

## TRAJETÓRIA BIOECONÔMICA DOS REGIMES DE MANEJO EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.

BIO-ECONOMIC TRAJECTORY OF THE MANAGEMENT REGIMES IN *Pinus taeda* L. STANDS

Paulo Sérgio Pigato Schneider<sup>1</sup> Cesar Augusto Guimarães Finger<sup>2</sup> Paulo Renato Schneider<sup>2</sup>  
Junior Oliveira Mendes<sup>3</sup>

### RESUMO

A relação entre o número de árvores por hectare e o diâmetro de *Pinus taeda* L. foi estudada com o objetivo de elaborar um diagrama de manejo da densidade para descrever a trajetória do diâmetro médio sob diferentes regimes de manejo com repercussão biológica e econômica. Os dados de densidade e diâmetro foram obtidos de árvores dispostas em diferentes espaçamentos, em parcelas permanentes, remedidas periodicamente até a idade de 18 anos. O modelo de autodesbaste de Tang foi utilizado para estimar a linha de máxima, usada para delimitar as zonas de concorrência, o que também permitiu determinar o diâmetro médio do povoamento sob diferentes densidades da população, bem como o regime de manejo ótimo para condução do povoamento para um determinado diâmetro objetivo. A análise econômica mostrou um valor presente líquido máximo de 15.587,60 R\$/ha e 708,50 R\$/ha.ano no regime de manejo com três desbastes, executados aos 9, 13 e 18 anos e com corte final aos 22 anos. Equalizando os horizontes de planejamento em 28 anos esse regime de manejo também se mostrou o de maior eficiência econômica entre os demais, com valor anual equivalente de 1.253,40 R\$/ha.ano e uma taxa interna de retorno máxima de 14,83 % a.a. **Palavras-chave:** densidade; manejo; economia; desbaste.

### ABSTRACT

The work study the relationship of density and diameter in *Pinus taeda* L. stand aiming to determining the diagram density management and describe the average-diameter trajectory in different management regimen with biologic and economic repercussion. For that, experimental growth-data measured periodically until 18 years was used. Results demonstrated that the Tang model of density and diameter predicts the maximum line efficiently, using to delimit the concurrence zone that predicted the average diameter among different population densities, as well as determine the objective diameter of the optimal management regimen to conduce the stand. The economic analysis showed a maximum present net value of 15.587,60 R\$/ha and 708,50 R\$/ha/year at management regimen with three thinning at 9, 13 and 18 years and final cut at 22 years. The comparison of the management regimen after equal-horizons of plan in 28 years, showed the same management regimen with the maximum economic efficiency with annual equivalent value of 1.253,40 R\$/ha-year and a maximum internal rate of 14,83 % per year.

**Keywords:** density; management; economy; thinning.

1 Engenheiro Florestal, Dr., Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. Pesquisador do CNPq. paulosergiopigatoschneider@gmail.com

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. cesarfinger.ufsm@gmail.com / paulors@smail.ufsm.br

3 Engenheiro Florestal, MSc., Doutorando em Engenharia Florestal, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. junioromendes@gmail.com

Recebido para publicação em 30/05/2011 e aceito em 16/05/2017

## INTRODUÇÃO

Para o manejo de povoamentos florestais equiâneos em sistema de alto fuste é de fundamental importância conhecer as inter-relações entre a densidade de árvores por hectare e a dimensão do diâmetro no tempo, com o objetivo de executar intervenções de desbaste com intensidade adequada, na dependência da capacidade produtiva do sítio e do crescimento da espécie.

A produção qualitativa e quantitativa de madeira dos povoamentos florestais está, em sua maioria, relacionada com o sítio, tratos silviculturais e, principalmente, com a densidade da população e outros fatores ambientais. Sobre este aspecto deve-se considerar que, com o aumentar o número de árvores, aumenta a área basal, significativamente, até o momento em que inicia a competição entre as árvores e se estabelece o início da mortalidade natural de árvores na floresta e, com isso, a manutenção ou até mesmo a redução da área basal.

Esse comportamento biológico foi descrito matematicamente por Reineke (1933) em povoamento com densidade completa. O autor encontrou que, a relação entre o diâmetro médio quadrático das árvores e o número de árvores por hectare é linear em uma escala logarítmica, independentemente da idade e da qualidade do sítio, sendo que o valor do coeficiente angular foi constante (-1,605), não importando as espécies florestais avaliadas.

Nesse contexto, outros pesquisadores, com destaque para: Yoda et al. (1963), Westoby (1981), West e Bourough (1983), Smith e Hann (1986), Zeide (1985; 1987; 1991), Osawa e Allen (1993), Sterba e Monserud (1993), Tang et al. (1994; 1995), e Del Rio et al. (2001), relacionaram a densidade populacional com o diâmetro baseado na lei do autodesbaste. Sobre isto, Tang et al. (1991) estudaram a relação entre o número de árvores vivas para um determinado diâmetro médio, sendo as duas variáveis determinadas em unidade logarítmica, o que resultou em uma relação linear, com potência igual a  $-3/2$ .

Ginrich (1967), um dos precursores no estudo da densidade populacional para definição de diagramas de manejo da densidade, baseou-se na área requerida pela árvore para definir, de forma conjunta, a área basal, o número de árvores e o diâmetro médio.

Atualmente, o Diagrama de Manejo da Densidade (DMD) está fundamentado na teoria da lei da potência do  $-3/2$  de autodesbaste desenvolvida, entre a década 1960 e 1970, por cientistas japoneses para colheitas agrícolas (YODA et al., 1963). Segundo a lei, para qualquer densidade há um máximo de biomassa comum que uma planta individualmente pode atingir. Um aumento adicional de biomassa da planta só pode ser alcançado a uma densidade populacional mais baixa sendo, para isso, necessário que algumas plantas morram.

