



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Modelagem da Produção Florestal Familiar no Sul do Brasil

Pábulo Diogo de Souza¹, Jorge Antonio de Farias², Matheus Morais Ziembowicz³, Fabiano de Oliveira Fortes⁴, Daniele Bernardy⁵, Tiago Luis Badin⁶.

¹ Dr. em Engenharia Florestal, Analista Florestal na CENIBRA – Belo Oriente – Minas Gerais, Brasil. pabulodiogo@gmail.com (autor correspondente) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2446-8041>. ² Dr. e Professor em Engenharia Florestal, Campus Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul. fariasufsm@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-4176>. ³ Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. mmziembowicz@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8884-4536>. ⁴ Dr. e Professor em Engenharia Florestal, Campus Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul. fabianofortes@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8716-8839>. ⁵ Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. daniele.bernardy@acad.ufsm.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6058-3584>. ⁶ Dr. em Engenharia Florestal, Gerente de pesquisa e Desenvolvimento da empresa LEAF Biotecnologia. eng.tiagobadin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7998-5399>.

Artigo recebido em 01/05 /2024 e aceito em 22/07 /2025

RESUMO

A cadeia de valor do tabaco Virgínia utiliza lenha de florestas plantadas para suprimento de demanda energética no processo de cura (secagem) das folhas do tabaco. Contudo, o uso de densidades no plantio inadequadas pelos pequenos agricultores que integram esse processo compromete a eficiência da produção florestal. Objetivou-se analisar se a base florestal do setor do tabaco seria autossuficiente para suprir a demanda de lenha, caso houvesse a adoção de plantios florestais com densidades iniciais tecnicamente adequadas. A área de estudo englobou quatro regiões produtoras de tabaco Virgínia no Sul do Brasil. Realizou-se o inventário florestal contínuo em plantios florestais *Eucalyptus dunnii* implantados em propriedades rurais de produtores de tabaco de quatro regiões. A base de dados foi estratificada e realizou-se a modelagem de prognose de crescimento e produção em nível de povoamento para determinação do índice de sítio, área basal e produção futura. Por meio das equações de prognose obtidas para cada estrato foram simulados cenários de produção de lenha para a análise da suficiência energética do processo de cura do tabaco Virgínia e análise da razão custo-benefício de cada estrato. A razão custo-benefício é inversamente proporcional à densidade inicial de plantio e a capacidade produtiva da terra. Os cenários de produção e consumo de lenha indicaram que plantios florestais com densidade de plantio tecnicamente adequadas são compatíveis com o conceito de rendimento volumétrico sustentado, pois a produção foi suficiente para suprir a demanda de lenha.

Palavras-chave: sustentabilidade, biomassa florestal, *Eucalyptus dunnii*.

Modeling of Family Forestry Production in Southern Brazil

ABSTRACT

The Virginia tobacco value chain uses firewood from planted forests to supply energy demand in the curing (drying) process of tobacco leaves. However, the use of inadequate planting densities by small farmers who participate in this process compromises the efficiency of forestry production. The objective was to analyze whether the forestry base of the tobacco sector would be self-sufficient to meet the demand for firewood, if forestry plantations with technically adequate initial densities were adopted. The study area encompassed four regions producing Virginia tobacco in southern Brazil. A continuous forest inventory was carried out in *Eucalyptus dunnii* forest plantations in the first rotation, implemented on rural properties of tobacco producers in four regions. The database was stratified and growth and production prognosis modeling was carried out at the stand level to determine the site index, basal area and future production. Using the prognosis equations obtained for each stratum, firewood production scenarios were simulated to analyze the energy sufficiency of the Virginia tobacco curing process and analyze the cost-benefit ratio of each stratum. The cost-benefit ratio is inversely proportional to the initial planting density and the productive capacity of the land. The firewood production and consumption scenarios indicated that forest plantations with technically adequate planting density are compatible with the concept of sustained volumetric yield, as production was sufficient to meet the demand for firewood.

Keywords: sustainability, forest biomass, *Eucalyptus dunnii*.

Introdução

Diante das preocupações com o aquecimento global tem sido recorrente o interesse de políticas públicas para o estímulo da utilização de fontes de renováveis de energia (Empresa de Pesquisa e Energia, 2022). A madeira é um material que se destaca mundialmente para esta finalidade, em função de ser biodegradável, fácil de ser obtido, capaz de estocar carbono, baixa emissão de poluentes e fácil comercialização (Mather-Gratton et al., 2021).

Independentemente da escala de produção de biomassa florestal é desejável que seja realizado o correto dimensionamento da oferta, frente a demanda periódica de lenha, em determinada cadeia de valor, por meio de planejamento florestal consistente. Este consiste em um conjunto de métodos e técnicas de grande potencial para auxiliar na sustentabilidade de processos produtivos, o que é muito utilizado em empresas de base florestal em finalidades como manutenção de estoque, projetos de expansão florestal e ordenamento da produção (Matos et al., 2021).

A cadeia de valor do tabaco Virgínia faz a utilização de lenha de florestas plantadas para suprimento de demanda energética no processo de cura (secagem) das folhas do tabaco. Neste contexto, assim como o tabaco, a produção florestal (lenha) também pode ser proveniente de propriedades tabacaleiras que fazem parcerias com empresas por meio do Sistema Integrado de Produção de Tabaco Virgínia (SIPTV) (SINDITABACO, 2022).

Contudo, a disposição e disparidade quanti-qualitativa dos povoamentos florestais que compõem a base florestal tornam a elaboração de estratégias de produção desafiadora, pois, os processos de implantação e condução das florestas, são realizados de forma empírica, inclusive em relação à densidade inicial de plantio. Para a realidade do setor do tabaco, o maior adensamento de plantio é uma prática frequente, geralmente associado ao entendimento de que a produção por área é diretamente proporcional ao número de plantas por hectare. No entanto, não são levados em consideração fatores como dispêndios com mão-de-obra, insumos, colheita e a própria qualidade da produção florestal.

O SIPTV tem promovido a implementação de iniciativas para desenvolvimento de recomendações técnicas para a aprimoração da produção de biomassa florestal, a partir de florestas do gênero *Eucalyptus* em pequenas propriedades de produtores de tabaco. Para tanto, é importante

que tais ações considerem as diferentes condições de produção florestal existentes no setor.

No entanto pesquisas voltadas para resultados e soluções dos fatores limitantes da produção florestal familiar, são incipientes e estão à margem, quando comparados ao volume de trabalhos voltados para indústria de base florestal. Cabe as universidades, pesquisadores e instituições privadas a realização de parcerias para alavancar a melhoria da qualidade da produção florestal em pequena escala, e de tamanha importância para muitas famílias inseridas em diversas cadeias de valor, a exemplo do tabaco Virgínia.

Uma ação efetiva foi o incentivo de implantação de florestas com densidades adequadas pelos produtores. Análises que consideram a dinâmica de crescimento e produção de florestas, com densidades iniciais adequadas, e o dimensionamento da oferta e demanda de biomassa florestal, podem contribuir e subsidiar a sustentabilidade do rendimento volumétrico de lenha para o processo de cura do tabaco Virgínia. No entanto não há estudos que explorem a modelagem de produção e crescimento florestal no âmbito da realidade tecnológica vigente nos plantios florestais de pequenos produtores rurais.

Diante destas premissas, apresenta-se a hipótese de que o planejamento da produção florestal familiar do SIPTV, fundamentado em plantios florestais com densidades iniciais tecnicamente adequadas, permite viabilidade técnica de obtenção biomassa para suprir a demanda processo de cura do tabaco Virgínia.

Deste modo, objetivou-se analisar se a base florestal do setor do tabaco seria autossuficiente para suprir a demanda de lenha, caso a adoção de plantios florestais com densidades iniciais tecnicamente adequadas. Entendemos que os resultados deste estudo também são aplicáveis para outras cadeias de valor que têm como principal fonte de biomassa energética baseada em florestas plantadas de *Eucalyptus* presentes em pequenas propriedades rurais.

Material e métodos

Área de estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio da investigação de fatores relacionados à produção de biomassa florestal (lenha) familiar para fins energéticos, que é a principal fonte de energia utilizada no sistema integrado de produção de tabaco Virgínia (SIPTV). Para tanto, por meio de critérios e métodos foi buscada uma proximidade

com a realidade do setor do tabaco foi desenvolvida uma pesquisa em âmbito exploratório.

A área de estudo englobou quatro regiões produtoras de tabaco Virgínia no Sul do Brasil, que fazem parte da área de atuação da empresa Japan Tobacco International (JTI) (Figura 1). O objeto de estudo foi composto por povoadamentos florestais de pequenas propriedades rurais de agricultores familiares (produtores de tabaco) que fazem parte da cadeia produtiva do tabaco Virgínia, por meio do SIPTV em parceria com a empresa JTI.

A região sul está localizada ao sul do Trópico de Capricórnio, possui clima subtropical com predominância de tipo climático Cfa e algumas áreas de influência de Cfb (Beck et al., 2018). A precipitação anual varia entre 1.250 e 2.000 mm, sendo distribuída ao longo do ano, com ausência de regiões com deficiência pluviométrica crônica. As secas mais prolongadas são esporádicas e ocorrem apenas em anos de condições climáticas atípicas.

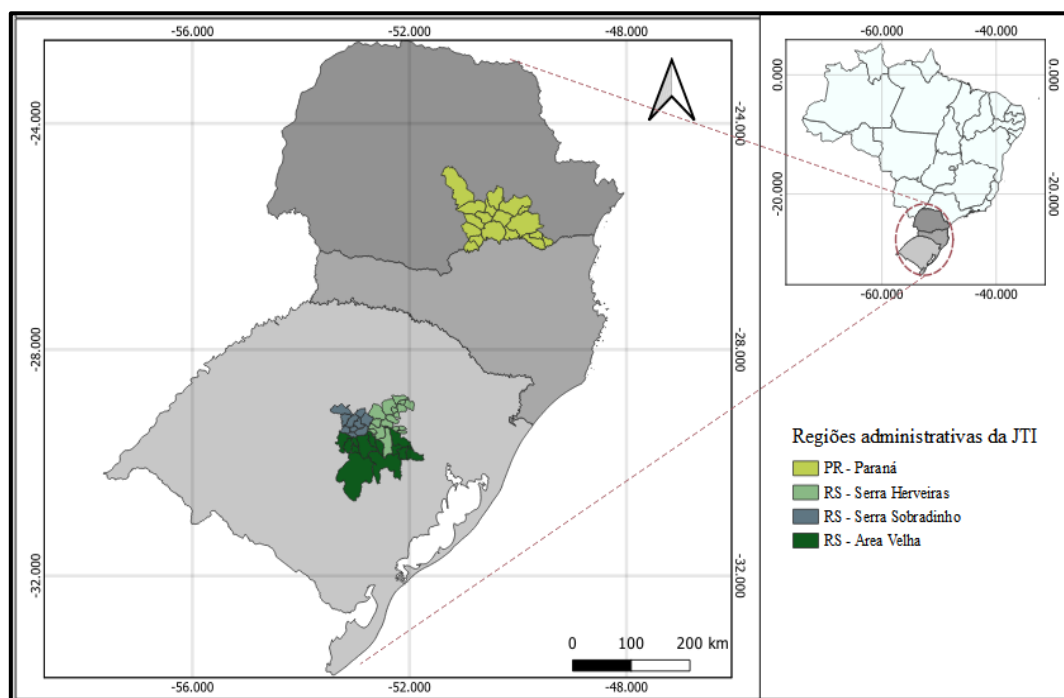


Figura 1. Regiões produtoras de tabaco Virgínia de atuação da JTI

A coleta de dados consistiu, inicialmente na realização de um inventário florestal contínuo (IFC) em plantios florestais *Eucalyptus dunnii* em primeira rotação, implantados em propriedades rurais de produtores de tabaco. Estes dados serviram para subsidiar as análises de crescimento e produção e posteriormente a construção de cenários de oferta de biomassa florestal.

