

Análise da tolerância e fitorremediação de mudas de *Pinus taeda* sob diferentes concentrações de resíduo de lodo de curtume

Roger Francisco Ferreira de Campos^{1*}, Robson Espit Biudaro²

¹Doutor em Engenharia Civil, Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, Brasil. (*Autor correspondente: roger@uniarp.edu.br)

²Graduado em Agronomia, Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 03/05/2025 – Revisado em: 01/08/2025 – Aceito em: 27/09/2025

RESUMO

A crescente geração de resíduos industriais representa um desafio ambiental e econômico, destacando-se o Lodo de Curtume (LC) como potencial insumo florestal. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos de diferentes concentrações de LC sobre o desenvolvimento morfológico e a capacidade de fitorremediação de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em viveiro. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos (testemunha e LC nas concentrações de 0,5% a 20%) e 385 unidades experimentais. No desenvolvimento foram avaliadas taxa de germinação, altura, diâmetro do colo, biomassa aérea e radicular, biomassa total, Índice de Qualidade de Dickson e teores de macro e micronutrientes. Os resultados indicaram que concentrações de até 5% de LC não comprometeram a germinação nem os parâmetros morfológicos das mudas. Em concentrações mais elevadas, observou-se redução da biomassa aérea e acúmulo de metais como Fe, Cr, Cu e Mn, especialmente nas raízes. A análise química evidenciou que o LC contribui com nutrientes essenciais, mas pode aumentar os teores de elementos potencialmente tóxicos. Sendo assim, conclui-se que *P. taeda* é tolerante ao LC e eficaz na fitoextração, desde que o uso do resíduo seja controlado.

Palavras-Chaves: Lodo de curtume, *pinus taeda*, desenvolvimento morfológico, fitorremediação.

Analysis of Tolerance and Phytoremediation of *Pinus taeda* Seedlings Under Different Concentrations of Tannery Sludge Residue

ABSTRACT

The increasing generation of industrial waste represents a significant environmental and economic challenge, with tannery sludge (TS) standing out as a potential forestry input. Therefore, this study aims to evaluate the effects of different TS concentrations on the morphological development and phytoremediation capacity of *Pinus taeda* seedlings grown in nursery conditions. The experiment was conducted in a completely randomized design, with seven treatments (control and TS at concentrations from 0.5% to 20%) and 385 experimental units. The evaluations included germination rate, height, collar diameter, shoot and root biomass, total biomass, Dickson Quality Index, and macro and micronutrient contents. The results indicated that TS concentrations up to 5% did not compromise seed germination or morphological parameters. At higher concentrations, reductions in shoot biomass and accumulation of metals such as Fe, Cr, Cu, and Mn were observed, especially in the roots. The chemical analysis showed that TS contributes essential nutrients but may also increase levels of potentially toxic elements. Thus, it is concluded that *P. taeda* is tolerant to TS and effective in phytoextraction, provided that the application of the residue is properly managed.

Keywords: Tannery sludge, *Pinus taeda*, morphological development, phytoremediation

Análisis de la Tolerancia y Fitorremediación de Plántulas de *Pinus taeda* Bajo Diferentes Concentraciones de Residuos de Lodo de Curtiduría

RESUMEN

La creciente generación de residuos industriales representa un importante desafío ambiental y económico, destacándose el lodo de curtido (LC) como un insumo forestal potencial. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar los efectos de diferentes concentraciones de LC sobre el desarrollo morfológico y la capacidad de fitorremediación de plántulas de *Pinus taeda* cultivadas en vivero. El experimento fue conducido bajo un diseño completamente aleatorizado, con siete tratamientos (testigo y LC en Campos, R. F. F. de, & Biudaro, R. E. (2025). Análise da tolerância e fitorremediação de mudas de *Pinus taeda* sob diferentes concentrações de resíduo de lodo de curtume. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.13, n.3, p.78-93.



concentraciones de 0,5% a 20%) y 385 unidades experimentales. Se evaluaron la tasa de germinación, altura, diámetro del cuello, biomasa aérea y radicular, biomasa total, Índice de Calidad de Dickson y contenidos de macro y micronutrientes. Los resultados indicaron que concentraciones de hasta el 5% de LC no comprometieron la germinación ni los parámetros morfológicos de las plántulas. En concentraciones más altas, se observó una reducción de la biomasa aérea y un mayor acúmulo de metales como Fe, Cr, Cu y Mn, especialmente en las raíces. El análisis químico evidenció que el LC aporta nutrientes esenciales, aunque puede elevar los niveles de elementos potencialmente tóxicos. Se concluye, por tanto, que *P. taeda* es tolerante al LC y eficaz en la fitoextracción, siempre que el uso del residuo sea controlado.

Palabras clave: Lodo de curtido, *Pinus taeda*, desarrollo morfológico, fitorremediación.

1. Introdução

A crescente industrialização tem resultado na geração de grandes volumes de resíduos sólidos, provenientes de diferentes setores produtivos, como os ramos madeireiro, têxtil, de reciclagem de plásticos e de tratamento de esgoto doméstico (Lucas & Benatti, 2008; Campos & Borga, 2015a; 2015b; Campos & Borga, 2016a; 2016b; Campos; Borga & Garcia, 2017). De modo geral, todos os processos que envolvem a transformação ou fabricação de bens resultam na geração de subprodutos que requerem tratamento adequado, reutilização ou destinação segura, preferencialmente em aterros devidamente licenciados pelos órgãos ambientais competentes (Campos & Lima, 2014; Perboni & Campos, 2017; Matias *et al.*, 2017; Santos; Bussatto & Campos, 2017).

Entretanto, a destinação final de resíduos industriais representa um dos principais desafios ambientais e econômicos da atualidade, especialmente em razão dos elevados custos associados à sua disposição em aterros industriais credenciados (Braga *et al.*, 2005). A falta de manejo e tratamento adequados desses resíduos pode gerar contaminação do solo, da água e da biota, intensificando os processos de degradação ambiental (Santaella *et al.*, 2014; Campos, 2025; Campos & Pavelski, 2025; Campos & Barcarolli, 2023). Nesse cenário, práticas sustentáveis vêm sendo incentivadas como alternativas às rotas tradicionais de disposição (Gois *et al.*, 2023; Zarbonin *et al.*, 2025; Quadros *et al.*, 2025), atendendo às exigências de agências ambientais e empresas certificadoras (Brandelero; Antunes & Giotto, 2007).

Uma das alternativas mais promissoras é a reutilização dos resíduos como insumos agrícolas ou silviculturais, desde que tecnicamente viável e ambientalmente segura. Diversos estudos demonstram que resíduos orgânicos industriais, como os provenientes de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), podem apresentar teores significativos de matéria orgânica e nutrientes essenciais à planta, como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes, tornando-se úteis como componentes de substratos para a produção de mudas (Paiva *et al.*, 2004; Assenheimer, 2009). A incorporação desses resíduos ao solo ou substrato também contribui para a redução de custos com fertilizantes comerciais e para o prolongamento da vida útil dos aterros (Braga *et al.*, 2005). Contudo, o uso indiscriminado desses materiais pode acarretar riscos toxicológicos às plantas e aos microrganismos do solo, principalmente devido à presença de metais pesados, como cromo, cobre e zinco, os quais, em concentrações elevadas, podem comprometer os processos fisiológicos e bioquímicos dos vegetais (Hall, 2002).