A técnica do DMD é prática e permite visualizar a mudança do diâmetro médio, altura, densidade e volume dos povoamentos equiâneos puros permitindo avaliar para um objetivo de manejo, diferentes alternativas de regimes de densidade a partir da densidade de plantio e intensidade de desbaste (LONG; SMITH, 1984). Para o estudo da densidade populacional, Drew e Flewelling (1977) introduziram o conceito do diâmetro médio quadrático como auxiliar no manejo da máxima produção de madeira, sendo empregada com sucesso em pesquisas posteriores por Dean e Jokela (1992), Smith e Woods (1997), entre outros. Neste contexto, Yoda et al. (1963) propuseram uma dimensão geométrica da lei do autodesbaste, baseada na suposição do que ocorre quando a cobertura do povoamento excede a 100% e que muitas espécies são sempre similares geometricamente, podendo moldar-se sem considerar o estágio de crescimento ou condições de *habitat*.

De acordo com Harrington (1997), para um DMD elaborado para *Pinus taeda* L. a linha que descreveu o fechamento do dossel começou em torno de 25% do Índice de Densidade do Povoamento (IDP) máximo, sendo que o povoamento começou a sofrer autodesbaste quando apresentou valores de 50 e 55% do IDP. Desta forma, limites acima de 30% e abaixo de 45% do IDP foram considerados como uma zona ótima para o manejo da densidade do povoamento, conservando o estoque completo com ausência de autodesbaste e boa capacidade de recuperação do volume, mantendo as operações de desbaste.

Entretanto, a posição das linhas de densidade pode diferir entre as espécies. Archibald e Bowling (1995) definiram para *Pinus banksia* a linha de iminente competição e mortalidade a 55%, e a linha de fechamento das copas a 15%, respectivamente, da linha de máxima densidade. Resultado semelhante foi observado por Drew e Flewelling (1977), que também relataram um crescimento proporcional a uma

densidade. Por outro lado, Reid (2004) relatou que um Diagrama de Densidade do Povoamento define o grau de competição entre as árvores em florestas equiâneas mediante uma série de linhas paralelas determinadas a partir da linha de autodesbaste. A partir dessas linhas foram estabelecidas zonas de competição definidas como: a qual se presume que não deva ser concebida.

Desta forma, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo determinar, com base em diagrama de manejo da densidade, a dimensão do diâmetro médio sob diferentes intervenções de manejo e os reflexos econômicos, aplicados em povoamentos de *Pinus taeda* L.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi desenvolvido com dados coletados em áreas pertencentes à Klabin S.A., no município de Otacílio Costa, região fisiográfica do Planalto Central Catarinense (SANTA CATARINA, 1986). O clima da região é do tipo "Cfb", mesotérmico, subtropical úmido, segundo a classificação climática de Köppen com ausência de estação seca definida, precipitação média anual de 1.808 mm e temperatura média anual de 17,8°C (MOTTA et al., 1971). O solo da área do experimento é do tipo Latossolo Bruno (LB), Alumínio com horizonte A húmico, textura argilosa e relevo suavemente ondulado.

O plantio das árvores foi realizado no ano de 1988, com diferentes espaçamentos, estabelecidos em parcelas de acordo ao Modelo Nelder Modificado. Em cada parcela (doravante denominada de unidade amostral) foram medidas as circunferências a altura do peito e a altura das árvores, anualmente, até as árvores alcançarem a idade de 18 anos.

### Delineamento experimental e estudo da densidade

Para avaliar o efeito da densidade no desenvolvimento do diâmetro médio, considerou-se o delineamento estatístico em blocos ao acaso, com três repetições. Os blocos foram definidos pelos diferentes espaçamentos conformando nove tratamentos. Destes tratamentos foram somente utilizados os dados dos espaçamentos mais adensados: 1,5 x 1,0 m (1,5 m<sup>2</sup>) e 2,5 x 1,0 m (2,5 m<sup>2</sup>).

Na implantação do experimento, a área sofreu preparo de solo com gradagem leve realizada com trator agrícola. O plantio foi manual sendo realizados tratos culturais como: roçadas, coroamentos e combate à formiga.

A redução da densidade (N) no tempo t entre os diferentes espaçamentos do experimento foi descrita matematicamente pelo modelo de autodesbaste proposto por Tang (TANG et al., 1994), expresso por:

$$\ln N(t) = \ln S_f - \frac{1}{\gamma} \ln \left[ (D(t)/d_0)^\beta + (S_f/N_i)^\gamma - (d_i/d_0)^\beta \right]$$

Esse modelo descreve a redução da densidade com o autodesbaste para uma determinada idade do povoamento (t, ano) considerando os seguintes parâmetros:  $\beta$  que expressa a taxa máxima de autodesbaste em densidade completa, N(t) a densidade no tempo t (número de árvores por hectare), D(t) o diâmetro médio das árvores no tempo t (cm),  $S_f$  o índice de densidade do povoamento quando com estoque máximo,  $\gamma$  o índice de autodesbaste definido para cada espécie, e  $d_0$  o diâmetro básico padrão (25 cm),  $N_i$  a densidade inicial do povoamento,  $d_i$  diâmetro médio inicial e ln o logaritmo natural.

O modelo de autodesbaste de Tang foi ajustado pelo método de mínimos quadrados ordinários utilizando o procedimento PROC NLIN do sistema estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 1999) e considerando o algoritmo de interação de Gauss-Newton. O ajuste do modelo aos dados observados foi verificado pelo coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e o coeficiente de variação. A validação do modelo foi realizada com os critérios estatísticos recomendados por Cellini et al. (2002) e Palahi et al. (2002).

## Análise financeira

A avaliação econômica dos regimes de manejo formulados para os povoamentos foi determinada pelo valor presente líquido, valor anual equivalente e taxa interna de retorno, que são encontrados na literatura florestal especializada, como: Speidel (1967), Faro (1979), Schneider (1984), Rezende e Oliveira (2001), entre outros.

