e umidade do solo, e também da própria fonte de íons amônio. Diante do fato de essas bactérias não produzirem nitrato na ausência de oxigênio molecular, é válido ressaltar que, a partir do baixo teor de Ca encontrado no presente estudo, altas doses de K, em que o solo não é bem aerado, podem levar a uma deficiência de cálcio.

Comparando-se os valores de teor nas folhas obtidos para o híbrido, com os níveis adequados de macronutrientes para eucalipto conforme Malavolta (2006), nota-se que, para o N, os tratamentos N0P0K0 e N1P1K1 estão abaixo do nível adequado (21-23 g kg⁻¹). No caso do N0P0K0, esse valor pode ter sido influenciado pela ausência de aplicação de qualquer fertilizante nesse tratamento, o qual limitou o desempenho das mudas. A disponibilidade de nutrientes em solos de baixa fertilidade natural, torna-se essencial para o crescimento das mudas em altura, diâmetro, produção de biomassa e para o estabelecimento de florestas de alta produtividade (ROCHA *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2017).

O baixo valor encontrado no tratamento N1P1K1 pode ter ocorrido devido a um possível efeito de diluição desse nutriente na planta, o qual é caracterizado quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente (MAIA *et al.*, 2005). Logo, a menor concentração foliar de N pode ser atribuída ao efeito de diluição na folha por meio da rápida fixação do mineral P adicionado ao solo via fertilizante (GAZOLA *et al.*, 2015).

Para o P, verifica-se que somente o tratamento N0P1K0 está dentro do intervalo ideal de concentração do nutriente (1,3 – 1,4 g kg⁻¹), ou seja, a utilização do nutriente sem a presença de N e K via fertilização resultou em um teor ideal do mesmo nas folhas. Ao comparar esse valor com o tratamento N1P1K1, outro que recebeu a mesma dose do nutriente, nota-se um menor valor de teor nas folhas. Isso, provavelmente, ocorreu devido ao fato da presença de N e K terem favorecido o incremento em matéria seca desse tratamento (733,11 g) e novamente ter ocorrido o efeito da diluição (GAZOLA *et al.*, 2015). A dose máxima de fertilizantes (N2P2K2) gerou um teor de P além do nível ideal, porém, não foi notado em campo qualquer efeito de fitotoxicidade pelo nutriente.

No caso do K, que, de acordo com Malavolta *et al.* (2006), se apresenta em nível adequado na quantidade de 9-10 g kg⁻¹ para a cultura do eucalipto, verificou-se que apenas o tratamento que não possuía fertilização com P e possuía com K, apresentou nível além do adequado. Em

outra situação, pode-se verificar que, quando o P estava presente, o incremento em matéria seca provavelmente gerou o efeito da diluição para o nutriente.

Tabela 4 – Análise foliar dos teores de nutrientes em mudas de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em cinco níveis de fertilização mineral aos 150 dias pós-plantio.

Table 4 – Nutrient content in seedlings of hybrid the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* in five levels of mineral fertilization at 150 days post-planting.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	B	Cu	Fe
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
N0P0K0	19,80	1,20	9,40	10,20	1,60	1,20	526,20	14,70	17,30	8,20	152,70
N0P1K0	21,20	1,30	10,00	10,00	1,40	1,20	508,90	13,60	16,60	7,90	123,90
N1P0K1	22,80	1,10	10,90	9,10	1,40	1,30	715,00	15,80	17,00	8,30	114,10
N1P1K1	20,70	1,20	9,90	10,00	1,50	1,20	504,60	13,70	15,90	7,70	142,40
N2P2K2	22,30	1,40	9,90	4,50	1,40	1,20	581,40	13,30	16,30	7,50	119,80

Em que: N0 = 0 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20); N1 = 62 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20); N2 = 124 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20), P = 0 g planta⁻¹ de superfosfato simples; P1 = 75 g planta⁻¹ de superfosfato simples; P2 = 150 g planta⁻¹ de superfosfato simples; K0 = 0 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20); K1 = 62 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20) e K2 = 124 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20).