Quando aplicados conforme as exigências legais, os resíduos industriais podem ser uma solução ambientalmente viável e socialmente responsável para o reaproveitamento de materiais que, de outro modo, seriam descartados. Abreu Junior *et al.* (2005) destacam que, atendidas as condições de segurança, o uso desses resíduos no solo é preferível à incineração ou disposição em lixões. O uso de resíduos industriais no cultivo de mudas de *Pinus taeda* tem se mostrado eficaz tanto na disposição adequada de resíduos sólidos quanto na suplementação nutricional do substrato, favorecendo o crescimento vegetal (Freitas & Melo, 2013). Essa eficiência se deve, em parte, à capacidade de algumas espécies vegetais em tolerar e até absorver contaminantes, um mecanismo conhecido como fitorremediação (Campos; Oliveira e Schweitzer, 2017a; Campos; Oliveira e Schweitzer, 2017b), processo realizado através da fitoextração, certas plantas são capazes de acumular metais pesados em seus tecidos, como prata (Ag), cobalto (Co), cobre (Cu) e até mesmo

radionuclídeos, como plutônio (Pu) e urânio (U), dependendo de sua fitocapacidade (Andrade *et al.*, 2007).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes concentrações de lodo de curtume, sobre o desenvolvimento morfológico e a capacidade de fitorremediação de mudas de *Pinus taeda* cultivadas em condições de viveiro.

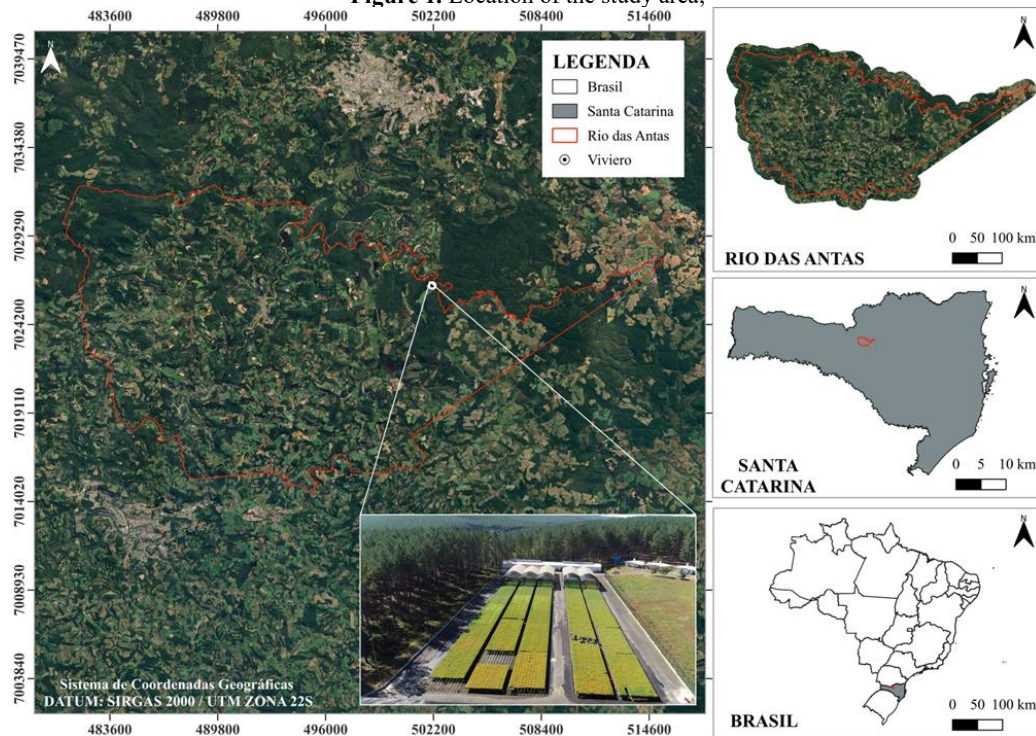
2. Material e Métodos

2.1 Local do estudo

O experimento foi conduzido no viveiro florestal da empresa Juliana Florestal LTDA, localizado na zona rural do município de Rio das Antas, estado de Santa Catarina, Brasil – Figura 1, sob as coordenadas geográficas 26°53'01'' S e 50°58'42'' W, durante o ano de 2021, período que coincide com a época de semeadura convencionalmente adotada pela empresa. O viveiro possui área total de 8.713,95 m² e capacidade instalada para produção anual de até 4 milhões de mudas. A estrutura destinada à produção de espécies exóticas compreende uma câmara fria para armazenamento de sementes, um barracão para a realização dos procedimentos de quebra de dormência, preparo de substrato e semeadura, além de uma estufa (casa de vegetação) utilizada nas fases iniciais do ciclo das mudas, especialmente germinação e estabelecimento. As mudas são mantidas em áreas de cultivo protegido, cobertas com sombrites com 50% e 75% de sombreamento. As irrigações foram realizadas diariamente, exceto nos dias com elevados índices de precipitação pluvial, garantindo condições hídricas adequadas ao pleno desenvolvimento das mudas durante todo o período experimental.

Figura 1. Localização da área do estudo;

Figure 1. Location of the study area;



Fonte: Autores (2025).

Source: Authors (2025).

2.2 Tratamento

Para avaliar a fitocapacidade e a viabilidade ambiental do uso de resíduos industriais como componente do substrato, foi conduzido um experimento de semeadura de *Pinus taeda*, no qual as mudas foram submetidas a diferentes concentrações de lodo de curtume. O resíduo (lodo de curtume) do estudo é proveniente da estação de tratamento de efluente de uma empresa de curtimento de coro do município de Caçador, Santa Catarina. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema bifatorial 4×6 , envolvendo seis níveis de concentração do resíduo, compondo: LC1 (0,50%), LC2 (2,50%), LC3 (5,00%), LC4 (7,50%), LC5 (10,00%) e LC6 (20,00%). Cada tratamento foi composto por 77 repetições (uma muda por tubete), além de 77 repetições adicionais referentes ao tratamento controle (testemunha), no qual as mudas foram cultivadas sem adição de resíduo. O experimento totalizou 385 unidades experimentais. Essa variação permitiu analisar os efeitos progressivos da aplicação do lodo de curtume sobre o crescimento e o desempenho morfofisiológico das mudas ao longo do período experimental.

As concentrações adotadas neste estudo foram baseadas em valores inferiores a 25%, considerando que, segundo Silva, Araujo e Araujo (2016), a aplicação de lodo em substrato na proporção de até 25% é segura para espécies de reflorestamento como angico-branco, angico-vermelho, aroeira-salsa, eucalipto e mutamba, demonstrando tolerância ao resíduo. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a fitocapacidade de mudas de *Pinus taeda* frente à aplicação do referido resíduo, visto que são avistados poucos estudos nesse seguimento.

