Biossólido de curtume aumenta a disponibilidade de nutrientes e melhora o crescimento de mudas de eucalipto

O biossólido de curtume apresenta-se como uma alternativa viável para os plantios florestais, entretanto, pode apresentar composição química variada e concentrações elevadas de cromo e sais minerais, como o sódio. Objetivou-se avaliar o aspecto nutricional, o crescimento e o acúmulo de massa seca de plantas de *Eucalyptus pellita* em diferentes doses de biossólido de curtume. O experimento foi realizado em casa de vegetação com delineamento inteiramente casualizado e cinco repetições (5 x 5). Os tratamentos foram compostos por quatro doses do biossólido de curtume (24, 40, 75 e 100 t ha⁻¹) e um controle (adubação inorgânica). A dose de 100 t ha⁻¹ aumentou a massa seca da raiz, folha e caule em 70,52, 18,18 e 42,25% respectivamente, em comparação ao controle. A aplicação de adubação complementar é necessária para atender as exigências nutricionais da planta. O Índice de Qualidade Dickson (IQD) mostrou ganhos de qualidade das plantas com as doses crescentes de biossólido. A concentração foliar de Cr estava abaixo do nível considerado tóxico para as plantas de eucalipto. O Ca e Mg apresentaram concentrações dentro da faixa considerada ideal. O uso do biossólido de curtume é uma opção para o fornecimento de nutrientes em plantios de eucalipto.

Palavras-chave: Nutrição de plantas; Concentração de nutrientes; Fertilização; Lixo industrial.

Tannery biosolid increases nutrient availability and improves growth of eucalyptus seedlings

The tannery biosolid is a viable alternative for forest plantations, however, it may present varied chemical composition and high concentrations of chromium and mineral salts, such as sodium. The objective of this study was to evaluate the nutritional aspect, growth and dry mass accumulation of *Eucalyptus pellita* plants in different doses of tannery biosolid. The experiment was carried out in a greenhouse with a completely randomized design and five replications (5 x 5). The treatments were composed of four doses of the tannery biosolid (24, 40, 75 e 100 t ha⁻¹) and a control (inorganic fertilization). The dose of 100 t ha⁻¹ increased root, leaf and stem dry mass by 70.52, 18.18 and 42.25% respectively, compared to the control. The application of complementary fertilization is necessary to meet the nutritional requirements of the plant. The Dickson Quality Index (DQI) showed plant quality gains with increasing doses of biosolids. The leaf concentration of Cr was below the level considered toxic for eucalyptus plants. Ca and Mg presented concentrations within the range considered ideal. The use of tannery biosolid is an option for the supply of nutrients in eucalyptus plantations.

Keywords: Plant nutrition; Nutrient concentration; Fertilization; Industrial waste.

Topic: Ciências do Solo

Received: 08/06/2021

Approved: 24/06/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Kamila Cabral Mielke
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9582543119922983>
<http://orcid.org/0000-0001-9576-9928>
kamila.mielke@ufv.br

Dany Roberta Marques Caldeira
Instituto Federal de Rondônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0944853628601709>
<http://orcid.org/0000-0001-5236-8673>
dany.caldeira@ifro.edu.br

Maura Gabriela da Silva Brochado
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1509312557137003>
<http://orcid.org/0000-0003-1981-121X>
maura.brochado@ufv.br

Ana Flávia Souza Laube
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7385111214626928>
<http://orcid.org/0000-0001-5938-1424>
anaf.laube@gmail.com

Dilma Francisca de Paula
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5000058539625268>
dilmafdepaula@gmail.com

Diana Jhulia Palheta de Sousa
Universidade Federal de Viçosa, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2542114977655585>
<http://orcid.org/0000-0002-8050-7260>
diana.sousa@ufv.br

Diogo Ferreira dos Santos
Instituto Federal de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8087061077677040>
<http://orcid.org/0000-0002-3345-6851>
diogo_xx9@hotmail.com

DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0007

Referencing this:

MIELKE, K. C.; CALDEIRA, D. R. M.; BROCHADO, M. G. S.; LAUBE, A. F. S.; PAULA, D. F.; SOUSA, D. J. P.; SANTOS, D. F. Biossólido de curtume aumenta a disponibilidade de nutrientes e melhora o crescimento de mudas de eucalipto. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.6, p.87-96, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0007>

INTRODUÇÃO

A indústria curtumeira é geradora de resíduos sólidos (lodo de curtume) constituídos por matéria orgânica de origem animal, sais inorgânicos (RAFIQUE et al., 2020) e contém concentrações de metais pesados, que podem causar poluição ambiental se usado sem precauções (GUPTA et al., 2007). No entanto, é geralmente reconhecido que o uso de biossólido para fins agrícolas fornece nutrientes ao solo, aumenta o conteúdo de matéria orgânica (MO) e as atividades enzimáticas do solo relacionadas aos ciclos biogeoquímicos, como C (carbono), N (nitrogênio) e P (fosforo), além de promover o crescimento de vegetação e favorecer a agregação do solo (NICOLÁS et al., 2014; CRISTINA et al., 2020).

Para a aplicação de biossólidos de curtumes em áreas agrícolas, adotou-se a premissa de que, desde que atendidos os critérios que garantam a minimização de riscos de poluição, tal prática deve proporcionar benefício agrícola para a cultura e/ou melhoria na utilização da área (CETESB, 1999). Alguns estudos propuseram o uso agrícola do biossólido de curtume como método alternativo de fertilização (SANTOS et al., 2020; BERILLI et al., 2018). Por outro lado, foi relatado que a aplicação de biossólido de curtume pode aumentar as concentrações de Cr no solo (SANTOS et al., 2014), o que poderia limitar seu uso para fins agrícolas, uma vez que esse elemento pode ser facilmente absorvido pelas plantas (GONDEK, 2008). A utilização do biossólido de curtume na silvicultura pode ser uma alternativa de maior viabilidade técnico-econômica, além de colaborar para a redução do uso de fertilizantes comerciais. Plantas de eucalipto submetidas a tratamentos com doses de biossólido de curtume apresentaram maior crescimento conforme elevou-se a dose do resíduo (POSSATO et al., 2014).

Entretanto, o biossólido de curtume apresenta composição química variada, dependendo da etapa do processo em que o resíduo é gerado (TRANNIN et al., 2008). A presença do Cr aumenta a necessidade de controle no uso desse resíduo no solo, uma vez que o Cr é potencialmente nocivo aos seres vivos em razão, principalmente, do elevado poder oxidante da forma catiônica hexavalente (Cr^{+6}), que, juntamente com a forma trivalente (Cr^{+3}), compõe os estados de oxidação predominante do metal no solo (BARTLETT, 1991). Uma vez presente no solo, ar ou água, seja por ocorrência natural ou por alteração proporcionada pelo biossólido, o metal pesado Cr pode entrar na cadeia alimentar. Quando atinge alta concentração nas plantas, o Cr pode causar problemas de toxicidade, como diminuições no rendimento das plantas (GONÇALVES JUNIOR et al., 2011). A utilização do biossólido de curtume como alternativa de fertilização em plantas deve ser estudada quanto as consequências no crescimento das plantas de eucalipto e o uso de maneira segura para o ambiente. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o aspecto nutricional, o crescimento e o acúmulo de massa seca de plantas de *Eucalyptus pellita* em diferentes doses de biossólido de curtume.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, no campus Colorado do Oeste. O clima da região é do tipo AW, tropical quente e úmido, com duas estações bem definidas (ALVARES et al., 2013). O substrato para o crescimento

das plantas, amostras de solo classificadas como Argissolo Amarelo com textura arenosa, segundo classificação da EMBRAPA (2018), foram coletadas em área sem histórico de aplicação de curtume de biossólido na profundidade de 0,00-0,20 m, peneiradas em tela de 4 mm e, a seguir, caracterizadas quanto à textura e fertilidade (Tabela 1). Essa caracterização serviu de base para a correção e fecundação do vaso.

Tabela 1: Atributos químicos e texturais do solo.

