

# **ACURACIDADE DA PREDIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE UMA FLORESTA INEQUILÍNEA COM A MATRIZ DE TRANSIÇÃO**

Frederico Aparecido Pulz<sup>1</sup>, José Roberto Scolforo<sup>2</sup>, Antônio Donizette de  
Oliveira<sup>2</sup>, José Márcio de Mello<sup>2</sup> e Ary Teixeira de Oliveira Filho<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este estudo teve como objetivo principal avaliar a prognose da estrutura diamétrica utilizando a matriz de transição a partir de três diferentes períodos de medição da floresta. Também foi realizada a análise comparativa das prognoses geradas através do método da matriz de transição com as prognoses obtidas do método da razão de movimentação dos diâmetros e método de Wahlenberg. Os dados básicos foram obtidos na reserva florestal da Universidade Federal de Lavras. Foram lançados nesta, em 1986, 126 parcelas contíguas com 400m<sup>2</sup> cada uma. As avaliações foram realizadas em 1987, 1992 e 1996. O método da matriz de transição mostrou-se eficiente para fins de prognose da estrutura diamétrica, independente do período de medição, apesar de ter sido detectada mudança na estrutura da floresta, particularmente da taxa de recrutamento e de mortalidade. A partir da matriz de transição, foi identificada a existência do estado absorvente na base de dados. Os métodos da matriz de transição, razão de movimentação de diâmetro e Wahlenberg apresentaram mesmo grau de eficiência para fins de prognose do número total de árvores. Em relação à estrutura diamétrica, estes métodos apresentaram desempenho diferenciado. O mesmo fato foi constatado para os diferentes períodos de avaliação. Neste caso, pelo menos um dos métodos foi sensível às mudanças na estrutura da floresta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Prognose em floresta nativa, matriz de transição, razão de movimento dos diâmetros, método de Wahlenberg.

## **ACCURACY OF THE DIAMETER DISTRIBUTION PREDICTION OF AN UNEVEN FOREST WITH THE TRANSITION MATRIX**

**ABSTRACT:** This study had as main objective to evaluate the prognosis of the diameter structure utilising the transition matrix from three different measurement periods of the forest. It was also performed a comparison analysis of the prognosis generated through the transition matrix method with those obtained through the ratio of diameter movement method and the Wahlenberg's method. The basic data were obtained from the forest reserve of the Federal University of Lavras. One hundred twenty six (126) 400 m<sup>2</sup> plots were established in this forest.

---

<sup>1</sup> Pós-Graduando em Engenharia Florestal - Universidade Federal de Lavras - Cx. Postal 37, Lavras-MG - CEP 37200-000

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal de Lavras - Departamento de Ciências Florestais - Cx. Postal 37, Lavras-MG - CEP 37200-000

The measurements and evaluation were done in 1987m 1992 and 1996. The transition matrix method proved to be efficient for purpose of prognosticating diameter structure, independent from the measurement period, in spite of having been detected changes in the forest structure, particularly of the ingrowth and mortality rates. From the transition matrix, it was identified the existence of absorbent state in the data base. The methods of the transition matrix, ratio of diameter movement and Wahlenberg's presented the same efficiency degree for prognosis purposes of the total number of trees. At the level of frequency by diameter class, these methods presented differentiated performance. The same fact was verified for the different evaluation periods. In this case, at least one of the methods was sensitive to changes in forest structure.

KEY WORDS: Prognosis, native forest, transition matrix, ratio of diameter movement, Wahlenberg's method.

## 1. INTRODUÇÃO

As florestas nativas têm sido tratadas no Brasil de forma muito generalizada. Um exemplo deste fato é a definição do ciclo de corte de 30 anos para as florestas da região Amazônica e 12 anos para a vegetação do cerrado em Minas Gerais. Outro exemplo é a polêmica sobre a economicidade ou não da prática do manejo florestal sustentado. Também as taxas de mortalidade e de recrutamento são constantemente generalizadas para as florestas de todo um Estado ou uma região. Muitos outros exemplos nesta mesma linha podem ser considerados.

Um instrumento poderoso para auxiliar o planejamento florestal são os modelos de produção. Embora estes impliquem numa simplificação da realidade, obter a prognose da distribuição diamétrica das árvores que compõem a floresta possibilita várias ações. Dentre estas, pode-se citar: a definição do ciclo de corte para a floresta ou com relação à espécie; a avaliação da viabilidade econômica de se praticar ou não o manejo para a floresta ou com base nas espécies; fazer parte de um rol de critérios que auxiliarão na decisão sobre que espécie poderá ser removida da floresta, fato este que

afetará com menor intensidade a manutenção da diversidade florística.

Leslie (1945, 1948) foi pioneiro no uso da matriz de transição, realizando estudos sobre mortalidade e fertilidade em populações de animais, nos quais foram usados estados baseados em classes de idade.

Posteriormente, Lefkovitch (1965) utilizou a matriz de Leslie, em população de besouro (*Lasioderma serricornes*), onde a idade é raramente conhecida. Diante deste fato, a população não pode ser subdivida em grupos de mesma idade, como feito por Leslie. Neste caso, o controle adotado foi a partir de grupos com diferentes estádios de desenvolvimento, supondo não existir variação sobre a duração do estágio que os diferentes indivíduos possam mostrar.

Na área florestal, o uso da matriz de transição foi aplicada por Usher (1966) em um povoamento de Pinus (*Pinus sylvestris*) na Escócia, mensurados em ciclos de 6 anos, considerando classes diamétricas.