2.3 Quebra de dormência das sementes

Foram utilizadas sementes de *Pinus taeda* de segunda geração de reflorestamento, localizada no município de Três Barras/SC. As sementes foram armazenadas sob dormência fisiológica em câmara fria, a temperaturas entre 2 °C e 5 °C, com o objetivo de preservar sua viabilidade, evitar a germinação precoce e minimizar o risco de contaminação por patógenos. O processo de quebra de dormência foi iniciado com 60 dias de antecedência à semeadura, em três etapas sucessivas: (i) imersão das sementes em água por 48 horas, ainda sob condições de refrigeração; (ii) descarte das sementes flutuantes (não viáveis); e (iii) transferência das sementes viáveis para peneiras apropriadas. Após esse período, as sementes apresentavam-se aptas para a semeadura.

2.4 Preparo do substrato e semeadura

A semeadura foi realizada em tubetes cônicos de polietileno com volume de 50 cm³, previamente desinfetados com solução de hipoclorito de sódio a 1% por 12 horas, e em seguida enxaguados com água destilada. A mistura do substrato foi realizada com o auxílio de betoneira, utilizando substrato comercial Classe F como base, enriquecido com fertilizante Osmocote 18-5-9 Mini Prill (5M) na dose de 8,0 g kg⁻¹ e fertilizante fosfatado Yoorin Master, na dose de 10,6 g kg⁻¹. Para facilitar a homogeneização, foram adicionados 10 mL de água por kg de substrato. A mistura permaneceu em revolvimento por cerca de 5 minutos. Posteriormente, as concentrações de lodo de curtume foram incorporadas à mistura base, compondo os tratamentos experimentais.

Após a semeadura, as mudas permaneceram por 45 dias em estufa (casa de vegetação), onde estavam protegidas de intempéries e de agentes bióticos, com irrigação regular. Em seguida, foram transferidas para a área de aclimação, coberta com sombrite, onde se iniciou o processo de rustificação. Posteriormente, as mudas foram alocadas em área com sombrites de menor sombreamento, simulando condições semelhantes às de campo. Entre as fases de aclimação e rustificação, foi realizada a seleção e o espaçamento das mudas. As bandejas suspensas, inicialmente com 218 mudas, foram ajustadas para 108 unidades, visando reduzir a

densidade e promover maior desenvolvimento individual. Além da adubação de base no substrato, as mudas foram submetidas à fertirrigação diária, com uso de fertilizantes solúveis: NPK 20-10-20 para parte aérea e NPK 8-45-14 para o sistema radicular.

2.5 Avaliações

Foram realizadas avaliações para analisar o desempenho das mudas frente aos tratamentos com lodo de curture, considerando os seguintes parâmetros: taxa de germinação, desenvolvimento morfológico (altura e diâmetro de colo), Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e análise laboratorial de macro e micronutrientes visando à avaliação da capacidade de fitorremediação. Aos 30 dias após a semeadura, foi realizada a contagem de plântulas emergidas, permitindo o cálculo da taxa de germinação (TG) com base na Equação 1.

$$TG (\%) = (\text{Sementes Germinadas} / \text{Sementes Semeadas}) \times 100 \quad (1)$$

Com sete meses de desenvolvimento, todas as unidades experimentais foram avaliadas quanto ao diâmetro de colo (DC), com auxílio de paquímetro digital Absolute Mitutoyo, e altura da parte aérea (H), com régua e trena métrica. Com aproximadamente nove meses de cultivo, foram selecionadas aleatoriamente 25 mudas por tratamento, as quais foram novamente mensuradas quanto a H e DC, e utilizadas nas avaliações subsequentes.

2.6 Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

O IQD foi calculado segundo Dickson *et al.* (1960), com base nos parâmetros: altura da parte aérea (H), diâmetro de colo (DC), biomassa seca aérea (BA), biomassa seca radicular (BR) e biomassa total (BT = BA + BR). As mudas foram cortadas na base do caule, separadas, lavadas e secas em estufa a 70 °C até massa constante. A pesagem foi realizada em balança analítica.

O IQD foi obtido pela seguinte equação:

$$IQD = \frac{MST(g)}{\frac{ALT (cm)}{DIAM(mm)} + \frac{MSPA (g)}{MSR (g)}} \quad (2)$$

Onde:

MST (g): Massa seca total da muda (parte aérea + raiz).

ALT (cm): Altura da parte aérea da muda.

DIAM (mm): Diâmetro do colo da muda (região entre raiz e caule).

MSPA (g): Massa seca da parte aérea.

MSR (g): Massa seca da raiz

2.7 Avaliação da fitorremediação

Para a análise da capacidade de fitorremediação, as mudas de *Pinus taeda* foram separadas em parte aérea e radicular, sendo posteriormente encaminhadas ao laboratório da EPAGRI, no município de Caçador/SC. As amostras foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, mantida a 65 °C por um período de 72 horas. Em seguida, o material seco foi moído em moinho tipo Willey, equipado com peneiras de 0,5 mm, e devidamente armazenado até o processo de digestão.

A digestão das amostras para determinação dos macros e micronutrientes foi realizada por dois métodos distintos. A digestão via úmida consistiu na utilização de uma mistura de ácido nítrico (HNO₃) e ácido

perclórico (HClO₄) na proporção 6:1, com aquecimento gradativo até atingir 190 °C, mantido por duas horas. Para a quantificação do nitrogênio (N), utilizou-se o método de Kjeldahl, que envolve digestão húmida com ácido sulfúrico e catalisadores, seguida de destilação a vapor. A determinação do boro (B) foi realizada por digestão via seca, com incineração das amostras em forno tipo mufla a 550 °C, formação de complexo com azometina-H e posterior leitura por espectrofotometria UV-VIS, na faixa de 420 nm.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Ambientais (LABB), em Blumenau/SC, em conformidade com os critérios estabelecidos pela NBR 10004/2004. A quantificação dos elementos alumínio (Al), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foi realizada por espectrometria de absorção atômica, utilizando-se o equipamento Perkin Elmer modelo AA 200 (Schveitzer e Suzuki, 2013).

2.8 Análise estatística

Os dados referentes à taxa de germinação, altura da parte aérea, diâmetro de colo (aos 236 e 292 dias após a semeadura), biomassa aérea, biomassa radicular, biomassa total e IQD foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância, utilizando o *software Sisvar*®, versão 5.8.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 são descritos os resultados obtidos referente a taxa de germinação de sementes de *Pinus taeda* sob diferentes concentrações do lodo do tratamento de couro.

Tabela 1 – Taxa de germinação de *Pinus taeda* submetidas a diferentes concentrações de lodo de curtume (LC): Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Table 1 – Germination rate of *Pinus taeda* subjected to different concentrations of tannery sludge (TS): Means followed by the same letter do not differ statistically from each other at a 5% probability level, according to the Scott-Knott test.

Tratamento	Quantidade de sementes normais	Quantidade sementes não emergidas	Taxa de Germinação
Testemunha	71	6	92,2078 b
LC1	70	7	90,9091 a
LC2	69	8	89,6104 a
LC3	73	4	94,8052 b
LC4	72	5	93,5065 b
LC5	71	6	92,2078 b
LC6	72	5	93,5065 b
C.V. (%)			11,01

Fonte: Autores (2025).