O IFC foi realizado em 95 povoadamentos florestais implantados em propriedades rurais de agricultores familiares distribuídos nas quatro regiões consideradas nesta pesquisa (Figura 1). As medições foram anuais e ocorreram entre 2013 e 2019 contemplando as idades de 2 e 7 anos (Tabela 1). Para a amostragem foram instaladas parcelas retangulares fixas, com área média de 600 m²,

georreferenciadas e demarcadas com tubos de PVC (policloreto de vinila). Foram mensurados os diâmetros de todas e a altura de algumas árvores contidas no interior das parcelas, com auxílio de fita centimétrica e hipsômetro Vertex® IV.

A base de dados foi submetida à estratificação (por região e densidade inicial de plantio), e ao pré-processamento para identificação e exclusão de inconsistências. Foram obtidas variáveis do povoamento, como o volume e área basal média por hectare para todas as séries de crescimento. Deste modo, foram suprimidas todas as unidades que apresentaram variação negativa dos valores de área basal ao longo do período de realização do IFC e que tiveram registros de intervenção de corte.

Tabela 1. Número de medições por idade e região de estudo

Região	Idades (anos)					
	2	3	4	5	6	7
PR - Paraná	31	31	30	28	13	19
RS - Serra Herveiras	10	11	11	9	6	5
RS - Serra Sobradinho	20	22	21	19	10	13
RS - Depressão Central	13	14	18	13	11	11
Total	74	78	80	69	40	48

Adotou-se como critério de estratificação, em cada região, três classes de densidades iniciais de plantio, foram estas: cerca de $1667 \pm 20\%$ (1400 a 2000 plantas por ha), cerca de $2222 \pm 20\%$ (2000 a 2600 plantas por ha), que representaram a recomendação técnica da empresa, e superior à 2600 plantas por ha, que são os plantios. Para cada estrato foi realizada a determinação do percentual de falhas e a modelagem de prognose de crescimento e produção em nível de povoamento, que consistiu na determinação do índice de sítio, área basal e produção futura.

Análise do crescimento e produção florestal

A análise do crescimento e produção florestal consistiu na obtenção de um sistema de equações resultante do ajuste de modelos de densidade variável para predição do índice de sítio, área basal e da produção. O primeiro foi ajustado em nível de região, já os dois últimos foram ajustados em nível de estrato. Os ajustes foram realizados de forma sequencial, de modo a testar três modelos para cada variável dependente e seguiram critérios de avaliação da performance baseados no critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC),

erro padrão da estimativa (S_{xy}), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) e gráfico de dispersão residual (Equações 1 a 4). Para cada critérios de avaliação AIC, BIC, S_{xy} e R^2_{adj} foi construída uma tabela de escores de pontuação, onde para cada indicador 1 representa o melhor e 3 o pior (Schneider et al., 2014).

$$AIC = -2 \log L(\hat{\theta}) + 2(p) \quad (1)$$

$$BIC = -2 \log f(x_n|\theta) + p \log n \quad (2)$$

$$S_{xy} = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n - p) \right]} \quad (3)$$

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad (4)$$

Realizou-se o ajuste de equações para determinação do índice de sítio por meio do método da curva-guia. Foi adotado a amplitude de dois metros entre as classes de sítio para os plantios de *E. dunnii* de cada região. Neste procedimento foram testados três modelos (Tabela 2). Para tanto, o modelo que apresentou a menor soma dos escores e melhor dispersão residual foi considerado como o de melhor performance, e foi utilizado para construção das curvas e tabelas de índice de sítio.

Tabela 2. Modelos testados para a construção das curvas de índice de sítio.

Autor/fonte	Modelo	Modelo guia	Nº
Schumacher	$h_{dom} = b_0 \cdot e^{\frac{b_1}{t_i}} \cdot \varepsilon_i$	$h_{dom} = S \cdot e^{b_1 \left(\frac{1}{t_i} - \frac{1}{t_{ref}} \right)}$	(5)
Chapman-Richards	$h_{dom} = b_0 [(1 - e^{(-b_1 \cdot t_i)})]^{b_2} \cdot \varepsilon_i$	$h_{dom} = \left[\frac{(1 - e^{(-b_1 \cdot t_i)})}{(1 - e^{(-b_1 \cdot t_{ref})})} \right]^{b_2}$	(6)
Chapman-Richards 2par	$h_{dom} = b_0 [(1 - e^{(-b_1 \cdot t_i)})]$	$h_{dom} = \left[\frac{(1 - e^{(-b_1 \cdot t_i)})}{(1 - e^{(-b_1 \cdot t_{ref})})} \right]$	(7)

h_{dom} = altura média das dominantes (m); t_i = idade (anos) da parcela no momento da medição da altura; t_{ref} = idade de referência ou idade índice (7 anos); b_i = coeficientes dos modelos a serem estimados; ε_i = erro aleatório; Nº = número do modelo.

Para estimativa da área basal foram testadas as mesmas relações funcionais propostas para a determinação do índice de sítio, porém as variáveis dependente e independente foram, respectivamente, a área basal e a altura dominante

(Tabela 3). O procedimento consistiu em determinar uma relação entre a área basal e a altura média das árvores dominantes em cada um dos estratos pré-definidos, ou seja, à nível da região e classe de densidade.

Tabela 3. Modelos testados para determinação da área basal

Autor/fonte	Modelo	Nº
Schumacher	$G = b_0 \cdot e^{\frac{b_1}{h_{dom}}} \cdot \varepsilon_i$	(8)
Chapman-Richards	$G = b_0 [(1 - e^{(-b_1 \cdot h_{dom})})]^{b_2} \cdot \varepsilon_i$	(9)
Chapman-Richards 2p	$G = b_0 [(1 - e^{(-b_1 \cdot h_{dom})})] \cdot \varepsilon_i$	(10)

G = área basal ($m^2 ha^{-1}$); h_{dom} = altura dominante (m); b_i = coeficientes dos modelos a serem estimados; ε_i = erro aleatório; 2p = dois parâmetros; Nº = número do modelo.

Realizou-se o ajuste de equações para a prognose da produção de madeira para os diferentes estratos. Os modelos consistiram em relações funcionais entre o volume, a área basal e a altura média das árvores dominantes (Tabela 4),

conforme sugerido por Batista et al. (2014). Os autores partem da premissa de que modelos que são aplicados para modelagem de árvores individuais podem ser utilizados em nível de povoamento total, desde que realizadas as devidas adaptações.

Tabela 4. Modelos de crescimento e produção utilizados

Autor/fonte	Modelo	Nº
Modelo de potência variável	$Prod = b_0 G^{b_1} h_{dom}^{b_2} \cdot \varepsilon_i$	(11)
Spurr	$Prod = b_0 + b_1 G h_{dom} + \varepsilon_i$	(12)
Schumacher	$Prod = b_0 \cdot e^{\frac{b_1}{G h_{dom}}} \cdot \varepsilon_i$	(13)

Prod = volume ($m^3 ha^{-1}$); G = área basal ($m^2 ha^{-1}$); h_{dom} = altura dominante (m); b_i = coeficientes dos modelos a serem estimados; ε_i = erro aleatório; Nº = número do modelo.

Construção dos cenários

Foram construídos cenários de oferta e demanda de lenha, por meio de relações entre o consumo total estimado e as capacidades de produção florestal determinadas em cada região. Foram realizadas consultas a bancos de dados cadastrais da JTI, para obter informações gerenciais relacionadas ao SIPTV, como por exemplo, o total de produtores e o consumo médio de lenha por região. Além disso foi utilizado a estimativa de área florestal disponível por região para a simulação da produção de biomassa florestal em função de cada capacidade produtiva diagnosticada no IFC. Para isso foi utilizada a equação 14.

$$Prod. = \frac{\text{área}}{7} * vol._{7 \text{ anos}} \quad (14)$$

O consumo total de lenha foi calculado a partir da relação direta entre o consumo médio de lenha (Equação 15) por quantidade de tabaco curado (kg), tipo de unidade de cura, e a produção de tabaco de determinada região (Equação 16). Foram considerados os valores de consumo de lenha de *E. dunnii* por kg de tabaco e tipo de unidade de cura apresentados por Pasa et al. (2021).

$$\overline{CL}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \% UC_i \times cml_i}{\sum_{i=1}^n \% UC_i} \quad (15)$$

$$CTL_i = Ptv_j \times \overline{CL}_i \quad (16)$$

Em que:

CTL_i = Consumo total de lenha (m^3) na região i .

Ptv_i = produção de tabaco na região i , registrado na safra 2019.

CML_i = Consumo médio de lenha por tonelada de tabaco curado.

% UC_i = percentual de unidade de cura do tipo i em determinada região.

cml_i = consumo médio de lenha para unidade de cura do tipo i .

Por fim, foi determinado o indicador razão custo-benefício para cada um dos possíveis cenários de produção florestal. Esta análise constou da razão entre o custo de implantação florestal, que considerou apenas o custo das mudas (R\$ 0,60 por muda), e a produção florestal aos 7 anos (Equação 17). Para tanto, foram consideradas as médias de densidade iniciais de plantio de cada um dos estratos florestais determinados na análise de crescimento e produção florestal.

$$CP_i = \frac{cm * qm_i}{Prod_i} \quad (17)$$

Em que:

CP_i = razão custo pela produção para o estrato i , em R\$ m⁻³ ha⁻¹;

cm = custo unitário da muda, em R\$;

qm_i = quantidade de mudas para o estrato i ;

$Prod_i$ = estimativa da produção aos 7 anos para o estrato i , em m³ ha⁻¹.

Resultados e discussão

Verificou-se que a base florestal das regiões estudadas é constituída por 3.114 produtores, que têm em média 1,7 hectares de área florestal. Deste modo, a área total da base florestal foi estimada em cerca de 4.567,41 hectares de plantios florestais do gênero *Eucalyptus* (Tabela 5). SINDITABACO (2022) corrobora com estes resultados ao verificar que os produtores de tabaco possuem propriedades rurais de cerca de 15 ha, sendo aproximadamente 10% do uso e ocupação do solo direcionado para o cultivo de florestas plantadas para produção de lenha.

Tabela 5. Área total com plantios florestais nas regiões produtoras de tabaco Virgínia

Região	Área média dos plantios florestais (ha)	Produtores com plantios florestais	Área de florestas plantadas (ha)
PR – Paraná	1,44	1059	1.524,96
RS - Serra Herveiras	1,81	951	1.721,31
RS - Serra Sobradinho	1,17	570	666,90
RS – Depressão	2,13	564	654,24
Total	1,7	3.114	4.567,41

Os percentuais de falha para os estratos florestais analisados a partir do IFC variaram entre 7 e 29% (Tabela 6), de modo que os de densidade mais elevada apresentaram os maiores valores de falha. Em contrapartida, as densidades mais baixas resultaram em menores taxas de mortalidade. Este fator é um dos resultados da competição interespecífica por recursos do sítio, visto que com o super adensamento dos plantios há aumento da desuniformidade do crescimento e árvores suprimidas (Vera et al., 2022).

