



ARTIGO ORIGINAL

Sustentabilidade nutricional em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no bioma Pampa, RS

Nutritional sustainability in a Eucalyptus dunnii Maiden stand in the Pampa biome, RS

Grasiele Dick¹ , Mauro Valdir Schumacher¹ ¹Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

Como citar: Dick, G., & Schumacher, M. V. (2020). Sustentabilidade nutricional em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no bioma pampa, RS. *Scientia Forestalis*, 48(127), e3277. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n127.06>

Resumo

Aliar o cultivo de espécies de eucalipto que são eficientes no uso de nutrientes, prezando pela intensidade de colheita da biomassa que mantenha o maior estoque de nutrientes no sítio, são diretrizes que promovem a sustentabilidade nutricional dos povoamentos florestais e manutenção futura da produtividade. O objetivo deste estudo é caracterizar a eficiência de uso dos nutrientes e a sustentabilidade nutricional em diferentes intensidades da colheita da biomassa em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* cultivado no bioma Pampa, RS. Foram determinadas a eficiência de utilização dos nutrientes (EUN) e a sustentabilidade nutricional através da estimativa do número de cortes (NC) possíveis quando há colheita total da biomassa (S_1), remoção da madeira do tronco com casca (S_2) e somente colheita da madeira do tronco (S_3). Em relação à EUN, esta é maior para enxofre e fósforo na produção de todos os componentes da biomassa, e o uso de cálcio é menos eficiente. Dentre as intensidades de colheita, ao adotar a condição S_1 não há estoque suficiente de nitrogênio para a condução do novo ciclo e todos os nutrientes deverão ser repostos via fertilização mineral. Visando a sustentabilidade nutricional, recomenda-se realizar a colheita da madeira do tronco (S_3), que limitará a disponibilidade futura de cálcio somente, no entanto, há aumento no número de rotações possíveis no sítio para todos os nutrientes.

Palavras-chave: Eficiência de utilização dos nutrientes; Nutrição florestal; Biomassa.

Abstract

For the guidelines that promote the nutritional sustainability of forest stands and future maintenance of the productivity it is important to combine the eucalyptus species cultivation that are nutrient use efficient, and the intensity of biomass harvesting which maintains the largest stock of nutrients on the site. The objective of this study is to characterize nutrient use efficiency and nutritional sustainability at different intensities of the biomass harvested of a *Eucalyptus dunnii* stand cultivated in the Pampa biome. The nutrient use efficiency (NUE) and nutritional sustainability were determined through the number of harvests (NC), when harvesting the biomass (S_1), removal of the wood with bark (S_2) and harvesting of the stems (S_3). As for NUE: it is higher for sulfur and phosphorus for the production of all biomass components, while the use of calcium is less efficient. As for harvest intensities: when adopting S_1 , there is not a sufficient stock of N for the conduction of the new cycle and all the nutrients must be replaced via mineral fertilization. When aiming at nutritional sustainability, it is recommended to harvest the stems only (S_3), this will limit the future availability of calcium; however, there is an increase in the number of possible rotations in the site for all nutrients.

Keywords: Nutrient use efficiency; Forest nutrition; Biomass.

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: grasidick@hotmail.com

Recebido: 7 fevereiro 2019.

Aceito: 9 agosto 2019.

Editor: Francides Gomes Silva Júnior.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

Até o ano de 2016, a silvicultura no Brasil ocupava 7,8 milhões de hectares, aumento de 0,5% em relação ao ano de 2015, devido exclusivamente à expansão das áreas com eucaliptocultura, que atualmente ocupa 5,7 milhões de hectares, distribuídos principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul (Indústria Brasileira de Árvores, 2017). A expansão da silvicultura no estado do Rio Grande do Sul está atrelada ao aumento das áreas cultivadas no bioma Pampa nos últimos dez anos e, a eucaliptocultura no estado é praticada em 310,2 mil ha (Associação Gaúcha de Empresas Florestais, 2015).

