

Modelos de afilamento e otimização de multiprodutos de um povoamento de *Eucalyptus* não desbastado

Ilvan Medeiros Lustosa Junior¹, Mirella Basileu de Oliveira Lima¹, Beatriz Garcia Nascimento¹, Milton Serpa de Meira Junior¹, Renato Vinícius Oliveira Castro²

¹ Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: ilvanjunior@gmail.com, mirellabasileu@gmail.com, milton.serpa@gmail.com, bgn.beatriz@gmail.com

² Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Sete Lagoas, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. E-mail: castrorvo@ymail.com

Recebido: 08/11/2017; Aceito: 08/11/2017.

RESUMO

Este trabalho consiste na seleção de um modelo de *taper* para descrever o afilamento de fustes das árvores de um povoamento não desbastado, a fim de ser aplicado em um sistema de otimização de corte das árvores para multiprodutos da madeira. O trabalho foi realizado no município de Martinho Campos, Minas Gerais, tendo com área de estudo um povoamento do híbrido *Eucalyptus grandis* W. Hill X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, implantado em janeiro de 2007. Dentre os modelos de *taper* ajustados, o modelo de Garay foi o que melhor representou o afilamento dos fustes das árvores quando verificou as estatísticas de precisão e as análises gráficas dos resíduos. Posterior ao ajuste desse modelo obteve-se a seguinte equação para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste: $d = DAP.1,1354[1+0,5067*\ln(1-0,8092.h^{0,5177}.Ht^{-0,5177})]$, $r_{yy}=0,9911$. Em seguida, realizou-se uma simulação de corte das árvores para multiprodutos da madeira (poste, mourão e lenha). A análise financeira do rendimento da produção foi realizada por meio do cálculo do valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), que indicaram viabilidade do projeto e também confirmou que o uso múltiplo da madeira é mais rentável que a destinação visando o uso único.

Palavras-chave: *taper*, sortimento, economia florestal.

Taper models and multi-product optimization in settlement of *Eucalyptus* not chopped

ABSTRACT

This study aims to select a taper model that can be used to describe trees stems from non-thinned eucalypt stands, which can be use in an optimization system for obtaining multiproducts. Therefore, the study was developed in Martinho Campos, Minas Gerais, in a stand of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, establish in January 2007. Among the adjusted adjustment models, the Garay model is the one that best represents the sharpness of the axes of the trees, when it verified as precision statistics and as graphical analyzes of the residues. After adjusting this model, the following equation was obtained: $d=DAP.1,1354(1+0,5067*\ln(1-0,8092h^{0,5177}Ht^{-0,5177}))$, $r_{yy}=0,9911$. Then run a panel simulation for multiproducts of the wood (powders, mourão and firewood). A financial analysis of yield was performed by calculating the net present value (NPV) and internal rate of return (IRR), which indicated the viability of the project and also confirmed that multiple use of wood is more profitable than the destination intended, the only use.

Key words: taper, assortment, multiple use, forestry economic.

1. Introdução

O fuste da árvore de muitas espécies apresenta diferentes formas no sentido longitudinal: neilóide próximo da base; parabolóide na porção central; e cone no topo (CAMPOS; LEITE, 2013). Com base nisto, diversos modelos matemáticos foram utilizados para descrever o afilamento dos fustes para diferentes espécies.

O modelo de afilamento consiste na descrição matemática do perfil longitudinal do tronco. Determinando-se que a seção transversal seja circular em qualquer ponto ao longo do tronco, o seu volume pode ser obtido por integração daquela função. Assim, em termos geométricos, o tronco é tratado como um sólido de revolução, sendo eles: cone, parabolóide, neilóide e cilindro (SOARES et al. 2006). Uma vez definido um modelo matemático para o afilamento, pode-se determinar o volume de madeira entre quaisquer pontos ao longo do tronco (HUSCH et al., 1982).

Os modelos de afilamentos também são denominados de modelos de *taper*, em que estas funções, quando comparadas com as funções de volume, possuem precisão equivalente. No entanto, possuem vantagens, já que possibilitam estimar o volume de qualquer porção da árvore devido a sua alta flexibilidade, possibilitando assim maior amplitude de informações geradas (QUEIROZ et al., 2006). Além dessas peculiaridades, os modelos de *taper* também podem ser utilizados para definir os diferentes usos da madeira para um mesmo fuste (ÂNGELO et al., 1997).