Source: Authors (2025).

A análise estatística apresenta que os tratamentos LC1 e LC2 apresentaram taxas de germinação significativamente inferiores às demais concentrações testadas. Os demais tratamentos, inclusive a testemunha, compuseram um grupo homogêneo com médias superiores.

Esses resultados são semelhantes ao obtido por Berilli *et al.* (2020), os quais observam que o uso de concentrações superiores a 10% de lodo de curtume proporciona uma melhor taxa de germinação de mudas de pimenteira. Nesse mesmo sentido, Bitencourt *et al.* (2021), verificaram que, apenas em concentração superior a 20% a taxa de germinação de sementes de girassol é influenciada negativamente, sendo que em concentrações inferiores a isso não há diferença significativa na taxa de germinação de sementes sem a adição deste material. Em contrapartida, Almeida *et al.* (2017), verificaram que as melhores taxas de germinação de pimenteira são

obtidas em concentrações inferiores a 10% do lodo de curtume, havendo um declínio na taxa de germinação devido ao aumento na concentração.

Para avaliação do desenvolvimento morfológico das mudas, foram mensuradas as alturas e diâmetro de colo aos 236 DAS e 292 DAS, tais valores seguem na Tabela 2.

Tabela 2– Análise de variância e coeficiente de variação para as variáveis diâmetro de colo (DC) e altura (H) de mudas *Pinus taeda* 236 e 292 dias após semeadura (DAS) submetidas a diferentes concentrações de lodo de curtume (LC):

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, teste de Scott-Knott.

Table 2 – Analysis of variance and CV for the variables collar diameter (CD) and height (H) of *Pinus taeda* seedlings at 236 and 292 days after sowing (DAS), subjected to different concentrations of tannery sludge (TS): Means followed by the same letter do not differ statistically from each other at the 5% probability level, Scott-Knott test.

Tratamento	236 DAS		292 DAS	
	DC (236 dias)	H (236 dias)	DC (292 dias)	H (292 dias)
Testem.	3,074±0,094 c	24,735±3,158 c	3,310±0,526 b	29,236±4,929 a
LC1	2,773±0,384 b	21,986±4,071 b	3,078±0,455 a	26,128±4,101 a
LC2	2,699±0,423 b	20,940±4,351 b	3,067±0,420 a	27,184±5,199 a
LC3	2,734±0,421 b	21,343±3,668 b	3,126±0,555 a	27,368±4,141 a
LC4	2,715±0,421 b	19,999±3,726 a	3,278±0,483 b	26,920±4,949 a
LC5	2,726±0,377 b	20,394±3,659 a	3,120±0,398 a	25,752±4,330 a
LC6	2,605±0,349 a	20,019±3,012 a	3,357±0,347 b	27,028±3,653 a
C.V. (%)	6,31	15,80	11,79	16,14

Fonte: Autores (2025).

Source: Authors (2025).

A análise dos dados obtidos aos 236 dias após a semeadura (DAS) evidenciou que todos os tratamentos contendo lodo de curtume apresentaram médias inferiores à da testemunha para as variáveis diâmetro do colo e altura das mudas de *Pinus taeda*, com diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Esses resultados indicam que, nas fases iniciais de desenvolvimento, a aplicação do resíduo pode ter exercido efeito limitante sobre o crescimento das mudas, possivelmente em função da presença de compostos fitotóxicos ou do desequilíbrio nutricional gerado pelas baixas concentrações aplicadas. Para Silva, Araujo e Araujo (2016) essa característica está associada com a concentração de cromo no resíduo.

Na avaliação realizada aos 292 DAS, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para a variável altura, incluindo a testemunha. Ainda assim, o tratamento controle apresentou a maior média para esse parâmetro, o que pode indicar uma tendência de recuperação no crescimento das mudas submetidas aos tratamentos com lodo, sugerindo a ocorrência de um possível efeito compensatório ao longo do tempo.

Em relação ao diâmetro do colo, verificou-se que a testemunha e os tratamentos LC4 (7,5% de concentração) e LC6 (20% de concentração) apresentaram as maiores médias, estatisticamente semelhantes entre si. Esses dados sugerem que concentrações moderadas a elevadas de lodo de curtume não interferiram negativamente no desenvolvimento radial das mudas, podendo inclusive favorecer o acúmulo de biomassa no caule, aspecto diretamente relacionado à qualidade e resistência mecânica das plantas em campo.

Os resultados obtidos contradizem com os resultados encontrados por Silva, Araujo e Araujo (2016), observaram maiores médias em altura e diâmetro de mudas de eucalipto quando submetidas às diferentes concentrações de lodo, mediante concentração de 0, 5, 10, 15, 20 e 25% em tubetes. Berilli *et al.* (2020), também perceberam ganhos significativos no quesito diâmetro e altura em mudas de pimenteira em concentrações de 10 a 90% de lodo. De acordo com Possato *et al.* (2014), a aplicação de lodo de curtume promove um aumento em aproximadamente de 11,5% em altura em plantas de eucalipto.

Nesse mesmo sentido, Gamba (2012), verificou que conforme maior for a concentração do resíduo maiores diâmetros são obtidos no crescimento inicial de mudas de eucalipto. Em contrapartida, os resultados

encontrados por esse mesmo autor nas maiores concentrações, consequentemente com maiores diâmetros, não apresentaram diferença significativa entre as concentrações e o tratamento que recebeu adubação convencional, mostrando-se semelhante ao que ocorreu no presente trabalho entre os diâmetros de testemunha, LC4 e LC6.

Contrariando isso, Silva *et al.* (2011) usando um material similar no presente trabalho, lodo de curtume sem o tratamento de Cromo (Cr), verificaram que em mudas de angico branco e angico vermelho, concentrações entre 5 e 25% do lodo no substrato das mudas impactaram negativamente para o desenvolvimento das mudas e associaram esse resultado pelo fato do lodo ser um material bastante alcalino. Contribuindo com os dados obtidos por Silva *et al.* (2011), Bitencourt *et al.* (2021), verificaram um decréscimo no diâmetro do caule de mudas de girassol quando submetidas a concentrações de lodo de curtume.

Berilli *et al.* (2014) também observaram uma redução na parte aérea das plantas submetidas a concentrações de lodo de curtume, os autores justificaram que esse resultado pode estar associado ao potencial osmótico do solo, a alta concentração de sódio normalmente presente neste resíduo altera a regulação osmótica da planta, prejudicando assim o transporte de solutos e água para a parte aérea das plantas. Bitencourt *et al.* (2022), encontraram resultados similares ao presente trabalho, os autores observaram que em cultivo de eucalipto submetidos a diferentes concentrações de lodo de curtume, concentrações inferiores a 10% não interferem quesito diâmetro e altura das plantas, ao passo que, em concentrações de 10% e 50% as plantas são influenciadas negativamente.

A Tabela 3 apresenta as variáveis diâmetro de colo (DC), altura (H), biomassa aérea (BA), biomassa radicular (BR), biomassa total (BT) e IQD dos tratamentos com aplicação de lodo de curtume.