Para a análise financeira dos regimes de manejo, os custos operacionais das atividades foram agrupados em centros de custos, com o objetivo de facilitar a operação do fluxo de caixa. Cada centro de custo foi constituído pelo somatório dos custos parciais que ocorreram no mesmo momento do investimento e apresentavam a mesma unidade de medida, sendo constituídos os centros de custos: implantação, administração, arrendamento e manutenção. Os custos de manutenção foram tratados individualmente por ano de ocorrência por apresentarem variação de valor no tempo do investimento.

Os valores considerados para as atividades tiveram como referência os custos operacionais, preços de sortimentos de madeira praticados em empreendimentos florestais da região do Planalto Médio Catarinense e dos insumos utilizados para plantios de *Pinus taeda* L. em espaçamento de 3 x 2 m (Tabela 1).

TABELA 1: Centros de custos das atividades operacionais e insumos utilizados num horizonte de planejamento florestal.

TABLE 1: Cost centers of operational activities and inputs used in forest planning horizon.

Ano	Atividades/Descrição	Unidade	Custos
0	Arrendamento	R\$/ha.ano	150,00
0	Administração	R\$/ha.ano	150,00
0	Implantação	R\$/ha	3.540,00
1	Manutenção + coroamento + roçada	R\$/ha	350,00
2	Manutenção	R\$/ha	100,00
3	Manutenção + roçada + desrama	R\$/ha	330,00
4	Manutenção	R\$/ha	100,00
5	Manutenção + desrama	R\$/ha	320,00
6	Manutenção	R\$/ha	100,00
7- até R	Manutenção	R\$/ha	100,00

Em que: R = rotação.

O custo total de implantação da cultura florestal alcançou 3.540,00 R\$/ha, resultante dos custos parciais de administração de 150,00 R\$/ha.ano e custo de arrendamento de 150,00 R\$/ha.ano. Os custos de manutenção e outros resultaram em 350,00 R\$/ha no primeiro ano, variando nos anos seguintes até a rotação, devido às intervenções de desrama, conforme mostra a Tabela 1.

Na determinação dos preços dos sortimentos de madeira foram tomados os valores de comercialização da madeira em pé, com base no mercado da região do Planalto Médio Catarinense, diferenciados segundo o tipo de sortimentos de madeira para uso em: energia, celulose e/ou aglomerado, serrarias e laminação. Estes preços foram: 27,00 R\$/m<sup>3</sup> com casca para toras com diâmetro na ponta fina de 7–19,9 cm (S1); 55,00 R\$/m<sup>3</sup> com casca para toras com diâmetro na ponta fina de 20–29,9 cm (S2); 82,00 R\$/m<sup>3</sup> com casca para toras com diâmetro na ponta fina de 30–39,9 cm (S3); 117,0 R\$/m<sup>3</sup> com casca para toras com diâmetro na ponta fina de >40,0 cm (S4).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A equação de densidade e diâmetro padronizada para o diâmetro de referência de 25 cm mostrou ótimo ajuste, com coeficiente de determinação ajustado de 0,99%, erro padrão da estimativa de 0,0948 e baixo coeficiente de variação de 1,17%, sendo expressa por:

$$\ln N = \ln 1494,5 - \frac{1}{16,56} \ln \left[ (D(t)/25)^{1,6523 \cdot 16,56} + (1494,5/N_i)^{16,56} - (d_i/d_0)^{1,6523 \cdot 16,56} \right]$$

Em que  $d$  é o diâmetro médio das árvores,  $d_i$  o diâmetro médio inicial,  $d_0$  o diâmetro básico padrão (25 cm) e  $N_i$  a densidade de árvores iniciais.

A densidade de árvores por hectare em função do diâmetro médio do povoamento descreveu uma curva decrescente que se constitui na máxima capacidade de tolerância fisiológica das árvores vivas no *habitat*. Com base neste princípio, foram definidas algebricamente as isolinhas que delimitam as zonas de concorrência entre os indivíduos, segundo a recomendação de Saunders e Puettmann (2000), Harrington (1997) e Reid (2004; 2006). Neste estudo com *Pinus taeda* L. essas linhas foram definidas nas densidades teóricas de 0,55 e 0,45 em relação à máxima densidade, respectivamente, para o início da mortalidade (linha B) e máxima produção do povoamento (linha C), como é representado na Figura 1.

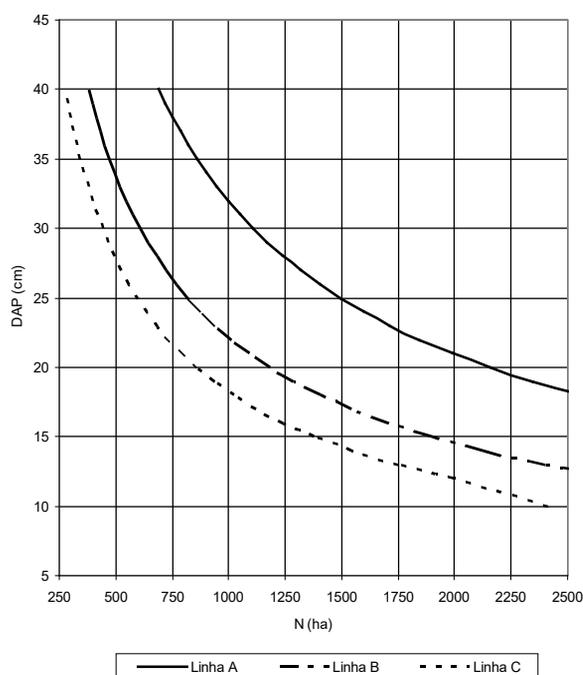


FIGURA 1: Diâmetro médio por densidade de árvores: Linha A - diâmetro máximo por densidade, Linha B - início da mortalidade, Linha C - máxima produtividade do povoamento, zona entre as Linhas C-B - manejo com estoque completo.