Dentre outros fatores, o que contribui para este resultado é a adoção de densidades iniciais que configuram em superadensamento, comumente praticado pelos produtores (Souza, Farias, et al.,

2023b). Tal prática combinada com a precariedade do manejo silvicultura resulta em competição interespecífica, deficiência nutricional e incidência de pragas, o que compromete a qualidade da produção florestal. (Souza et al., 2024), diagnosticaram que apesar da produção florestal familiar ser tradicionalmente praticada, em sua maioria, por décadas pelos produtores de tabaco no Sul do Brasil, é evidente que há um descompasso acerca da utilização de tecnologia e manejo silvicultural adequados. Os autores sugerem que por meio da extensão florestal seria possível obter ganhos significativos na tecnificação dessas pequenas florestas, de modo a potencializar o uso múltiplo da madeira.

Tabela 6. Arranjos de classes de densidade inicial de plantio de *E. dunnii* para as regiões estudadas

Região	Classe de densidade	Densidade inicial ¹	Densidade final ²	Percentual de falhas
Paraná	1400 a 2000	--	--	--
	2000 a 2600	2.368	1.978	16%
	superior a 2600	3.812	2.967	22%
Serra Herveiras	1400 a 2000	1.667	1.550	7%
	2000 a 2600	--	--	--
	superior a 2600	3.642	3.286	10%
Serra Sobradinho	1400 a 2000	1.495	1.228	18%
	2000 a 2600	--	--	--
	superior a 2600	3.579	2.532	29%
Área Velha	1400 a 2000	1.528	1.356	11%
	2000 a 2600	2.319	1.836	21%
	superior a 2600	4.061	3.176	22%

1: densidade inicial de plantio, 2: densidade aos 7 anos de idade.

A adequação de práticas silviculturais assertivas atrelado à mudas de boa qualidade, podem elevar o percentual de sobrevivência em futuros projetos de implantação florestal. Para isso, é indispensável que atores públicos e privados desenvolvam extensão florestal junto aos produtores de tabaco.

Análise do crescimento e produção florestal
Na Tabela 7 são apresentados os modelos ajustados para determinação do índice de sítio, com seus

respectivos parâmetros e estatísticas de ajuste. Pode-se observar que todos os modelos resultaram em ajustes consistentes, pois evidenciaram bons desempenhos para determinação da altura dominante. Nas regiões PR - Paraná e RS - Serra Sobradinho o modelo de Chapman-Richards foi ligeiramente superior aos demais. Já para as regiões RS - Serra Herveiras e RS - Depressão Central o modelo de Schumacher resultou em melhor ajuste.

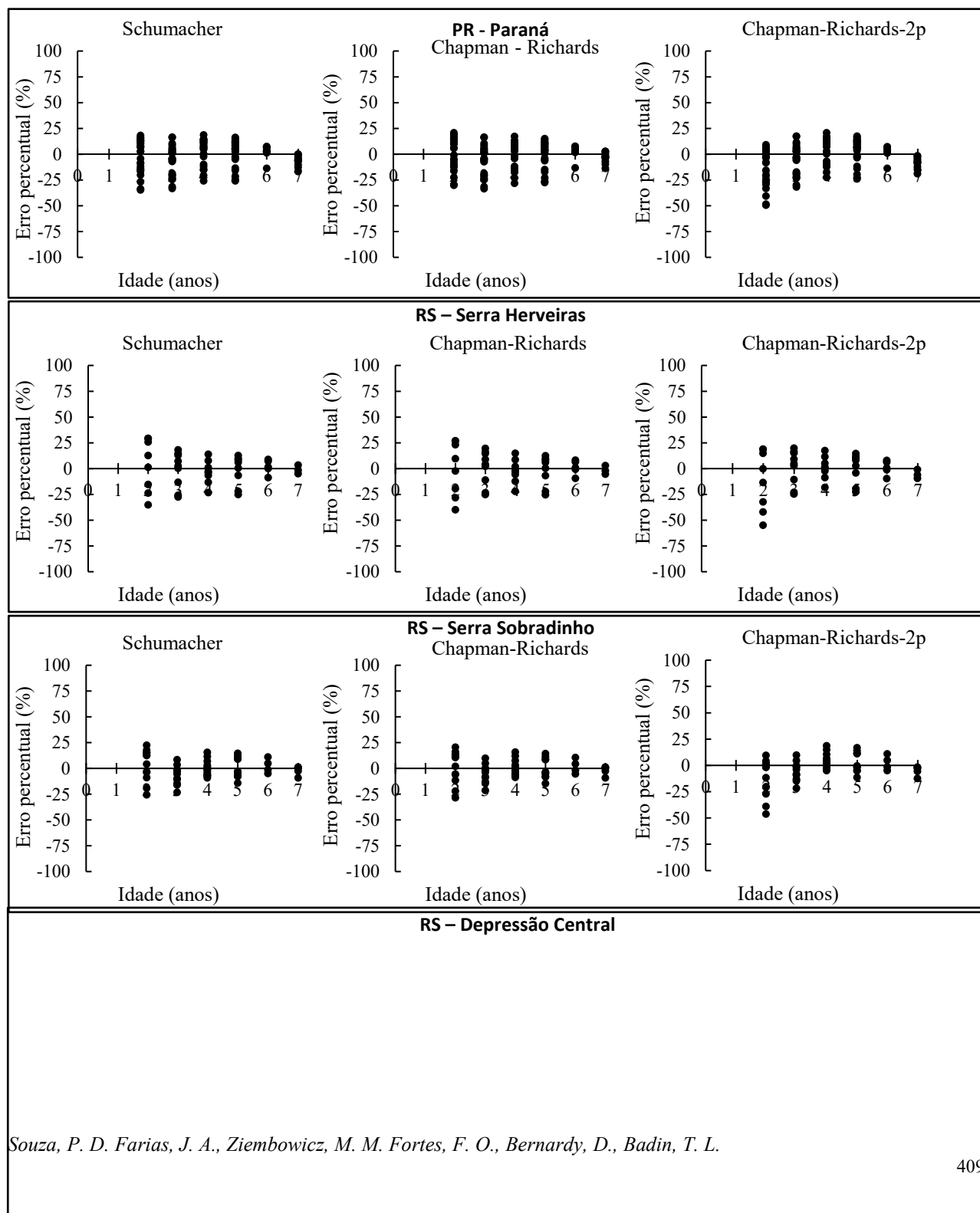
Tabela 7. Estatísticas de ajuste para as equações de determinação do índice de sítio das regiões

Região	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	AIC	BIC	S _{xy}	R ² adj	Score
PR - Paraná	Schumacher	38,61	-2,61		503,58 (1)	511,73 (2)	2,25 (2)	0,85 (2)	7
	Chapman-Richards	27,25	0,55	2,46	499,7 (2)	510,57 (1)	2,20 (1)	0,86 (1)	5
	Chapman-Richards 2 par	36,76	0,19		518,34 (3)	526,5 (3)	2,40 (3)	0,83 (3)	12
RS - Serra Herveiras	Schumacher	38,61	-2,61		197,74 (1)	202,95 (1)	2,43 (1)	0,84 (1)	4
	Chapman-Richards	27,25	0,55	2,46	199,28 (2)	206,23 (3)	2,45 (2)	0,84 (1)	8
	Chapman-Richards 2 par	36,76	0,19		200,16 (3)	205,38 (2)	2,5 (3)	0,83 (3)	11
RS - Serra Sobradinho	Schumacher	40,61	-3,08		223,75 (2)	229,98 (1)	1,56 (2)	0,93 (1)	6
	Chapman-Richards	29,99	0,39	1,96	222,96 (1)	231,27 (2)	1,54 (1)	0,93 (1)	5
	Chapman-Richards 2 par	46,94	0,12		234,48 (3)	240,72 (3)	1,71 (3)	0,92 (3)	12
RS - Depressão Central	Schumacher	40,19	-3,24		242,77 (1)	248,84 (1)	2,04 (1)	0,89 (1)	4
	Chapman-Richards	32,03	0,3	1,66	243,46 (2)	251,56 (3)	2,04 (1)	0,89 (1)	7
	Chapman-Richards 2 par	55,26	0,09		245,36 (3)	251,44 (2)	2,09 (3)	0,88 (3)	11

Souza, P. D. Farias, J. A., Ziembowicz, M. M. Fortes, F. O., Bernardy, D., Badin, T. L.

As estimativas acuradas que foram obtidas com o modelo de Chapman-Richards e Schumacher corroboram com outros trabalhos nos quais foi realizada a modelagem da altura dominante em função da idade (Aquino et al. 2021; Souza et al. 2021). Conhecido como modelo biológico, uma de das características do Chapman-Richards é de se adequar bem em séries de crescimento.

A dispersão residual resultante dos modelos ajustados para estimativa do índice de sítio é apresentada na Figura 2. É possível observar que ao analisar os resultados dos modelos testados, as tendências foram similares independentemente da região analisada. Um aspecto importante é o fato de a dispersão residual ficar mais próxima de zero a medida em que a idade se aproxima de sete anos. Isso é favorável para alcance de precisão na estimativa do índice de sítio.



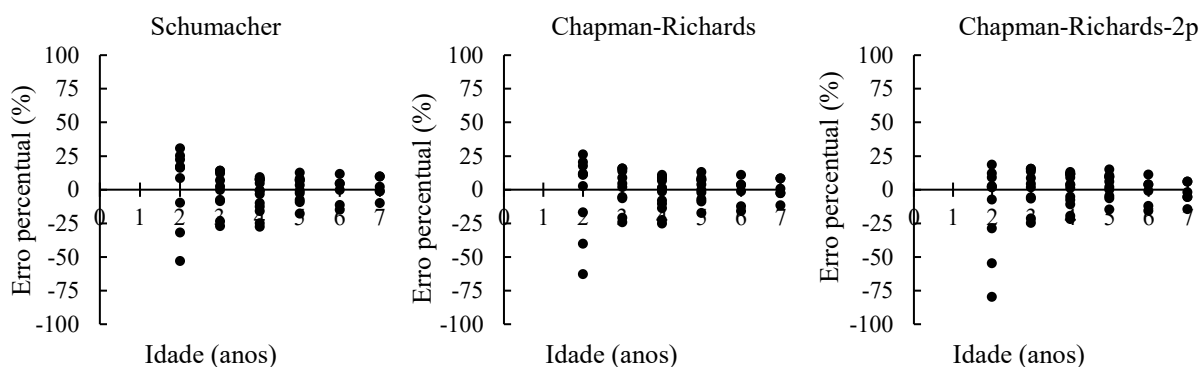


Figura 2. Dispersão residual para os modelos utilizados para estimativa de índice de sítio

Na Figura 3 é possível observar as curvas de índice de sítio referente a cada região por meio dos modelos selecionados. A partir da análise das séries de crescimento representadas observou-se que a base de dados utilizada nesta pesquisa compreendeu diferentes níveis de capacidade produtiva. A qualidade dos ajustes obtidos nesta pesquisa está coerente com os resultados de outras

pesquisas realizadas com outras espécies e locais (Miranda et al., 2021; Mora-Chacón et al., 2022; Senilliani et al., 2021). Apesar da periodicidade das medições terem sido anuais é possível notar algumas discontinuidades, que ocorreram devido a situações adversas, como por exemplo o corte da floresta.