Dentre as espécies potenciais à silvicultura, o cultivo de *Eucalyptus dunnii* é recomendado para a região do bioma Pampa, pois apresenta boa adaptação e tolerância às geadas e déficit hídrico (Higa et al., 2000). No entanto, apesar da maior tolerância fisiológica às condições climáticas extremas, pouco se conhece sobre os aspectos nutricionais da espécie, principalmente àqueles relacionados à eficiência de uso dos nutrientes e sustentabilidade da produção após a colheita da biomassa, nos sítios florestais do bioma Pampa.

Assim como nas demais regiões do Brasil, no bioma Pampa a silvicultura é realizada, geralmente, em solos de baixa fertilidade (Barros et al., 2014). Para cultivar eucalipto nestes sítios, é imprescindível que as espécies sejam eficientes na utilização dos nutrientes (EUN) e, este fator deve ser considerado como critério de escolha da espécie a ser cultivada, junto aos parâmetros de produtividade e qualidade da madeira, além de resistência às doenças e patógenos (Santana et al., 2002).

Com a expansão das áreas de silvicultura e a crescente demanda por produtos florestais (Indústria Brasileira de Árvores, 2017), a busca pela maior produtividade dos povoamentos de eucalipto, em curto espaço de tempo, deve estar aliada à conservação dos recursos naturais, pois com a intensificação do monocultivo os sítios ficam propensos à exaustão nutricional (Paes et al., 2013). Além disso, a exportação de nutrientes pela colheita dos povoamentos florestais é elevada, sendo intensificada quando há remoção de biomassa total, comprometendo assim a produtividade futura e sustentabilidade nutricional dos sítios florestais (Santana et al., 2008).

Produzir mais biomassa com o uso eficiente dos recursos naturais é uma das premissas da sustentabilidade florestal e, pode ser otimizada se houver a escolha de espécies eficientes no uso dos nutrientes (Santana et al., 2002), aliada à redução das exportações pela colheita da biomassa (Gatto et al., 2014). O objetivo deste estudo é caracterizar a eficiência de uso dos nutrientes e a sustentabilidade nutricional em diferentes intensidades da colheita da biomassa em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* cultivado no bioma Pampa, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

Sítio de estudo

O estudo foi realizado em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden (coordenadas geográficas centrais 29°47'S; 55°17'O), cultivado na região da campanha oeste do bioma Pampa, município de Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil. A área possui relevo suave e altitude de 98 m em relação ao nível médio do mar.

O clima da região é do tipo subtemperado úmido, onde a precipitação média anual é de 1.574 mm, com temperatura média anual de 18,6°C e as mínimas no período do inverno podem chegar a -3°C, havendo frequente incidência de geadas (Alvares et al., 2014). O solo é do tipo Argissolo Vermelho distrófico típico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013), bem drenado, com densidade média de 1,5 g dm⁻³ e textura arenosa que varia de franco-arenosa para franco-argilo-arenosa à medida em que há aumento da profundidade. O pH deste solo é ácido e os teores de matéria orgânica e nutrientes são baixos (Dick et al., 2016b).

O povoamento de *Eucalyptus dunnii* compreende o primeiro ciclo na área e o plantio das mudas seminais foi realizado em 2008, no espaçamento de 2,0 m entre plantas e 3,5 m entre linhas. O solo

foi preparado com subsolagem em até 60 cm de profundidade, irrigação, adubação de arranque e de cobertura, capinas na linha e entrelinha. No plantio foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de Fosfato Natural Gafsa em linha no preparo do solo; aos 15 dias foram aplicados 140 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O 06-30-06 +0,3% B e aos 40 e 90 dias foram aplicados 120 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O 22-01-18 + 0,3% B + 0,2% Cu, disposto mecanicamente na entrelinha.

O estudo foi realizado aos 60 meses de idade das árvores de *Eucalyptus dunnii*, que possuíam diâmetro à altura do peito de 12 cm, altura de 13 m, área basal 14 m² ha⁻¹, densidade de 1.262 árv. ha⁻¹ e volume com casca de 124,3 m³ ha⁻¹ (24,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹). Aos 60 meses de idade, a produção total de biomassa, acima do solo, no povoamento de *Eucalyptus dunnii* é de 67,5 Mg ha⁻¹, com alocação de 3,5 Mg ha⁻¹ de folhas, 6,5 Mg ha⁻¹ de galhos, 7,9 Mg ha⁻¹ de casca do tronco e 40,8 Mg ha⁻¹ de madeira do tronco (Dick et al., 2016a).