Tabela 3 – Resultado da análise de variância e coeficiente de variação (C.V.) para as variáveis: diâmetro de colo (DC), altura (H), biomassa aérea (BA), biomassa radicular (BR), biomassa total (BT) e IQD de mudas *Pinus taeda* 292 dias após semeadura (DAS) submetidas a diferentes concentrações de lodo de curtume (LC): Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, teste de Scott-Knott.

Table 3 – Results of the analysis of variance and coefficient of variation (C.V.) for the variables: collar diameter (CD), height (H), shoot biomass (SB), root biomass (RB), total biomass (TB), and Dickson Quality Index (DQI) of *Pinus taeda* seedlings at 292 days after sowing (DAS), subjected to different concentrations of tannery sludge (TS): Means followed by the same letter do not differ statistically from each other at the 5% probability level, Scott-Knott test.

Tratamento	Diâmetro de Colo / Altura		Biomassa seca (g)			IQD
	DC (mm)	H (cm)	BA	BR	BT	
Testem.	3,310±0,526b	29,236±4,929a	1,508±0,195b	1,034±0,135a	2,542±0,321b	0,246±0,033a
LC1	3,078±0,455a	26,128±4,101a	1,544±0,328b	0,971±0,206a	2,514±0,534b	0,252±0,069a
LC2	3,067±0,420a	27,184±5,199a	1,513±0,443b	0,915±0,268a	2,430±0,710b	0,231±0,062a
LC3	3,126±0,555a	27,368±4,141a	1,301±0,400a	0,992±0,305a	2,291±0,705a	0,230±0,081a
LC4	3,278±0,483b	26,920±4,949a	1,248±0,374a	0,979±0,293a	2,227±0,667a	0,236±0,067a
LC5	3,120±0,398a	25,752±4,330a	1,288±0,319a	0,882±0,219a	2,170±0,538a	0,224±0,053a
LC6	3,357±0,347b	27,028±3,653a	1,186±0,250a	1,036±0,218a	2,222±0,468a	0,242±0,049a
C.V. (%)	11,79	16,14	18,11	17,68	17,82	15,31

Fonte: Autores (2025).

Source: Authors (2025).

Aos 292 dias após a semeadura, a aplicação de lodo de curtume influenciou significativamente as variáveis diâmetro de colo e biomassa aérea das mudas de *Pinus taeda*, enquanto altura, biomassa radicular, biomassa total e o Índice de Qualidade de Dickson não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. As maiores médias de BA foram observadas na testemunha e nos tratamentos LC1 e LC2, que corresponderam às concentrações de até 5% de LC, indicando que a adição do resíduo em níveis moderados não compromete o acúmulo de massa seca aérea. Por outro lado, concentrações superiores resultaram em

reduções nesse parâmetro, mesmo sem diferença estatística entre si, sugerindo um efeito negativo associado ao aumento da concentração. Para o diâmetro de colo, observou-se superioridade da testemunha e dos tratamentos LC4 (7,5%) e LC6 (20%), cujas médias foram estatisticamente semelhantes entre si. Esses resultados indicam que, embora a altura das mudas não tenha sido significativamente afetada, a aplicação do lodo em determinadas concentrações pode favorecer o desenvolvimento radial, o que está diretamente associado à robustez e estabilidade das mudas em campo.

Resultados similares foram reportados por Franczak *et al.* (2008), que observaram melhor desenvolvimento de mudas de *Jacarandá cuspidifolia* com até 3% de lodo no substrato, sendo que concentrações superiores reduziram a produção de biomassa aérea. De forma semelhante, Bitencourt *et al.* (2021) constataram decréscimos progressivos na massa seca aérea de mudas de girassol com o aumento das doses de lodo de curtume. Campos *et al.* (2010) também destacaram que concentrações elevadas do resíduo comprometem o desenvolvimento vegetal, associando esse efeito à elevada concentração de sódio no material, elemento que pode causar distúrbios nutricionais e inibir a absorção de nutrientes essenciais como N, P, K e Ca (Coelho *et al.*, 2017), sendo o nitrogênio um nutriente diretamente relacionado ao incremento de biomassa aérea (Carnevali *et al.*, 2014).

Em relação à biomassa radicular, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, sugerindo que a adição de lodo de curtume, nas concentrações avaliadas, não interferiu no crescimento do sistema radicular. Esse achado contrasta com os resultados de Possato *et al.* (2014), que relataram redução de 28,3% na biomassa radicular de mudas de eucalipto em resposta à aplicação do lodo. Bitencourt *et al.* (2021) também descreveram decréscimos na massa seca de raízes em função da elevação da concentração do resíduo. Por outro lado, Gamba (2012) não identificou diferenças significativas no crescimento radicular de mudas de eucalipto cultivadas com diferentes concentrações de LC, resultado semelhante ao observado neste estudo. Esses dados são corroborados por Almeida *et al.* (2017) e Berilli *et al.* (2014), que concluíram que o uso do lodo não comprometeu o desenvolvimento radicular em espécies como café e eucalipto.

O IQD, considerado um dos principais indicadores da qualidade morfológica das mudas por integrar diferentes variáveis (Dickson *et al.*, 1960), também não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Isso demonstra que, apesar de não promover ganhos qualitativos, o uso do LC até 20% também não prejudicou o padrão de qualidade das mudas em relação à testemunha. Bitencourt *et al.* (2022) observaram comportamento semelhante em mudas de eucalipto, nas quais o IQD não foi afetado significativamente até concentrações de 50% de LC. No entanto, os autores relataram médias reduzidas de IQD a partir de 10% de concentração, o que reforça a necessidade de atenção quanto à dose aplicada. Em contrapartida, Berilli *et al.* (2020) constataram aumento do IQD em concentrações de até 50% de LC, indicando que a resposta pode variar conforme a espécie e a composição química do resíduo.

Assim, os resultados deste estudo sugerem que o lodo de curtume pode ser utilizado como substrato alternativo para a produção de mudas de *Pinus taeda*, desde que aplicado em concentrações controladas, preferencialmente inferiores a 5%. Ainda que o IQD não tenha sido comprometido em concentrações mais elevadas, a tendência de redução nos parâmetros de biomassa aérea e total deve ser considerada, sobretudo diante da variabilidade química do resíduo, com destaque para o teor de sódio e a possível presença de cromo, elemento que, em concentrações elevadas, pode induzir efeitos tóxicos e limitar o crescimento vegetal (Richard & Bourg, 1991).

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise química de macro e micronutrientes, respectivamente, da parte aérea das mudas de *Pinus taeda* submetidas a diferentes concentrações de lodo de curtume.

Tabela 4 – Resultado da análise química de macronutrientes da parte aérea de mudas de *Pinus taeda* com aplicação em substrato de diferentes concentrações de lodo de curtume (LC).**Table 4** – Results of the chemical analysis of macronutrients in the shoot of *Pinus taeda* seedlings grown in substrates with different concentrations of tannery sludge (TS).