Profundidade (m)	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	t	T	V
		mg dm ⁻³				cmolc dm ⁻³				%
0-0,2	1,2	4,0	0,1	0,3	0,10	0,0	1,0	0,4	1,4	30,6
pH			MO		Areia			Silte		Argila
			g kg ⁻¹							
5,2			0,02		831		78		91	

P: fósforo; K: potássio; Na: sódio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H+Al: acidez potencial; t: CTC efetiva; T: Capacidade de Troca de Cátions pH 7,0; V: soma de bases; MO: matéria orgânica.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições (5 x 5). Os tratamentos foram composto por quatro doses do biossólido de curtume (24, 40, 75 e 100 t ha⁻¹) e um controle (adubação inorgânica: N: 60 kg ha⁻¹; P: 60 kg ha⁻¹; K: 50 kg ha⁻¹; B: 1 kg ha⁻¹; e Zn: 1,5 kg ha⁻¹) recomendado conforme análise química do solo e necessidade da cultura. As mudas utilizadas foram de origem seminal, da espécie *Eucalyptus pellita* com 120 dias após a semeadura. Cada unidade experimental foi constituída por um pote de polietileno preenchido com 15,0 kg de solo. Os resíduos foram aplicados na superfície do solo, em modo *in natura*. As irrigações foram feitas sempre que necessárias, com finalidade de manter 70% da capacidade de campo, sendo fornecida a mesma quantidade de água para todos os tratamentos. O biossólido utilizado originou-se da etapa de caleiro da produção de couro, sendo coletado na indústria de resíduo local.

Análises da composição química do biossólido foram realizadas para determinação dos macronutrientes e micronutrientes assim como os metais pesados presentes no biossólido (Tabela 2). Altas concentrações dos macro e micronutrientes foram observados na composição do biossólido. Concentrações menores 34,6 mg kg⁻¹ de cromo (Cr) foram observadas dentre os metais pesados analisados. O Cr⁺³ apresentou concentrações menores que 4,5 mg kg⁻¹. Chumbo (Pb) e níquel (Ni) estavam presentes em concentrações menores que 15 mg kg⁻¹. O biossólido apresentou pH básico e com altas concentrações de material orgânico (6,6 %).

Tabela 2: Atributos químicos (formas totais, base seca - 65°C) do biossólido de curtume do estágio Caleiro.

Atributos Químicos							
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Na	M.O
	mg kg ⁻¹						%
128,12	5491,4	1579,2	161076,9	4680,0	21561,5	27108,5	6,69
Mn	Cu	Zn	B	Fe	As	Cd	Pb
mg kg ⁻¹							
33,9	<15,4	123,4	41,3	316,5	<11,5	<7,69	<15,4
Cr	Cr ⁺³	Hg	Ni	Se	pH	Ds	U
mg kg ⁻¹							%
<34,6	<4,50	<2,30	<15,4	<11,5	12,5	1,00	77,4

N: Nitrogênio; P₂O₅: Pentóxido de difósforo; K₂O: Óxido de potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; S: Enxofre; Fe: Ferro; MO: Matéria Orgânica; Mn: Manganês; Cu: Cobre Zn: Zinco; B: Boro; Na: Sódio; As: Arsênio; Cd: Cádmio; Pb: Chumbo; Cr: Cromo; Hg: Mercúrio; Ni: Níquel; Se: Selênio; Ds: Densidade; U: Umidade.

Buscando-se avaliar a qualidade do biossólido, utilizou-se como base comparativa o padrão disposto na resolução nº 375/06 do CONAMA, onde estabelece critérios e procedimentos para o uso de biossólido gerado em estação de tratamento de esgoto e seus produtos derivados em áreas agrícolas, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente. Comparando-se as concentrações de metais pesados encontrados no biossólido de curtume com os padrões estabelecidos na resolução, observa-se que se encaixa como de boa qualidade (Tabela 3).

Tabela 3: Resultados da concentração de metais pesados determinados no biossólido de curtume e os limites de metais pesados para disposição no solo, da resolução nº 375/06 CONAMA.