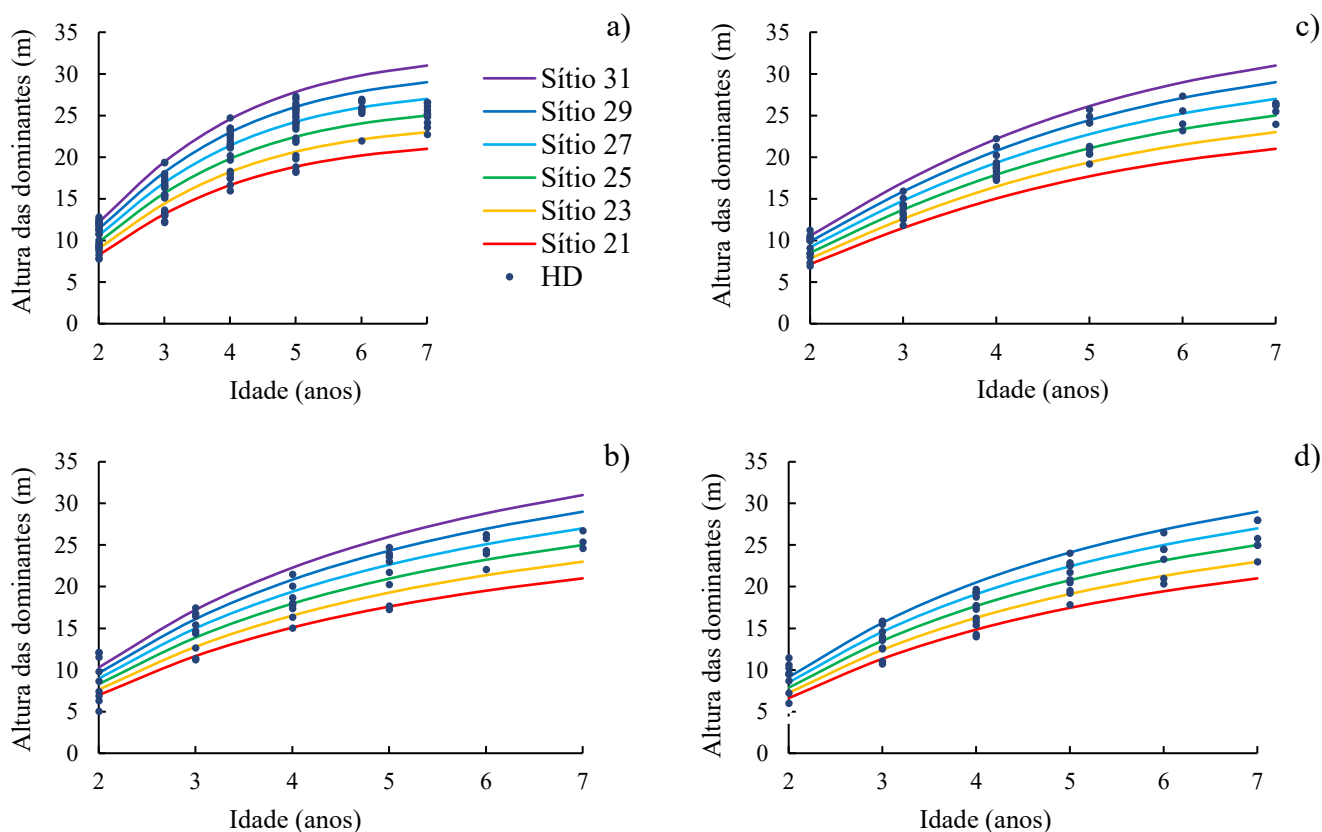


Figura 3. Curvas de índice de sítio para PR – Paraná (a), RS – Serra Herveiras (b), RS – Serra Sobradinho (c) e RS – Depressão Central (d)

HD = altura média das árvores dominantes.

Para ambos os estratos todos os modelos, exceto o Chapman-Richards 2p, resultaram em

bons ajustes para predição da área basal. Ademais, vale ressaltar que a modelagem da área basal em

Souza, P. D. Farias, J. A., Ziembowicz, M. M. Fortes, F. O., Bernardy, D., Badin, T. L.

estudos de crescimento e produção é um ponto positivo para a captação dos diferentes níveis de

produção, permitindo a obtenção de resultados em nível de densidade variável (Tabela 8).

Tabela 8. Estatísticas de ajuste do modelo para estimativa da área basal em função da altura média das árvores dominantes para cada região e classes de idade

Região	Densidade inicial de plantio	Modelo	b0	b1	b2	AIC	BIC	S _{xy}	R ² adj	Score
PR - Paraná	2000 a 2600	Schumacher	111,87	-33,79		34,79 (1)	34,62 (1)	2,24 (1)	0,95 (1)	4
		Chapman-Richards	64,78	0,07	3,73	36,57 (2)	36,36 (2)	2,46 (2)	0,94 (2)	8
		Chapman-Richards 2p	NC							
	mais de 2600	Schumacher	76,53	-24,88		409,19 (2)	416,06 (1)	3,88 (2)	0,82 (2)	7
		Chapman-Richards	101,97	0,03	1,9	407,95 (1)	417,11 (2)	3,82 (1)	0,83 (1)	5
		Chapman-Richards 2p	NC							
RS - Serra Herveiras	até 2000	Schumacher	64,97	-24,46		80,41 (1)	82,1 (1)	4,60 (1)	0,70 (1)	4
		Chapman-Richards	177,6	0,01	1,55	82,08 (2)	84,34 (2)	4,77 (2)	0,68 (2)	8
		Chapman-Richards 2p	NC							
	mais de 2600	Schumacher	99,96	-26,47		126,53 (2)	129,93 (1)	3,48 (2)	0,90 (1)	6
		Chapman-Richards	101,17	0,04	2,24	126,39 (1)	130,93 (2)	3,40 (1)	0,90 (1)	5
		Chapman-Richards 2p	NC							
RS - Serra Sobradinho	2000 a 2600	Schumacher	60,74	-24		51,97 (1)	53,42 (1)	1,80 (1)	0,95 (1)	4
		Chapman-Richards	41,07	0,07	2,69	53,32 (2)	55,25 (2)	1,85 (2)	0,95 (1)	8
		Chapman-Richards 2p	NC							
	mais de 2600	Schumacher	61,33	-17,94		294,08 (1)	299,5 (1)	6,08 (1)	0,62 (1)	4
		Chapman-Richards	47,39	0,06	2,02	296,18 (2)	303,41 (2)	6,16 (2)	0,61 (2)	8
		Chapman-Richards 2p	NC							
RS - Depressão Central	até 2000	Schumacher	88,73	-30,27		66,18 (1)	67,63 (1)	3,25 (1)	0,95 (1)	4
		Chapman-Richards	NC							
		Chapman-Richards 2p	NC							

2000 a 2600	Schumacher	60,27	-21,69		67,46 (1)	69,78 (1)	1,77 (1)	0,95 (1)	4
	Chapman-Richards	32,49	0,11	4,02	69,28 (2)	72,37 (2)	1,82 (2)	0,95 (1)	8
	Chapman-Richards 2p	NC							
mais de 2600	Schumacher	56,01	-17,77		112,93 (1)	115,92 (1)	3,7 (1)	0,76 (1)	4
	Chapman-Richards	31,72	0,12	3,59	114,9 (2)	118,88 (2)	3,8 (2)	0,74 (2)	8
	Chapman-Richards 2p	NC							

NC = não convergiu.

Na região PR - Paraná o modelo de Schumacher resultou em ajuste ligeiramente superior aos demais, para o estrato com densidade inicial entre 2000 e 2600 plantas. Na região RS - Serra Herveiras para o estrato com densidade inicial entre 1400 e 2000 plantas o modelo de Schumacher também foi superior. Já para o estrato com densidade inicial de 2000 a 2600 plantas o modelo de Chapman-Richards foi o que melhor se ajustou. Para as regiões RS - Serra Sobradinho e

RS - Depressão Central o modelo de Schumacher apresentou melhores resultados independentemente do estrato analisado.

A dispersão residual resultante do ajuste e aplicação dos modelos para estimativa da área basal pode ser observado nas Figuras 4 a 7. Os modelos apresentaram performance adequada para determinação da área basal por hectare, visto que os resíduos ficaram bem distribuídos.

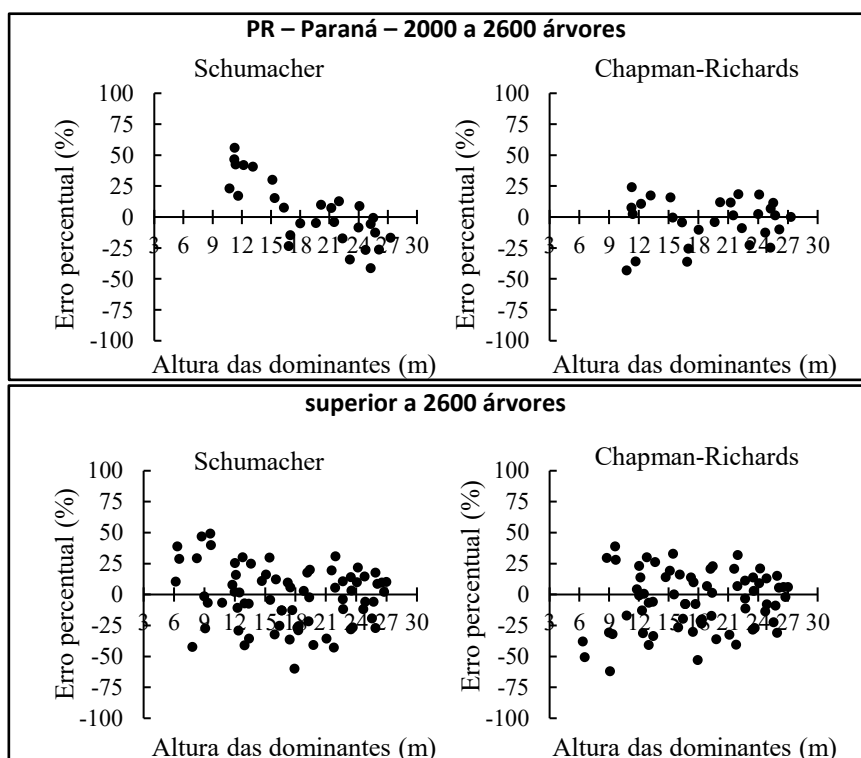


Figura 4. Dispersão residual para valores de área basal em função da altura média das árvores dominantes para a região PR - Paraná