Eficiência de utilização dos nutrientes (EUN) e número de cortes (NC)

Para as estimativas da eficiência de utilização dos nutrientes (EUN) e número de cortes (NC), foram considerados os estoques de nutrientes da Tabela 1. Os procedimentos metodológicos de coleta e processamento dos dados para obtenção dos estoques de nutrientes na biomassa do povoamento, detalhado em Dick et al. (2016a), consistiram em realização de inventário (quatro parcelas de 420 m², distribuídas aleatoriamente), com definição de quatro classes diamétricas, nas quais foram abatidas três árvores (limite inferior, médio e superior da classe). As árvores foram fracionadas nos componentes madeira do tronco, casca do tronco, galhos e folhas, que foram pesados para estimativa da biomassa. Para estimar o estoque de nutrientes, coletaram-se amostras representativas de cada componente, das quais foram determinadas as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). O cálculo da quantidade de nutrientes, em cada componente da biomassa, foi efetuado por meio do produto entre a concentração média de nutrientes e a quantidade de biomassa.

O estoque de nutrientes no solo foi calculado com base no produto entre os teores de nutrientes, em formas trocáveis e a densidade do solo da área de estudo, cujos dados estão publicados em Dick et al. (2016b).

Tabela 1 – Estoque de nutrientes na biomassa e no solo em povoamento de *Eucalyptus dunnii* no bioma Pampa, RS.

	Biomassa ¹				
	Madeira do tronco	Casca do tronco	Galhos	Folhas	Solo ^{2**}
	kg ha ⁻¹				
N*	28,5	60,0	25,3	61,7	129,0
P	4,28	7,7	2,25	3,92	24,0
K	40,9	79,2	28,6	22,2	177,9
Ca	128,6	51,4	63,1	35,0	270,5
Mg	22,9	24,5	11,5	10,2	94,9
S	2,5	12,6	2,3	4,0	64,5

*Estimado com base em 10% do conteúdo de M.O.; ¹Dick et al., 2016a; ²Dick et al., 2016b; **Estoque de nutrientes disponíveis em 0 a 100 cm de profundidade do solo.

Para a determinação da eficiência de utilização de nutrientes (EUN), considerou-se a relação entre a biomassa produzida (kg ha⁻¹) e o estoque de cada nutriente (kg ha⁻¹), por meio da expressão (Barros et al., 1986):

$$EUN = \frac{\text{biomassa}}{\text{estoque de nutriente}} \quad (1)$$

Para análise da sustentabilidade nutricional foram estipuladas três simulações quanto à intensidade de colheita da biomassa: S_1 = remoção da biomassa total; S_2 = remoção da madeira do tronco com casca; S_3 = remoção da madeira do tronco. A estimativa do número potencial de cortes (NC), para cada intensidade de colheita, foi realizada com base no estoque de nutrientes acumulados na madeira do tronco, casca do tronco e copa (folhas + galhos) das árvores (kg ha^{-1}) e no estoque de nutrientes disponíveis no solo (kg ha^{-1}), considerando a profundidade de 0 a 100 cm, segundo as equações propostas por Barros et al. (1986):

$$NC(S_1) = \frac{\text{nutriente no solo}}{\text{nutriente na copa} + \text{nutriente na madeira do tronco com casca}} \quad (2)$$

$$NC(S_2) = \frac{\text{nutriente no solo} + \text{nutriente na copa}}{\text{nutriente na madeira do tronco com casca}}$$

$$NC(S_3) = \frac{\text{nutriente no solo} + \text{nutriente na copa} + \text{nutriente na casca do tronco}}{\text{nutriente na madeira do tronco}} \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência de utilização dos nutrientes varia entre os componentes da biomassa de *Eucalyptus dunnii*, sendo maior na madeira do tronco e menor nas folhas. Os nutrientes S e P são utilizados com maior eficiência para produção da biomassa em todos os componentes, ao passo que o Ca é menos eficiente à produção de madeira, casca e galhos e N para as folhas (Tabela 2).

Tabela 2 – Eficiência de utilização dos nutrientes (EUN) para produção de biomassa de *Eucalyptus dunnii* aos 60 meses de idade, cultivado no bioma Pampa, RS.