Descrição	Nutrientes			
	Cromo	Chumbo	Níquel	Mercúrio
Biossólido de curtume (mg kg ⁻¹)	34,6	15,4	15,4	2,30
Concentração máxima permitida do biossólido (mg kg ⁻¹)	1000	300	420	17
Carga acumulada permitida (kg ha ⁻¹)	154	41	74	1,2

As avaliações do crescimento inicial das mudas de eucalipto foram feitas a cada 15 dias durante 80 dias após o plantio das mudas (DAP). Utilizou-se régua e paquímetro manual para medições de altura das plantas. Para a avaliação do acúmulo de massa seca das plantas de eucalipto, as raízes foram lavadas em água corrente para retirada de todo o solo aderido, o caule e as folhas foram colhidas separadamente e todas as partes (raiz, caule e folhas) foram secas em estufa de circulação de ar forçado (65 ± 2°C) até atingirem massas constantes, sendo determinada a massa seca por meio da pesagem das partes. Com base nos resultados de altura total (H), diâmetro (D), massa seca da parte aérea (MSP), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST=MSP+MSR). As relações de qualidade e vigor das plantas foram determinadas para: Altura/Diâmetro (H/D); Relação entre massa seca de parte aérea e raiz (MSP/MSR) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) usando a seguinte equação (DICKSON et al., 1960).

$$IQD = \frac{MST (g)}{\frac{H (cm)}{D (cm)} + \frac{MSP (g)}{MSR (g)}}$$

Ao final dos 80 DAP, realizou-se o processo de amostragem das folhas para análise foliar utilizando a metodologia proposta pelo manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (2009). As folhas foram retiradas no terço superior, médio e inferior da planta, evitando retiradas de folhas em senescência, com sintomas de doenças ou danificadas. Retirou-se o mesmo número de folhas por plantas para composição das sub-amostras, sendo posteriormente formada uma amostra composta por tratamento. As folhas foram lavadas em solução de detergente neutro 0,1%, lavadas em água corrente, posteriormente enxaguadas com água destilada. Foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar forçado (65 ± 2°C) até atingir massa constante. Após esse processo, as amostras foram moídas em moinho de faca de aço inoxidável e encaminhadas para análise nutricional, em laboratório específico. A análise nutricional foi feita para o metal pesado Cromo, pois este estava presente em maior quantidade no biossólido de curtume, e para os macro e micronutrientes.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% e 1% de probabilidades. O efeito da dose foi avaliado por análise de regressão ajustando modelo linear ($\bar{Y} = \alpha + \beta_1 X$) e quadrático ($\bar{Y} = \alpha + \beta_1 X$).

+ $62X^2$) com base no nível de significância ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação. As análises estatísticas foram realizadas no software Sisvar® (FERREIRA, 2011). Gráficos de regressão e curvas foram criados usando o software SigmaPlot® (Systat Software, Inc., Chicago, IL, EUA).

RESULTADOS

A massa seca de raiz, caule e folha aumentaram linearmente conforme acrescida a dose de biossólido de curtume ($p < 0,01$) (Figura 1A, B e C). A porcentagem de aumento da massa seca de raiz das plantas de eucalipto em comparação ao controle (adubação inorgânica) para as doses 25; 40; 75 e 100 t ha⁻¹ foi de 31,23; 52,28; 87,16 e 70,52 % respectivamente (Figura 1A). A massa seca do caule aumentou em 42,25 % para a maior dose analisada (100 t ha⁻¹) em relação ao controle (Figura 1B). Para massa seca das folhas, observou-se aumento de 18,18 % na maior dose (Figura 1C). Para o controle, os valores de massa seca da parte aérea (folha + caule) e raiz foram de 2,5 g em média.

Figura 1: Massa seca da raiz (A) foliar (B) e do caule (C) de *Eucalyptus pellita* sob diferentes doses de biossólido de curtume. ** Significativo a 5 % pelo teste t. Coeficiente de variação: (A) 37,7%; (B) 17,53%; (C) 18,14%.

A altura e o diâmetro das plantas foram influenciados pelas doses de biossólido de curtume (Figura 2A e B) ($p < 0,05$). Maiores valores para a altura das plantas foram observados na dose de 100 t ha⁻¹, o que representa um aumento de 63,8 % na altura de planta em relação ao controle. As doses de 40 e 75 t ha⁻¹ apresentaram aumento de 40,0% na altura em relação ao controle. Na dose de 24 t ha⁻¹ o aumento foi de 47,0 % na altura de plantas comparado ao controle. O controle apresentou menor crescimento de plantas de eucalipto (25,4 cm de altura).