FIGURE 1: Average diameter of tree's density: Line A - maximum diameter per density, Line B – begin of the mortality, Line C - maximum productivity of the stand, zone between the Lines C-B - complete stock with management.

Assim, foi possível interpretar a Linha A como indicativa do máximo diâmetro que pode ser alcançado para uma determinada densidade de árvores por hectare; a Linha B como indicativa de início da mortalidade decorrente da concorrência por água, luz, nutrientes e espaço vital entre as árvores; e, a Linha C

como o início da máxima produção de madeira do povoamento. O intervalo entre as Linhas C-B, representa uma condição ótima de manejo na qual se obtêm o estoque completo, sendo então a região indicada para realização de desbastes.

Por outro lado, entre as Linhas B-A tem-se uma condição de povoamento superestocado, indicando uma situação de manejo indesejada pela perda de árvores por mortalidade. Abaixo da Linha C tem-se uma condição de povoamento subestocado, na qual o máximo aproveitamento do solo não pode mais ser alcançado.

O crescimento do diâmetro em função da densidade populacional controlada com um, dois e três desbastes, com variação da idade de corte final em uma população com densidade inicial de 1.500 árvores por hectare, implantada com espaçamento de 3 x 2 m, sendo assumida uma mortalidade inicial de 10 % que possibilitou a formação de seis regimes de manejo descritos a seguir.

No Regime de manejo 1, representada na Figura 2, os povoamentos não sofreram desbaste (pouco frequente para as populações de *Pinus taeda* L.), e, portanto, a população desenvolveu-se livremente até atingir a Linha B que descreve o início de mortalidade de árvores em consequência da concorrência natural entre as árvores do povoamento.

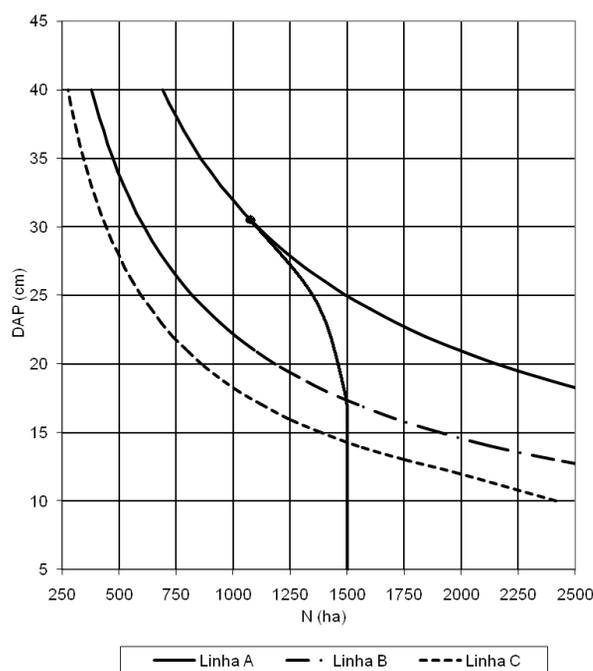


FIGURA 2: Regime de manejo 1: Trajetória do diâmetro médio por densidade de árvores Crescimento do diâmetro médio por densidade em povoamentos sem desbastes.

FIGURE 2: Average diameter growth by density of stands without thinning.

Devido a não realização de desbaste, a mortalidade tendeu a aumentar aproximando-se, em determinado momento, da Linha A, que descreve a região de máxima competição, portanto, de intensa mortalidade.

Desta forma, para o manejo em densidade completa, sem desbaste, a idade de corte final deveria ser definida no momento em que o povoamento se aproxima da Linha B e antes do início da mortalidade. Caso se tolere certa mortalidade de árvores, a idade de corte final pode ser prolongada para a idade em que for atingido o diâmetro médio de 20,0 cm, alcançado cerca de 1.300 árvores por hectare ou, alternativamente, com 30,0 cm de diâmetro e cerca de 1.100 árvores por hectare, desde que não seja comprometida a estabilidade e sanidade do povoamento.

O Regime de manejo 2, com a trajetória do diâmetro médio em função da densidade populacional encontra-se representada na Figura 3. Esta mostra que o desbaste deve ocorrer quando o diâmetro médio atinge, aproximadamente, 16,0 cm (Linha B, representando o início da mortalidade), reduzindo a densidade

em 410 árvores por hectare, passando o povoamento a conter 1.090 árvores por hectare (Linha C).

Com a densidade de 1.090 árvores por hectare a população volta a crescer livre de concorrência até atingir novamente a Linha B (início da mortalidade), com um diâmetro médio de 21,3 cm. A partir deste ponto inicia novamente a mortalidade natural que somente pode ser evitada caso for realizado mais um desbaste. Porém, como a estratégia de manejo foi realizar apenas um desbaste, esta mortalidade inicial pode ser tolerada, até certo ponto, em favor de um maior diâmetro médio no corte final.

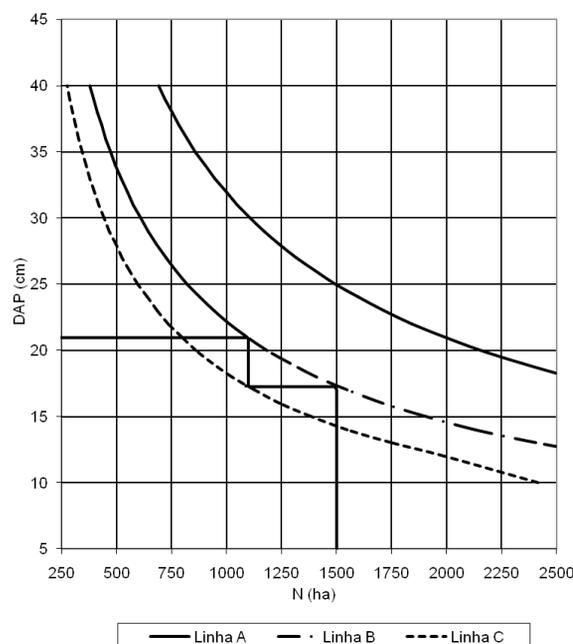


FIGURA 3: Regime de manejo 2 - Trajetória do diâmetro médio por densidade de árvores em povoamentos com um desbaste e corte final aos 13 anos de idade.

