

COMPATIBILIDADE ENTRE O VOLUME TOTAL DO MODELO DE SPURR E FUNÇÃO DE AFILAMENTO PARA *Pinus elliottii* ENGELM

COMPATIBILITY BETWEEN THE TOTAL VOLUME OF THE SPURR MODEL AND TAPER FUNCTIONS FOR *Pinus Elliottii* ENGELM

Kauana Engel¹; Henrique Soares Koehler²; Alexandre Behling³; Rafaelo Balbinot⁴; Adriane Avelhaneda Mallmann⁵; Natally Celestino Gama⁶;

^{1,2,3,5,6}Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil - kauanaeg@gmail.com, koehler@ufpr.br, alexandre.behling@yahoo.com.br, mallmann.adriane@gmail.com, natallygama28@gmail.com

⁴Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil - rafaelo.balbinot@gmail.com

RESUMO

Este estudo avaliou a compatibilidade entre os volumes totais estimados por funções de afilamento e por modelo volumétrico tradicional para árvores de *Pinus elliottii* Engelm resinadas e não resinadas. A hipótese investigada foi que as estimativas de volume total obtidas por funções de afilamento são compatíveis com aquelas obtidas por modelo volumétrico tradicional, em ambos os grupos de árvores, quando utilizado fatores de correção. Os dados utilizados foram oriundos de plantios localizados no sul do Rio Grande do Sul, com 28 anos de idade. Foram ajustadas equações de afilamento de Schöepfer (1966) e Kozak Modificado (1969), além do modelo volumétrico de Spurr. A compatibilidade foi obtida por meio da incorporação de uma constante *c*, extraída das funções de afilamento, ao modelo de Spurr. As equações apresentaram ajustes esperados ($R^2_{aj.} > 0,92$; $Sy\% < 16\%$), e a constante *c* permitiu compatibilizar com êxito as estimativas de volume total. A diferença média absoluta entre os volumes dos modelos compatibilizados foi inferior a 0,02 m³, com erro percentual médio abaixo de 4%. Conclui-se que a compatibilidade entre os volumes totais estimados pelos modelos de Schöepfer (1966) e Spurr, assim como entre o modelo Kozak Modificado (1969) e Spurr, foi alcançada para ambos os grupos de árvores, resinadas e não resinadas.

PALAVRAS-CHAVE: Compatibilidade de modelos, Inventário florestal, Resinagem, *Pinus elliottii*

ABSTRACT

This study evaluated the compatibility between total volume estimates obtained from taper functions and a traditional volumetric model for resin-tapped and untapped *Pinus elliottii* Engelm trees. The hypothesis investigated was that the total volume estimates derived from taper functions are compatible with those obtained from a traditional volumetric model for both groups of trees, when correction factors are used. Data were collected from 28-year-old plantations located in southern Rio Grande do Sul, Brazil. Taper equations proposed by Schöepfer (1966) and Modified Kozak (1969) were fitted, along with the Spurr volumetric model. Compatibility was achieved by incorporating a constant *c*, derived from the taper functions, into the Spurr model. The equations showed good fit (adjusted $R^2 > 0.92$; $Sy\% < 16\%$), and the constant *c* allowed for successful alignment of the total volume estimates. The mean absolute difference between the volumes from the compatible models was less than 0.02 m³, with a mean percentage error below 4%. It is concluded that compatibility between total volume estimates obtained by the Schöepfer (1966) and Spurr models, as well as between the Modified Kozak (1969) and Spurr models, was achieved for both resin-tapped and untapped trees.

KEYWORDS: Model compatibility, Forest inventory, Resin tapping, *Pinus elliottii*

INTRODUÇÃO

A espécie *Pinus elliottii* Engelm é uma das principais espécies exóticas cultivadas no Brasil, destacando-se no setor florestal por sua versatilidade e elevada relevância econômica (GEORGIN, 2014). Sua ampla adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e o rápido crescimento tornam essa espécie altamente atrativa para plantios comerciais (LAZAROTTO, 2020; SILVA et. al, 2023). A madeira de *P. elliottii* é amplamente empregada em diversos segmentos da cadeia produtiva, abrangendo desde produtos de menor valor agregado, como lenha e cavaco, até produtos de maior valor comercial, como madeira serrada, laminados, polpa e papel (MACOHON et. al, 2021).