O diâmetro do colo das plantas sofreu redução na dose de 100 t ha⁻¹ quando comparado com a dose de 24 t ha⁻¹ (Figura 2B). O comportamento da curva mostrou que a dose de 50 t ha⁻¹ proporcionaria um diâmetro máximo de 3,83 cm, mostrando que doses muito elevadas de biossólido de curtume podem afetar o diâmetro de caule das plantas de eucalipto. A dose de 24 t ha⁻¹ proporcionou um aumento de 85,1% no diâmetro de plantas de eucalipto em relação ao controle. Plantas tratadas com adubo inorgânico (controle) apresentaram um diâmetro médio de 2,02 cm.

Figura 2: Altura de planta (A) e diâmetro (B) de *Eucalyptus pellita* sob diferentes doses de biossólido de curtume. ** Significativo a 5 % pelo teste t. Coeficiente de variação (A): 14,19%; (B): 17,25%.

O modelo de regressão quadrática foi ajustado para o H/D, MSP/MSR e IQD (Figura 3A). O valor de H/D foi maior para as plantas controle em relação as plantas que receberam o biossólido. As doses de 40 e 75 t ha⁻¹ mostraram maiores valores de MSP/MSR, 3,8 e 3,6 respectivamente. O controle e a dose de 100 t ha⁻¹ apresentaram MSP/MSR similares, 1,8 e 2,0 respectivamente (Figura 3B). O IQD apresentou menor valor para o controle (0,40) e aumentou com as doses de biossólido de curtume (Figura 3C).

Figura 3: A relação (H/D) (A), massa seca de parte área e raiz (MSP/MSR) (B) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) sob diferentes doses de biossólido de curtume. ** e * Significativo a 5 e 1% pelo teste t. Coeficiente de variação: 14,94%; (B): 15,25%; (C): 22,06%.

A dose de 100 t ha⁻¹ proporcionou ganhos nas concentrações de N, Ca, S, Fe e Zn (Tabela 4). O Cr manteve-se constante entre os tratamentos com diferentes doses de biossólido de curtume. O controle apresentou maiores valores de P, K, B e Mn, sendo que o P, K e B foram aplicados via adubação de plantio para este tratamento.

Tabela 4: Análise foliar de *Eucalyptus pellita* submetidas a diferentes concentrações de biossólido de curtume.

Nutrientes	Doses do biossólido (t ha ⁻¹)				
	Controle	24	40	75	100
N (g kg ⁻¹)	7,6	8,1	11,0	11,8	12,1
P (g kg ⁻¹)	0,8	0,4	0,4	0,5	0,5
K (g kg ⁻¹)	6,2	4,5	4,1	3,9	4,8
Ca (g kg ⁻¹)	6,8	8,1	8,6	10,4	13,3
Mg (g kg ⁻¹)	3,2	2,9	3,2	3,9	3,2
S (g kg ⁻¹)	0,9	0,7	1,0	0,9	1,1
B (mg kg ⁻¹)	15,4	6,0	10,0	8,8	9,7
Cu (mg kg ⁻¹)	1,9	1,0	1,0	1,0	1,9
Fe (mg kg ⁻¹)	43,4	48,0	49,2	44,9	56,2
Mn (mg kg ⁻¹)	273,2	190,0	240,0	238,3	163,8
Zn (mg kg ⁻¹)	11,6	13,0	9,0	10,7	22,3
Cr (mg kg ⁻¹)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01

N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; S: Enxofre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Cu: Cobre; Zn: Zinco; B: Boro; Cr: Cromo. A análise foliar não foi submetida a análise estatística pois todas as repetições formaram uma amostra composta por tratamento. Os dados foram descritos e não comparados entre os tratamentos.