T/Composto	N (g/Kg)	P (mg/Kg)	K (mg/Kg)	Ca(mg/Kg)	Mg (mg/Kg)	S (g/Kg)
Testem.	10,50	4,902	213,877	148,50	9,50	2,90
LC1	14,00	5,974	254,520	238,80	46,60	3,10
LC2	12,60	5,071	238,567	159,00	72,80	4,80
LC3	11,90	5,778	272,844	337,90	90,60	3,40
LC4	11,20	5,828	245,258	262,20	45,00	3,50
LC5	11,20	6,681	265,478	276,30	43,10	4,40
LC6	11,20	5,028	222,133	111,10	9,00	3,00
T/Composto	Al (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
Testem.	28,00	2,117	1,801	125,85	1,208	23,55
LC1	91,69	3,676	1,908	119,44	21,623	33,81
LC2	46,36	12,265	0,874	40,84	21,408	38,77
LC3	85,94	2,830	2,004	110,59	14,365	26,29
LC4	49,42	10,827	1,983	50,65	18,358	27,54
LC5	97,31	2,722	2,001	135,87	11,847	36,95
LC6	93,15	2,563	2,050	122,02	10,828	57,93

Fonte: Autores (2025).

Source: Authors (2025).

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise química de macro e micronutrientes, respectivamente, do sistema radicular das mudas de *Pinus taeda* submetidas a diferentes concentrações de lodo de curtume.

Tabela 5 – Resultado da análise química de macronutrientes do sistema radicular de mudas de *Pinus taeda* com aplicação em substrato de diferentes concentrações de lodo de curtume (LC).**Table 5** – Results of the chemical analysis of macronutrients in the root system of *Pinus taeda* seedlings grown in substrates with different concentrations of tannery sludge.

T/Composto	N (g/Kg)	P (mg/Kg)	K (mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Mg (mg/Kg)	S (g/Kg)
Testem.	9,80	8,239	249,778	129,40	8,60	5,00
LC1	14,70	8,046	277,509	299,00	71,70	5,50
LC2	11,90	5,777	218,062	181,60	9,10	5,50
LC3	10,50	7,152	231,255	174,50	8,80	5,00
LC4	11,20	6,600	247,821	271,50	59,90	4,30
LC5	11,90	6,671	255,292	245,10	47,90	3,80
LC6	14,00	6,311	226,603	132,60	9,10	5,20
T/Composto	Al (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
Testem.	132,63	0,474	3,590	288,59	10,527	56,53
LC1	46,88	12,808	10,768	187,53	0,277	39,22
LC2	294,19	17,645	14,410	244,27	57,365	45,48
LC3	73,53	39,827	16,526	302,53	11,827	74,82
LC4	2824,36	24,180	60,945	3003,52	79,448	39,24
LC5	1694,90	20,435	19,595	1738,87	51,316	32,73
LC6	209,81	16,871	10,527	174,34	10,048	36,25

Fonte: Autores (2025).

Source: Authors (2025).

A análise química da parte aérea das mudas de *Pinus taeda* (Tabela 4) revelou aumento nas concentrações de N, P e K em todos os tratamentos com lodo de curtume em relação à testemunha, evidenciando o potencial de utilização do resíduo em substrato, mediante disponibilização de macronutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal. Esse acréscimo nutricional demonstra que o LC, mesmo em diferentes concentrações, contribui com a adição de nutrientes que podem ser prontamente absorvidos pelas plantas. Além disso, observou-se aumento nos teores de micronutrientes como Al, Cu, Mn e Zn na parte aérea das plantas. As elevações são atribuídas à composição química do lodo, frequentemente enriquecido com metais pesados, bem como pela capacidade do *Pinus taeda* de absorver e acumular esses elementos por meio do processo de fitoextração.

A análise do sistema radicular (Tabela 5) também evidenciou teores elevados de N, Ca e Mg nos tratamentos com LC em comparação à testemunha, indicando uma maior concentração desses elementos nas raízes. No entanto, o teor de P foi reduzido em alguns tratamentos, possivelmente devido à complexação com outros íons presentes no substrato ou competição por absorção. Quanto aos micronutrientes, todos os tratamentos apresentaram aumento nas concentrações de Cu, Cr e B em relação à testemunha, com destaque para os tratamentos LC4 e LC5, que apresentaram teores expressivamente elevados de Al e Fe, atingindo até 3003,52 mg Kg⁻¹ de Fe no tratamento LC4.

Esses resultados são corroborados por Alcântara (2017), que observou elevada capacidade de fitorremediação de cromo e chumbo por plantas de *Jatropha curcas*, confirmando a tolerância de algumas espécies florestais à presença de metais pesados. No entanto, o autor também destacou que, em altas concentrações, o Cr pode comprometer o crescimento e a germinação das plantas, sendo tóxico em teores superiores a 300 mg Kg⁻¹, limiar próximo ao observado neste estudo para alguns tratamentos.

Estudos recentes reforçam a capacidade de fitorremediação de diferentes espécies vegetais. Silva *et al.* (2021) demonstraram a eficiência de *Spirodela polyrhiza* na fitoextração de Fe e Mn, embora relataram redução na biomassa em elevadas concentrações, comportamento similar ao observado nas mudas de *Pinus taeda*. De forma complementar, Maciel *et al.* (2021) destacaram que a *Mimosa bimucronata* tolera até 909,24 mg Kg⁻¹ de Fe sem prejuízo ao seu desenvolvimento - valor consideravelmente inferior aos registrados neste estudo para *P. taeda*, sugerindo maior capacidade de absorção ou acúmulo desta espécie.

Por outro lado, Adamski *et al.* (2011) relataram toxicidade por Fe em *Ipomoea batatas*, enquanto Bomfim (2020) observou certa tolerância de *Leucaena leucocephala* ao ferro, embora tenha havido redução da biomassa radicular em função do acúmulo excessivo do metal. Esses resultados reforçam a ideia de que a resposta vegetal ao Fe varia entre espécies e depende tanto da concentração absorvida quanto de sua distribuição nos tecidos. A elevada concentração de Fe nas raízes de *P. taeda* também está alinhada com estudos de Araújo *et al.* (2014), Santana *et al.* (2014) e Siqueira-Silva *et al.* (2019), que reportaram acúmulo radicular expressivo em espécies como *Setaria parviflora*, *Paspalum urvillei* e *Echinochloa crusgalli*, evidenciando uma estratégia de contenção da translocação de Fe para a parte aérea. Essa resposta fisiológica visa minimizar os efeitos tóxicos do metal em tecidos fotossintéticos e preservar a eficiência fotossintética da planta.

A fitoestimulação promovida pela interação entre fungos ectomicorrízicos e mudas de *Pinus taeda* demonstrou eficiência na remediação de metais pesados, configurando-se como uma alternativa promissora para a incorporação de resíduos contaminados em substratos ou em áreas destinadas ao reflorestamento com *Pinus taeda* (Campos, Oliveira & Schweitzer, 2017a; Campos, Oliveira & Schweitzer, 2017b). Essa estratégia é especialmente relevante para o município de Caçador, que apresenta uma diversidade significativa de fungos ectomicorrízicos (Freire, Campos & Oliveira, 2012). Nesse contexto, é fundamental desenvolver estudos que analisem a interação entre o resíduo de lodo de curtume e mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrízicos.