FIGURE 3: Management regime 2 - Trajectory of the mean diameter of tree density in stands with one thinning and final cut at 13 years old.

No Regime de manejo 3, o primeiro desbaste ocorre quando o povoamento atinge, aproximadamente, 16,0 cm (Linha B, representando o início da mortalidade, Figura 3) tendo a densidade sido reduzida em 410 árvores por hectare, passando o povoamento a conter 1.090 árvores por hectare (Linha C), quando volta a crescer livre de concorrência até atingir a Linha B, com um diâmetro médio de 21,3 cm. Na ocasião, o segundo desbaste é executado com o abate de 290 árvores por hectare. Após, a população volta a crescer atingindo a Linha B, quando o diâmetro médio atinge 26,0 cm. Com esta dinâmica e com estratégia de realizar apenas dois desbastes, ao atingir a Linha B, a mortalidade natural fica estabelecida podendo ser tolerada quando for almejado um diâmetro médio maior no corte final (Figura 4).

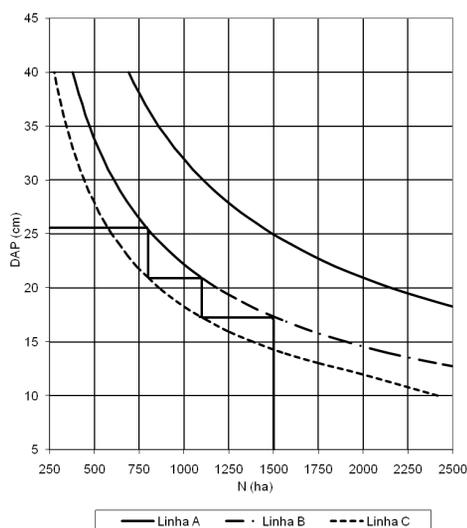


FIGURA 4: Regime de manejo 3 - Trajetória do diâmetro médio por densidade de árvores com realização de dois desbastes e corte final aos 18 anos.

FIGURE 4: Management regime 3 - Trajectory of the mean diameter of tree density in the execution of two thinning and final cut at 18 years old.

No Regime de manejo 4 partindo dos dois desbastes, no terceiro desbaste ocorre uma redução da densidade para 570 árvores por hectare, com o corte de 230 árvores por hectare, possibilitando ao povoamento atingir o diâmetro médio de 30,0 cm. Após a execução dos três desbastes previstos, somente pode-se tolerar a ocorrência de mortalidade em favor de um maior diâmetro médio quando do corte final (Figura 5).

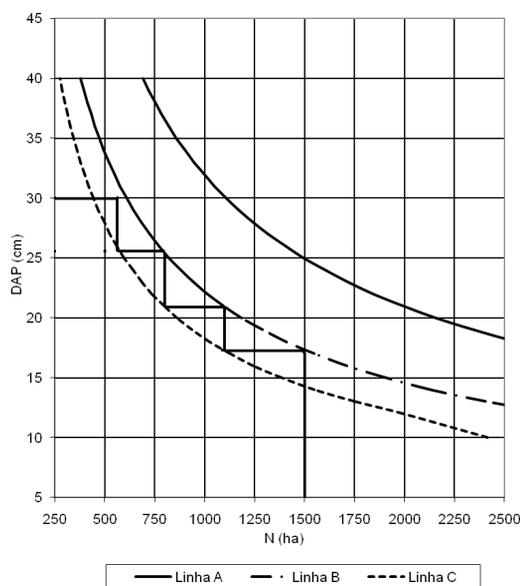


FIGURA 5: Regime de manejo 4 - Trajetória do diâmetro médio por densidade de árvores com três desbastes, e corte final aos 22 anos.

FIGURE 5: Management regime 4 - Trajectory of the average diameter of tree density with three thinning, and final cut to 22 years old.

No Regime de manejo 5, com a realização de três desbastes e rotação aos 26 anos, quatro anos maior em relação ao regime de manejo do povoamento onde remanesceram 570 árvores por hectare, atinge o diâmetro médio de 33,0 cm. A manutenção dessa densidade leva a uma nova situação de competição e o estabelecimento de autodesbaste que somente poderia ser evitado com a realização de um quarto desbaste (Figura 6).

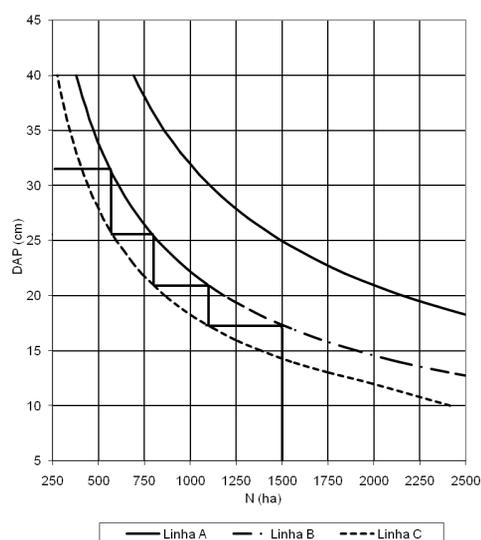


FIGURA 6: Regime de manejo 5 - Trajetória do diâmetro médio por densidade de árvores com três desbastes, e corte final aos 26 anos.

FIGURE 6: Management regime 5 - Trajectory of the average diameter of tree density with three thinning, and final cut to 26 years old.