Os desperdícios causados pelos processos de transformação têm induzido a pesquisa e o desenvolvimento de modelos aplicados ao manejo de florestas, objetivando auxiliar na definição de uso da madeira com o intuito de torná-las mais rentáveis, de acordo com a finalidade proposta. Partindo desse pressuposto, diversos modelos de regressão têm sido propostos e empregados para descrever o afilamento do fuste: Prodan (1965), Demaerschalk (1972), Kozak (1969), Ormerod (1973), Max e Burkhart (1976) e Garay (1979) entre outros.

Visando atender as demandas do mercado florestal para os mais diversificados usos da madeira nos últimos anos, foram realizados estudos no Brasil envolvendo avaliação financeira de povoamentos do gênero *Eucalyptus* para multiprodutos da madeira a partir de aplicação de desbastes no povoamento, com idades de rotação mais elevadas (SOARES, 2006; DIAS et al., 2005; CASTRO et al., 2011).

Nesse sentido, destinar a madeira de uma mesma árvore para multiprodutos é uma alternativa para aumentar a receita, visto que cada produto tem o seu preço de mercado diferenciado, de acordo com o seu porte e dimensões, seja para usos mais nobres – serraria,

ou para usos menos nobres – lenha, celulose ou carvão vegetal. Portanto, torna-se interessante a avaliação da viabilidade financeira da produção madeireira destinada a multiprodutos, ao invés de destinar toda a madeira a um único uso. Segundo Castro et al. (2011), a aplicação de critérios de análise econômica torna-se fundamental para subsidiar as decisões nas escolhas dos melhores projetos e, ou, alternativas a serem adotadas.

Partindo desse pressuposto, trabalhos têm comprovado que o múltiplo uso da madeira apresenta-se como uma alternativa viável (SOARES et al., 2006; QUEIROZ et al., 2006). O presente estudo teve por objetivo ajustar modelos de *taper* para um povoamento do híbrido *Eucalyptus grandis* W. Hill X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake não desbastado em Minas Gerais, bem como simular a otimização do corte das árvores em multiprodutos e realizar uma análise financeira da produção.

2. Material e Métodos

O povoamento avaliado foi implantado no município de Martinho Campos – MG, cujo clima regional é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), caracterizado por verões úmidos e invernos secos, com temperatura média anual entre 19,8 e 25,3°C e precipitação média anual de 1.400 mm (SILVA et al., 2012).

A área de estudo foi em um povoamento do híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, com espaçamento inicial entre as árvores de 3,0 m x 2,5 m, implantado em janeiro de 2007. Os dados dendrométricos foram coletados na idade de corte, realizada em setembro de 2013.

Para gerar equações de *taper*, foram abatidas e cubadas 60 árvores-amostra pelo método de Smalian (SOARES et al., 2006). Para descrever o afilamento dos fustes foram comparados os seguintes modelos de *taper*: Kozak, Demaerschalk, Ormerod, Prodan e Garay, conforme apresentados a seguir nas Equações de 1 a 5:

a) Kozak (1969) (1)

$$\left(\frac{d}{DAP}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + \varepsilon$$

b) Demaerschalk (1972) (2)

$$\left(\frac{d}{DAP}\right)^2 = 10^{2\beta_0} \cdot DAP^{2\beta_1-2} \cdot (H-h)^{2\beta_2} \cdot H^{2\beta_3} \cdot \varepsilon$$

c) Ormerod (1973) (3)

$$\left(\frac{d}{DAP}\right)^2 = \left(\frac{H-h}{H-1,30}\right)^{2\beta_1} + \varepsilon$$

d) Prodan (1965) (4)

$$\left(\frac{d}{DAP}\right) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h}{H}\right)^5 + \varepsilon$$

e) Garay (1979) (5)

$$\left(\frac{d}{DAP}\right)^2 = \beta_1 \left(1 + \beta_2 \ln\left(1 - \beta_3 \left(\frac{h}{H}\right)^{\beta_4}\right)\right) + \varepsilon$$

em que: h = altura em qualquer parte da árvore; H = altura total do indivíduo; d = diâmetro da árvore a uma determinada altura; dap = é o diâmetro da árvore a altura a 1,3 m; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5 = parâmetros do modelo; ε = erro aleatório.

Os modelos foram ajustados com o uso do *software* Statistica 7.0[®] (STATSOFT, 2005).