Para além do seu valor econômico, *Pinus elliottii* também é reconhecida como a principal fonte de resina entre as coníferas cultivadas no país. A resina, composta por uma complexa mistura de substâncias químicas, é produzida naturalmente por células resinosas, e possui grande importância industrial, com aplicações em diversos setores (MAGNUSZEWSKI & TOMUSIAK, 2013).

Diante dessa multiplicidade de usos, especialmente no contexto do manejo florestal, torna-se essencial a estimativa precisa do volume de madeira disponível, considerando os diferentes sortimentos ao longo do fuste (COSTA et. al, 2016; COELHO et.al, 2023). Para isso, uma das principais ferramentas empregadas são as funções de afilamento, que permitem descrever matematicamente o perfil do tronco e, conseqüentemente, calcular os volumes parciais e totais com maior precisão (KÖHLER et al., 2013).

Embora as funções de afilamento sejam amplamente utilizadas na modelagem de povoamentos florestais, ainda são escassos os estudos que investigam sua aplicação em árvores submetidas à resinagem (ENGEL et al., 2023; LIMA et al., 2021). Mais especificamente, há uma lacuna relevante no que se refere à compatibilidade entre os volumes totais estimados por modelos volumétricos tradicionais e aqueles obtidos por meio de funções de afilamento, tanto em árvores resinadas quanto não resinadas.

Essa inconsistência, quando extrapolada para grandes áreas de plantio, pode gerar impactos importantes nos resultados dos inventários florestais e nas projeções econômicas derivadas desses dados (BEHLING et al., 2021). Sob os pontos de vista biológico e matemático, os volumes estimados por essas abordagens deveriam ser equivalentes, visto que se referem aos mesmos indivíduos.

Apesar da relevância desse tema, estudos recentes com essa abordagem ainda são poucos no Brasil. Neste sentido,

alguns estudos que tratam dessa temática foram os de Behling et al. (2021) para *Acacia mearnsii* no Brasil, Zhao et al. (2019) para *Pinus elliottii* nos Estados Unidos, Zheng et al. (2017) para *Quercus variabilis* na China, e Krisnawati (2016) para *Acacia mangium* na Indonésia.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a compatibilidade entre os volumes totais estimados por funções de afilamento e por uma função volumétrica. Assim, a hipótese deste estudo é que as estimativas de volume total obtidas por funções de afilamento são compatíveis com aquelas obtidas por modelo volumétrico tradicional, tanto para árvores resinadas quanto para árvores não resinadas de *Pinus elliottii* Engelm, quando utilizados fatores de correção.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo e coleta de dados

Os dados do presente trabalho foram oriundos de plantios de *P. elliottii*, estabelecidos em 1980, localizados em Santa Vitória do Palmar entre as coordenadas 33°5'1"S; 52°40'13"O e 31°50'32"S; 52°29'30"O no extremo sul do Rio Grande do Sul, os quais fazem parte da base de estudos de campo do Projeto Fazenda Modelo FLOPAL. O clima da região é "Cfa" Clima subtropical úmido, oceânico e com verões quentes, precipitação anual entre 1.300 mm e 1.600 mm e temperatura média anual de 16° C e 18° C, com mínima de $\geq -3^{\circ}$ C e máxima de $\geq 22^{\circ}$ C (ALVARES et al., 2013). Os solos são Neossolos Quartzarênicos, formados por depósitos arenosos e apresentam textura areia ou areia franca ao longo de, pelo menos, dois metros de profundidade, com quantidade de argila menor que 15% (EMBRAPA, 2013).

Para este trabalho foram selecionadas duas áreas de plantio, sendo uma com árvores submetidas a resinagem (RE) e outra onde as árvores não foram resinadas (NR) (áreas de 53,5 ha e 44,4 ha, respectivamente). Ambas estavam com 28 anos de idade e com o mesmo espaçamento inicial de plantio (2,0 x 2,5 m). Durante estes 28 anos não foram aplicados tratamentos silviculturais e a única diferença na condução do plantio entre as duas áreas foi a extração de resina por 10 anos na área RE. O método utilizado foi o aberto com estrias em V cortadas a cada 15 a 18 dias com 2 cm de largura e aproximadamente 12 cm de comprimento. Este sistema é aplicado em duas faces do tronco até a altura de aproximadamente 2,5 a 2,8 metros.