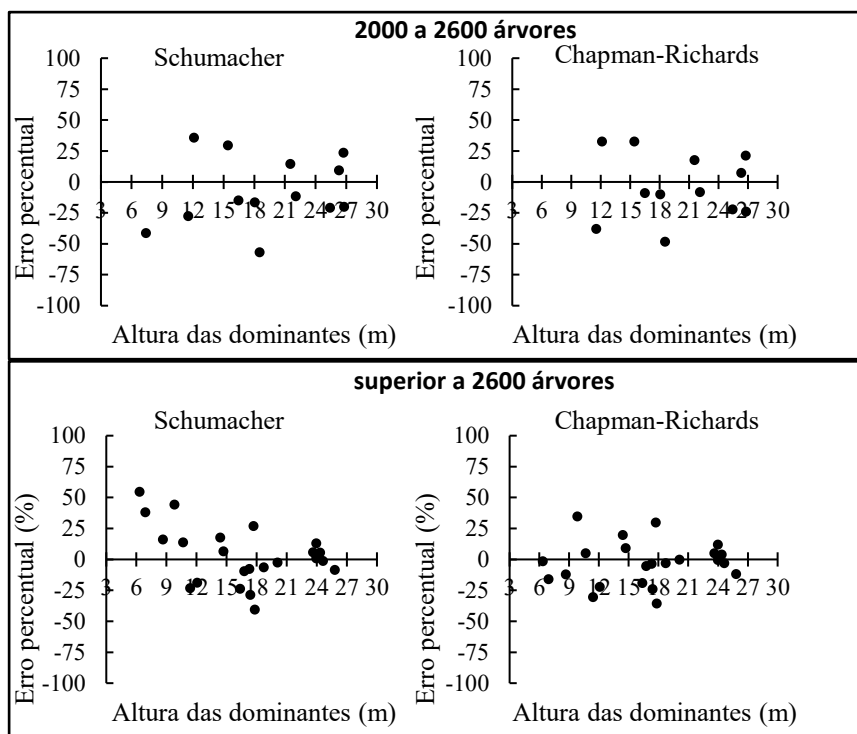


Figura 5. Dispersão residual para valores de área basal em função da altura média das árvores dominantes para a região RS – Serra Herveiras

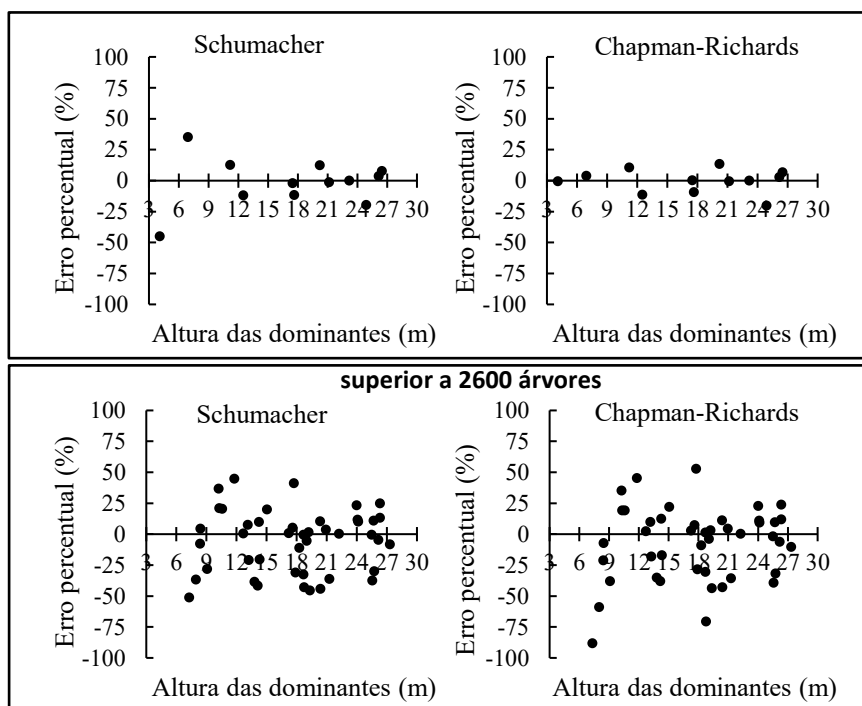


Figura 6. Dispersão residual para valores de área basal em função da altura média das árvores dominantes para a região RS – Serra Sobradinho

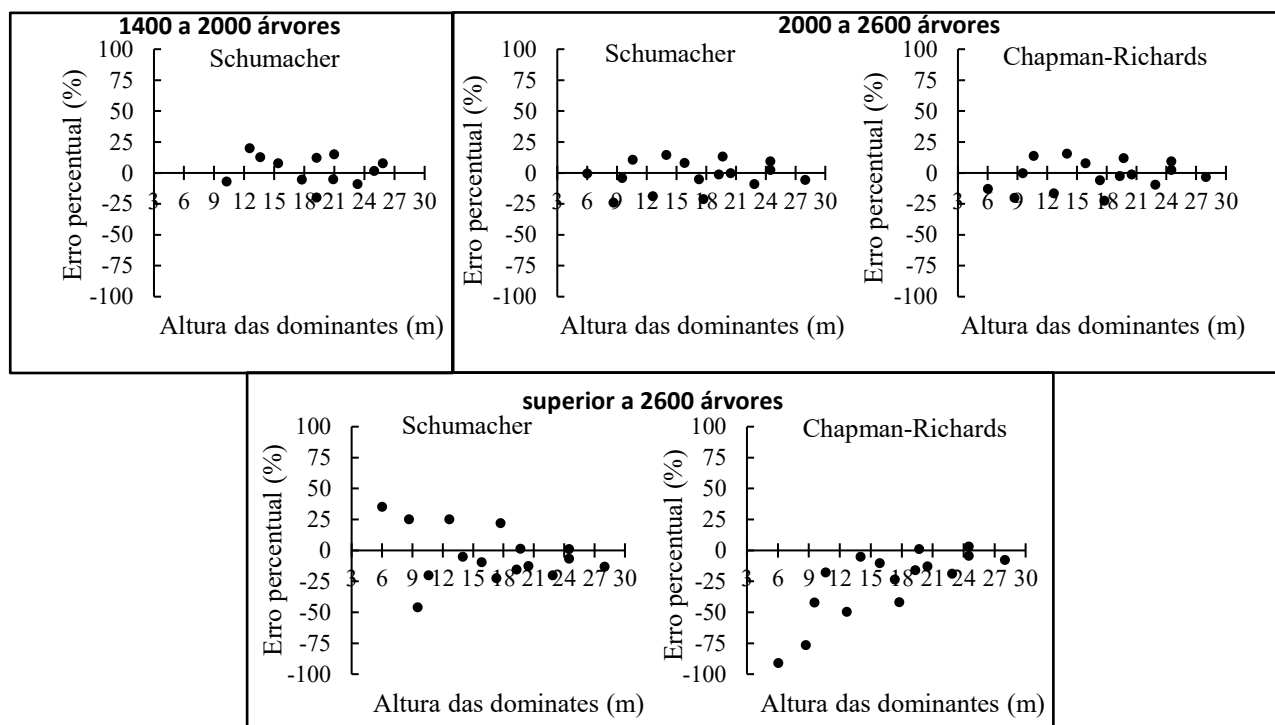


Figura 7. Dispersão residual para valores de área basal em função da altura média das árvores dominantes para a região RS – Depressão Central

Embora não tenha sido verificado tendenciosidade quanto as estimativas, observa-se que em alguns estratos de altas densidades de plantio os modelos apresentaram resíduos mais discrepantes, como por exemplo a região PR — Paraná, onde a dispersão chegou a 47% para árvores com diâmetro inferior a 10 cm. Isso certamente está relacionado à natureza dos dados, pois os estratos de alta densidade inicial de plantio são também os povoamentos mais heterogêneos e com os maiores percentuais de falha.

Foram obtidos ajustes satisfatórios para os modelos de crescimento e produção propostos. Para os estratos da região PR - Paraná o modelo de potência variável foi o que apresentou melhor performance, independentemente da classe de densidade considerada. De modo geral, a performance dos modelos potência variável e Spurr foram ligeiramente superiores, quando aplicados a dados provenientes de florestas com densidades de plantio similares à recomendação técnica da JTI (Tabela 9).

Tabela 9. Estatísticas de ajuste do modelo para estimativa do volume em função da altura média das árvores dominantes e área basal

Região	Estrato	Modelo	b_0	b_1	b_2	AIC	BIC	S_{yx}	R^2 adj	Score
Paraná	2000 a 2600	Potência variável	0,49	1,44	0,49	230,67 (1)	236,14 (1)	11,88 (1)	0,98 (2)	5
		Schumacher	559.12	-480.99		282.64 (3)	286.85 (3)	25.19 (3)	0,93 (3)	12
		Spurr		0,4		243,72 (2)	246,46 (2)	15,36 (2)	0,99 (1)	7
	mais de 2600	Potência variável	0,45	1,08	0,85	511,10 (1)	520,27 (2)	7,75 (1)	0,99 (1)	5
		Schumacher	582.66	-521.82		565.89 (3)	572.13 (3)	28.31 (3)	0,95 (3)	12
		Spurr		0,37		514,67 (2)	519,26 (1)	8,05 (2)	0,99 (1)	6

Serra Herveiras	1400 a 2000	Potência variável	0,3	1	1,09	113,83 (2)	116,09 (2)	16,16 (2)	0,98 (1)	7
		Schumacher	511.62	-412.61		197.46 (3)	200.45 (3)	30.58 (3)	0,97 (3)	12
		Spurr		0,4		110,36 (1)	111,49 (1)	15,06 (1)	0,98 (1)	4
	mais de 2600	Potência variável	0,49	1,14	0,75	175,74 (2)	180,28 (2)	9,95 (1)	0,99 (1)	6
		Schumacher	531.38	-480.11		251.25 (3)	255.25 (3)	19,82 (3)	0,97 (2)	11
		Spurr		0,37		174,94 (1)	177,21 (1)	10,17 (2)	0,99 (1)	5
Serra Sobradinho	1400 a 2000	Potência variável	0,33	1,05	1,03	69,56 (1)	71,5 (1)	3,63 (1)	0,99 (1)	4
		Schumacher	491.85	-404.72		171.07 (2)	173.91 (2)	19,7 (3)	0,97 (3)	10
		Spurr		0,42		514,67 (3)	519,26 (3)	8,05 (2)	0,99 (1)	9
	mais de 2600	Potência variável	0,33	1,05	0,98	484.0926 (2)	492.53 (2)	12,29 (2)	0,99 (1)	7
		Schumacher	549.01	-485.81		575.12 (3)	581.46 (3)	26.12 (3)	0,95 (3)	12
		Spurr		0,37		484.0128 (1)	490.3454 (1)	12,38 (1)	0,99 (1)	4
Depressão Central	1400 a 2000	Potência variável	0,37	1,26	0,79	91,95 (1)	93,89 (1)	9,23 (1)	0,99 (1)	4
		Schumacher	566.54	-457.64		114.95 (3)	116.41 (3)	24.83 (3)	0,95 (3)	12
		Spurr		0,37		94,89 (2)	95,86 (2)	11,15 (2)	0,99 (1)	7
	2000 a 2600	Potência variável	0,31	1,13	0,95	108,48 (2)	111,57 (2)	6,20 (1)	0,99 (1)	6
		Schumacher	626.37	-528.74		221.19 (3)	217.78 (3)	25.3 (3)	0,97 (2)	11
		Spurr		0,39		107,84 (1)	109,38 (1)	6,41 (2)	0,99 (1)	5
	mais de 2600	Potência variável	0,54	0,96	0,92	209.68 (2)	214.72 (2)	12.44 (3)	0,89 (2)	9
		Schumacher	437.86	-394.39		227.85 (3)	231.62 (3)	17.95 (3)	0,88 (3)	12
		Spurr	2,77	0,38		209.42 (1)	213.19 (1)	12.59 (1)	0,97 (1)	4

A dispersão residual para os valores estimados de volume para cada uma das regiões pode ser observada nas Figura 8 a 11. É possível observar que os modelos de Potência variável e Spurr foram capazes de explicar o fenômeno biológico proposto, ao contrário Schumacher, que

realizou estimativas com alto viés principalmente para os menores valores de altura média das dominantes. Portanto, as adaptações realizadas para a utilização deste modelo não foram adequadas ao propósito desta pesquisa.