A qualidade dos ajustes e a seleção do melhor modelo foi baseada nas estatísticas de precisão: média das diferenças absolutas (MDA), coeficiente de correlação entre valores observados e valores estimados da variável dependente ($r_{y\hat{y}}$), raiz quadrada do erro médio (RQEM) e $bias\%$ (SIIPLEHTO, 2000), além de análises gráficas de resíduos, sendo:

$$MDA = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (6)$$

$$r_{y\hat{y}} = \frac{C\hat{d}v(\hat{y}y)}{\sqrt{V(\hat{y})(y)}} \quad (7)$$

$$RQEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 1}} \quad (8)$$

$$bias\% = 100 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right) \quad (9)$$

em que: y_i e \hat{y}_i = valores observados e estimados da variável sob análise; n = número de casos.

O povoamento foi cortado aos 6,7 anos de idade, com média de 1.235 árvores vivas por hectare, tendo um Incremento Médio Anual de 42,3 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Para quantificação do volume das árvores foi aplicado o modelo que teve o melhor ajuste para descrever o afilamento dos fustes das árvores. Com o auxílio do *software* SigmaE versão 2.0, foi possível calcular o volume comercial de cada árvore, para diferentes produtos, de forma a otimizar a receita final.

Em seguida, delineou-se os seguintes cenários: Cenário I, em que toda a produção seria destinada ao uso único (lenha) para a produção de carvão vegetal;

e o Cenário II, em que a produção seria destinada a três diferentes produtos, de forma otimizada (lenha para carvão vegetal, postes e mourões). Configurou-se para a especificidade de cada cenário, em que se levou em consideração as medidas de cada sortimento escolhido e seu valor comercial (Tabela 1). Os preços de cada produto foram estabelecidos referentes ao ano de corte (2013).

Após a configuração dos sortimentos e inserção dos valores dos respectivos produtos, preços e modelo de afilamento, buscou-se o corte que possibilitasse maior retorno financeiro para a destinação da madeira. Como resultado, o *software* fornece volume total sem casca (VTSC), volume recuperado (VREC), e o lucro (R\$), sendo este o mais rentável entre as diversas combinações de cortes possíveis, garantindo o maior retorno financeiro. Em seguida, considerou-se os valores de custos inerentes à implantação do projeto, que vão desde o custo inicial de implantação aos custos de manutenção (Tabela 2), chegando ao custo final de colheita.

Tabela 1. Especificação de cada sortimento utilizados nos cenários delineados

Sortimento	Comprimento	Diâmetro		Valor*
		mínimo	máximo	
Poste	800	15	20	80,00 (R\$/peça)
Mourão	220	7	15	8,75 (R\$/peça) (R\$/peça)
Lenha para carvão	250	3	20	65,00 (R\$/m ³)

* Preços descontando os custos de transformação da madeira nos casos de poste e mourão.

Tabela 2. Custos do projeto.

	Atividade/Insumo	Valor/Unidade
Ano 0	Implantação	2589,90 (R\$/ha)
Ano 1	Manutenção	550,00 (R\$/ha)
Ano 2	Manutenção	350,00 (R\$/ha)
Ano 3	Manutenção	100,00 (R\$/ha)
Ano 4	Manutenção	100,00 (R\$/ha)
Ano 5	Manutenção	100,00 (R\$/ha)
Ano 6	Manutenção	100,00 (R\$/ha)
Ano 7	Manutenção	100,00 (R\$/ha)
1 a n*	Terra	224,00 (R\$/ha)
1 a n	Administração	80,00 (R\$/ha)
0 e n	Licenças, taxas	100,00 (R\$/ha)
n	Roçada pré-corte	90,00 (R\$/ha)
n**	Colheita e extração	19,00 R\$/m ³
Taxa de Juros	0,08 a.a.

* idade de corte; ** cortada e empilhada.

Com todos os custos do projeto e a receita gerada pela otimização, montou-se o fluxo de caixa para calcular os índices VPL e TIR. O cálculo do VPL e TIR foram realizados através das equações 10 e 11, respectivamente:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (10)$$

$$\sum_{j=0}^n R_j(1+TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j(1+TIR)^{-j} \quad (11)$$

sendo: R_j = receitas; C_j = custos; i = taxa de juros; j = período em que as receitas ou os custos ocorrem; e n = número de períodos ou duração do projeto.