Em síntese, os resultados sugerem que *Pinus taeda* possui potencial para o uso em sistemas de fitorremediação, especialmente na remoção de Fe, Cr, Cu e Mn, quando cultivada em substratos com lodo de

curtume. Contudo, é fundamental estabelecer limites seguros de aplicação do resíduo, a fim de evitar impactos negativos sobre o desenvolvimento das plantas e garantir a sustentabilidade do uso agrícola e ambiental do material.

4. Conclusão

Os resultados demonstraram que a germinação das sementes não foi negativamente impactada pelas concentrações de LC testadas, exceto nos tratamentos LC1 e LC2, que apresentaram taxas estatisticamente inferiores. No tocante ao desenvolvimento morfológico, observou-se que, aos 236 dias após a semeadura (DAS), todas as concentrações de LC reduziram significativamente os parâmetros de diâmetro de colo e altura das mudas em relação à testemunha. No entanto, aos 292 DAS, essas diferenças deixaram de ser estatisticamente significativas para a altura, indicando possível adaptação ou efeito compensatório ao longo do tempo.

Para o parâmetro de diâmetro de colo, observou-se superioridade da testemunha e de concentrações específicas (LC4 e LC6), sugerindo que o LC, em doses moderadas a elevadas, pode favorecer o desenvolvimento radial das mudas, sem comprometer sua estabilidade estrutural. A biomassa aérea foi influenciada de forma negativa por concentrações superiores a 5%, evidenciando uma sensibilidade da parte aérea ao acúmulo de sais e metais presentes no resíduo, especialmente sódio. Já a biomassa radicular, biomassa total e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, o que indica que o LC, até 20% de concentração, não compromete a qualidade geral das mudas.

Do ponto de vista nutricional, observou-se aumento nos teores de macro e micronutrientes nas partes aérea e radicular das plantas, com destaque para o acúmulo de Fe, Cr, Mn e Cu, evidenciando a capacidade de *P. taeda* em absorver e, principalmente, reter esses metais nas raízes. Tal característica sugere o potencial desta espécie para estratégias de fitorremediação, especialmente por fitoextração e fitostabilização, desde que respeitados os limites agronomicamente seguros de aplicação do LC.

5. Agradecimentos

Agradecemos ao Fundo de Apoio à Pesquisa (FAP) da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP) pelo incentivo e suporte financeiro à execução deste estudo, bem como à EPAGRI do município de Caçador pelo apoio técnico prestado nas análises de macro e micronutrientes

6. Referências

Abreu Junior, C. H. A., Boaretto, A. E., Muraoka, T., & de Castro Kiehl, J. (2005). Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em ciência do solo**, 4, 391-470.

Adamski, JM (2011). **Avaliações morfofisiológicas de Ipomoea batatas L. em função da concentração de ferro**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Alcântara, HGD (2017). **Fitorremediação de solos contaminados por metais pesados**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental - Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campo Mourão.

Almeida, R. N., Ferraz, D. R., Silva, A. S., Cunha, E. G., Vieira, J. C., da Silva Souza, T., & da Silva Berill, S. (2017). Utilização de lodo de curtume em complementação ao substrato comercial na produção de mudas de pimenta biquinho. **Scientia agraria**, 18(1), 20-33.

- Andrade, J. C. M. *et al.* (2007) **Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos.
- Araújo, A. P. D., & Paiva Sobrinho, S. D. (2011). Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, 35, 581-588.
- Assenheimer, A. (2009). Benefícios do uso de bio-sólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais Benefits of the use of bio-solid as substrata in forest species seedling production. **Ambiência**, 5(2), 321-330.
- Berilli, S. D. S., Quiuqui, J. P. C., Rembinski, J., Salla, P. H. H., Berilli, A. P. C. G., & Louzada, J. M. (2014). Utilização de lodo de curtume como substrato alternativo para produção de mudas de café conilon. **Coffee Science**, 9(4), 472-479.
- Berilli, S., Monteiro, C. B., dos Santos, A. T. B., Costa, F. E. S., Batista, R. S., Menegueli, H. O., ... & Ferreira, V. R. (2020). Efeito do lodo de curtume adicionado em substrato comercial para produção de mudas de pimenta malagueta. **Revista Ifes Ciência**, 6(2), 149-162.
- Bitencourt, G. A., Deknes, L. B., & Laura, V. A. (2022). Crescimento de mudas de eucalipto em solo com aplicação do lodo de curtume. **Scientia Plena**, 18(3), 1-10.
- Bitencourt, G., da Silva Guidorissi, N., Rosa, A. G., Brandão, P. H. L., Rockenbach, R. I., & Laura, V. A. (2021). Avaliação da toxicidade do lodo de curtume em plantas de girassol. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, 25(4), 528-534.
- Bomfim, N. C. P. (2020). **Crescimento, tolerância e potencial fitorremediador de *Leucaena leucocephala* em solo contaminado por cobre e ferro**. Dissertação em Agronomia - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- Braga, B. *et al.* (2005). **Introdução à engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Brandelero, C., Antunes, M. U. F., & Giotto, E. (2009). Silvicultura de precisão: nova tecnologia para o desenvolvimento florestal Precision silviculture: new technology for the forestry development. **Ambiência**, 3(2), 269-281.
- Campos, J. J. *et al.* (2010) Lodo de curtume na produção de mudas de teca. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. **Anais[...]** Viçosa, MG: SBCS.
- Campos, R. F. F. (2025). Monitoramento ambiental da ecobarreira do município de Caçador (SC): Relato de experiência das atividades do PROESDE. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (Online)**, 20, 479–491. DOI: <http://dx.doi.org/10.34024/revbea.2025.v20.20259>
- Campos, R. F. F., & Barcarolli, I. F. (2023). Análise da interação antrópica na qualidade da água de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 16(1), 542-556. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.1.p542-556>

- Campos, R. F. F., & Borga, T. (2015a). Caracterização gravimétrica do material reciclável destinado à COOCIMA pelo programa de coleta seletiva do município de Caçador-SC. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 19, 325–338. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117018288>
- Campos, R. F. F., & Borga, T. (2015b). Geração de resíduos recicláveis no município de Caçador-SC. **Ignis: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação**, 4, 24–38. <http://dx.doi.org/10.29327/223085.4.1-2>
- Campos, R. F. F., & Borga, T. (2016). Análise da geração de resíduos de serviços de saúde em alguns estabelecimentos do município de Caçador-SC. **Revista Monografias Ambientais (REMOA/UFSM)**, 15, 247. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130819982>
- Campos, R. F. F., & Borga, T. (2016a). Levantamento da geração anual dos resíduos sólidos recicláveis do município de Caçador-SC. **Revista Monografias Ambientais (REMOA/UFSM)**, 15, 209. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130819983>
- Campos, R. F. F., & Lima, C. (2014). Sustentabilidade através de remanejo de resíduos com prática de gestão ambiental implantado no supermercado Cereal. **IGNIS: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação**, 3, 25–44. DOI: <http://dx.doi.org/10.29327/223085.3.1-2>
- Campos, R. F. F., & Moretto, D. (2025). Análises dos efeitos antrópicos na determinação do Índice do Estado Trófico (IET) de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. **Meio Ambiente (Brasil)**, 7, 66–81. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16351089>
- Campos, R. F. F., & Pavelski, J. V. (2025). Análise da interação antrópica com o Índice da Qualidade da Água (IQA) do Rio do Peixe no perímetro do município de Caçador/SC. **Meio Ambiente (Brasil)**, 7, 66–81. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16351899>
- Campos, R. F. F., de Oliveira, L. P., & Schweitzer, B. (2017). Fitorremediação do cobre em mudas de Pinus taeda inoculadas com fungos ectomicorrizicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 10(03), 690-698. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20170045>
- Campos, R. F. F., de Oliveira, L. P., & Schweitzer, B. (2017). Tolerância do Pinus taeda inoculado com fungos ectomicorrizicos (fECM), sob diferentes concentrações de cobre. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 10(02), 512-520. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20170032>
- Campos, R., Borga, T., & García, S. (2017). Caracterización de los controles ambientales de una empresa de producción de plástico del Municipio de Caçador-SC, Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 21(3), 186-189. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117028265>
- Coelho, D. S., Simões, W. L., Salviano, A. M., De Souza, M. A., & De Santos, J. E. (2017). Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 16(2), 178-192.
- Dickson, A., Leaf, AL, & Hosner, JF (1960). Avaliação da qualidade de mudas de abeto-branco e pinheiro-branco em viveiros. **The Forestry Chronicle**, 36(1), 10-13.