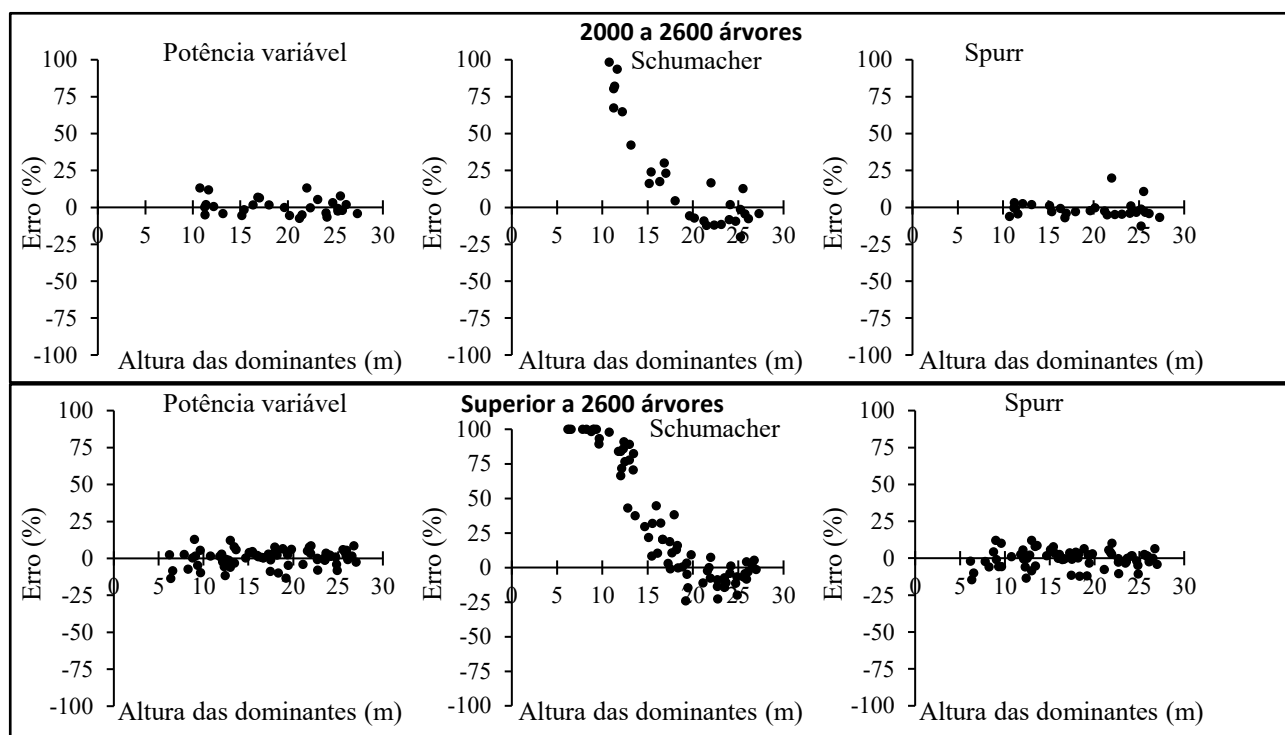


Figura 8. Dispersão residual para as estimativas volumétricas em função da área basal e altura das árvores dominantes para a região PR – Paraná

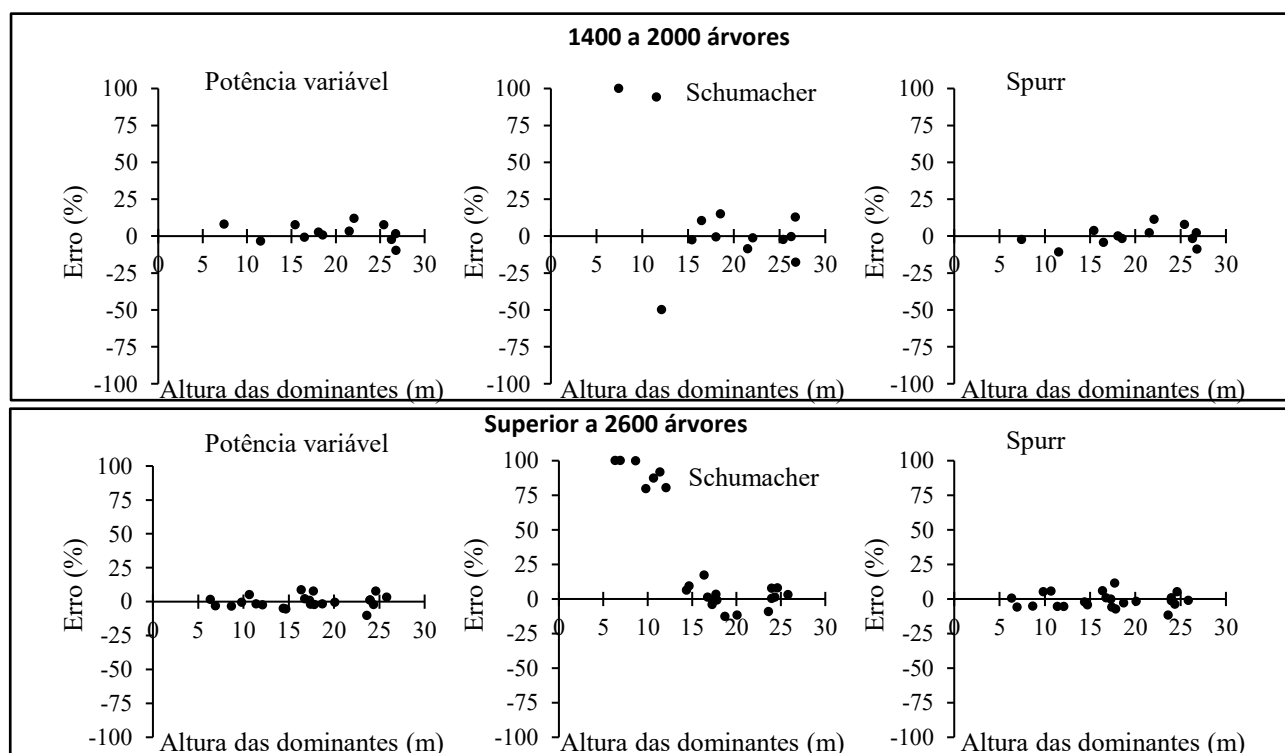


Figura 9. Dispersão residual para as estimativas volumétricas em função da área basal e altura das árvores dominantes para a região RS – Serra Herveiras

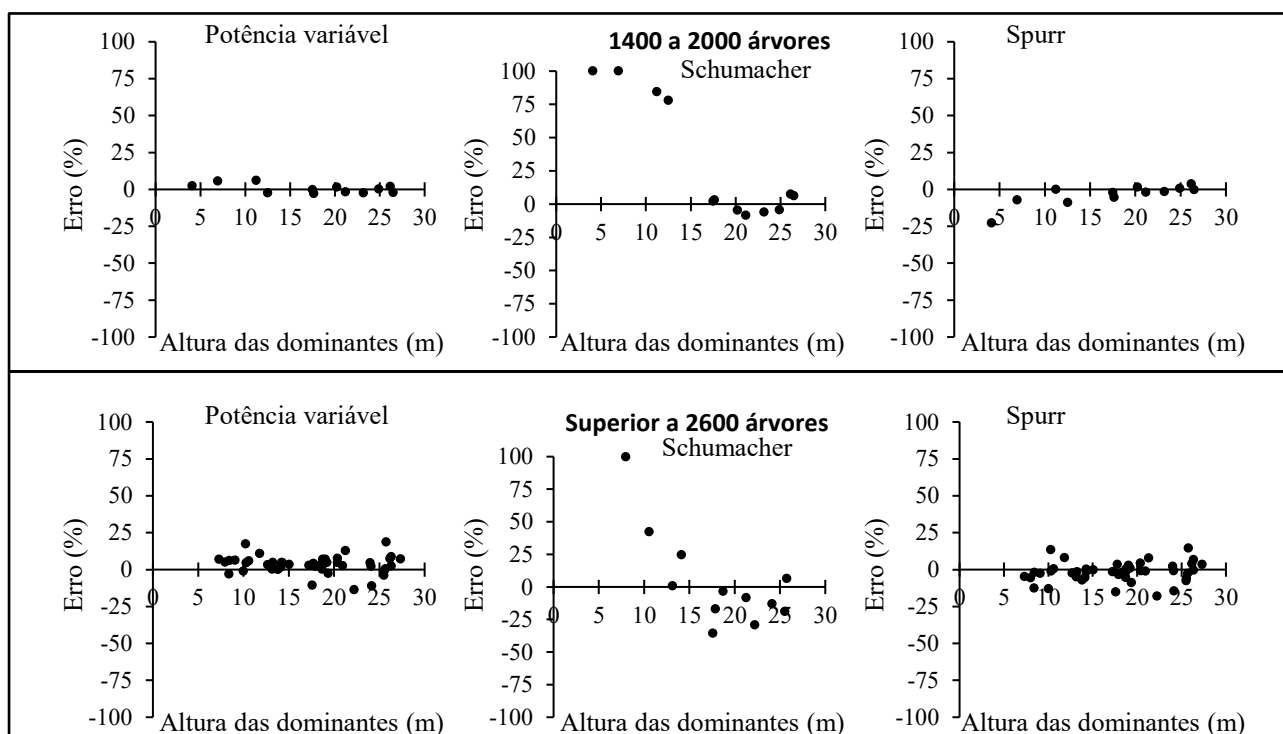
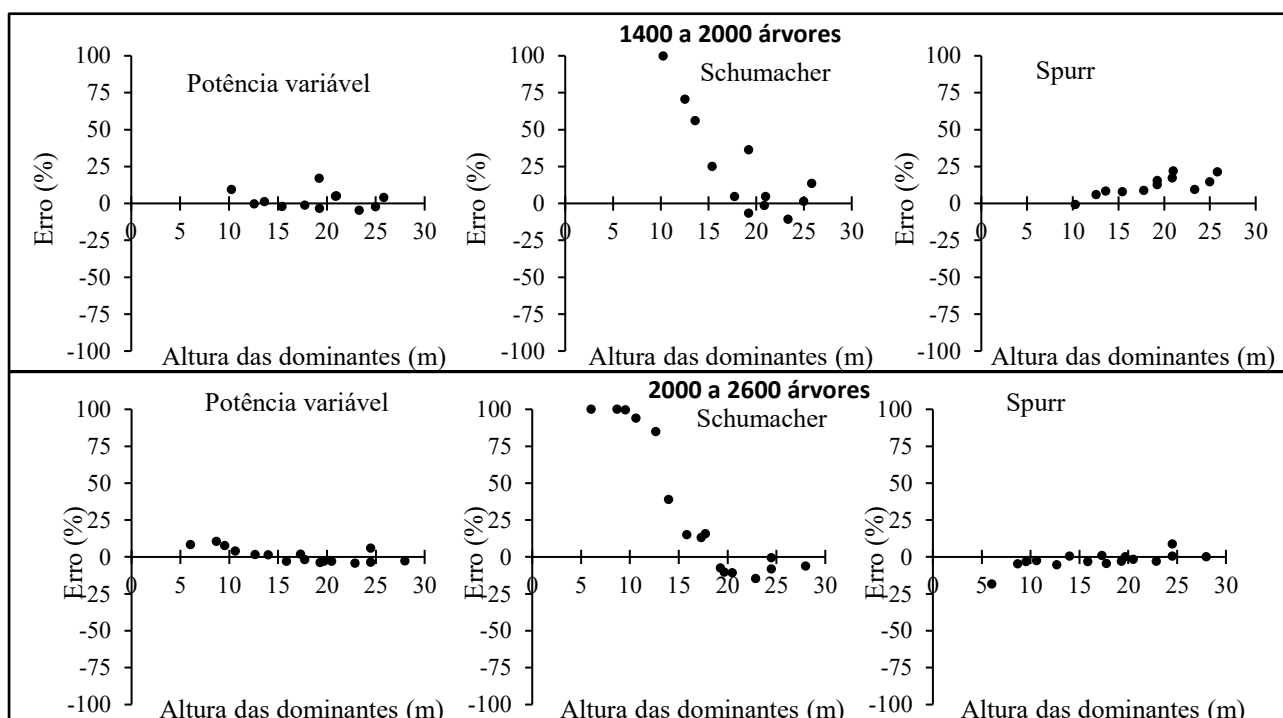


