



Avaliação dos aspectos fisiológicos de *Eucalyptus camaldulensis* submetido à aplicação de 2,4-D e Picloram cultivado com bio sólido ⁽¹⁾.

Leonardo Michel Rocha⁽²⁾; William Gomes Montes⁽³⁾; Pábulo Diogo de Souza⁽³⁾; Leandro Roberto da Cruz⁽⁴⁾; Gustavo Amaral Costa⁽⁴⁾; Leonardo David Tuffi Santos⁽⁵⁾

(1) Trabalho executado com recursos do CNPq (PIBIC/UFMG) e da FAPEMIG – PPM 00072-13

(2) Graduando em Engenharia Agrônoma; Universidade Federal de Minas Gerais; Montes Claros-MG; leonardorocha.agronomia@hotmail.com

(3) Graduando em Engenharia Florestal; Universidade Federal de Minas Gerais

(4) Mestre em Produção Vegetal; Universidade Federal de Minas Gerais

(5) Professor Adjunto; Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO: Os herbicidas auxínicos frequentemente utilizados em pastagens, possuem efeito residual longo, o que pode ocasionar danos às culturas sucessivas, como o eucalipto, porém, a aplicação de bio sólido nos plantios pode favorecer seu desenvolvimento e minimizar o efeito de resíduos destes herbicidas. Objetivou-se avaliar a fisiologia de *Eucalyptus camaldulensis* cultivado com bio sólido e submetido à aplicação de herbicidas mimetizadores de auxinas. O experimento foi implantado em blocos casualizados com seis tratamentos correspondentes a aplicação sobre a superfície do solo de: 0 e 5,77 t ha⁻¹ de bio sólido sem herbicida, 2,89; 5,77; 8,66 e 11,54 t ha⁻¹ de bio sólido e 5 L ha⁻¹ de herbicida mimetizador de auxina (picloram + 2,4 D) com quatro repetições. Avaliou-se aos 7 e 14 dias após aplicação do herbicida (DAA) a taxa fotossintética líquida ($A = \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática ($GS = \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa transpiratória foliar ($E = \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência no uso da água ($EUA = \mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$). As plantas de eucalipto submetidas a aplicação de herbicidas auxínicos apresentaram sintomas de intoxicação aos 7 e 14 DAA, independente da dose de bio sólido aplicada. Com a aplicação de herbicida houve a redução da A e GS das plantas de eucalipto aos 7 e 14 DAA. O bio sólido não prejudicou a fisiologia das plantas, porém, não inibiu a ação do herbicida nas plantas de eucalipto.

Termos de indexação: Taxa fotossintética, mimetizadores de auxina, lodo de esgoto.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o lodo tratado proveniente das estações de tratamento de esgoto pode ser destinado para plantios florestais e sistemas agroflorestais. A utilização deste bio sólido se deve ao seu potencial fertilizante para os plantios, por incrementar o teor de nutrientes e matéria orgânica do solo, principalmente N, P e Ca, além de aumentar o pH e a CTC (Guedes et al., 2006).

O lodo é oriundo das Estações de Tratamento de Esgoto de cada município, dessa maneira, há variações quanto ao produto final de cada estação. Cada lodo de esgoto possui o seu teor de N e que apenas uma porcentagem desse N é disponível para as plantas (Vieira & Cardoso, 2003). Para o manejo das plantas daninhas em áreas cultivadas, como pastagens, o método químico (utilização de herbicidas) é o mais empregado. Para o seu controle, há no mercado brasileiro dois herbicidas que se destacam, o picloram e 2,4 D (Mapa, 2014). Estes herbicidas pertencem ao grupo dos reguladores de crescimento, auxinas sintéticas ou herbicidas hormonais por conta da similaridade estrutural com a auxina natural das plantas (Machado, 2006). Em plantas dicotiledôneas sensíveis como o eucalipto ocorre variações no crescimento das plantas como epinastia foliar (Grossmann, 2000), devido a intensa divisão celular nos tecidos das plantas, além de afetar o fluxo normal dos fotoassimilados das folhas para o sistema radicular pela interrupção do floema (Silva; Ferreira; Ferreira, 2007). O picloram e 2,4 D apresentam poder residual no solo de até 360 dias e 30 dias, respectivamente (Santos et al., 2006). São extremamente ativos em dicotiledôneas, o que pode ocasionar a contaminação de culturas sucessivas, como o eucalipto, cultivado em áreas de pastagem.