DISCUSSÃO

O biossólido de curtume possui na sua composição nutrientes e elementos benéficos necessários ao desenvolvimento e produção das plantas, os quais, por se encontrarem em sua grande parte na forma orgânica, são liberados no processo de mineralização da matéria orgânica. O biossólido utilizado nesse experimento apresentou níveis abaixo do aceitável para concentração de metais pesados. A qualidade apresentada pelo biossólido de curtume contribui para minimização dos possíveis impactos causados pela disposição deste no meio ambiente. Por se tratar de um composto altamente nutritivo, cuidados devem ser tomados para que não ocorra eutrofização dos mananciais próximos às áreas que recebem a aplicação do biossólido, sendo esse um ponto a ser estudados mais detalhadamente ao longo do tempo.

O maior crescimento em altura e diâmetro das plantas de eucalipto está relacionado a maior proporção de massa seca da parte aérea (caule + folhas) em relação a massa seca de raiz proporcionada pelo aumento das doses de biossólido de curtume. Possato et al. (2014) observaram que o crescimento em altura reforça a ideia de que a redução da massa seca da raiz ocorreu em função da maior oferta de nutrientes no solo proporcionada pela adição do biossólido de curtume. O aumento do impulso e da velocidade do crescimento em função do aumento das doses de biossólido é decorrente do aumento dos valores da taxa de fotossíntese líquida e da área foliar útil das plantas de eucalipto (GARCIA et al., 2010). Considerando a altura como uma variável para estipular o crescimento e desenvolvimento da planta em campo, a adição do biossólido de curtume ao solo pode contribuir para o melhor desenvolvimento das plantas de eucalipto.

O estímulo ao crescimento em altura das plantas proporcionado pela adição do biossólido, refletiu nos valores da H/D, MSP/MSR e IQD das plantas. O H/D exprime o equilíbrio de crescimento da planta, relacionando dois importantes parâmetros morfológicos: altura da parte aérea e o diâmetro do caule (CARNEIRO, 1995). Por esta razão, a RHD é também denominada de coeficiente de robustez das plantas, pois, além de refletir o acúmulo de reservas, assegura maior resistência às plantas. Em geral, para espécies florestais, o valor ideal para essa variável estaria entre 5,4 e 8,1 (CARNEIRO, 1995). No entanto, essa faixa de variação para mudas de eucalipto, mostram-se entre 7,5 e 11 (BATISTA et al., 2014; ROCHA et al., 2014; TOLEDO et al., 2015; SILVA et al., 2020), o que está de acordo com observado nesse trabalho para as doses

de biossólido no solo, mostrando estabelecer um equilíbrio do crescimento da planta e diâmetro do caule.

A MSP/MSR representa a relação de massa seca da parte aérea e raiz, e é um importante determinante da sobrevivência das plantas. A relação observada nesse trabalho indica que as plantas de *E. pellita* apresentaram uma boa distribuição da biomassa, produzindo plantas de qualidade com a adição do biossólido de curtume nas condições de campo. Valores entre 1,7 e 4,9 para MSP/MSR foram observados por Toledo et al. (2015) e Silva et al. (2020). Batista et al. (2014), avaliando o efeito da água residuária de suínos no desenvolvimento e qualidade de mudas de *E. urophylla* observaram valores entre 3 e 3,8.

O IQD é mencionado como um bom indicador do padrão de qualidade das plantas, pois considera em seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa (FONSECA, 2002). O valor mínimo do IQD deve ser de 0,20 sugerido por Gomes et al. (2004) para as espécies *Pseudotsuga menziessi* e *Picea abies*. Os valores observados de IQD foram maiores que o estabelecido como padrão por esses autores. Entretanto, valores inferiores foram observados em trabalhos realizados com *Eucalyptus* sp. (BATISTA et al., 2014; TOLEDO et al., 2015; SILVA et al., 2020), mostrando que para o eucalipto, o valor de IQD apresenta variações dependendo da espécie e das condições de cultivo. De maneira geral, quanto maior o IQD, maior a qualidade das plantas produzidas (CARNEIRO et al., 1995), logo, a adição de biossólido de curtume na maior dose testada (100 t ha⁻¹) proporciona ganhos de qualidade das plantas de eucalipto em solos arenosos, sendo importante para o estabelecimento inicial das mudas em condições de campo.