Os dados provêm de inventário florestal sistemático (grid 250 x 250 m), com parcelas circulares de 400 m², realizados para cada área de plantio. Na área RE foram

amostradas 26 parcelas e na área NR foram 32 parcelas. Posteriormente foram cubadas seis árvores por classe diamétrica em cada área de plantio. Na área RE a cubagem foi realizada nas seis classes de maior frequência, totalizando 36 árvores. E na área NR considerou-se as nove classes de maior frequência, totalizando 54 árvores. Para os ajustes, foram utilizadas 30 e 45 árvores, para a área RE e NR, respectivamente, reservando uma árvore por classe diamétrica para a validação dos dados.

O método de cubagem empregado foi o de Smalian, com a mensuração dos diâmetros com casca das secções iniciando-se na base 0,10 m, 0,7 m, e 1,30 m e, posteriormente, o fuste foi seccionado a cada dois metros. A altura total (h) e comprimento das secções (hi) foram mensurados com uma fita métrica e o diâmetro a 1,30 m solo (dap) e diâmetros de cada secção (di) com o auxílio de uma suta. Na tabela 1 estão apresentadas as estatísticas descritivas (média, desvio padrão, coeficiente de variação, valores máximos e mínimos) das variáveis dap, h e fator de forma artificial (f1.3) das árvores resinadas e não resinadas cubadas.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis dendrométricas das árvores resinadas e não resinadas, localizadas no sul do Rio Grande do Sul, Brasil.

Estatísticas	Árvores resinadas (RE)			Árvores não resinadas (NR)		
	dap (cm)	h (m)	f _{1.3}	dap (cm)	h (m)	f _{1.3}
Média	27,68	20,82	0,50	32,86	22,77	0,43
Desvio padrão	7,84	1,97	0,06	11,09	2,84	0,04
CV (%)	28,32	9,47	11,02	33,76	12,50	8,84
Mínimo	15,60	18,30	0,42	15,44	15,70	0,37
Máximo	42,18	24,90	0,63	50,29	27,50	0,53

Estimativa do volume total e do afilamento

Para estimar os diâmetros, o modelo de afilamento de Schöepfer (1966) foi ajustado por grupo de uso das árvores, sendo: resinadas (RE) e não resinadas (NR). E posteriormente, realizou-se o ajuste para o conjunto de dados totais (RE + NR). As estimativas de volume total foram obtidas pela integral do modelo para demonstrar a compatibilidade de volumes.

- Schöepfer (1966)

$$\frac{di}{dap} = B_0 + B_1 \left(\frac{hi}{h}\right) + B_2 \left(\frac{hi}{h}\right)^2 + B_3 \left(\frac{hi}{h}\right)^3 + B_4 \left(\frac{hi}{h}\right)^4 + B_5 \left(\frac{hi}{h}\right)^5$$

- Integral do volume

$$= \left(\frac{\pi}{40000}\right) dap^2 \left(\frac{1}{11} \frac{B_5^2 hi^{11}}{h^{10}} + \frac{1}{5} \frac{B_4 B_5 hi^{10}}{h^9} + \frac{1}{9} \left(\frac{2B_5 B_3}{h^8} + \frac{B_4^2}{h^8} \right) hi^9 + \frac{1}{8} \left(\frac{2B_3 B_4}{h^7} + \frac{2B_5 B_2}{h^7} \right) hi^8 + \frac{1}{7} \left(\frac{2B_2 B_4}{h^6} + \frac{2B_5 B_1}{h^6} + \frac{B_3^2}{h^6} \right) hi^7 + \frac{1}{6} \left(\frac{2B_1 B_4}{h^5} + \frac{2B_3 B_2}{h^5} + \frac{2B_5 B_0}{h^5} \right) hi^6 + \frac{1}{5} \left(\frac{B_2^2}{h^4} + \frac{2B_4 B_0}{h^4} + \frac{2B_1 B_3}{h^4} \right) hi^5 + \frac{1}{4} \left(\frac{2B_3 B_0}{h^3} + \frac{2B_1 B_2}{h^3} \right) hi^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{B_1^2}{h^2} + \frac{2B_2 B_0}{h^2} \right) hi^3 + \frac{B_0 B_1 hi^2}{h} + B_0^2 hi \right)$$