Objetivou-se avaliar os aspectos fisiológicos de *Eucalyptus camaldulensis* submetido à aplicação de 2,4-D e picloram cultivado com diferentes doses de bio sólido.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em campo aberto na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) situado no município de Montes Claros-MG, latitude: 16° 43' 41", longitude: 43° 51' 54" e altitude de 638 metros. A precipitação média anual é de 1.060 mm e a temperatura média anual é de 24,20 °C.



As mudas de *E. camaldulensis* provenientes de propagação de sementes adquiridas de fornecedor certificado foram produzidas em tubetes de polietileno, manejadas por um período de 90 dias e padronizadas quanto ao tamanho e vigor. Posteriormente foram transplantadas para vasos com capacidade de 12 L, onde permaneceram por aproximadamente 60 dias antes de serem submetidas aos respectivos tratamentos.

Utilizou-se lodo de esgoto da ETE do município de Montes Claros, operada pela COPASA-MG. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB. Posteriormente o lodo gerado é centrifugado e desidratado em secadora térmica a 350°C, durante 30 minutos.

O experimento foi implantado em blocos casualizados, com seis tratamentos quatro repetições. Os tratamentos foram correspondentes a aplicação de 0 e 5,77 t ha⁻¹ de biossólido sem aplicação de herbicida e aplicação das doses de 2,885; 5,77; 8,655 e 11,54 t ha⁻¹ de biossólido com aplicação de 5 L ha⁻¹ de herbicida. Cada vaso se caracterizou como uma unidade experimental.

As doses de lodo de esgoto foram determinadas a partir da Resolução Nº 375, de 29 de agosto de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Determinou-se a taxa recomendada de biossólido a aplicar pela relação do teor de N recomendado para a cultura do eucalipto (kg ha⁻¹) com o teor de N disponível (g Kg⁻¹) para cada tipo de lodo. A dose recomendada de aplicação do biossólido foi de 5,77 t ha⁻¹.

Foram aplicadas as doses de biossólido correspondentes em mudas de eucalipto com aproximadamente 85 cm de altura e 11 mm de diâmetro. Após 7 dias da aplicação do biossólido, foi feita a aplicação do herbicida constituído da mistura comercial de 240 g L⁻¹ de 2,4 D + 64 g L⁻¹ de picloram protegendo-se a parte aérea e caule das plantas de eucalipto. Para a aplicação do herbicida foi utilizado pulverizador costal, equipado com barra, e ponta modelo Teejet AI110015 e válvula reguladora de pressão constante a 150 KPa, com o volume de 100 L ha⁻¹ de calda.

As avaliações fisiológicas foram feitas aos 7 e 14 dias após aplicação do herbicida (DAA) em folhas maduras no terço médio da espécie florestal. Utilizou-se analisador de gás infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA 4 (Desenvolvimento Analítico Co. Ltd, Hoddesdon, UK). Determinou-se as taxas de fotossíntese líquida por unidade de área foliar ($A = \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática ao vapor de água ($gs = \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa transpiratória foliar ($E = \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a eficiência no uso da água

($EUA = \mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$) nas plantas de eucalipto, em um campo aberto com livre circulação de ar. Realizou-se as medições pontuais entre 7 e 11 horas. O tempo mínimo, pré-estabelecido para a estabilização das leituras, foi de 120 segundos e o máximo, para salvar cada leitura, de 180 segundos. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi mantida a 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P \leq 0,05$). Quando significativos os valores entre os tratamentos, foram comparados pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 7 dias após aplicação do herbicida (DAA) observou-se sintomas de intoxicação como epinastia e encarquilhamento nas plantas de *E. camaldulensis*, independente da dose de biossólido aplicada. Todos os tratamentos com aplicação de herbicida apresentaram redução da taxa fotossintética (A) e da condutância estomática (GS) aos 7 DAA (**Tabela 1**). As plantas submetidas à aplicação de herbicida apresentaram resultados semelhantes de transpiração (E) e eficiência do uso da água (EUA) às plantas com aplicação de biossólido e sem aplicação de herbicida (**Tabela 1**).