No Regime de manejo 6, definido para ser executado com três desbastes e idade de corte final aos 28 anos, portanto, com rotação prolongada em dois anos em relação ao Regime de manejo 5, com a estratégia de tolerar a presença de mortalidade natural. Dos desbastes realizados aos 9 anos, com o corte de 410 árvores, aos 13 anos com corte de 290 árvores e o terceiro aos 18 anos com o corte de 230 árvores por hectare, remanescendo, na ocasião, 570 árvores vivas por hectare. A partir de então foi aplicada uma taxa de probabilidade de mortalidade de 12,2 %, alcançando o povoamento, aos 28 anos, de 500 árvores por hectare, conforme é representado na área escura acima da Linha B (Figura 7) na qual se verifica o aumento da idade de corte final do povoamento para 28 anos, o que permite elevar o diâmetro médio para 35,0 cm.

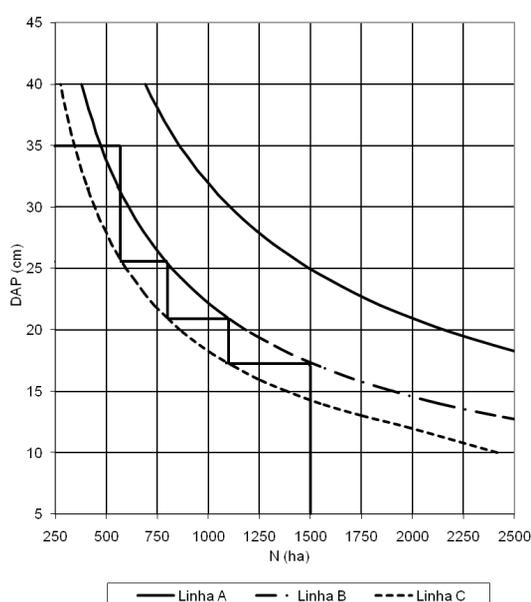


FIGURA 7: Regime de manejo 6 - Trajetória do diâmetro médio por densidade de árvores com três desbastes mais pesados, e corte final aos 28 anos.

FIGURE 7: Management regime 6 - Trajectory of the average diameter of tree density with three more severe thinning, and final cut at 28 years old.

A produção de madeira de povoamentos de *Pinus taeda* L. apresentada na Tabela 2 foi determinada com base nos resultados dos estudos da forma de tronco, sortimentos de madeira, distribuição de probabilidade de frequência em classes de diâmetro, publicados por Schneider e Schneider (2011) e dos regimes de manejo acima elaborados mostraram grande variação da produção e da dimensão dos diâmetros médios alcançados causados pela mudança no número de desbastes e da idade do corte final. Para os seis regimes de manejo, com a realização de um, dois e três desbastes, o ingresso de madeira nos maiores sortimentos foi diretamente proporcional ao número de desbastes aplicados e aumento da idade de corte final.

TABELA 2: Volume de madeira calculado para os regimes de manejo com um, dois e três desbastes para os diferentes regimes de manejo.

TABLE 2: Production of management regimes with one, two and three thinning.

Regime manejo	Tratos	Idade	d	h	N	V	Sortimentos (m <sup>3</sup> /ha)			
		(ano)	(cm)	(m)	(ind./ha)	(m <sup>3</sup> /ha)	S1	S2	S3	S4
1	Sem Desb.	13	21,3	16,2	1400	404,0	131,0	136,0	117,6	15,7
	Desb.1	9	16	17,8	410	76,1	14,4	12,0	22,3	21,2
2	CR	13	21,3	23,4	1090	473,4	136,0	141,4	121,7	33,8
	Desb.1	9	16	17,8	410	76,1	14,4	12,0	22,3	21,2
3	Desb.2	13	21,3	23,4	290	126,0	30,5	29,8	35,7	21,5
	CR	18	26	28,4	800	626,9	98,0	124,5	143,8	220,7
	Desb.1	9	16	17,8	410	76,1	14,4	12,0	22,3	21,2
4	Desb.2	13	21,3	23,4	290	126,0	30,5	29,8	35,7	21,5
	Desb.3	18	26	28,4	230	180,2	15,3	28,5	40,0	87,0
	CR	22	30	32,5	570	681,5	65,4	68,5	94,1	397,7
	Desb.1	9	16	17,8	410	76,1	14,4	12,0	22,3	21,2
5	Desb.2	13	21,3	23,4	290	126,0	30,5	29,8	35,7	21,5
	Desb.3	18	26	28,4	230	180,2	15,3	28,5	40,0	87,0
	CR	26	33	35,6	570	902,5	72,3	78,8	140,0	528,8
	Desb.1	9	16	17,8	410	76,1	14,4	12,0	22,3	21,2
6	Desb.2	13	21,3	23,4	290	126,0	30,5	30,5	50,4	36,5
	Desb.3	18	26	28,4	230	180,2	15,3	15,3	42,1	113,4
	CR	28	35	37,6	500	941,4	67,5	79,1	140,1	530,2
	Desb.1	9	16	17,8	410	76,1	14,4	12,0	22,3	21,2

Em que: d = diâmetro a altura do peito, cm; h = altura total, m; N = número de árvores por hectare; V = volume total, m<sup>3</sup>/ha; S1 = sortimento de 8-19,9 cm; S2 = sortimento de 20-29,9 cm; S3 = sortimento de 30-39,9 cm; S4 = sortimento > 40 cm. Regimes de manejo: 1 - Sem desbaste e corte final aos 13 anos; 2 - com um desbaste e corte final aos 13 anos; 3 - com dois desbastes e corte final aos 18 anos; 4 - com três desbastes e corte final aos 22 anos; 5 - com três desbastes e com corte final aos 26 anos; 6 - com três desbastes e corte final aos 28 anos. CR = corte raso.