3. Resultados e Discussão

O número de árvores observado por classe de *dap* é apresentado na Figura 1. Os modelos lineares e não-lineares foram ajustados e os parâmetros são apresentados na Tabela 3. Observa-se que todos os modelos contêm as estatísticas significativas dos parâmetros ($\alpha = 5\%$). Para a avaliação da precisão de cada equação levou-se em consideração não somente o maior coeficiente de correlação e menores valores do MDA, RQEM e *bias*% (Tabela 4), mas principalmente os gráficos de menor dispersão de resíduos (Figura 2). Os gráficos de resíduos dos modelos de Ormerod, Demaerschalk e Prodan apresentaram alta tendenciosidade e grande parte dos diâmetros observados foram subestimados.

Observa-se que nos modelos de Kozak e Garay, os menores diâmetros foram superestimados e apresentaram comportamento muito semelhantes.

Optou-se pelo modelo de Garay, por ter sido o mais preciso, de acordo com os resultados das estatísticas e análises gráficas. Os seus coeficientes de regressão foram: 1,1354 (β_0), 0,5067 (β_1), 0,8092 (β_2), 0,51778 (β_3). Observou-se que 82% dos diâmetros observados tiveram até 5% de erro. Campos et al. (2014), analisando o efeito do modelo de afilamento num povoamento de eucalipto (*Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*) com 7 anos de idade, encontraram resultados semelhantes ao presente estudo, onde definiram que o modelo de Garay foi o que teve maior eficiência em estimar os diâmetros ao longo do fuste, tendo em vista um maior coeficiente de correlação e determinação, com melhor distribuição dos resíduos.

O rendimento médio das árvores foi em função da classe de diâmetro (*dap*, em cm) com amplitude de 2 cm. São apresentados na Tabela 5 os valores de volume sem casca por árvore (VSC) e por hectare.

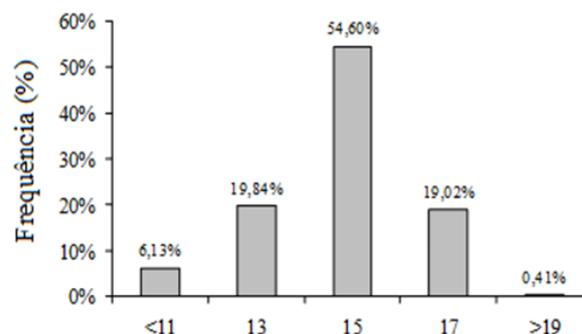


Figura 1. Distribuição diamétrica das árvores do talhão ($\sigma = 3,87\text{cm}$).

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros referentes aos modelos 1 a 5.

Modelos	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Kozak (1)	1,1456	-1,7831	0,6836	-	-	-
Demaerschalk (2)	0,0569	1,0079	0,6818	-0,7106	-	-
Ormerod (3)	-	1,1033	-	-	-	-
Prodan (4)	1,1117	-2,0046	6,6035	-13,8940	12,3604	-3,9694
Garay (5)	1,1355	0,5068	0,8092	0,51779	-	-

Tabela 4. Estatísticas de precisão das equações ajustadas.

Modelo	MDA %	$ry\hat{y}$	RQEM%	bias%
Kozak	0,436829	0,9888219	6,072801	-2,10973
Demaerschalk	2,181394	0,9754121	28,60448	-111,725
Ormerod	5,426408	0,2620917	75,87934	-403,295
Prodan	7,485328	-0,484922	82,7744	24,86674
Garay	0,384467	0,9911363	5,369023	1,016779

