



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa

Brasil

Boechat Soares, Carlos Pedro; Abreu Demolinari, Raul de; Garcia Leite, Helio; Lopes de Souza,  
Agostinho

Predição do crescimento em povoamentos clonais de eucalipto não desbastados utilizando matrizes  
de transição não estacionárias  
Revista Árvore, vol. 33, núm. 5, septiembre-octubre, 2009, pp. 831-840  
Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48815853006>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

re&alyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# PREDIÇÃO DO CRESCIMENTO EM POVOAMENTOS CLONAIS DE EUCALIPTO NÃO DESBASTADOS UTILIZANDO MATRIZES DE TRANSIÇÃO NÃO ESTACIONÁRIAS<sup>1</sup>

Carlos Pedro Boechat Soares<sup>2</sup>, Raul de Abreu Demolinari<sup>3</sup>, Helio Garcia Leite<sup>2</sup> e Agostinho Lopes de Souza<sup>2</sup>

**RESUMO** – Este trabalho teve por objetivo avaliar uma metodologia baseada em matrizes de transição não estacionárias, para predizer o crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados. Após as análises, verificou-se que a utilização de matrizes específicas para cada período de crescimento e para cada classe de produtividade foi eficiente para predizer a distribuição diamétrica e o estoque volumétrico de plantios clonais de eucalipto, bem como definir as idades técnicas de colheita. Além disso, a metodologia proposta mostrou potencial para a definição da época de realização de desbastes.

Palavras-chave: Eucalipto, matriz de transição e crescimento.

## ***PREDITION OF THE GROWTH IN UNTHINNED EUCALYPTUS CLONAL STANDS USING NON STATIONARY TRANSITION MATRICES***

**ABSTRACT** – The objective of this work was to evaluate a methodology based on non stationary transition matrixes to predict the growth in unthinned eucalyptus clonal stands. After analyses, it was verified that the use of specific matrixes for each growth period and for each productivity class was efficient to predict the diametric distribution and volumetric stock of the stands as well as to define the technical ages for cutting. Besides, the proposed methodology showed potential to define the time of thinning.

**Keywords:** *Eucalyptus, transition matrix and growth.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A modelagem do crescimento e da produção de plantios comerciais de eucalipto no Brasil apresenta-se bem desenvolvida, com avanços significativos nesta área. Como exemplo disso, têm-se modelos ajustados para diferentes regiões do país, incluindo desde modelos empíricos em nível de povoamentos e de distribuição diamétrica (CAMPOS e LEITE, 2006) até modelos baseados em processos (ALMEIDA et al., 2004; STAPE et al., 2004).

Com a crescente demanda por produtos madeireiros, no Brasil, principalmente advindos de reflorestamentos comerciais, os modelos de distribuição de diâmetros têm assumido papel de destaque, uma vez que têm a

capacidade de projetar volumes para diferentes usos. Entre os modelos que projetam a distribuição diamétrica de florestas ao longo do tempo, destacam-se aqueles baseados em funções densidade de probabilidade (CAMPOS e LEITE, 2006) e em matrizes de probabilidade de transição (cadeia de Markov).

Os modelos baseados em funções densidade de probabilidades têm sido empregados em estudos envolvendo plantios comerciais de rápido crescimento (LEITE et al., 1990) e aqueles baseados em matrizes de probabilidades de transição empregados preferencialmente em florestas inequianas (HIGUCHI, 1987; AZEVEDO et al., 1995), embora estudos tenham sido realizados em florestas equianas (ARCE et al., 1997).

<sup>1</sup> Recebido em 12-12-2007 e aceito para publicação em 23.06.2009.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal da UFV, Viçosa, MG. E-mail: <csoares@ufv.br>, <hggleite@ufv.br> e <alsouza@ufv.br>.

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal (M.Sc.). E-mail: <raul.abreu@aluminioicba.com.br> .

A matriz de probabilidade de transição é um processo estocástico utilizado para estudar fenômenos que passam por uma sequência de estados, em que a transição de determinado estado para outro ocorre de acordo com certa probabilidade (HILLIER e LIEBERMAN, 2001). Se o processo estocástico possui número finito de estados; atende à propriedade markoviana, ou seja, a probabilidade de transição depende apenas do estado em que o fenômeno se encontra e do estado seguinte; possui uma matriz de probabilidade de transição estacionária; e tem uma probabilidade inicial associada a cada estado, e o processo é chamado de *processo de Markov*. Uma sequência de estados seguindo esse processo é denominada *Cadeia de Markov* (BOLDRINI et al., 1978).