Nutriente	Madeira do tronco	Casca do tronco	Galhos	Folhas
	EUN (kg de biomassa/kg de nutriente)			
N	1.432,3	132,3	254,5	57,5
P	9.537,4	1.024,5	2.866,7	905,6
K	996,3	100,3	225,8	159,6
Ca	317,4	154,4	102,3	101,5
Mg	1.785,7	324,2	558,9	346,3
S	16.593,5	627,7	2.780,2	878,7

Exceto para o Ca, os valores de EUN da madeira do tronco de *Eucalyptus dunnii* são elevados quando comparados às diversas espécies, híbridos e clones de *Eucalyptus* cultivados no Brasil (Rosim et al., 2016; Zaia & Gama-Rodrigues, 2004; Santana et al., 2000). As variações de EUN entre as árvores são atribuídas, principalmente, à idade, material genético, solo, balanço nutricional/hídrico (Santana et al. 2002) e à capacidade de absorção, translocação e conversão dos nutrientes em biomassa (Rosim et al., 2016; Hernández et al., 2009).

Alta EUN do P na madeira do tronco é um padrão já observado em diversas espécies, híbridos (Zaia & Gama-Rodrigues, 2004; Santana et al., 2000) e clones (Rosim et al., 2016) de *Eucalyptus*. Em comparação ao *Eucalyptus benthamii*, espécie resistente à geada que também é recomendada para o cultivo na região do bioma Pampa, o *Eucalyptus dunnii* é mais eficiente no uso do P para produção de biomassa, quando cultivado em solos distróficos e arenosos (Stahl et al., 2013).

A maior EUN de S e P é indicativa dos menores estoques destes nutrientes na biomassa (Tabela 1) e, ao passo que o Ca é o nutriente disponibilizado em maior quantidade no solo e tem baixa eficiência de uso. A absorção de altas quantidades de Ca implica na menor eficiência de utilização, condição esta que pode ser uma característica intrínseca do *Eucalyptus dunnii*,

associada à mobilidade do nutriente, que é translocado de forma mais lenta dentro da planta e fica acumulado em grandes quantidades nos tecidos de sustentação, como o lenho, casca e galhos (Pallardy, 2008). Já a menor eficiência de uso do N nas folhas ocorre devido ao grande estoque deste nutriente nesta porção da biomassa, que concentra a maior parte do N para funcionalidade respiratória e manutenção dos processos fotossintéticos (Taiz & Zeiger, 2013).

No sítio deste estudo as características do solo corroboram à alta EUN, pois a composição granulométrica é, predominantemente, de areia grossa e fina (>75%) (Dick et al., 2016b), condicionando menor retenção e disponibilização de nutrientes. Também há presença do horizonte B textural, característico da classe Argissolo (Streck et al., 2008), que pode reduzir a expansão das raízes finas do eucalipto em profundidade, limitando o volume de solo explorado (Gonçalves & Mello, 2004).

Os elevados valores de EUN na biomassa estão diretamente relacionados à reduzida exploração do solo pelo sistema radicular, que diminui a absorção e translocação dos nutrientes à biomassa (Taiz & Zeiger, 2013), associado à composição mineralógica predominantemente arenosa do solo, que retém com menor intensidade os nutrientes nos coloides (Meurer et al., 2010). Especialmente para o P, nutriente cujas algumas espécies de *Eucalyptus* absorvem sem restrições ao “consumo de luxo” (Rocha et al., 2013), são os fenômenos de retenção e complexação que reduzem a disponibilidade no solo (Ernani et al., 2007) e posterior acúmulo na biomassa, refletindo em alta eficiência de uso desse nutriente.

O fator idade também influencia a EUN, pois em árvores mais jovens há tendência da maior eficiência, em função da menor proporção de biomassa produzida (Santana et al., 2000). No entanto, os elevados valores de EUN não resultam em alta produtividade de *Eucalyptus dunnii* neste sítio ($24,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), pois apesar das fertilizações, o solo distrófico possui nutrientes disponíveis abaixo do nível crítico de manutenção (Novais et al., 1986). Ressalta-se que, além do reduzido volume de madeira, há pouca quantidade de biomassa produzida neste povoamento (Dick et al., 2016a).