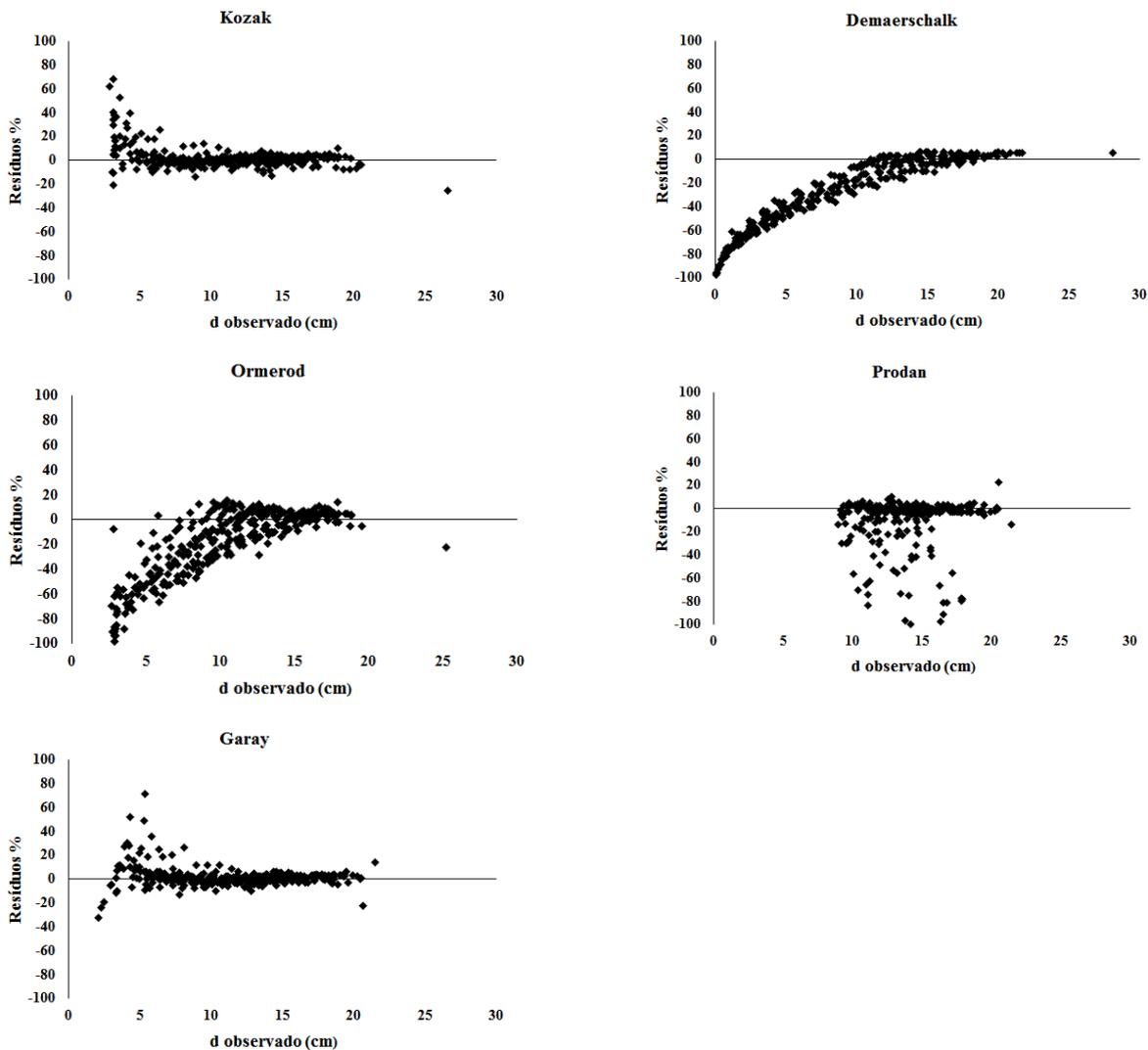


Figura 2: Gráficos de resíduos referentes às estimativas de diâmetros ao longo do fuste por meio dos modelos selecionados para estimar o afilamento de árvores de *Eucalyptus*.

Para o cenário I, em que toda a produção seria destinada ao carvão vegetal, o volume comercial calculado a partir de 1.235 árvores/ha ficou em 261,6m³ de madeira. Ao aplicar o valor de R\$65,00/ m³ receita total/ha para lenha resultou em R\$17.002,68. Por outro lado, para o cenário II, foi possível obter 4 postes (em 1 hectare), 1.963 peças para mourões de cerca e o restante destinado à produção de lenha para carvão vegetal (103 m³). Com destinação para multiprodutos a receita total ficou em R\$24.198,94. Considerando os custos anuais do projeto, o lucro final referente a cada cenário encontra-se na Tabela 6.

Tabela 5. Estimativas de volume por hectare.

Classe de DAP	Média de VSC (m ³)	Frequência (nº de árvores/ha)	Volume sem casca (m ³ /ha)
11	0,106	6,1%	8,0
13	0,144	19,8%	35,2
15	0,215	54,6%	144,7
17	0,306	19,0%	71,8
19	0,374	0,4%	1,9

Tabela 6. Fluxo de caixa para os cenários analisados.