Franczak, D. D., Rondon Neto, R. M., Rosa, T., & Lima, V. (2008). Adição de dosagens de lodo de curtume em substrato comercial para produção de mudas de caroba (*Jacaranda cuspidifolia* Mart.). In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 2008, Fortaleza. **Anais[...]**, Fortaleza: EMBRAPA Agroindústria Tropical.

Freire, C. G., Campos, R. F. F., & Oliveira, L. P. (2012). Levantamento de fungos ectomicorrízicos em floresta de *Pinus taeda* em Caçador - SC. **IGNIS: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia de Informação**, 1, 71–92. DOI: <http://dx.doi.org/10.29327/223085.1.1-5>

Freitas, R. X. A., & Melo, G. A. (2013). Avaliação do uso de biocomposto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas. **Revista Monografias Ambientais**, 2665-2673. DOI: <https://doi.org/10.5902/223613087992>

Gamba, V. S. (2012). **Avaliação do lodo de curtume como fonte de nutrientes para o crescimento inicial de eucalipto**. Dissertação em Ciência Florestal - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

Gois, J. V., Pinculini, G., Larsen, L., Campos, R. F. F., & Lima, C. F. (2023). Análise da viabilidade técnica da incorporação de resíduos de borracha sintética em concreto. **Engineering Sciences**, 5, 1–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2023.002.0001>

Hall, J. L. (2001). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, 53(366), 1-11.

Lucas, D., & Benatti, C. T. (2008). Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 1(3), 405-418.

Maciel, A. L., Casalvara, H. F. A., Tomé, J. D. S., Pereira, R. G., Lourenço, T. C. X., Consolin Filho, N., & de Araújo, J. H. B. (2021). Fitorremediação de solos contaminados por ferro (Fe) na forma de sulfato ferroso (FeSO₄) utilizando a espécie *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 12(6), 20-29.

Matias, C. A., Campos, R. F. F., Wendling, C. S., & Pereira, G. (2017). Análise do gerenciamento de resíduos sólidos (Classe I) em um posto de combustível do município de Caçador/SC. **InterfaceHS**, 12, 36–44.

Oliveira Carneval, T., Vieira, M. D. C. V., De Souza Carnevali, N. H., Gonçalves, W. V., Aran, H. D. V. R., & Zarate, N. A. H. (2014). Adubos orgânicos na produção de biomassa de *Schinus terebinthifolius* Raddi (pimenta rosa). **Cadernos de Agroecologia [Volumes 1 (2006) a 12 (2017)]**, 9(4).

Paiva, A. V., Poggiani, F., Gonçalves, J. L. D. M., & Ferraz, A. D. V. (2009). Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, 37(84), 499-511.

Possato, E. L., Scaramuzza, W. L. M. P., Weber, O. L. D. S., Nascentes, R., Bressiani, A. L., & Calegario, N. (2014). Atributos químicos de um cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de curtume contendo cromo. **Revista Árvore**, 38, 847-856.

Quadros, A. C., Camargo, K. V. S., Neis, M. E. B., Campos, R. F. F., & Lima, C. F. (2025). Análise da viabilidade da incorporação de resíduos de poliestireno expandido (EPS) em compósitos cimentícios. **Engineering Sciences**, 13, e8692. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2025.001.0001>

Richard, F. C., & Bourg, A. C. (1991). Aqueous geochemistry of chromium: a review. **Water research**, 25(7), 807-816.

Santaella, S.T. *et al.* (2014). **Resíduos Sólidos e a Atual Política Ambiental Brasileira**. Fortaleza: LABOMAR/UFC.

Santana, BVN, de Araújo, TO, Andrade, GC, de Freitas-Silva, L., Kuki, KN, Pereira, EG, ... & da Silva, LC (2014). Morfoanatomia foliar de espécies tolerantes ao excesso de ferro e avaliação do seu potencial fitoextrator. **Environmental Science and Pollution Research**, 21, 2550-2562.

Santos, F. B. A., Bussatto, L., & Campos, R. F. F. (2017). Geração de resíduos perigosos: Análise de uma empresa de reflorestamento do município de Caçador/SC. **IGNIS: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia de Informação**, 6, 131–139. DOI: <http://dx.doi.org/10.29327/223085.6.2-9>

Schveitzer, B., Suzuki, A. (2013). **Métodos de análise foliar utilizados no Laboratório de Ensaio Químico da Epagri/EECd**. Doc. n 242. Caçador: EPAGRI.

Silva, D. M., de Araujo, A. S. F., & de Araujo, F. F. (2016) Crescimento e fitoextração em espécies em espécies florestais após adição de lodo de curtume no substrato Growth and phytoextraction in forest species after addition of tannery sludge in substrate. **Scientia Forestalis**, 44(112), 1019-1028.

Silva, D.M., Lizieri, C., & Júnior, ESO (2021). Plantas aquáticas em ecotecnologias: perspectivas para fitorremediação de ferro e manganês. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, 10 (3), e29510313320-e29510313320.

Silva, R. F. D., Saidelles, F. L. F., Silva, A. S. D., & Bolzan, J. S. (2011). Influência da contaminação do solo por cobre no crescimento e qualidade de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) e aroeira-vermelha (*Schinus therebinthifolius* Raddi). **Ciência Florestal**, 21(1), 111-118.

Siqueira-Silva, A. I., Rios, C. O., & Pereira, E. G. (2019). Iron toxicity resistance strategies in tropical grasses: the role of apoplastic radicular barriers. **Journal of Environmental Sciences**, 78, 257-266.

Zambonin, A. A. G., Silva, A. M., Willer, V. D., Campos, R. F. F., & Lima, C. F. (2025). Análise da viabilidade do uso de resíduos de Etileno Acetato de Vinila (EVA) em compósitos cimentícios. **Engineering Sciences**, 13, 1–7. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2025.001.0002>