Os teores de Ca, Mg e S apresentaram, no geral, comportamento distinto de N, P e K. No caso do Ca, com exceção do tratamento N2P2K2, todos os tratamentos apresentaram valores acima dos adequados para a cultura. Para os outros dois macronutrientes, Mg e S, notou-se que em todos os tratamentos os níveis estão abaixo do adequado, sendo que para Mg estes são de 2,5-3,0 g kg⁻¹ e para S de 1,5-2,5 g kg⁻¹ (MALAVOLTA *et al.*, 2006).

Esses resultados mostram que é importante buscar o equilíbrio não só de macronutrientes N, P e K, mas de todos os nutrientes utilizados pela planta. Tal observação corrobora uma regra de extrema relevância no meio da fertilidade do solo, a lei do mínimo, a qual diz que a produção das culturas é limitada pelo nutriente em menor disponibilidade no solo, mesmo que todos os outros estejam disponíveis em quantidades adequadas (FURTINI NETO *et al.*, 2001).

Ao estimar o conteúdo (acúmulo) de nutrientes nas plantas a partir da multiplicação dos teores pelos valores de massa seca por tratamento, observou-se que as doses crescentes de N, P e K promovem aumento gradativo no conteúdo destes (Tabela 5).

O maior acúmulo dos três macronutrientes foi observado no tratamento contendo a maior dose de fertilizantes (N2P2K2) e os menores, nos tratamentos com ausência de P, o que infere que a maior dose foi benéfica à produtividade do híbrido em estudo e ressalta a importância do nutriente P.

Foi observado, a partir dos valores de acúmulo de N e K, que o tratamento N1P0K1, ou seja, com ausência de P e presença dos dois nutrientes, acumulou menos N e K do que quando esses dois não foram fornecidos, porém, com presença de P (N0P1K0). Para ambos os nutrientes, resultados semelhantes foram observados por Silva *et al.* (2016), que constataram por meio da avaliação do acúmulo de nutrientes na parte aérea de plantas de *Dipteryx alata* sob omissão de micro e macronutrientes, que sob a ausência de P, há menor acúmulo de N e K em comparação com o tratamento contendo todos os nutrientes. Tais dados corroboram o estudo de Barros e Novais (1999), que verificaram que o P condicionou a resposta por N e K de mudas de *Eucalyptus saligna*. Carnevali *et al.* (2016) observaram em *Stryphnodendron polyphyllum* que na deficiência de

P, há diminuição no teor de N, e afirmam que o aumento na absorção de N requer aumento na concentração de P na solução.

Tabela 5 – Acúmulo de N, P e K na massa seca de plantas do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob o efeito da aplicação de cinco níveis de fertilização mineral com NPK aos 150 dias de idade

Table 5 – Accumulation of N, P and K in the dry mass of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* hybrid plants under the effect of five levels of mineral fertilization with NPK at 150 days of age

Níveis de fertilização mineral	Massa seca por planta (g)	Acúmulo (mg planta ⁻¹)					
		N		P		K	
N0P0K0	229,10	4 514,30	c [*]	287,80	c	2 137,40	c
N0P1K0	603,90	12 867,20	b	822,00	b	6 039,30	b
N1P0K1	270,50	6 167,10	c	297,60	c	2 946,20	c
N1P1K1	733,10	15 074,30	b	912,70	b	7 236,10	b
N2P2K2	1129,00	25 238,10	a	1 638,90	a	11 233,90	a
CV (%)		28,20		30,90		27,40	
M (mg planta⁻¹)		12 772,20		791,80		5 918,50	

Em que: CV = Coeficiente de variação; M = Média Geral; N0 = 0 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20); N1 = 62 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20); N2 = 124 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20), P = 0 g planta⁻¹ de superfosfato simples; P1 = 75 g planta⁻¹ de superfosfato simples; P2 = 150 g planta⁻¹ de superfosfato simples; K0 = 0 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20); K1 = 62 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20) e K2 = 124 g planta⁻¹ de NPK (20:0:20). *Médias seguidas por mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste Skott-knott a 5% de probabilidade de erro.

Conforme Barros e Novais (1999), uma correta dose de fertilizante é fundamental para se obter a máxima produtividade sem gerar toxidez às plantas. Pode-se verificar nesse estudo que a aplicação de forma correta e no momento correto dos três nutrientes (NPK) foi estatisticamente superior para o acúmulo dos mesmos nas plantas no período avaliado, favorecendo consequentemente, a maior produtividade do híbrido em estudo.