Período	Cenário I	Cenário II
Ano 0	-2589,9	-2589,9
Ano 1	-550	-550
Ano 2	-350	-350
Ano 3	-100	-100
Ano 4	-100	-100
Ano 5	-100	-100
Ano 6	-100	-100
Ano 7	11.517,89	18.714,15

Os valores de VPL para o uso único (Cenário I) foram todos positivos, atestando a viabilidade deste cenário, para as taxas de juros de 6 a 12%. Especificamente para a taxa de 8%, que está sendo considerada neste trabalho, o VPL se mostrou satisfatório, com valor de R\$ 1.717,41, mantendo a lucratividade da escolha. Para o uso de multiprodutos da madeira (Cenário II), os valores de VPL também se apresentaram positivos para as taxas de juros analisadas. Para a taxa de 8% em questão, o valor foi de R\$ 5.050,

67, muito superior ao valor apresentado para o Cenário I à mesma taxa. A Figura 3 apresenta a relação entre o VPL e a taxa de juros para os dois cenários analisados. A diversificação de usos da produção da madeira gera um maior retorno financeiro quando comparado a apenas um uso, possibilitando maior flexibilidade e menores riscos na comercialização.

A TIR para o cenário I foi de 13,03% e para o cenário II, 19,76%, superiores, portanto, à taxa mínima de atratividade considerada para este estudo de 8,75%. Segundo Rezende e Oliveira (2013), um projeto será considerado viável se sua TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade considerada. Lembrando que o valor da TIR representa a taxa que o VPL chega zero,

ou seja, aumentam-se as chances de a escolha ser feita com sucesso mesmo a taxas de juros elevadas.

Com base nos resultados obtidos de uma análise financeira de multiprodutos realizada por Soares et al. (2006), a tendência é que as plantações sejam manejadas segundo o conceito de florestas para multiprodutos, em que de um mesmo fuste de uma árvore consegue-se extrair madeira para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, entre outros possíveis produtos, sendo essa, provavelmente, a opção que apresente maior possibilidade de remuneração do produto advindo de povoamentos florestais.

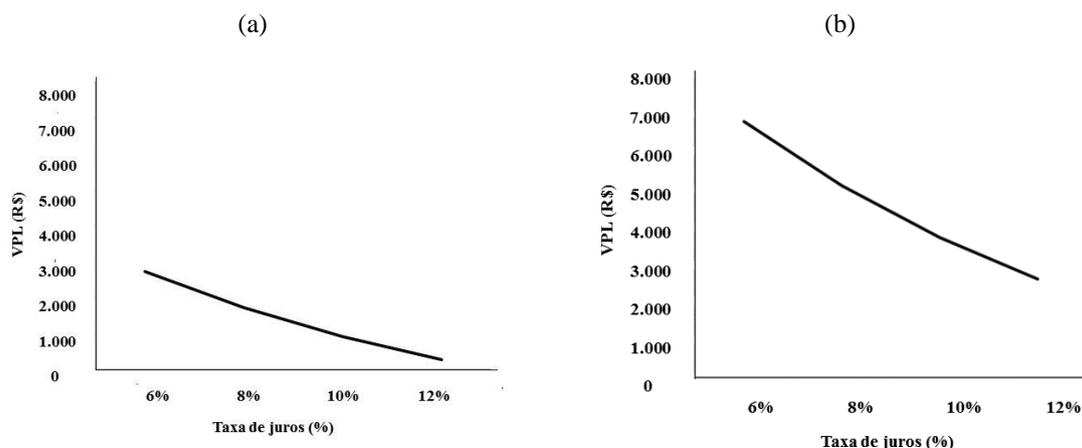


Figura 3. Representação gráfica do VPL para os cenários I (a) e II (b), com base no VPL e nas taxas de juros.

4. Conclusões

O modelo de Garay (1979) foi o que melhor representou o afilamento dos fustes das árvores do híbrido *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*, levando-se em consideração as estatísticas e a análise gráfica, no qual foi obtida a equação: $d = DAP[1,1354(1 + 0,5067 \cdot \ln(1 - 0,8092h^{0,5177}H^{-0,5177}))]$, $r_{y\hat{y}} = 0,9911$.

A partir da aplicação das técnicas que avaliaram a viabilidade financeira, é correto dizer que o uso múltiplo da madeira foi mais rentável que a destinação apenas para lenha

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa aos autores.