O modelo volumétrico utilizado foi o de Spurr:

$$y = b_0 + b_1 dap^2 h \text{ e o modelo de afilamento.}$$

- Kozak et al. (1969) modificado

$$\left(\frac{di}{dap}\right)^2 = B_1 \left(\frac{hi}{h} - 1\right) + B_2 \left(\left(\frac{hi}{h}\right)^2 - 1\right)$$

- Integral volume

$$v = \left(\frac{\pi}{40000}\right) dap^2 \left(di \left(\frac{hi}{ht}\right)^2 - hi \right) + \left(di \left(\frac{hi^3}{3ht^2}\right) - hi \right)$$

Compatibilidade das estimativas de volume total

O método consiste na substituição dos coeficientes do modelo de Spurr pela constante c, conforme Behling et al. (2021), calculada a partir da seguinte fórmula:

$$c \frac{\pi}{4} = \frac{\hat{v}FA_i}{(dap^2 h)_i}$$

Em que: $\hat{v}FA_i$ = volume total da árvore obtido com a função de afilamento em metros cúbicos; dap = diâmetro a 1,30 do solo em metros; h = altura total em metros.

Posteriormente realizou-se a substituição dos coeficientes do modelo volumétrico tradicional pelo valor

de c , o que gerou uma nova expressão do modelo de Spurr, que foi empregado para estimativa do volume total:

$$\widehat{vS}_i = c (dap^2 h)$$

Em que: $\widehat{vS}_i$ = volume total; c = constante calculada; dap = diâmetro a 1,30 do solo; h = altura total.

A metodologia ainda permite que a forma média da árvore extraída da função de afilamento seja obtida pela seguinte expressão:

$$\overline{ff} = c * \frac{4}{\pi}$$

Em que: $\overline{ff}$ = fator de forma considerado pela equação de afilamento; c = constante calculada.

Para verificar se as equações foram compatíveis, avaliou-se a incompatibilidade das estimativas de volume total demonstrada graficamente por meio da diferença dos volumes em unidades absolutas (IVT) e em porcentagem (IRVT):

$$IVT = \widehat{vFA}_i - \widehat{vS}_i \quad \text{e} \quad IRVT = \frac{IVT}{\widehat{vFA}_i} * 100$$

Em que: $\widehat{vFA}_i$ = volume total da árvore obtido com a função de afilamento; $\widehat{vS}_i$ = volume total obtido com a nova expressão no modelo de Spurr.

Para que a condição de compatibilidade das estimativas fosse alcançada o valor de IVT e IRVT deveria ser igual à zero.

Validação

Para validação dos resultados foram separados 20% do conjunto total dos dados, totalizando 15 árvores, correspondendo a uma árvore de cada classe diamétrica de cada grupo das árvores. Para as equações de afilamento estimadas foi avaliado a qualidade do ajuste a partir do erro médio relativo. E para a compatibilidade de volumes totais estimados avaliou-se o valor de IVT e IRVT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de afilamento utilizados apresentaram ajustes considerados satisfatórios em estudos de modelagem florestal (SILVA *et al.*, 2018). Em ambos os grupos de árvores, o R^2 aj foi superior a 0,96 e o Syx% inferior a 12,14% (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes e estatísticas de ajuste dos modelos de afilamento testadas para estimar os diâmetros (di) ao longo fuste para o grupo das árvores resinadas e não resinadas localizadas no sul do Rio Grande do Sul, Brasil.