Nesse contexto, a estrutura diamétrica de uma floresta pode ser estudada, de forma satisfatória, por meio da técnica da *Cadeia de Markov*, desde que a floresta possua ritmo de crescimento lento e a projeção seja feita para períodos de tempo curtos (ARCE et al., 1997). Se essas condições não forem verificadas, essa técnica pode gerar estimativas tendenciosas e imprecisas das projeções das distribuições de diâmetros, principalmente devido ao uso da matriz de probabilidade estacionária.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar uma metodologia baseada em matrizes de probabilidade de transição não estacionárias para predizer o crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados, em diferentes classes de produtividade, ou seja, predizer as distribuições diamétricas, os estoques volumétricos e as idades técnicas de colheita (ITC).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área de estudo

Este estudo foi realizado com dados de inventários florestais contínuos de plantios clonais de híbridos não desbastados de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, localizados no Município de Monte Dourado, Estado do Pará, Região Norte do Brasil.

Os plantios estão localizados em áreas cuja temperatura média anual é aproximadamente 26 °C; a umidade relativa apresenta valores entre 80 e 85% em quase todos os meses do ano; a precipitação média anual está entre 2.000 e 2.500 mm, com o período chuvoso

compreendido entre os meses de dezembro e julho. Março é o mês mais chuvoso, enquanto os meses com menores índices pluviométricos estão compreendidos entre julho e novembro, sendo outubro o mais seco; os solos predominantes da região são os Latossolos Amarelos (OLIVEIRA et al., 2004).

### 2.2. Caracterização dos dados

Foram utilizados dados de 63 parcelas permanentes, com 500 m<sup>2</sup> de área útil, espaçamento inicial de 3 x 3 m entre plantas e idades entre 24 e 72 meses, para a obtenção das matrizes de probabilidades de transição.

A classificação da capacidade produtiva dos plantios foi realizada por meio do Método da Curva-Guia (CLUTTER et al., 1983), através da seguinte equação (DEMOLINARI et al., 2007):

$$\begin{aligned} LnHd &= 3,510492274 - 14,88011596I^{-1} \\ r_{y\hat{y}}^2 &= 49,95\%; \quad CV\% = \pm 9,68\% \end{aligned} \quad (1)$$

As parcelas foram divididas em igual número, em três classes de produtividade (Tabela 1), para avaliar a metodologia proposta em diferentes condições de plantio, haja vista que a estrutura diamétrica depende da capacidade produtiva (DEMOLINARI et al., 2007).

Foram utilizadas, também, 10 parcelas permanentes independentes, em cada classe de produtividade, para validar o uso da matriz de probabilidade de transição não estacionária.

### 2.3. Matrizes de probabilidade de transição

Os diâmetros das árvores foram agrupados em classe de 2,0 cm de amplitude com o objetivo de caracterizar a distribuição diamétrica dos povoamentos e definir as matrizes de probabilidades de transição para cada período de projeção e para cada classe de produtividade.

**Tabela 1** – Classes de produtividade dos povoamentos de *Eucalyptus urophylla x E. grandis*.

**Table 1** – Classes of productivity for *Eucalyptus urophylla x E. grandis* stands.

Classe de Produtividade	Amplitude da Classe	Centro de Classe
Alta	$29 \leq S < 35$	$S = 32$
Média	$23 \leq S < 29$	$S = 26$
Baixa	$17 \leq S < 23$	$S = 20$

\* idade-índice igual a 60 meses

A matriz de probabilidade de transição ( $G$ ) – excluindo-se a mortalidade das árvores é representada por:

$$G = i_4 \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \end{bmatrix}$$

em que  $i_n$  = i-ésima classe de diâmetro;  $a_i$  = probabilidade de as árvores permanecerem na mesma classe;  $b_i$  = probabilidade de as árvores migrarem para a classe diamétrica subsequente; e  $c_i$  = probabilidade de as árvores migrarem duas classes,

tal que:

$$a_i = \frac{\text{Número de árvores vivas que permaneceram na } i\text{-ésima classe de DAP no período de tempo } (\Delta T = T_2 - T_1)}{\text{Número de árvores na } i\text{-ésima classe de DAP no tempo } T_1} \quad (2)$$

$$b_i = \frac{\text{Número de árvores vivas que migraram da } i\text{-ésima classe de DAP para a } i\text{-ésima classe + 1 no período de tempo } (\Delta T = T_2 - T_1)}{\text{Número de árvores na } i\text{-ésima classe de DAP no tempo } T_1} \quad (3)$$

$$c_i = \frac{\text{Número de árvores vivas que migraram da } i\text{-ésima classe de DAP para a } i\text{-ésima classe + 2 no período de tempo } (\Delta T = T_2 - T_1)}{\text{Número de árvores na } i\text{-ésima classe de DAP no tempo } T_1} \quad (4)$$