Figura 10. Dispersão residual para as estimativas volumétricas em função da área basal e altura das árvores dominantes para a região RS – Serra Sobradinho



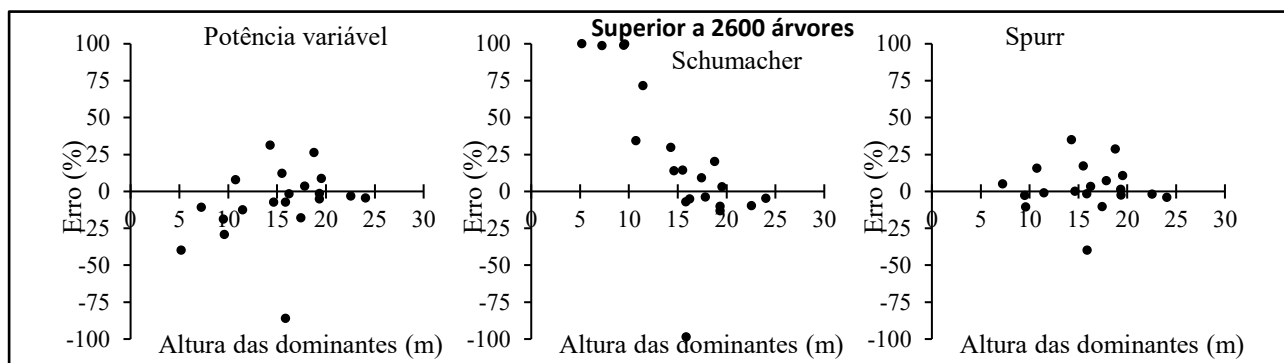


Figura 11. Dispersão residual para as estimativas volumétricas em função da área basal e altura das árvores dominantes para a região RS – Depressão Central

Construção dos cenários

A Tabela 10 apresenta a Razão custo/benefício florestal, por estrato, em função da densidade inicial de plantio e capacidade produtiva. Observou-se que altas densidades iniciais de plantio proporcionaram o aumento do custo de produção em cerca de 40%. Portanto, fica evidente que adoção de plantios superadensados, em pequenas propriedades tabacaleiras, onera o custo e não necessariamente culmina no aumento da produção florestal. Além disso, cabe ainda destacar que trabalhar com implantação de plantios

superadensados exige um maior dispêndio de mão de obra para atividades como o plantio das mudas, que na realidade em questão é realizado de forma manual. (Bonifacino et al., 2021) estimaram a produção de biomassa florestal de espécies de *Eucalyptus* em função de diferentes densidades iniciais de plantio e constataram que a capacidade produtiva do sítio florestal tem grande influência na determinação da produção florestal. Na condição experimental dos autores as maiores densidades de plantio também não foram as mais viáveis.

Tabela 10. Demonstração da razão custo benefício para a produção florestal em função de diferentes densidades iniciais de plantio

Região	Densidade inicial	Custo (R\$)	Índice de Sítio (m)	Produção ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Razão custo/benefício ($\text{R\$ m}^{-1}$)
PR - Paraná	2.368	1.421	21	190,61	7,45
			23	243,69	5,83
			25	300,56	4,73
			27	360,41	3,94
			29	422,56	3,36
			31	486,43	2,92
	3.812	2.287	21	182,30	12,55
			23	220,24	10,39
			25	259,69	8,81
			27	300,34	7,62
			29	341,95	6,69
			31	384,32	5,95
RS - Serra Herveiras	1.667	1.000	21	169,24	5,91
			23	206,90	4,83
			25	246,80	4,05
			27	288,67	3,46
			29	332,27	3,01
			31	377,41	2,65
	3.642	2.185	21	189,11	11,56
			23	229,47	9,52
			25	271,36	8,05
			27	314,43	6,95
			29	358,37	6,10
			21	169,72	5,29
	1.495	897			

RS - Serra Sobradinho	3.579	2.147	23	206,85	4,34
			25	246,01	3,65
			27	286,90	3,13
			29	329,30	2,72
			21	207,33	10,36
			23	245,36	8,75
			25	284,62	7,54
			27	324,89	6,61
			29	366,01	5,87
			21	170,44	5,38
RS - Depressão Central	1.528	917	23	214,56	4,27
			25	261,76	3,50
			27	311,54	2,94
			29	363,45	2,52
			21	176,44	7,89
			23	212,84	6,54
			25	250,80	5,55
			27	290,06	4,80
			29	330,41	4,21
			21	170,59	14,28
	4.061	2.437	23	204,39	11,92
			25	239,57	10,17
			27	275,92	8,83
			29		

Por meio da análise realizada nesta pesquisa foi possível observar que a razão custo-benefício é inversamente proporcional à densidade inicial de plantio e a capacidade produtiva da terra. Além de tenderem a ter uma maior taxa de mortalidade devido a competição entre as árvores, em plantios superadensados, o custo de produção tende a aumentar em uma proporção superior à produtividade por área.

A associação de métodos e técnicas silviculturais ao potencial produtivo de florestas de *Eucalyptus* é uma forma eficaz de realizar a predição qualitativa e quantitativa da madeira (Senilliani et al., 2021). A diferença em relação ao presente estudo pode ser justificada pela variação de fatores como: condições de solo e relevo, manejo silvicultural e capacidade produtiva da terra. Ademais vale ressaltar que a densidade de plantio tem interferência em propriedades da madeira como a densidade básica, pois que espaçamentos mais adensados tendem a promover produção de madeira de menor densidade. Isso

pode afetar a eficiência energética, visto que quanto maior a densidade melhor tende a ser o poder calorífico da madeira.

Para a realidade do contexto deste estudo esta análise demonstra que a capacidade produtiva da terra, assim como o manejo silvicultural, são determinantes para o alcance de custos de produção mais viáveis para o pequeno produtor.

Foi estimado que as quatro regiões consomem mais de 67 mil toneladas de madeira por safra (Tabela 11). Observou-se que apesar de apresentar uma produção maior que as demais, a região PR – Paraná não apresentou o maior consumo anual de lenha. Isso justifica-se pelo fato de nesta região ocorrer um nível de tecnificação do processo de cura superior às demais, em razão de existir um considerável percentual de produtores que utilizam unidades de cura do tipo ar-forçado. Estas por sua vez têm maior eficiência no processo de cura, resultando em um menor consumo de lenha por kg de tabaco curado (Pasa et al., 2021).

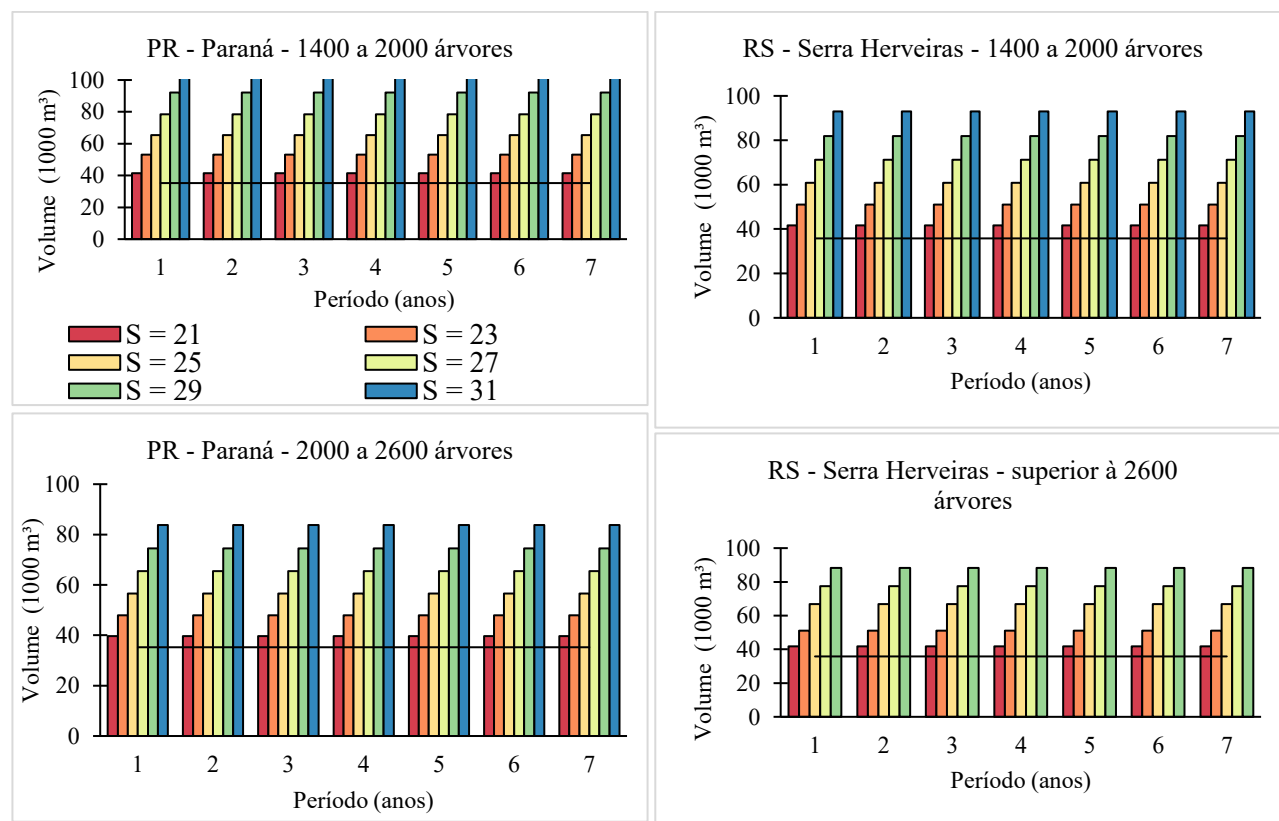
Tabela 11. Produção de tabaco e consumo de lenha anual para as regiões

Região	Consumo de lenha (kg lenha/kg tabaco)	Produção de tabaco (ton)	Consumo anual de lenha (ton)
PR - Paraná	2,06	9.600	19.734,15
RS - Serra Herveiras	3,04	6.600	20.044,88
RS - Serra Sobradinho	2,96	4.800	14.219,76
RS - Depressão Central	3,05	4.300	13.096,58

Diante desses resultados, é importante destacar que a cadeia produtiva do tabaco Virgínia demanda grande quantidade de lenha e a modernização da tecnologia empregada no processo de cura é interessante para aprimorar a eficiência energética (Souza et al. 2023).