MODELO	RESINADAS (RE)			
	Coeficientes		R ² aj.	Syx (%)
Kozak et al. (1969)	b_1	-2,5302	0,96	12,14
	b_2	1,1177		
Schöepfer (1966)	b_0	1,2845	0,97	10,04
	b_1	-4,2553		
	b_2	17,6296		
	b_3	-37,8547		
	b_4	36,3650		
	b_5	-13,1788		
NÃO RESINADAS (NR)				
Kozak et al. (1969)	b_1	-2,0134	0,98	9,50
	b_2	0,84208		
Schöepfer (1966)	b_0	1,1464	0,98	8,22
	b_1	-3,1047		
	b_2	12,3999		
	b_3	-27,2190		
	b_4	26,3988		
	b_5	-9,6249		
GERAL				
Kozak et al. (1969)	b_1	-2,2167	0,97	11,52
	b_2	0,9516		
Schöepfer (1966)	b_0	1,1998	0,97	10,24
	b_1	-3,5373		
	b_2	14,3083		
	b_3	-31,0164		
	b_4	29,9064		
	b_5	10,8665		

R² aj.: Coeficiente de Determinação Ajustado; Syx: Erro padrão da estimativa percentual.

O modelo de Schöepfer (1966) apresentou o melhor desempenho, com erros padrões de 10,04% para árvores resinadas e 8,22% para as não resinadas. Essa diferença sugere maior variabilidade na forma do fuste nas árvores submetidas à resinagem, possivelmente causada por alterações estruturais decorrentes da extração de resina. A boa performance dos modelos indica que são adequados para estimativas precisas dos diâmetros ao longo do fuste, etapa fundamental para o cálculo de volume por integração.

Estimativa do volume total

Na estimativa do volume total, todos os modelos

avaliados (Schöepfer, Kozak modificado e Spurr) apresentaram desempenhos semelhantes, com R^2 aj. acima de 0,92 e Syx% inferiores a 16% (Tabela 3).

Tabela 3. Estatísticas de ajuste das estimativas de volume total das árvores resinadas, não resinadas e dados totais, localizadas no sul do Rio Grande do Sul, Brasil.

MODELO	RESINADAS (RE)		NÃO RESINADAS (NR)		TOTAL	
	R^2 aj.	Syx (%)	R^2 aj.	Syx (%)	R^2 aj.	Syx (%)
Kozak et al. (1969)	0,94	15,53	0,96	11,54	0,92	20,04
Schöepfer (1966)	0,94	15,63	0,96	11,27	0,93	15,69
Spurr	0,93	15,86	0,96	11,33	0,93	15,80
	$y = -10,796 + 1,068dap^2h$		$y = -10,486 + 1,020dap^2h$		$y = -10,313 + 1,008dap^2h$	

R^2 aj.: Coeficiente de Determinação Ajustado; Syx Erro padrão da estimativa percentual.

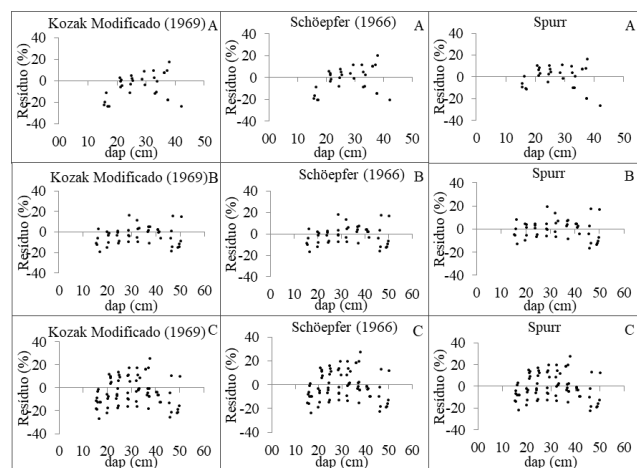


Figura 1. Dispersão dos resíduos em função do dap para a equação de afilamento de Kozak modificado (1969); de Schöepfer (1966) e Spurr testadas na estimativa de diâmetros (di) ao longo do fuste das árvores resinadas (A), não resinadas (B) e para o total (C), localizadas no sul do Rio Grande do Sul, Brasil.

Compatibilidade das estimativas de volume

A constante c , calculada com base no volume estimado pelo modelo de Schöepfer (1966), foi de 0,3974 para árvores resinadas e 0,3422 para árvores não resinadas (Figura 2). Valores semelhantes foram obtidos com o modelo de Kozak Modificado (1969), resultando em 0,4084 e 0,3498 para os respectivos grupos. Esses resultados indicam consistência na forma média do fuste estimada por ambos os modelos. O volume total, compatível com o volume estimado pela função de afilamento, foi obtido pelas expressões presentes na Tabela 4.