Com base na produtividade alcançada e baixa eficiência de uso do Ca deste povoamento, evidencia-se que o cultivo de *Eucalyptus dunnii*, nas condições edafoclimáticas do bioma Pampa, demanda de maior atenção ao suprimento nutricional e manejo da fertilização. Em sítios de baixa fertilidade tais medidas são necessárias, pois cultivar espécies de eucalipto que são altamente eficientes na absorção dos nutrientes, leva ao rápido depauperamento do solo se não houver adequação do balanço nutricional e dosagem correta de fertilizante (Santana et al., 2002).

A tendência de exaurimento nutricional e comprometimento da sustentabilidade da produção são evidenciados nas projeções do número de cortes (NC), onde com a colheita da biomassa total, aos 60 meses de idade do povoamento (S_1), não há estoque suficiente de N para a condução do próximo ciclo e P, K, Ca e Mg limitarão a produtividade (Tabela 3).

Tabela 3 - Número de cortes (NC) previstos em diferentes intensidades da colheita da biomassa de *Eucalyptus dunnii* aos 60 meses de idade, cultivado no bioma Pampa, RS.

Nutriente	S_1	S_2	S_3
N	0,7	2,4	9,7
P	1,3	2,5	8,8
K	1,0	1,9	7,5
Ca	1,0	2,0	3,3
Mg	1,4	2,5	6,2
S	3,0	4,7	33,4

Onde: S_1 = colheita da biomassa total; S_2 = colheita da madeira do tronco com casca; S_3 = colheita da madeira do tronco.

Adotar a intensidade S_1 de colheita implicará na necessidade de maior reposição de todos os minerais via fertilização, ao passo que colher a madeira do tronco com casca (S_2) impactará na disponibilidade de K e Ca. Comparado à remoção total da biomassa (S_1), colher somente a madeira (S_3) aumenta substancialmente a expectativa da produção para todos os nutrientes

e, neste cenário somente o Ca é o nutriente que poderá limitar a produtividade nos próximos ciclos, se não houver reposição via fertilização.

Além do suprimento de N, atenção especial também deve ser direcionada aos estoques de Ca e K, pois após três anos do cultivo de *Eucalyptus dunnii* neste sítio, os teores desses nutrientes no solo reduzem significativamente (Dick et al., 2016b). No cultivo da espécie no bioma Pampa, Ca e K são os nutrientes que apresentam maior risco para a manutenção da produtividade (Guimarães et al., 2015). A mesma limitação nutricional é observada em povoamentos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, cultivados em diferentes sítios (Santana et al., 2002).

Visando a sustentabilidade nutricional, é imprescindível que somente a madeira do tronco seja colhida, pois 68,9% de todo o Ca estocado na biomassa está na casca do tronco e nos galhos (Dick et al., 2016a). Caso seja realizada a colheita da biomassa aos 60 meses, recomenda-se adotar a intensidade S_3 , que preza pela manutenção de folhas, galhos e casca no sítio. Esta condição promove o aumento no estoque de nutrientes do solo, consequentemente, propicia a racionalização futura da fertilização mineral.

Mantendo o resíduo da colheita neste sítio, o K é rapidamente disponibilizado através da acelerada decomposição do folheto deste povoamento de *Eucalyptus dunnii* (Momolli et al., 2018); já a devolução do Ca ocorrerá a longo prazo, em função da decomposição mais lenta dos tecidos lenhosos (Hernández et al., 2009). Evidenciam-se os efeitos positivos da intensidade de colheita S_3 , pois além de aumentar os níveis de Ca e Mg no solo, a manutenção dos resíduos promoveu maior incremento em volume de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, quando comparado ao sistema S_1 (Paes et al., 2013).

No entanto, manter o resíduo da colheita não garante o suprimento nutricional de todos os nutrientes para o próximo ciclo, pois as condições climáticas, associadas à variabilidade na composição química e mineralógica dos resíduos, aceleram ou retardam processo de decomposição e liberação dos nutrientes (Olson, 1963). Especificamente para o *Eucalyptus dunnii*, após a decomposição dos resíduos da colheita, o Ca, Mg e K podem ser reutilizados rapidamente, já a disponibilidade de P dependerá de complexos processos químicos e biológicos e, isso torna mais difícil prever qual é a quantidade que pode ser efetivamente disponível, além de haver risco de perdas de N (Hernández et al., 2009).