#### 2.4. Projeções das distribuições diamétricas e idades técnicas de colheita (ITCs)

As distribuições diamétricas das parcelas independentes foram projetadas a partir do vetor do número de árvores observado aos 24 meses, conforme proposto por Buongiorno e Michie (1980) – expressão 5, sem o vetor de ingresso ou recrutamento, haja vista que nenhuma árvore ingressou nas classes de diâmetro iniciais:

$$Y_{it+\Delta t} = G \cdot Y_{it} \quad (5)$$

em que  $Y_{it+\Delta t}$  = vetor do número de árvores vivas projetado para as  $i$  classes de diâmetro no tempo  $t+\Delta t$ ;  $G$  = matriz probabilidade de transição específica para

cada período de projeção e classe de produtividade; e  $Y_{it}$  = vetor número de árvores vivas por classe de diâmetro no tempo  $t$ .

As distribuições diamétricas projetadas foram comparadas com as distribuições observadas através do teste Qui-quadrado, no nível de 95% de probabilidade.

De posse do número de árvores estimado por hectare e por classe de DAP, nas diferentes idades e classes de produtividade estimaram-se os estoques volumétricos por hectare e as idades técnicas de colheita (ITCs) – idades em que ocorreram os máximos incrementos médios anuais (IMAs). Para isso, foram utilizadas as seguintes equações para estimar os volumes e as alturas das árvores individuais (DEMOLINARI et al., 2007):

$$\ln V_{tcc} = -11,1459220 + 1,8866990 \ln DAP + 1,3733330 \ln Ht \quad (6)$$

$$R^2 = 99,87\%; CV\% = \pm 9,68\%$$

$$Ht = \frac{35,947001}{(1 + \exp(-0,53468 - 0,003725(DAP \cdot Hd)))^{1/0,2776510}} \quad (7)$$

$$R^2 = 89,45\%; CV\% = \pm 9,49\%$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Matrizes de probabilidades

Considerando o crescimento em diâmetro como uma medida de vigor (BUCKMAN e SHIFLEY, 1983; MIRANDA, 1990), observou-se (Tabelas 2, 3 e 4) que as árvores das menores classes de diâmetro vão diminuindo seu vigor ao longo do tempo, uma vez que as probabilidades de as árvores permanecerem nas classes (diagonal principal das matrizes de probabilidades) são maiores do que as de mudarem de classe. No entanto, como surgem novas classes de diâmetro a cada ano, independentemente da classe de produtividade, isso indica que as árvores maiores ainda apresentam vigor de crescimento, mesmo em idades mais avançadas.

De acordo, ainda, com as Tabelas 2, 3 e 4, as probabilidades não são as mesmas ao longo do tempo, o que corrobora o uso de matrizes de probabilidade de transição para períodos distintos e para classes de produtividade distintas, quando se deseja predizer a distribuição diamétrica de plantios comerciais de rápido crescimento, como os plantios comerciais de eucalipto (ARCE et al., 1997).

**Tabela 2 – Matrizes de transição da classe de alta produtividade ( $S = 32$ ).**  
**Table 2 – Transition matrixes for the class of high productivity ( $S = 32$ ).**

Classe DAP (36 meses)	Classe DAP (cm) - 24 meses							
	5	7	9	11	13	15	17	19
5	0,5429	0	0	0	0	0	0	0
7	0,2000	0,6377	0	0	0	0	0	0
9	0	0,1594	0,6032	0	0	0	0	0
11	0	0	0,2540	0,4412	0	0	0	0
13	0	0	0,0159	0,4622	0,2551	0	0	0
15	0	0	0	0,0294	0,6029	0,1524	0	0
17	0	0	0	0,0084	0,0928	0,6283	0,0423	0
19	0	0	0	0	0,0029	0,1673	0,7183	0,1429
21	0	0	0	0	0	0,0037	0,1690	0,4286
23	0	0	0	0	0	0	0	0,4286