Tabela 4. Equações e estatísticas de ajuste do volume total compatível gerado pela nova expressão de Spurr para as árvores resinadas e não resinadas, localizadas no sul do Rio Grande do Sul, Brasil.

Modelo	Grupo	Equação	Dif. (%)	R^2	Syx (%)	$\bar{f}\bar{f}$
Kozak Modificado (1969)	RE	$\hat{v} = 0,4083999 (dap^2h)$	14,36	0,936	15,53	0,52
	NR	$\hat{v} = 0,3497842 (dap^2h)$		0,960	11,54	0,45
Schöepfer (1966)	RE	$\hat{v} = 0,3974176 (dap^2h)$	13,90	0,936	15,63	0,51
	NR	$\hat{v} = 0,3421972 (dap^2h)$		0,964	11,00	0,44

Dif. (%): Diferença percentual entre os coeficientes de cada grupo; R^2 aj.: Coeficiente de determinação recalculado Ajustado; Syx: Erro padrão da estimativa percentual; $\bar{f}\bar{f}$: fator de forma médio extraído da equação estimada pelo modelo de Schöepfer (1966).

Entre os modelos de afilamento, as constantes obtidas para o mesmo grupo foram semelhantes, indicando que os fatores de forma médios usados para estimar o volume total (Tabela 4) apresentaram valores próximos. Isso se reflete nas estatísticas de ajuste semelhantes para cada modelo (Tabela 4). Behling (2020) encontrou constantes de 0,3983 com o modelo de Kozak (1969) e 0,3974 com o polinômio de 5º grau para Acácia negra, em idades de 5 a 10,75 anos.

A diferença entre os valores obtidos por Behling et al. (2020) e os encontrados no presente estudo para o *P. Elliottii*, tanto resinado quanto não resinado (Tabela 4), deve às diferenças na forma dos fustes das árvores, que são influenciadas pela espécie, idade e manejo adotado. As árvores de *P. Elliottii* analisadas tinham 28 anos, sem espaçamento regular e sem aplicação de tratamentos silviculturais.

As equações específicas para cada grupo representam a diferença média percentual entre as constantes calculadas para cada grupo de árvore (Tabela 4).

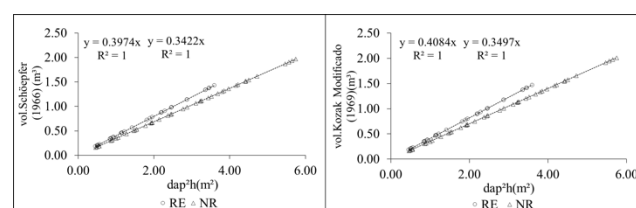


Figura 2. Valores observados de diâmetro ao longo do fuste e volume do fuste utilizando o modelo de Schöepfer (1966) e Kozak Modificado (1969) ajustados para árvores resinadas (RE) e não resinadas (NR), localizadas no sul do Rio Grande do Sul.

Além da diferença média observada entre resinadas e não resinadas, representada pelas regressões (Figura 2). A condição de $\hat{v}FA_i - \hat{v}S_i = 0$ foi atendida para as árvores resinadas e não resinadas ao utilizar a nova expressão do

modelo de Spurr, caracterizada pela inclusão das constantes calculadas (Figura 3B). Ou seja, os volumes totais estimados pelos modelos de afilamento de Schöepfer (1966) e Spurr tornaram-se idênticos (Figura 3A), da mesma forma que os volumes estimados pelos modelos de afilamento de Kozak et al. Modificado (1969) e Spurr (Figura 3B).