O teor foliar de Cr encontrado nas análises estão abaixo do considerado tóxico para a maioria das plantas cultivadas (5,0 a 30,0 mg kg⁻¹) (KABATA-PENDIAS et al., 2001). A concentração de Cr necessita de destaque, pois se trata de um metal pesado que em doses elevadas no solo, pode ocasionar toxidez à planta e afetar o seu desenvolvimento. Contudo, observa-se nesse estudo que as doses de biossólido supriram apenas as exigências nutricionais do Ca e Mg, assim como o Cr manteve em níveis abaixo do considerado tóxico. Os plantios de eucalipto são destinados às áreas de baixa fertilidade natural e alta acidez. O Ca é o segundo nutriente mais acumulado e exportado destas áreas de plantio e são fornecidos normalmente pela aplicação de calcário (SIMONETE et al., 2013), plantações altamente produtivas demandam grandes quantidades de Ca e Mg (ROCHA et al., 2019). Neste sentido, o uso do biossólido nas plantações de eucalipto podem ajudar a suprir esta necessidade, além de dar uma melhor destinação ambiental final. A concentração de material orgânico, macro e micronutrientes e pH elevado do biossólido favorecem o crescimento das plantas, assim, o ajuste das doses com uma suplementação mineral, pode ser uma alternativa para adequar a utilização do biossólido de curtume em plantios de eucalipto.

CONCLUSÕES

O biossólido de curtume oferecido pela indústria apresenta boas características nutricionais, estando dentro dos padrões aceito pela resolução nº 375/06 do CONAMA em concentração de metais pesados. A concentração foliar de Cr estava abaixo do nível considerado tóxico para as plantas de eucalipto.

A massa seca de raiz, folha e caule assim como altura e diâmetro das plantas analisadas foram influenciadas pelas doses de biossólido de curtume, proporcionando resultados superiores à adubação

inorgânica. O Ca e Mg dentre os macro e micronutrientes avaliados apresentaram concentrações dentro da faixa considerada ideal.

O uso do biossólido de curtume é uma boa opção para fertilização do eucalipto, entretanto, existe a necessidade de adubação inorgânica para complementação das exigências nutricionais do eucalipto nas condições desse estudo. Logo, as crescentes doses de biossólido de curtume adicionadas diretamente ao solo proporcionaram incremento de massa seca pela planta, podendo ser uma alternativa para diminuir as doses de adubos inorgânicos, dando um destino adequado para os resíduos produzidos pelas indústrias processadoras do couro.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Programa Institucional de Pesquisa do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (PIP/IFRO) pela concessão de bolsas de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Camberra, v.22, n.6, p.711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

BARTLETT, R. J.. Chromium cycling in soils and water: links, gaps, and methods. *Environmental Health Perspectives*, v.92, n.1, p.17-24, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.919217>

BATISTA, R. O.; MARTINEZ, M. A.; PAIVA, H. N.; BATISTA, R. O.; CECON, P. R.. The effect of swine wastewater in the development and quality of seedling of *Eucalyptus urophylla*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.24, n.1, p.127-135, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509813330>

BERILLI, S. S.; PEREIRA, L. C.; PINHEIRO, A. P. B.; CAZAROTI, E. P. F.; SALES, R. A.; LIMA, C. F.. Foliar fertilization with liquid tannery sludge in the development and quality of seedlings of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v.12, n.2, p.2477-2486, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n200762>

CARNEIRO, J. G. A.. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná FUPF, 1995.

CRISTINA, G.; CAMELIN, E.; TOMMASI, T.; FINO, D.; PUGLIESE, M.. Anaerobic digestates from sewage sludge used as fertilizer on a poor alkaline sandy soil and on a peat substrate: Effects on tomato plants growth and on soil properties. *Journal of Environmental Management*, v.269, p.110767, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110767>

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aplicação de lodos de curtume em áreas agrícolas**. São Paulo: CETESB, 1999

CONAMA. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Dispõe sobre critérios e procedimentos, para o uso agrícola de biossólido de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Brasília: DOU,

2006.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F.. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, Ottawa, v.36, n.1, p.10-13, 1960.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