A aplicação de herbicida reduziu a A, GS e E das plantas de eucalipto aos 14 DAA, comparando-se com as plantas submetidas a aplicação de biossólido sem herbicida, exceto para a dose de 11,54 t ha⁻¹, que apresentou A semelhante (**Tabela 2**). Não foi observado efeito significativo para EUA aos 14 DAA (**Tabela 2**).

Foram observados aos 14 DAA sintomas de intoxicação mais severos nas plantas de *E. camaldulensis* submetidas à aplicação do herbicida, como senescência foliar e retorcimento dos ápices. Não foram notados sintomas de intoxicação nos tratamentos onde não houve aplicação de herbicida. O biossólido não influenciou negativamente o desenvolvimento e fisiologia das plantas de eucalipto, independente da dose aplicada.

A aplicação de herbicidas auxínicos em plantas sensíveis como o eucalipto pode acarretar a desregulação do metabolismo de ácidos nucléicos, aumento da atividade enzimática e destruição do floema (Machado et al., 2006) que reduz a translocação de água e fotoassimilados interferindo na fisiologia das plantas.

A aplicação do picloram em plantas induz a síntese de etileno que por sua vez a produção de ácido abscísico (ABA) este atua na redução da perda de água pela transpiração, através do fechamento estomático (Taiz & Zeiger, 2013).



Qualquer alteração que vá ocasionar uma menor absorção e translocação de água pela planta, pode afetar a GS e logo em seguida a A (Belo et al., 2011). Outro fator causado pela aplicação de herbicidas auxínicos que pode influenciar a abertura estomática é a destruição do sistema radicular de plantas sensíveis (Silva; Ferreira; Ferreira, 2007), que ocasiona menor absorção de água podendo induzir o fechamento estomático, reduzindo a turgescência foliar, que pode influenciar na redução da *E* das plantas (Belo et al., 2011). A redução da GS também pode influenciar diretamente a *E*. A resistência estomática depende da abertura dos estômatos, sendo inversamente proporcional, ou seja, quanto menor a abertura dos estômatos maior a resistência estomática, como a GS é responsável pelo fluxo de entrada do CO₂ e saída de água pelo estômato a resistência estomática pode reduzir a *E* (Taiz & Zeiger, 2013).

As moléculas do herbicida não sofreram o processo de sorção junto a matéria orgânica do bio sólido, como era esperado. O método de tratamento do lodo pode ter influenciado nas características do bio sólido. A incineração do material promove uma maior taxa de mineralização, que afetou os processos de sorção do herbicida, tornando-o disponível para as plantas.

Albuquerque (2012), trabalhando com o mesmo bio sólido, observou que a aplicação de doses crescentes promoveu o aumento do pH do solo. Este aumento também pode ter influenciado na retenção do herbicida no solo. Segundo Silva et al. (2007), quando o pH do ambiente onde o herbicida está inserido é maior que seu pK_a (capacidade de dissociação eletrolítica) o herbicida se torna menos dissociado e sua capacidade de retenção é reduzida. Como o picloram possui pK_a igual a 2,3 (Rodrigues & Almeida, 2005), este pode ter sido menos retido no solo pelo possível aumento do pH do solo causado pela aplicação do bio sólido, fazendo com que as moléculas do herbicida se tornassem mais disponíveis para as plantas de *E. camaldulensis* causando sintomas de intoxicação e consequentemente variações na fisiologia das plantas.

CONCLUSÕES

A adição de bio sólido, independente da dose utilizada, não altera a capacidade de sorção do picloram+2,4-D.