Classe DAP (48 meses)	Classe DAP (cm) - 36 meses									
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
5	0,5789	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,0526	0,6275	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0,1569	0,7356	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,0920	0,7445	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,1387	0,6350	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0,3450	0,4492	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0,5430	0,4126	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0,5680	0,3265	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0,0194	0,6224	0,3125	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0,0408	0,6875	0,3333
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6667

Classe DAP (60 meses)	Classe DAP (cm) - 48 meses										
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
5	0,4545	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,3636	0,6364	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0,2121	0,5972	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,3056	0,7000	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,2273	0,7055	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0,2123	0,6250	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0,3641	0,5759	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0,4152	0,3893	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0,6040	0,2143	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0,0067	0,7429	0,1250	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0286	0,8125	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0625	1,0000

Classe DAP (72 mese)	Classe DAP (cm) - 60 meses											
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
5	0,4000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,4000	0,8000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0,1200	0,7000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,1800	0,5859	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,2828	0,7266	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0,2188	0,7055	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0,2534	0,6173	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0,3673	0,5099	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0,0051	0,4901	0,4571	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5429	0,2545	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6909	0,2000	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0545	0,8000	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0625	1,0000

**Tabela 3** – Matrizes de transição para a classe de média produtividade ( $S = 26$ ).  
**Table 3** – Transition matrixes for the class of medium productivity ( $S = 26$ ).

Classe DAP (36 meses)	Classe DAP (cm) - 24 meses						
	5	7	9	11	13	15	17
5	0,6842	0	0	0	0	0	0
7	0,2105	0,5785	0	0	0	0	0
9	0	0,3306	0,4774	0	0	0	0
11	0	0	0,4444	0,2920	0	0	0
13	0	0	0,0165	0,5664	0,1011	0	0
15	0	0	0	0,0914	0,7303	0,0449	0
17	0	0	0	0	0,1161	0,6629	0
19	0	0	0	0	0	0,2360	0,8000
21	0	0	0	0	0	0,0112	0,2000

  

Classe DAP (48 meses)	Classe DAP (cm) - 36 meses							
	5	7	9	11	13	15	17	19
5	0,6923	0	0	0	0	0	0	0
7	0,2308	0,6154	0	0	0	0	0	0
9	0	0,3077	0,6731	0	0	0	0	0
11	0	0	0,3013	0,6329	0	0	0	0
13	0	0	0	0,3430	0,4215	0	0	0
15	0	0	0	0,0048	0,5740	0,4087	0	0
17	0	0	0	0,0048	0	0,5739	0,2667	0
19	0	0	0	0	0	0,0130	0,6889	0,1600
21	0	0	0	0	0	0	0,0444	0,7200
23	0	0	0	0	0	0	0,1200	0,5000
25	0	0	0	0	0	0	0	0,5000

  

Classe DAP (60 meses)	Classe DAP (cm) - 48 meses										
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
5	0,7222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,1667	0,6667	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0,2778	0,705	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,209	0,646	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,320	0,594	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0,394	0,475	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0,006	0,507	0,369	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0,004	0,618	0,286	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0,013	0,686	0,182	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0,029	0,773	0,250	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,045	0,750	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000

  

Classe DAP (72 mese)	Classe DAP (cm) - 60 meses											
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
5	0,5385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,3846	0,7436	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0,2051	0,6887	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0,2642	0,7535	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,2183	0,8000	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0,1935	0,5906	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0,4035	0,5465	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0,4477	0,3898	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0,0058	0,5932	0,3519	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0,0169	0,611	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0370	0,9524	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0476	0,7500	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2500	1,0000	

**Tabela 4** – Matrizes de transição da classe de baixa produtividade ( $S = 20$ ).  
**Table 4** – Transition matrixes for the class of low productivity ( $S = 20$ ).