### Análise Financeira dos Regimes de Manejo

O resultado da análise do Valor Presente Líquido considerando uma taxa de juro de 6,75 % a.a., nos regimes de manejo com um, dois e três desbastes, com variação da idade de corte final indicou, conforme a Tabela 3, o Regime de manejo 4, com realização de três desbastes nas idades de 9, 13 e 18 anos e corte final aos 22 anos, com valor de 15.587,6 R\$/ha como economicamente mais eficiente.

Logo a seguir ficou o Regime de manejo 5, com três desbastes aplicados nas idades de 9, 13 e

18 anos e corte final aos 26 anos, seguido pelo Regime de manejo 6 que considerou a aplicação de três desbastes nas mesmas idades de e corte final aos 28 anos. As alternativas de menor atratividade foram o Regime de manejo 1 e 2, com a realização de corte final aos 13 anos, sem e com um desbaste aos 9 anos.

Analisando os valores presente líquidos dos regimes de manejo 4 e 5, com os maiores desempenhos financeiros, percebe-se uma diferença absoluta de 850,7 R\$/ha em favor do Regime de manejo 4 que pressupõe a realização desbastes aos 9, 13 e 18 anos e corte final aos 22 anos. O valor encontrado para o valor presente líquido anual para esse Regime de manejo 4 foi 708,50 R\$/ha.ano, economicamente mais eficiente que os demais regimes de manejo.

TABELA 3: Valor Presente Líquido dos diferentes regimes de manejo adotados para a condução de povoamentos de *Pinus taeda* L.

TABLE 3: Net Present Value for the different forest management regime adopted to driving the *Pinus taeda* L. stands.

RM	CF ano	RF R\$/ha	Cultura R\$/ha	A + T R\$/ha	M R\$/ha	VPL R\$/ha	VPL R\$/ha.ano	VAE R\$/ha
1	13	22.497,10	8.275,30	5.945,20	3.318,70	2.120,90	163,10	170,50
2	13	29.106,20	8.275,30	5.945,20	3.318,70	4.948,10	380,60	397,90
3	18	60.942,90	11.471,60	9.958,10	5.172,70	10.597,00	588,70	852,10
4	22	101.910,40	14.896,90	14.258,50	7.159,60	15.587,60	708,50	1.253,40
5	26	129.360,10	19.345,00	19.843,00	9.639,80	14.736,90	566,80	1.185,00
6	28	145.649,60	22.044,70	23.232,50	11.205,80	14.318,60	511,40	1.151,40

Em que: RM = regime de manejo; CF = corte final; RF = receita futura; A = custo administração; T = custo de arrendamento; M = custo de manutenção; VPL = valor presente líquido; VAE = valor anual equivalente. Regimes de manejo: 1 - sem desbaste e corte final aos 13 anos; 2 - com um desbaste e corte final aos 13 anos; 3 - com dois desbastes e corte final aos 18 anos; 4 - com três desbastes e corte final aos 22 anos; 5 - com três desbastes, com corte final aos 26 anos, 6 - com três desbastes e corte final aos 28 anos.

O cálculo do Valor anual equivalente (VAE), aplicado devido à existência de diferença nos horizontes de planejamento dos regimes de manejo (idade de rotação de 13, 18, 22, 26 e 28 anos), atualizou o valor presente líquido para uma série equivalente no tempo, passa a ser comparável financeiramente (Tabela 3). O Regime de manejo 4, com VAE igual a 1.253,4 R\$/ha, como o de maior eficiência econômica. Na sequência situaram-se os regimes de manejo 5, 6, 3, 2 e 1, respectivamente, com uma diferença de VAE igual a 1.082,9 R\$/ha ocorreu entre a melhor e a pior alternativa de manejo. Esses resultados para os seis regimes de manejo mostram ser preferível conduzir os povoamentos *Pinus taeda* com emprego de três desbastes corte final aos 22 anos.

A taxa interna de retorno nos seis regimes de manejo simulados (Tabela 4) foi máxima no Regime de manejo 4, (desbaste aos 9, 13 e 18 anos e corte final aos 22 anos) com valor igual a 14,83 % ao ano. A segunda maior TIR foi obtida no Regime de manejo 3, com (desbaste aos 9 e 13 anos e corte final aos 18 anos) igual a 14,25 % ao ano. As demais taxas, em ordem decrescente, foram encontradas nos regimes de manejo 6, 5, 2 e 1, respectivamente.

TABELA 4: Taxa interna de retorno para os seis regimes de manejo simulados.  
 TABLE 4: Internal rate of return for the five management regimes simulated.

Regime manejo	Corte final (ano)	Desbastes Idade (ano)	TIR (% a.a.)
1	13	-	9,38
2	13	9	12,62
3	18	9, 13	14,25
4	22	9, 13, 18	14,83
5	26	9, 13, 18	13,76
6	28	9, 13, 18	13,80

Em que: TIR = taxa interna de retorno ao ano.

Os valores de TIR mostraram que os investimentos florestais conduzidos segundo estes regimes de manejo possibilitam obter um bom retorno financeiro mesmo quando considerado o empréstimo de recursos junto às agências financeiras para a atividade florestal, com taxa nominal de juro de 6,75 % ao ano, atualmente praticada, sob a pressuposição de que o mercado regional mantenha no mínimo as mesmas relações de custos e preços dos sortimentos de madeira.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo realizado em povoamentos de *Pinus taeda* L. sobre diferentes regimes de desbaste permitem concluir que:

a) O comportamento do diâmetro médio estimado em função da variação da densidade populacional é descrito com precisão por isolinhas que delimitam as zonas de concorrência e permitem definir um diâmetro objetivo ótimo para a condução dos povoamentos em diferentes cenários de regimes de manejo;

b) A análise financeira pelo valor presente líquido (VPL) e pela taxa interna de retorno (TIR) indica ser o empreendimento mais rentável quando realizados desbastes nos povoamentos aos 9, 13 e 18 anos de idade e corte final aos 22 anos, conformando o Regime de manejo 4 com boa atratividade para o capital investido em reflorestamento;

c) A comparação econômica dos regimes de manejo pelo valor anual equivalente, para um horizonte de planejamento equalizado em 28 anos, também mostra o regime de manejo com três desbastes e corte final aos 22 anos como o de maior eficiência e o Regime de manejo 1 sem desbaste e rotação de 13 anos como o de menor eficiência;

d) Os indicadores econômicos também mostram o regime de manejo sem desbaste e com rotação aos 13 anos (Regime de manejo 1) como o de menor eficiência.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Klabin S.A., pela concessão dos dados dendrométricos, em especial aos engenheiros Antônio Maurício Moreira e Djalma Milles Chaves, responsáveis pela instalação condução do experimento de espaçamento e sugestões emitidas.