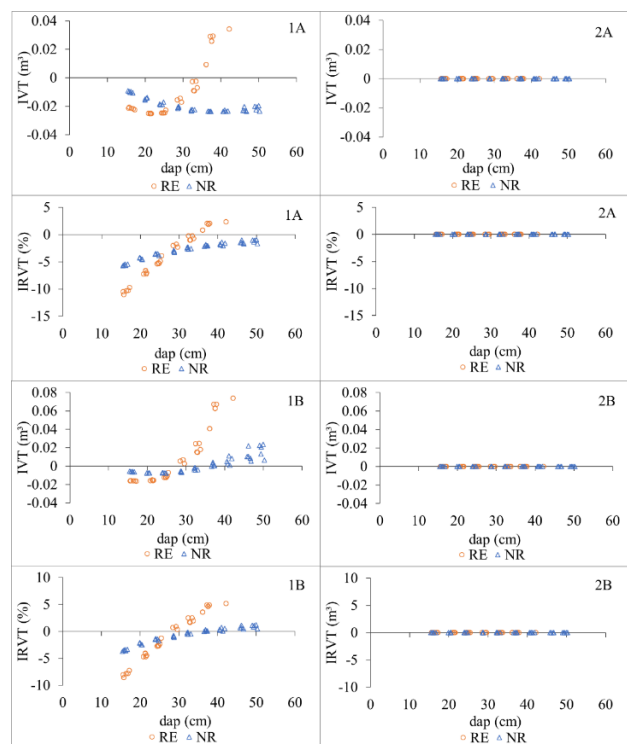


Figura 3. Incompatibilidade absoluta (IVT) e relativa (IVRT) das estimativas de volume total geradas com a equação de Spurr e os modelos de afilamento de Kozak (1969) (A) e Schöepfer (1966) (B) pelo método tradicional de ajuste (1) e com o emprego da nova expressão da equação de Spurr (2).

Para as árvores resinadas em termos absolutos a média da incompatibilidade entre os volumes estimados por Spurr e o Modelo de Kozak (1969) foi de $-0,009 \text{ m}^3$ e a média percentual foi de $-3,63\%$. Entre os volumes estimados por Spurr e Polinômio do 5º grau foi de $0,011 \text{ m}^3$ e a média em percentual foi de $-0,97\%$.

Para as árvores não resinadas em termos absolutos a média da incompatibilidade entre os volumes estimados por Spurr e Modelo de Kozak (1969) foi de $-0,020 \text{ m}^3$ e a média percentual foi de $-2,85\%$. Entre os volumes estimados por Spurr e Polinômio do 5º grau foi de $0,001 \text{ m}^3$ e a média em percentual foi de $-0,71\%$.

Validação

As expressões do modelo de Spurr, ajustadas com as constantes “c” calculadas, foram aplicadas aos dados de validação de cada grupo de árvores (Tabela 4). Os volumes totais estimados apresentaram comportamento semelhante ao observado no ajuste inicial (Figura 2), evidenciando a consistência das equações ajustadas.

Na Figura 4A está demonstrada a incompatibilidade entre os volumes totais estimados pelos modelos de Spurr e Polinômio de 5º grau, além da nova expressão proposta para árvores resinadas e não resinadas. Para árvores resinadas, o erro médio percentual foi de $-0,32\%$ ao comparar a nova expressão com o modelo polinomial, e de $-0,09\%$ em relação ao modelo de Spurr. Para árvores não resinadas, os erros médios percentuais foram de $-2,85\%$ e $0,001\%$, respectivamente.

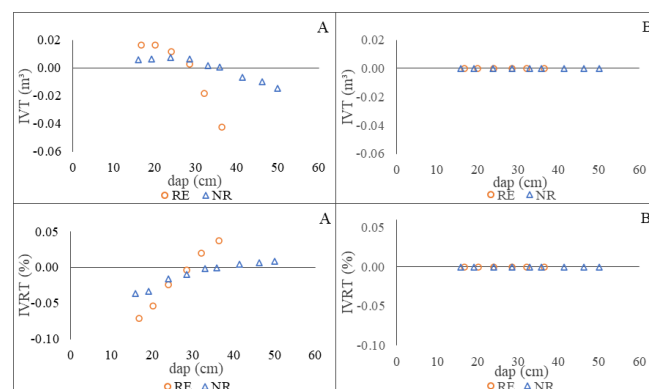


Figura 4. Incompatibilidade dos volumes totais gerada por meio das estimativas dos modelos de Schöepfer (1966) e Spurr (A) e entre Schöepfer (1966) e a nova expressão de Spurr (B) para os grupos de árvores resinadas (A) e não resinadas (B), localizadas no sul do Rio Grande do Sul, Brasil.

CONCLUSÕES

A compatibilidade entre os volumes totais estimados pelos modelos de Schöepfer (1966) e Spurr, assim como entre o modelo Kozak Modificado (1969) e Spurr, pode ser alcançada para ambos os grupos de árvores, resinadas e não resinadas, quando aplicadas fatores de correção de compatibilidade.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio na realização deste trabalho.