A aplicação de bio sólido não altera os efeitos sobre a fisiologia das plantas de *E. camaldulensis* causados pela aplicação de herbicidas auxínicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPQ pela concessão de bolsas. À FAPEMIG pelo financiamento do estudo. À Estação de Tratamento de Esgoto do Município de Montes Claros-MG pelo fornecimento do bio sólido utilizado na presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, H. C. Produtividade e avaliação nutricional do girassol adubado com lodo de esgoto. Dissertação de mestrado. UFMG – Montes Claros, 2012.

BELO, A. F.; COELHO, A. T. C. P.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E.A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. A. Atividade fotossintética de plantas cultivadas em solo contaminado com picloram. Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 29, n. 4, p. 885-892, 2011.

GROSSMANN, K. Mode of action of auxinic herbicides: a new ending to a long, drawn out story. Trends Plant Science, v.5, n.12, p.506-508, 2000.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, n.2, p.267-280, 2006.

MACHADO, R. F. et al. Reflexos do mecanismo de ação de herbicidas na qualidade fisiológica de sementes e na atividade enzimática em plântulas de arroz. R. Bras. Sementes, v. 28, n. 3, p. 151-160, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Disponível em: http://extranetagricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. 5 de fev. 2014.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas.3.ed. Londrina: IAPAR, 2005. 591 p.

SANTOS, M.V., FREITAS, F.C.L. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. Planta Daninha, Viçosa-MG. n.2. 24:391-398. 2006.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, Editora UFV. p. 156-209. 2007.

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

VIEIRA, R. F.; CARDOSO, A. A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 7, p. 867-874, jul. 2003.



Tabela 1 – Taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (GS), transpiração (E) e eficiência do uso da água (EUA) aos 7 DAA em plantas de *E. camaldulensis* cultivadas em solo com diferentes doses de biofóssido submetidos à aplicação de herbicidas mimetizadores de auxina.

Lodo (t ha ⁻¹)/ Picloram + 2,4 D (240 + 64 g L ⁻¹)	A (μmol m ⁻² s ⁻¹)	GS (mol m ⁻¹ s ⁻¹)	E (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	EUA (mol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹)
5,77/0	22,54 A	0,3650 A	3,03 AB	6,77 A
0/0	19,99 A	0,3575 AB	3,72 A	5,92 AB
2,89/(240 + 64 g L ⁻¹)	13,27 B	0,1325 C	2,33 AB	5,21 AB
5,77/(240 + 64 g L ⁻¹)	12,44 B	0,0875 C	1,88 B	4,57 AB
8,66/(240 + 64 g L ⁻¹)	10,40 B	0,1375 C	2,24 B	5,34 AB
11,54/(240 + 64 g L ⁻¹)	9,73 B	0,1550 BC	2,96 AB	4,35 B
CV (%)	12,98%	43,24%	22,90%	18,68%

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferenciam estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de significância (P ≤ 0,05).

Tabela 2 - Taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (GS), transpiração (E) e eficiência do uso da água (EUA) aos 14 DAA em plantas de *E. camaldulensis* cultivadas em solo com diferentes doses de biofóssido submetidos à aplicação de herbicidas mimetizadores de auxina.

Lodo (t ha ⁻¹)/ Picloram + 2,4 D (240 + 64 g L ⁻¹)	A (μmol m ⁻² s ⁻¹)	GS (mol m ⁻¹ s ⁻¹)	E (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	EUA ^(ns) (mol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹)
5,77/0 g L ⁻¹	23,84 A	0,5325 A	3,3275 A	7,1799
0/0 g L ⁻¹	20,39 AB	0,4950 A	3,2775 A	6,3872
2,89/(240 + 64 g L ⁻¹)	5,15 C	0,0950 B	1,2575 B	3,0457
5,77/(240 + 64 g L ⁻¹)	8,04 C	0,1064 B	1,5097 B	4,7869
8,66/(240 + 64 g L ⁻¹)	8,53 BC	0,1034 B	1,3217 B	5,5335
11,54/(240 + 64 g L ⁻¹)	14,52 ABC	0,1531 B	1,9564 B	6,9303
CV (%)	31,95 %	22,59 %	18,58 %	34,35%

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferenciam estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de significância (P ≤ 0,05).

^{ns} Valores não significativos pelo teste F a 5% de significância (P ≤ 0,05).