Classe DAP (36 meses)	Classe DAP (cm) - 24 meses						
	5	7	9	11	13	15	17
5	0,6071	0	0	0	0	0	0
7	0,2768	0,5556	0	0	0	0	0
9	0,0089	0,3419	0,4891	0	0	0	0
11	0	0	0,4552	0,3695	0	0	0
13	0	0,0043	0,0097	0,5221	0,2400	0	0
15	0	0,0043	0	0,0482	0,6400	0	0
17	0	0	0	0	0,0800	1,0000	0
19	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	1,0000
Classe DAP (48 meses)	Classe DAP (cm) - 36 meses						
	5	7	9	11	13	15	17
5	0,6765	0	0	0	0	0	0
7	0,2941	0,6832	0	0	0	0	0
9	0	0,3043	0,6113	0	0	0	0
11	0	0	0,3604	0,6250	0	0	0
13	0	0	0,0035	0,3679	0,4248	0	0
15	0	0	0,0035	0,0036	0,5556	0,2951	0
17	0	0	0	0	0,0196	0,6557	0,2500
19	0	0	0	0	0	0,0492	0,6250
21	0	0	0	0	0	0,1250	0
23	0	0	0	0	0	0	0
Classe DAP (60 meses)	Classe DAP (cm) - 48 meses						
	5	7	9	11	13	15	17
5	0,7826	0	0	0	0	0	0
7	0,1957	0,6923	0	0	0	0	0
9	0	0,2538	0,7342	0	0	0	0
11	0	0	0,2342	0,7220	0	0	0
13	0	0	0	0,2599	0,6391	0	0
15	0	0	0	0	0,3491	0,5905	0
17	0	0	0	0	0	0,4000	0,4000
19	0	0	0	0	0	0	0,5778
21	0	0	0	0	0	0	0,5000
23	0	0	0	0	0	0	1,0000
25	0	0	0	0	0	0	0
Classe DAP (72 mese)	Classe DAP (cm) - 60 meses						
	5	7	9	11	13	15	17
5	0,6320	0	0	0	0	0	0
7	0,1320	0,6990	0	0	0	0	0
9	0	0,1460	0,7870	0	0	0	0
11	0	0	0,1690	0,7400	0	0	0
13	0	0	0	0,2450	0,7290	0	0
15	0	0	0	0	0,2550	0,6140	0
17	0	0	0	0	0	0,3860	0,6190
19	0	0	0	0	0	0	0,3810
21	0	0	0	0	0	0	0,4060
23	0	0	0	0	0	0	0,5940
25	0	0	0	0	0	0	0,1670

Classe DAP (72 mese)	Classe DAP (cm) - 60 meses						
	5	7	9	11	13	15	17
5	0,6320	0	0	0	0	0	0
7	0,1320	0,6990	0	0	0	0	0
9	0	0,1460	0,7870	0	0	0	0
11	0	0	0,1690	0,7400	0	0	0
13	0	0	0	0,2450	0,7290	0	0
15	0	0	0	0	0,2550	0,6140	0
17	0	0	0	0	0	0,3860	0,6190
19	0	0	0	0	0	0	0,3810
21	0	0	0	0	0	0	0,4060
23	0	0	0	0	0	0	0,5940
25	0	0	0	0	0	0	0,1670

**Tabela 5** – Números de árvores por classe de DAP observados e estimados para 36, 48, 60 e 72 meses, nas três classes de produtividade.

**Table 5** – Observed and estimated number of trees per diameter class for 36, 48, 60 and 72 months and three productivity classes.

Classe de DAP	Idades (meses)									
	24		36		48		60		72	
	Obs.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	
5	24	14	13	10	8	6	3	2	1	
7	70	52	49	34	32	24	23	18	20	
9	108	78	76	76	64	62	45	50	34	
11	236	148	132	120	105	114	93	76	63	
13	322	192	193	148	141	136	123	126	116	
15	270	244	242	164	175	132	139	124	125	
17	62	212	204	224	216	190	188	150	151	
19	10	106	92	156	146	156	146	150	144	
21		18	16	74	66	106	102	124	119	
23		4	4	24	16	56	52	76	69	
25				4	3	22	15	42	39	
27						4	4	22	15	
29								4	4	

Classe de DAP	Idades (meses)									
	24		36		48		60		72	
	Obs.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	
5	28	20	19	12	13	6	10	2	5	
7	112	70	71	50	48	42	34	36	29	
9	244	154	154	126	125	100	102	76	77	
11	328	212	204	184	175	152	140	136	132	
13	260	244	216	166	161	150	152	152	152	
15	64	236	223	242	216	184	166	142	128	
17	2	74	73	166	148	180	165	168	157	
19		20	17	56	56	118	108	130	116	
21		2	1	14	15	46	43	84	80	
23				4	3	16	14	32	28	
25				2	1	4	3	20	15	
27						2	1	4	3	
29								2	1	