Referências Bibliográficas

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; CENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*,

Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2014. Disponível em: < https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_climate_classification_map_for_Brazil >. Acesso em: 20 set. 2017.

ÂNGELO, H.; CASTRO, L. H. R.; HOSOKAWA, R. T.; KIRCHNER. Análise de componentes principais e função spline para definir a forma do tronco de *Pinus tropicalis*. *Floresta*, Curitiba-PR, v. 25, n. 1, p. 55-67, 1997. Disponível em: < <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/6445> >. Acesso em: 20 set. 2017.

CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; BINOTI, M. L. M. S. Efeito do modelo de afilamento utilizado sobre a conversão de fustes de árvores em multiprodutos. *Scientia Forestalis*, Piracicaba-SP, v. 42, n. 104, p. 513-520, 2014. Disponível em: < <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/leitura.asp?Article=05&Number=104> >. Acesso em: 20 set. 2017.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 4. ed. Viçosa-MG: UFV, 2013. 605 p.

CASTRO, R. V. O.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SOARES, C. P. B.; JÚNIOR, C. A. A.; CASTRO, A. F. N. M.; CRUZ, J. P.; SANTOS, F. L.; SOUZA, C. C. Avaliação econômica de um povoamento de eucalipto desbastado e destinado a multiprodutos da madeira. *Scientia Forestalis*.

- Piracicaba-SP, v. 39, p. 351-357, 2011. Disponível em: < <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr91/cap07.pdf> >. Acesso em: 20 set. 2017.
- DEMAERSCHALK, J. P. Integrated systems for the estimation of tree taper and Volume. **Canadian Journal Forest Research**, Ottawa, v. 3, n. 90, p. 90-94, 1972.
- DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; CARVALHO, A. F. Avaliação financeira de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 419-429, 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-67622005000300009&lng=es&nrm=iso >. Acesso em: 20 set. 2017.
- GARAY, L. **Tropical forest utilization system**. VIII. A taper model for entire stem profile including buttressing. Seattle: College of Forest Resources, Institute of Forest Products. University of Washington, 1979. 64 p. (Contribution 36).
- HUSCH, B.; MILLER, C. L.; BEERS, T. E. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: J. Willey & Sons, 1982. 397 p.
- KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. G. H. Taper functions and their applications in forest inventory. **Forest Chronicle**, Ottawa, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969. Disponível em: < <http://pubs.cif-ifc.org/doi/abs/10.5558/tfc45278-4> >. Acesso em: 20 set. 2017.
- MAX, T. A.; BURKHART, H. E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, Bethesda, v. 22, n. 3, p. 283-289, 1976. Disponível em: < http://www.academia.edu/22950085/Segmented_Polynomial_Regression_Applied_to_Taper_Equations>. Acesso em: 20 set. 2017.
- ORMEROD, D. W. A simple bole model. **Forest Chronicle**, Toronto, v. 49, n. 3, p. 136-138, 1973.
- PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt am Main: Sauerlander's Verlag, 1965. 644 p.
- QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; KOEHLER, H. S. Avaliação e validação de funções de afilamento para mimosa scabrellabentham em povoamentos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 36, n. 2, 2006. Disponível em: < <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/6461> >. Acesso em: 20 de set de 2017.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise Econômica e Social de Projetos Florestais**. 3. ed., Viçosa-MG: UFV, 2013. 385 p.
- SIIPILEHTO, J. A. Comparison of two parameter prediction methods for stand structure in Finland. **Silva Fennica**, v. 34, p. 331-349, 2000. Disponível em: < <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf34/sf344331.pdf> >. Acesso em: 20 set. 2017.
- SILVA, J. V.; NOGUEIRA, G.S.; SANTANA, R. C.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA, M. L. R.; ALMADO, R. P. Produção e acúmulo de nutrientes em povoamento de eucalipto em consequência da intensidade do desbaste e da fertilização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.47, n. 11, p. 1555-1562, 2012. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2012001100001 >. Acesso em: 20 set. 2017.
- SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa-MG: UFV, 2006. 276 p.
- SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B. Um modelo alternativo para a quantificação de multiprodutos em árvores individuais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 6, p. 875-882, 2004. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622004000600012&script=sci_abstract >. Acesso em: 20 set. 2017.
- SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de Multiprodutos em Povoamentos Florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v27n6/a07v27n6.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2017.
- STATSOFT. **Statistica 7.0 Software**. Tucksas: USA, 2005.