A simulação dos cenários de produção florestal apresentados demonstra que, a partir das capacidades produtivas determinadas no estudo de crescimento e produção, a base florestal da JTI é

suficiente para suprir a demanda volumétrica do SIPTV em praticamente todas as regiões, exceto para os dois menores índices de sítio da região RS – Serra Sobradinho (Figura 12). Ao fazer uma analogia entre a demanda e estoque de lenha para a cadeia produtiva do tabaco Virgínia, porém de forma menos pontual que a apresentada nesta pesquisa, foram obtidos cenários de rendimento sustentado de madeira o setor da fumicultura no sul do Brasil (Souza, Farias, et al., 2023b).



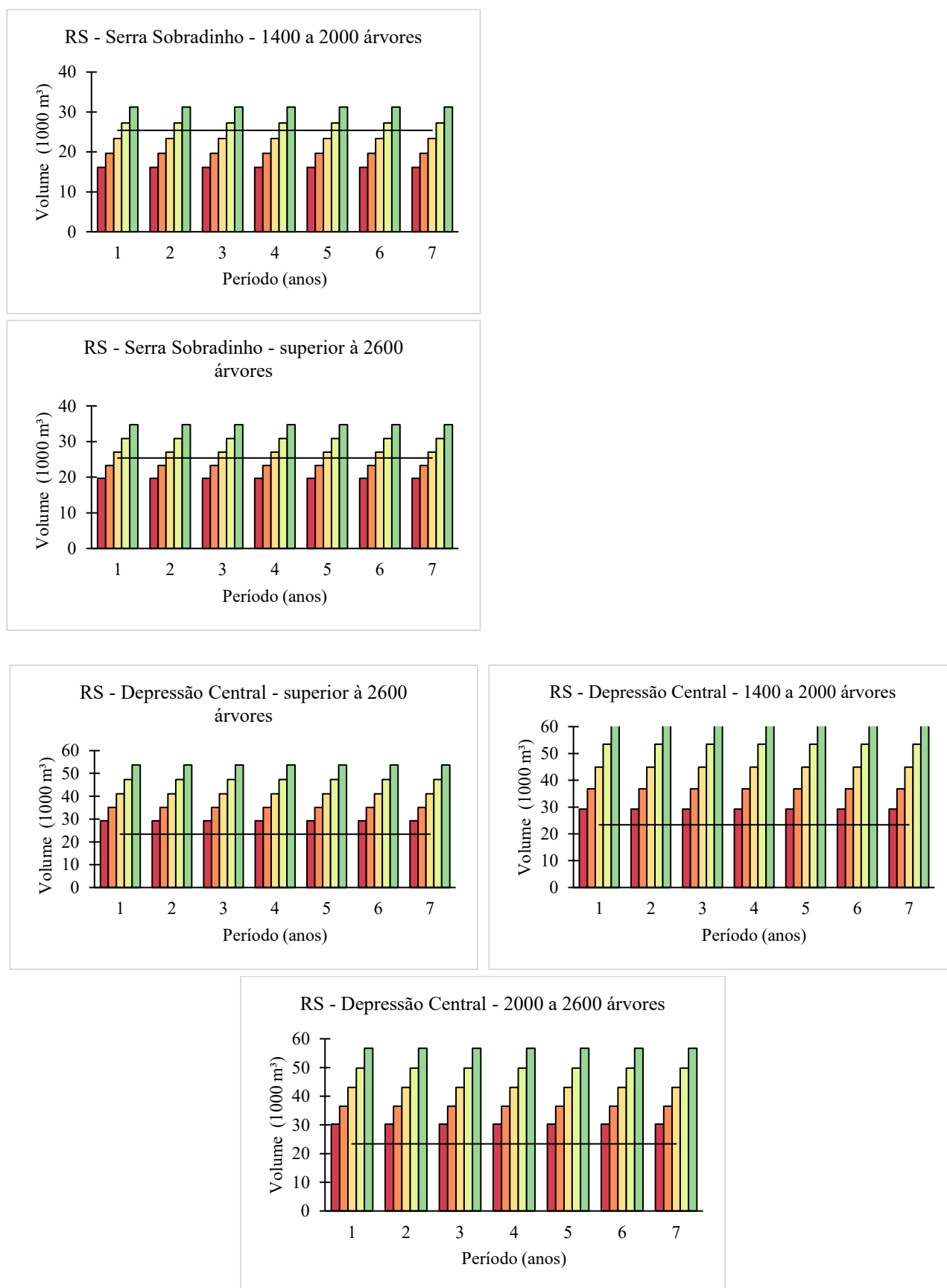


Figura 12. Simulação de cenários de produção florestal para diferentes capacidades produtivas da terra
S = Índice de Sítio

De modo geral, os resultados obtidos por meio da produtividade de plantios florestais com densidades de plantio tecnicamente recomendados foram similares aos das florestas superadensadas. Diante da diversidade de capacidades produtivas existentes nas regiões ou até mesmo dentro de uma mesma propriedade rural, pode-se afirmar, portanto, que a produção baseada em plantios florestais implantados a partir da recomendação técnica da JTI é compatível com o conceito de rendimento volumétrico sustentado. Pois, nas simulações a oferta de madeira foi suficiente para atender a demanda de lenha para o processo de cura do tabaco Virgínia.

Destaca-se que houve superávits de produção nas simulações, o que pode ser um indicativo de oportunidade de diversificação da produção agrícola e criação de novas fontes de renda para os pequenos produtores (Souza et al. 2023; Souza, Farias, et al. 2023).

Os resultados indicam que as regiões estudadas apresentam potencial de produção florestal que vão além do fornecimento de biomassa para o processo de cura do tabaco Virgínia. Em função da biomassa florestal ser um insumo necessário para o negócio no qual os pequenos produtores estão inseridos, a tradição em produzir florestas plantadas é muito presente nas propriedades rurais e são oportunidades de geração de trabalho e renda (Souza et al., 2024).

O Sul do Brasil é uma região que apresenta um volume expressivo de negócios que utilizam a biomassa florestal como matéria prima ou insumos indiretos de diversas cadeias produtivas. Neste sentido, é interessante a construção de estratégias de estudo de mercado, juntamente com a melhoria do manejo silvicultural das florestas SIPTV que proporcionem a obtenção de madeira com dimensões adequadas à outras finalidades além da lenha.

Conclusões

1. Apesar de haver garantia de rendimento sustentado volumétrico para a maioria das regiões estudadas, independentemente da densidade inicial de plantio e capacidade produtiva do sítio. Os resultados destacam que há maior viabilidade na implantação de florestas com densidades iniciais de plantio tecnicamente recomendada (1400 a 2000 e 2000 a 2600 árvores por hectare), visto que o superadensamento onera o negócio.
2. Como sugestão de trabalhos futuros pode-se realizar a validação dos modelos propostos e repetir a aplicação do método em florestas manejadas em regime de talhadia, o que comumente utilizado pelos agricultores.

Souza, P. D. Farias, J. A., Ziembowicz, M. M. Fortes, F. O., Bernardy, D., Badin, T. L.

Referências

- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Bonifacino, S., Resquín, F., Lopretti, M., Buxedas, L., Vázquez, S., González, M., Sapolinski, A., Hirigoyen, A., Doldán, J., Rachid, C., & Carrasco-Letelier, L. (2021). Bioethanol production using high density Eucalyptus crops in Uruguay. *Heliyon*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06031>
- Souza, P. D., Badin, T. L., Pasa, D. L., Ximendes, M. C., & de Farias, J. A. (2023). Analysis of Eenergy Suficiency in a Family Farming Production Chain. *Revista Arvore*, 47. <https://doi.org/10.1590/1806-9088202300000014>
- Empresa de Pesquisa e Energia. (2022). *BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL* 2022. <http://www.epe.gov.br>
- Mather-Gratton, Z. J., Larsen, S., & Bentsen, N. S. (2021). Understanding the sustainability debate on forest biomass for energy in Europe: A discourse analysis. *PLoS ONE*, 16(2 February). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246873>
- Matos, L. M. A., Magalhães, E. C., Araújo Júnior, C. A., & Arce, J. E. (2021). A critical review of operation research tools applied to forest management in brazilian journals. *Ciencia Florestal*, 31(4), 2035–2055. <https://doi.org/10.5902/1980509853248>
- Miranda, R. O. V., Filho, A. F., Costa, E. A., Fiorentin, L. D., Kohler, S. V., & Ebling, Â. A. (2021). Guide curve and equation of differences methods in site classification and their relationship in the description of height in Pinus taeda L. Stands. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, 49(131). <https://doi.org/10.18671/SCIFOR.V49N131.24>
- Mora-Chacón, F., Meza-Picado, V., Chinchilla-Mora, O., & Gutiérrez-Leitón, M. (2022). Curvas de altura dominante e índice de sitio locales para plantaciones de Samanea saman en Liberia, Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(2), 63–80. <https://doi.org/10.15359/rca.56-2.4>
- Pasa, D. L., Dessbesell, L., de Farias, J. A., & Hermes, D. (2021). Relation between Energy Efficiency and GHG Emissions in Drying Units Using Forest Biomass. *Forests*, 12(8), 1056. <https://doi.org/10.3390/fl2081056>
- Santos, C. J., Thiersch, C. R., & Moreira, M. F. B. (2018). Non-linear quantile regression for site

- classification in Eucalyptus sp stands. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, 46(120), 551–561. <https://doi.org/10.18671/scifor.v46n120.04>
- Senilliani, M. G., Brassiolo, M., & Bruno, C. (2021). Dominant height curves and site index in *Prosopis alba* plantations. *AgriScientia*, 38(2), 13–25. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v38.n2.30940>
- SINDITABACO. (2022). *Tabaco: Pioneirismo na Sustentabilidade da Cadeia Produtiva Tobacco: Supply chain a pioneer in promoting sustainability*. <https://www.sinditabaco.com.br/imprensa/press-kit-e-publicacoes/>
- Souza, P. D. de, Farias, J. A. de, Ziembowicz, M. M., & Bernardy, D. (2023a). Family forest production as a source of clean energy: a case study in family farming in southern Brazil. *Ciencia Florestal*, 33(3). <https://doi.org/10.5902/1980509871524>
- Souza, P. D. de, Farias, J. A. de, Ziembowicz, M. M., & Bernardy, D. (2023b). Produção florestal familiar como fonte de energia limpa: garantia de suficiência e sustentabilidade energética para a cura do tabaco. *Ciência Florestal*, 33(3), e71524–e71524. <https://doi.org/10.5902/1980509871524>
- Souza, P. D. de, Ziembowicz, M. M., Bernardy, D., Badin, T. L., & Farias, J. A. de. (2024). Perception of Family Farmers Regarding Family Forestry Production. *Floresta*, 54, 89572–2024. <https://doi.org/10.5380/rf.v54.89572>
- Souza, P. D., Araújo Júnior, C. A., Cabacinha, C. D., Oliveira, L. S., Lopes Junior, C. D., & Almeida, W. (2021). Performance of modeling for classification of forest sites in databases with outliers. *Nativa*, 9(1), 54–61. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.11202>
- Souza, P. D., Badin, T. L., Pasa, D. L., Ximendes, M. C., & Farias, J. A. (2023). Utilização de energia limpa em uma cadeia de valor da agricultura familiar. *Nativa*, 11(1). <https://doi.org/10.31413/nativa.v11i1.14426>
- Vera, D. E., Laura, V. A., Ferreira, A. D., & Couto, A. M. (2022). Crescimento e forma do eucalipto em função da densidade de plantio. *Ciência Florestal*, 32(1), 504–522. <https://doi.org/10.5902/1980509848402>