Classe de DAP	Idades (meses)									
	24		36		48		60		72	
	Obs.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	Obs.	Est.	
5	114	62	69	42	47	36	37	22	23	
7	226	158	157	130	128	90	98	66	73	
9	374	280	261	224	207	204	185	190	160	
11	248	286	262	276	258	244	235	214	205	
13	82	156	154	178	163	186	171	194	182	
15	4	64	65	112	107	128	120	126	117	
17	2	14	11	42	49	62	62	82	85	
19		2	0	10	10	34	33	36	37	
21		2	2	2	1	6	5	24	20	
23				2	2	2	1	6	5	
25						2	2	2	2	

A definição de matrizes de probabilidades de transição para períodos distintos e por classe de produtividade, haja vista que a estrutura do povoamento é função, entre outros fatores, da capacidade produtiva e da sua idade (CLUTTER et al., 1983), pode balizar a realização de práticas silviculturais, como o desbaste.

Através da identificação das classes de diâmetro que apresentam estagnação de crescimento, isto é, daquelas classes em que a probabilidade das árvores permanecerem na classe é maior do que a de mudarem de classe, e das análises de viabilidades técnica e econômica, pode-se definir a idade (época) de realização do desbaste e a quantidade a ser removida nesta prática. Essa forma de definir a época de realizar o desbaste diferencia-se da técnica dos Ingressos Percentuais (NOGUEIRA et al., 2001; LEITE et al., 2005), que se baseia na diminuição do vigor das maiores árvores do povoamento.

Demolinari (2006) observou, em plantios clonais de eucalipto, a estagnação do crescimento das árvores nas menores classes de diâmetro, juntamente com o aumento da mortalidade de árvores. Assim, a avaliação da estagnação do crescimento nas menores classes de diâmetro, pelo emprego de matrizes de transição, além de definir a época de realização de desbastes, pode interferir positivamente para o aumento da produção líquida, por evitar perdas por mortalidade de árvores (DAVIS e JOHNSON, 1987; CAMPOS e LEITE, 2006).

### 3.2. Projeções das distribuições diamétricas

Para efetuar os cálculos algébricos e, consequentemente, projetar as distribuições diamétricas para diferentes idades, houve a necessidade da inclusão de zeros nas matrizes de transição e nos vetores do número de árvores, haja vista que estes possuíam diferentes dimensões.

**Tabela 7** – Tabela de produção considerando três classes de índice de local (S).  
**Table 7** – Volume per hectare (Vol.) and mean annual increment (IMA) considering three site index classes (S).

Idade (meses)	S=20		S=26		S=32	
	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha.ano)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha.ano)	Vol. (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha.ano)
24	28,40	14,20	57,50	28,75	104,88	52,44
36	44,79	14,93	95,46	31,82	162,33	54,11
48	60,92	15,23	131,28	32,82	220,64	55,16
60	78,55	15,71	166,00	33,20	263,30	52,66
72	96,30	16,05	197,94	32,99	301,92	50,32
84*	108,64	15,52	-	-	-	-

\* valores observados aos 84 meses

**Tabela 6** – Resultados dos testes Qui-quadrado .

*Table 6 – Results of the Chi-square test.*

Classes de produtividade	Idades (meses)			
	36	48	60	72
S=32	n.s	n.s	n.s	n.s
S=26	n.s	n.s	n.s	n.s
S=20	n.s	n.s	n.s	n.s

n.s = as distribuições diamétricas estimadas e observadas não diferiram estatisticamente, pelo teste Qui-quadrado, ao nível de 95% de probabilidade.

As projeções das distribuições diamétricas para as idades de 48, 60 e 72 meses, por meio de matrizes de transição não estacionárias, foram estatisticamente iguais às distribuições observadas, no nível de 95% de probabilidade (Tabelas 5 e 6).

De acordo com a Tabela 7, as idades técnicas de colheita foram coerentes com a capacidade produtiva dos plantios (CLUTTER et al., 1983; CAMPOS e LEITE, 2006). Quanto maior a capacidade produtiva, menores as idades em que ocorrem as máximas produtividades médias (valores sublinhados).