FERREIRA, D. F.. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.35, p.1039-1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L.. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista Árvore*, Viçosa, v.26, n.4, p.515-523, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000400015>

GARCIA, G. DE O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO, A. A.; REIS, E. F.. Growth of eucalyptus seedlings subjected to the application of biosolids. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v.41, n.1, p.87-94, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20100012>

GONÇALVES JUNIOR, A. C.; NACKE, H.; SCHWANTES, D.; NAVA, I. A.; STREY, L.. Phytoavailability of toxic heavy metals and productivity in wheat cultivated under residual effect of fertilization in soybean culture. *Water Air Soil Pollution*, v.220, n.2, p.205-211, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-011-0747-3>

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N.. **Viveiros florestais: Propagação sexuada**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2004.

GONDEK, K.. Chromium bioaccumulation from compounds and vermicompost compounds based on tannery

sludge. **Journal of Central European Agriculture**, v.9, n.1, p.129-140, 2008.

GUPTA, A. K.; SINHA, S.. Phytoextraction capacity of the plants growing on tannery sludge dumping sites. **Bioresource technology**, v.98, n.9, p.1788-1794, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.028>

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H.. **Trace elements in soil and plants**. Dordrecht: Springer, 2001. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-011-7336-0_12

NICOLÁS, C.; KENNEDY, J.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C.; SIX, J.. Soil aggregation in semiarid soil amended with composted and non-composted sewage sludge. A field experiment. **Geoderma**, v.219, n.220, p.24-31, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.017>

POSSATO, E. L.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; WEBER, O. L. D. S.; NASCENTES, R.; BRESSIANI, A. L.; CALEGARIO, N.. Atributos químicos de um Cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de curtume contendo cromo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.5, p.847-856, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000500009>

RAFIQUE, M. I.; USMAN, A. R.; AHMAD, M.; SALLAM, A.; AL-WABEL, M. I.. In situ immobilization of Cr and its availability to maize plants in tannery waste-contaminated soil: effects of biochar feedstock and pyrolysis temperature. **Journal of Soils and Sediments**, v.20, n.1, p.330-339, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02399-z>

ROCHA, S. A.; GARCIA, G. O.; LOUGON, M. S.; CECÍLIO, R. A.; CALDEIRA, M. V. W.. Crescimento e nutrição foliar de mudas de *Eucalyptus* sp. irrigadas com diferentes qualidades de água. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v.37, n.2, p.141-151, 2014. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.16808>

ROCHA, J. H. T.; TOIT, B.; GONÇALVES, J. L. M.. Ca and Mg nutrition and its application in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations. **Forest Ecology and Management**, v.442, p.63-78, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.062>

SANTOS, J. L.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; OLIVEIRA, M. L. J.; MELO, W. J.. Chromium, Cadmium, Nickel, and Lead in a Tropical Soil after 3 Years of Consecutive Applications of Composted Tannery Sludge. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.45, n.12, p.1658-1666, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2014.907913>

SANTOS, A. J. M.; BACKES, C.; RODRIGUES, L. M.; TEODORO, A. G.; GODOY, L. J. G.; TOMAZELLO, D. A.; CAMPOS, L. F. C.; RIBON, A.; LOPES, T. A.; BOAS, R. L. V.. Chemical characteristics of soil after application of tannery sludge as fertilizer in the sugarcane plant crop. **Australian Journal of Crop Science**, Camberra, v.14, n.4, p.641-648, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.20.14.04.p2234>

SILVA, C. F.; SOUZA, R. C.; PEREIRA, M. G.; ALVES, G. C.; FERREIRA, D. H. A. A.; MELO, L. A.. Production of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* seedlings with different fertilizers. **Floresta**, Curitiba, v.50, n.2, p.1231-1238, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1231-1238.10.5380/rf.v50i2.62303>

SIMONETE, M. A.; CHAVES, D. M.; TEIXEIRA, C. F. A.; MORO, L.; NEVES, C. U.. Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.5, p.1343-1351, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500023>

TRANNNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.223-230, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000300001>

TOLEDO, F. H.; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L.. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.7, p.711-716, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n7p711-716>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.