Desde que haja a manutenção de resíduos da colheita (S_3), a silvicultura de *Eucalyptus dunnii* no bioma Pampa é potencial à melhoria da capacidade produtiva dos solos. A espécie é eficiente no uso da maior parte dos nutrientes e, através da ciclagem neste povoamento, mais de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Ca são aportados pela serapilheira produzida (Ludvichak et al., 2016) e pela precipitação pluviométrica interna (Dick et al., 2018), contribuindo ao aumento do estoque dos nutrientes no solo.

Por ser menos eficiente no uso do Ca para produção de madeira do tronco, o cultivo de *Eucalyptus dunnii* deverá ser realizado em solos com maiores teores deste nutriente, ou recebê-lo na forma de fertilizante/calcário para que não haja exaustão nutricional (Santana et al., 2002). Em função da baixa EUN de N nas folhas e Ca na biomassa da madeira do tronco de *Eucalyptus dunnii*, o monitoramento dos estoques destes nutrientes no solo após a colheita é fundamental para as recomendações futuras de fertilização, atentando especialmente às dosagens de Ca quando adotado o sistema S_3 na colheita da madeira do tronco.

CONCLUSÃO

A espécie *Eucalyptus dunnii* utiliza com maior eficiência os nutrientes S e P, para produção de todos os componentes da biomassa. Em virtude da menor eficiência de utilização do Ca para produção de madeira do tronco, o cultivo da espécie em Argissolo na região do bioma Pampa demanda de maior estoque deste nutriente no solo.

Visando a sustentabilidade nutricional em longo prazo, recomenda-se realizar a colheita da madeira do tronco somente, que aumenta consideravelmente o número de rotações possíveis no sítio. Mesmo assim, o Ca é o nutriente que poderá limitar a produtividade nos próximos ciclos, se não houver reposição via fertilização.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift (Berlin)*, 22(6), 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Associação Gaúcha de Empresas Florestais – AGEFLOR. (2015). *A indústria de base florestal no RS: dados e fatos – Ano base 2014*. Porto Alegre: AGEFLOR.
- Barros, N. F., Novais, R. F., Carmo, D. N., & Neves, J. C. L. (1986). Classificação nutricional de sítios florestais - Descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, 10(2), 112-120.
- Barros, N. F., Neves, J. C. L., & Novais, R. F. (2014). Nutrição e adubação mineral do eucalipto. In A. B. Vale, C. C. Machado, J. M. M. Pires & M. Barbosa, *Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência* (pp. 187-207). Viçosa: Editora UFV.
- Dick, G., Schumacher, M. V., Momolli D. R., Santos, J. C., Ludvichak, A. A., Guimarães, C. G. & Souza, H. P. (2016a). Quantificação da biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden estabelecido no bioma Pampa. *Ecologia e Nutrição Florestal*, 4(1), 1-9.
- Dick, G., Schumacher, M. V., & Momolli, D. R. (2016b). Caracterização da fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no bioma Pampa do Rio Grande do Sul. *Ecologia e Nutrição Florestal*, 4(3), 68-77. <http://dx.doi.org/10.5902/2316980X20588>.
- Dick, G., Schumacher, M. V., Momolli, D. R., & Viera, M. (2018). Nutrient input via incident rainfall in a *Eucalyptus dunnii* stand in the Pampa biome. *Floresta e Ambiente*, 25(3), e20160559. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.055916>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (3. ed., 306 p.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Ernani, P. R., Almeida, J. A., & Santos, F. C. (2007). Fósforo. In R. F. Novais, V. V. H. Alvarez, N. F. Barros, R. L. F. Fontes, R. B. Cantarutti & J. C. L. Neves (Eds.), *Fertilidade do solo*. Viçosa: Editora UFV/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Gatto, A., Bussinguer, A. P., Ribeiro, F. C., Azevedo, G. B., Bueno, M. C., Monteiro, M. M., & Souza, P. F. (2014). Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus* sp. no Distrito Federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3), 879-887. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300019>.
- Gonçalves, J. L. M., & Mello, S. L. M. (2004). The root system of trees. In J. L. M. Gonçalves & V. Benedetti (Orgs.), *Forest nutrition and fertilization* (2. ed., pp. 223-267). Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais.
- Guimarães, C. C., Schumacher, M. V., Witshoreck, R., Souza, H. P., & Santo, J. C. (2015). Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no pampa gaúcho. *Revista Árvore*, 39(5), 873-882. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500010>.
- Hernández, J., del Pino, A., Salvo, L., & Arrarte, G. (2009). Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. *Forest Ecology and Management*, 258(2), 92-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.03.050>.
- Higa, R. C. V., Higa, A. R., Trevisan, R., & Souza, M. V. R. (2000). Resistência e resiliência a geadas em *Eucalyptus dunnii* Maiden plantados em Campo do Tenente, PR. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 40, 67-76.
- Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. (2017). *Dados e estatísticas 2017*. Recuperado em 15 de janeiro de 2019, de <http://iba.org/pt/dados-e-estatisticas/cenarios-iba>
- Ludvichak, A. A., Schumacher, M. V., Dick, G., Momolli, D. R., Souza, H. P., & Guimarães, C. C. (2016). Nutrient return through litterfall in a *Eucalyptus dunnii* Maiden stand in sandy soil. *Revista Árvore*, 40(6), 1051-1058. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000600009>.
- Meurer, E. J., Rheinheimer, R. D., & Bissani, C. A. (2010). Fenômenos de sorção em solos. In E. J. Meurer. *Fundamentos de química do solo* (pp. 107-147). Porto Alegre: Editora Evangraf LTDA.
- Momolli, D. R., Schumacher, M. V., Dick, G., Viera, M., & Souza, H. P. (2018). Decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no Bioma Pampa. *Scientia Forestalis*, 46(118), 199-208. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n118.06>.
- Novais, R. F., Barros, N.F., Neves, J.C.L., & Couto, C. (1986). Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp.: níveis críticos de implantação e manutenção. *Revista Árvore*, 10, 105-111.
- Olson, J. S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44(2), 322-330. <http://dx.doi.org/10.2307/1932179>.