Conclusões

O uso do polímero hidrorretentor favoreceu o crescimento das plantas de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, não havendo interação entre o efeito do polímero e as doses de fertilização mineral aplicadas.

O P é um elemento essencial para o crescimento na fase inicial de plantio, sendo a maior dose de P benéfica à produtividade do híbrido. A aplicação de N e K intensificou o crescimento das plantas dos tratamentos que contêm P na fertilização mineral de base.

O acúmulo de N, P e K foi maior em mudas dos tratamentos em que estes nutrientes foram aplicados, sendo que no caso do N e K, isso só ocorreu concomitante à aplicação de fósforo. No caso dos teores destes nutrientes, não houve variação devido à diluição causada pelo maior crescimento das mudas, quando adubadas.

Agradecimentos

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG, pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

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.
- BARROS, N. F. *et al.* **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. p. 303-305.
- BERNARDI, M. R. *et al.* Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e fertilização mineral. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 67-74, jan./mar. 2012.
- CARMO PINTO, S. I. D. *et al.* Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 523-533, 2011.
- CARNEVALI, N. H. S. *et al.* Eficiência nutricional de mudas de *Stryphnodendron polyphyllum* em função de nitrogênio e fósforo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 449-461, abr./jun. 2016.
- 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.
- EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEIMEN, F. E. Polymer Applications in Agriculture. **Biokemistri**, Auchí, v. 23, n. 2, p. 81-89, jun. 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.
- FERRAZ FILHO, A. C. *et al.* Height-diameter models for *Eucalytus* sp. plantations in Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 9-17, jan./mar. 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- FOELKEL, C. **Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos**: Aspectos ambientais, biológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. Porto Alegre: Eucalyptus online book e Newsletter, 2005. 133p.
- FURTINI NETO, A. E. *et al.* **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001, 261 p.
- GAZOLA, R. N. *et al.* Doses of N, P and K in the cultivation of eucalyptus in soil originally under Cerrado vegetation. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n.3, p. 1895-1912, 2015.
- GONÇALVES, J. L. M. *et al.* Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 309-350.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais>>. Acesso em: 03 nov. 2017.
- 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.
- MAIA, C. E. *et al.* Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.

292-295, 2005.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006, 638 p.

MORAES, O.; BOTREL, T. A.; DIAS, C. T. S. Efeito do uso de polímero hidro- retentor no solo sobre intervalo de irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, n. 1, p. 73-80, 2001.

NAVROSKI, M. C. *et al.* Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n.2, p. 315-328, out. 2014.

NAVROSKI, M. C. *et al.* Uso de hidrogel possibilita redução da irrigação e melhora o crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 467-476, jun. 2015.

NAVROSKI, M. C. *et al.* Redução da fertilização mineral e melhoria das características do substrato com o uso do hidrogel na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1155-1165, out./dez. 2016.

OLIVEIRA, R. A. *et al.* Influência de um polímero hidroabsorvente sobre e a retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 160-163, jan./abr. 2004.

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, jul./set. 2013.

ROCHA, J. H. T. *et al.* 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.

SETTE JUNIOR, C. R. *et al.* Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 34, n.6, p.979-990, nov./dez. 2010.

SILVA, D. S. N. Crescimento e nutrição mineral do baru (*Dipteryx alata* Vogel) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n.12, p. 1101-1106, out. 2016.

THOMAS, D. S. Hydrogel applied to the root plug of subtropical eucalypt seedlings halves transplant death following planting. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3-4, p. 1305-1314, mar. 2008.

XIE, Y.; WANG, A. Effects of modified vermiculite on water absorbency and swelling behavior of chitosan-g-poly (acrylic acid)/vermiculite superabsorbent composite. **Journal of Composite Materials**, Los Angeles, v. 43, n. 21, p. 1-17, set. 2009.

ZOHURIAAN-MEHR, M. J.; KABIRI, K. Superabsorbent polymer materials: A Review. **Iranian Polymer Journal**, Lanzhou, v. 17, n. 6, p. 451-477, jun. 2008.