Ao Projeto Fazenda Modelo Flopal pelo fornecimento dos dados para a realização da pesquisa.

Ao CNPq, pelas concessões de bolsas.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische **Zeitschrift**, [s.l.], v.22, n.6, p.711-728, 1 dez. 2013.
- BEHLING, M. **Compatibilidade de equações de volume e de afilamento de fuste**. 2020. 73p. Universidade Federal do Paraná. (Dissertação de mestrado).
- BEHLING, M. et al. Compatibility between the Spurr function volume and the Kozak's taper function and quintic polynomial volumes for black wattle trees. **Floresta**, v.51, n.2, p.521-530, 2021. <https://doi.org/10.5380/rf.v51i2.70887>
- COELHO, M. C. B. et al. Modelos de afilamento e sortimento de madeira em povoamento florestal de corymbia citriodora. **Revista Contemporânea**, v.3, n.9, p. 14968–14996, 2023. South Florida Publishing LLC.
- COSTA, E. A. et al. Função de afilamento e sortimentos de madeira para *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v.26, n 2, p. 523-533, 2016.
- EMBRAPA - Brazilian Agricultural Research Corporation. National Center for Soil Research. **Brazilian system of soil classification**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Information Production; 2013.
- ENGEL, K. et al. Modelo de afilamento para árvores resinadas e não resinadas de *Pinus elliottii* engelm. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 8, n. 2, p. 67, 2023. Universidade Federal do Paraná.
- GEORGIN, J. (2014). Plantio de *Pinus elliottii* em pequenas propriedades rurais no norte do rio grande do sul. Revista Monografias Ambientais, 13(3). <https://doi.org/10.5902/2236130813371>
- KOHLER, S. V. et al. Modelos de Afilamento para *Pinus taeda* por Classes de Idade. **Floresta e Ambiente**, v.20, n.4, p. 470-479, 2013.
- KOZAK, A. et al. Taper functions and their application in forest inventory. **Forest Chronicle**, v.45, n.4, p.278-283, 1969.
- KRISNAWATI, H. A compatible estimation model of stem volume and taper for *Acacia mangium* willd. Plantations. **Indonesian Journal of Forestry Research**. v.3, n.1, p 49-64, 2016.
- LAZAROTTO, S. **SILVICULTURA DE *Pinus elliottii* Engelm DESAFIOS TÉCNICOS E LEGAIS PARA A SUSTENTABILIDADE**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).
- LIMA, B. DE A. et al. Impactos dendrométricos e econômicos de um povoamento de *Pinus elliottii* submetidos a produção de resina. **Advances in Forestry Science**, v.8, n.2, p. 1475-1487, 2021.
- MACOHON, E. R. et al. Análise econômica de plantios de *Pinus elliottii*. **Revista de estudos em organizações e controladoria**, n.1, p.122–135, 2021.
- MAGNUSZEWSKI, M.; TOMUSIAK, R. Effect of resin-tapping on the radial increment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) – case study of a stand from Lidzbark Forest District. **Forest Research Papers**, v.74, n.3, p.273–280, 2013.
- SCHÖEPFER, W. **Automatisierung des Massen-, Sorten- und Wertberechnung stenender Waldbestände**. Schriftenreihe Bad. Wurt-Forstl., 1966.
- SILVA, S. A. et al. Funções de afilamento para *Pinus elliottii* Engelm. proveniente de condução de regeneração natural. **BIOFIX Scientific Journal**, v.3, n.1, p.130-136, 2018.
- SILVA, M. T. S. da et al. Análise econômica dos sortimentos em povoamentos de *Pinus elliottii* sob regeneração espontânea em diferentes densidades iniciais. **Revista FT**, v.27, 2023.
- ZHAO, D. et al. Compatibility, Development, and Estimation of Taper and Volume Equation Systems. **Forest Science**, v.65, Issue 1, p.1-13, 2019.
- ZHENG, C. et al. Compatible taper-volume models of *Quercus variabilis* Blume forests in north China. **iForest – Bio geosciences and Forestry**, v 10, p.567-575, 2017.