- Paes, F. A. S. V., Lima, A. M. N., Hakamada, R. E., & Barros, N. F. (2013). Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(4), 1081-1090. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000400025>.
- Pallardy, S. (2008). *Physiology of woody plants* (454 p.). San Diego: Editora Academic Press.
- Rocha, J. H. T., Pietro, M. R., Borelli, K., Backes, C., & Neves, M. B. (2013). Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. *Cerne*, 19(4), 535-543. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000400002>.
- Rosim, C. C., Hsing, T. Y., & Paula, R. C. (2016). Nutrient use efficiency in interspecific hybrids of eucalypt. *Ciência Agronômica*, 47(3), 540-547. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160065>.
- Santana, R. C., Barros, N. F., & Neves, J. C. L. (2002). Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. *Revista Árvore*, 26(4), 447-457. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000400007>.
- Santana, R. C., Barros, N. F., Novais, R. F., Leite, H. G., & Comerford, N. B. (2008). Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(spe), 2723-2733. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700016>.
- Santana, R. C., de Barros, N. F., & Comerford, N. B. (2000). Aboveground biomass, nutrient content, and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 30(1-2), 225-236.
- Stahl, J., Ernani, P. R., Gatiboni, L. C., Chaves, D. M., & Neves, C. U. (2013). Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. *Ciência Florestal*, 23(2), 287-295. <http://dx.doi.org/10.5902/198050989275>.
- Streck, E. V., Kämpf, N., Dalmolin, R. S. D., Klamt, E., Nascimento, P. C., Schneider, P., Giasson, E., & Pinto, L. F. S. (2008). *Solos do Rio Grande do Sul* (2. ed., 222 p.). Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal* (5. ed.). Porto Alegre: Editora Artmed.
- Zaia, F. C., & Gama-Rodrigues, A. C. (2004). Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28(5), 843-852. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000500007>.

Contribuição dos Autores: GD: conceituação, curadoria de dados investigação, metodologia, visualização, escrita – primeira redação, escrita – revisão e edição. MVS: conceituação, curadoria de dados, obtenção de financiamento, metodologia, administração do projeto, supervisão, visualização.