Embora a metodologia proposta se tenha mostrado eficiente para projetar as distribuições diamétricas em diferentes idades e condições de produtividade, ela restringe as projeções a intervalos múltiplos do intervalo original, utilizado para gerar as matrizes de probabilidades. Neste estudo, se o objetivo fosse projetar as distribuições diamétricas para idades entre 24 e 36 meses, por exemplo, essa seria obtida por interpolação. Contudo, esse artifício matemático pode resultar em estimativas imprecisas, uma vez que a lógica da proporcionalidade pode não ocorrer, em virtude dos períodos de crescimento diferenciados ao longo do ano.

Como alternativas à utilização de matrizes de transição para a obtenção de variáveis de estado em qualquer ponto no tempo em povoamentos equiâneos, têm-se as metodologias baseadas em equações diferenciais (RIBEIRO, 1996) e em processos de difusão (ARCE et al., 1998; EISFELD et al., 2005).

#### 4. CONCLUSÕES

Após as análises, pôde-se concluir que a utilização de matrizes específicas em cada período de crescimento e em cada classe de produtividade foi eficiente para predizer a distribuição diamétrica e o estoque volumétrico de plantios clonais de eucalipto, bem como definir as idades técnicas de colheita. Além disso, a metodologia proposta possui potencial para a definição da época de realização de desbastes.

Cabe ressaltar, no entanto, que a metodologia apresentada ainda possui limitações de uso com relação ao período de tempo entre projeções e à interpolação dos dados.

#### 5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C. et al. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, n.193, p.179-195, 2004.

ARCE, J. E. et al. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoce do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, v.27, n.1, p.83-98, 1997.

ARCE, J. E. et al. Utilização dos processos de difusão na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Cerne**, v.4, n.1, p.154-170, 1998.

AZEVEDO, C. P.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Um modelo de matriz de transição para prognose do crescimento de um povoamento natural remanescente não manejado de mata Atlântica. Viçosa: **Revista Árvore**, v.19, n.2, p.187-199, 1995.

BOLDRINI, J. L. et al. **Álgebra linear**. São Paulo: Haper & Row do Brasil, 1978. 805p.

BUCKMAN, R. G.; SHIFLEY, R. Essential for forecasting mortality trends and changes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE RENEWABLE RESOURCES INVENTORIES FOR MONITORING CHANGES AND TRENDS, 1983, Corvalis. Proceedings...Corvalis, Oregon State University, 1983. v.1. p.141-144.

BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix model for uneven-aged forest management. **Forest Science**, v.26, n.4, p.609-625, 1980

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 407p.

CLUTTER, J. C. et al. **Timber management**: a quantitative approach. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333p.

DEMOLINARI, R. A. **Crescimento de povoamentos de eucalipto não-desbastados**. 2006. 72f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 2006.

DEMOLINARI, R. A. et al. Crescimento de plantios clonais de eucalipto não desbastados na região de Monte Dourado (PA). **Revista Árvore**, v.31, n.3, p.503-512, 2007.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3.ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 790p.

EISFELD, R. L. et al. Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. por meio do processo de difusão. **Revista Cerne**, v.11, n.2, p.167-177, 2005.

HIGUCHI, N. **Short-term growth of an undisturbed tropical rain forest in the brazilian Amazon**. 1987. 129f. Thesis (Ph.D) - Michigan State University, Michigan, 1987.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Retorno de nutrientes via deposição de serrapilheira em um povoamento de Acácia-Negra (*Acacia mearnsii* De Wild) no Estado do Rio Grande do Sul**. 7.ed. New York: Macgraw-Hill, 2001. 1214p.

LEITE, H. G. et al. Um modelo para estimar a produção de madeira pra celulose e energia derivado da função Weibull. **Revista Árvore**, v.14, n.2, p.102-118, 1990.

LEITE, H. G. et al. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp., submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v.29, n.2, p.271-280, 2005.

MIRANDA, R. C. **Análise da mortalidade regular em função de características dendrométricas de grupos de árvores semelhantes de eucalipto.** 1990. 86f.

Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.

NOGUEIRA, G. S. et al. Determinação da idade técnica de desbaste utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n.59, p.51-59, 2001.

OLIVEIRA, L. L. et al. Mapas dos parâmetros climatológicos do estado do Pará: umidade, temperatura e insolação médias anuais. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2004. 7p.

RIBEIRO, C. A. A. S. Um modelo para a projeção da distribuição diamétrica de povoamentos inéquianeos baseado em equações diferenciais. **Revista Árvore**, v.20, n.3, p.279-286, 1996.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. *Eucalyptus* production and supply, use and the efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, n.193, p.17-31, 2004.