## REFERÊNCIAS

- ARCHIBALD, D. J.; BOWLING, C. **Jack pine density management diagram for boreal Ontario**. [s. l.]: Northeast Science & Technology, 1995. 19 p.
- CELLINI, J. M. et al. Modelos de perfil de tronco en *Nothofagus pumilio* (Polp. et Endl.) Krasser y su utilización en el cálculo del volumen total. **Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**,

- Madrid, v. 11, p. 245-261, 2002.
- DEAN, T. J.; JOKELA, E. J. A density-management diagram for slash pine plantations in the lower coast plain. **Southern Journal of Applied Forestry**, Washington, v. 16, p. 178-185, 1992.
- DEL RIO, M. et al. Analysis of diameter-density relationships and self-thinning in non-thinned even-aged Scots pine stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 142, p. 79-87, 2001.
- DREW, T. J.; FLEWELLING, J. W. Some recent Japanese theories of yield density relationships and their application to Monterey pine plantations. **Forest Science**, Bethesda, v. 23, p. 517-534, 1977.
- FARO, C. **Elementos da engenharia econômica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1979. 328 p.
- GINRICH, S. F. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forests in the central states. **Forest Science**, Bethesda, v. 13, p. 38-53, 1967.
- HARRINGTON, T. B. **Silvicultural approaches for thinning Southern Pines**: method, intensity and timing. Georgia: University of Georgia, 1997. 17 p.
- LONG, J. N.; SMITH, F. W. Relation between size and density in developing stands: a description and possible mechanisms. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 7, p. 191-206, 1984.
- MOTTA, F. S. et al. **Zoneamento agrícola do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**: normas agro-climáticas. Pelotas: Ministério da Agricultura, 1971. 80 p.
- OSAWA, A.; ALLEN, R. B. Allometric theory explains self-thinning relationships of mountain beech and Red pine. **Ecology**, Washington, v. 74, n. 4, p. 1020-1032, 1993.
- PALAHÍ, M. et al. Stand-level yield model for scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in north-east Spain. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v. 11, n. 2, p. 409-424, 2002.
- REID, R. Silvicultural management of Australian blackwood (*Acacia melanoxylon*) in plantations and multi-purpose forests. In: GOVE, J. H. Structural stocking guides: a new look at an old friend. **National Research Council Canada**, Ontario, v. 34, n. 5, 2004.
- REID, R. Diameter-basal area ratio as a practical stand density measure for pruned plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, p. 375-382, 2006.
- REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 46, p. 627-638, 1933.
- REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 389 p.
- SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173 p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. Version 8 (computer manual). Cary: SAS Institute, 1999.
- SAUNDERS, M. R.; PUETTMANN, K. J. **A preliminary white spruce density management diagram for the lake states**. Minnesota: University of Minnesota, 2000. 13 p.
- SCHNEIDER, P. R. **Betriebswirtschaftliche und estragskundliche Grundlagen der Forsteinrichtung in Südbrasilien am Beispiel von *Pinus elliotii***. 1984. 190 f. (Tese de Doutorado) - Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 1984.
- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 2011. 348 p.
- SMITH, D. J.; WOODS, M. E. **Red pine and white pine density management diagrams for Ontario**. Tech. Rep. n. 48. Sault Ste. Marie: Ontario Ministry of Natural Resources, South Central Sciences Division, 1997. 31 p.
- SMITH, N. J.; HANN, D. W. A growth model based on the self-thinning rule. **Canadian Journal of Research**, New Westminster, v. 16, p. 330-334, 1986.
- SPEIDEL, G. **Betriebswirtschaftliche**. Hamburg: Paul Parey Verlag, 1967. 189 p.
- STERBA, H.; MONSERUD, R. A. The maximum density concept applied to uneven-aged mixed-species stands. **Forest Science**, Bethesda, v. 39, n. 3, p. 432-452, 1993.
- TANG, S. et al. A growth and self-thinning model for pure even-age stands: theory and applications. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 70, p. 67-73, 1994.
- TANG, S. et al. The impact of initial stand density and site index on maximum stand density index and self-thinning index in a stand self-thinning model. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 75, p. 61-68, 1995.

- WEST, P. W.; BOROUGH, C. J. Tree supervision and the self-thinning. Rule in a monoculture of *Pinus radiata* D. Don. **Annals of Botany**, Oxford, v. 52, p. 149-158, 1983.
- WESTOBY, M. The place of the self-thinning rule in population dynamics. **American Naturalist**, Lancaster, v. 118, p. 581-587, 1981.
- YODA, K. et al. Self-thinning in over rowed pure stands under cultivated and natural conditions. **Journal Biology**, Osaka, v. 14, p. 107-129, 1963.
- ZEIDE, B. Analysis of the 3/2 power law of self-thinning. **Forest Science**, Bethesda, v. 33, n. 2, p. 517-537, 1987.
- ZEIDE, B. Self-thinning and stand density. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 2, p. 517-523, 1991.
- ZEIDE, B. Tolerance and self-tolerance of trees. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 13, p. 149-166, 1985.