Vanclay (1994, 1995) considerou que a matriz de transição pode também ser denominada cadeia de Markov, matriz de Usher e outras generalizações. Relatou também que matriz de transição é uma extensão lógica do método de projeção de tabela de povoamento e, assim como esta,

assume que uma árvore em uma determinada classe de diâmetro tem a probabilidade de mover-se para outra classe, dependendo apenas do estado atual. Durante um período de tempo, uma árvore deve permanecer na classe diamétrica, mas com seu desenvolvimento, pode migrar para outras classes de diâmetro e após atingir a senescência, morrer. As probabilidades de movimentação podem ser expressas por uma matriz (M), e a previsão das mudanças podem ser para um intervalo de tempo ( $V_1$ ) como:  $V_1 = MV_0$ . Em floresta,  $V_0$  é geralmente o número inicial de árvores em cada classe de diâmetro, M representa a matriz de transição e  $V_1$  representa o estado final ou a prognose efetuada.

Entre os modelos de matrizes de transição, a cadeia de Markov foi utilizada por vários pesquisadores na prognose e no desenvolvimento de povoamentos inequidâneos, como: Bruner e Moser Jr. (1973); Enright e Ogden (1979); Binkley (1980); Buongiorno e Michie (1980); Michie e Buongiorno (1984); Solomon, Hasmer e Hayslett Jr. (1986); Mendoza e Setyarso (1986); Higuchi (1987); Osho (1991); Freitas e Higuchi (1993); Azevedo (1993); Azevedo, Souza e Jesus (1995); Sanquetta et al. (1996a); Sanquetta et al. (1996b); e Pulz (1998), dentre outros. Em povoamentos equidâneos, citam-se, dentre vários estudos com esta metodologia, os de Michie e McCandless (1986).

Os objetivos deste estudo foram: avaliar o efeito do período de tempo para medição da floresta (inventário) na prognose da estrutura diamétrica, gerada através da matriz de transição; e avaliar a acuracidade deste modelo em relação as prognoses

efetuadas através do método da razão de movimentação dos diâmetros e método de Wahlenberg.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

### 2.1. Caracterização da área

O estudo foi realizado com dados coletados na Reserva Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras (21°13'40" S e 44°52'50" W). A altitude local é de 925 metros. O clima é do tipo Cwb de Köppen (mesotérmico com verões brandos e estiagem no inverno). A precipitação e a temperatura média anual são 1493,2 mm e 19,3°C. Todavia, 66% de precipitação ocorre de novembro a fevereiro (Vilela e Ramalho, 1979). O solo foi classificado como latossolo roxo distrófico (epialico), textura muito argilosa (Curi et. al., 1990).

Segundo Oliveira Filho, Scolforo e Mello (1994), trata-se de um remanescente de floresta semidecídua montana, cuja área é de 5,8 ha, a qual não sofreu corte raso e tem aproximadamente os mesmos limites, pelo menos desde a década de 1920.

### 2.2. Fonte de dados

Em 1986 foi realizado um censo na Reserva Florestal em estudo, após a instalação de 126 parcelas permanentes com dimensões de 400 m<sup>2</sup> (20 x 20 m).

No primeiro levantamento, realizado em 1987, todas as árvores com dimensões igual ou superior a 5 cm de DAP foram mensuradas totalizando 136 espécies distribuídas em 52 famílias (Oliveira Filho, Scolforo e Mello, 1994). Foram ainda

realizadas outras duas medições. Uma em 1992, em que foram identificadas 7 novas espécies, totalizando 143 espécies (Oliveira Filho, Mello e Scolforo, 1997). Outra em 1996, em que foram identificadas mais 6 espécies além das 143 registradas em 1992.

### 2.3. O modelo

#### 2.3.1. Matriz de transição

Segundo De Groot (1989), uma cadeia de Markov pode assumir  $k$  estados:  $S_1, \dots, S_k$ , de tal modo que a probabilidade de transição de um estado  $S_i$  para um estado  $S_j$  seja  $p_{ij}$  (um número que só depende de  $S_i$  e  $S_j$ ), para  $i = 1, \dots, k$  e  $j = 1, \dots, k$ . Portanto, a matriz de transição da cadeia de Markov é uma matriz (P) quadrada de  $k \times k$  com elementos  $p_{ij}$ .

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1k} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \dots & p_{kk} \end{bmatrix}$$

Onde:  $p_{ij} \geq 0$ , e a soma das probabilidades de cada coluna deve ser 1.

#### 2.3.2. Obtenção das probabilidades de transição

Neste estudo, o modelo de Markov foi construído com base nos dados de transição de três períodos (1987-92, 1992-96 e 1987-96). A floresta foi dividida em 16 estados. Os quinze primeiros, representados pelas classes diamétricas e o décimo sexto pela mortalidade. O recrutamento a partir da segunda medição foi considerado o ingresso de todas as árvores que atingiram uma dimensão mínima de 5 cm a 1,3 m de altura.

Esta variável foi representada pelo vetor coluna  $I_{it}$  ( $i = 1, \dots, n$ ;  $t =$  período de crescimento). Para obter estas informações, produzindo, para cada período, uma tabela contendo a transição das árvores ao longo das classes diamétricas, utilizou-se o software "PRODNAT", desenvolvido para este fim pelos autores deste estudo.

Através dos dados dessas tabelas, foi possível obter a probabilidade de transição de cada período através da matriz G:

$$G = \begin{matrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ \vdots \\ i_n \end{matrix} \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \dots & m_n \end{bmatrix}$$

Em que:

$i_n = I$ -ésima classe de diâmetro;

$a_i, b_i, c_i =$  São as probabilidades de uma árvore viva permanecer na mesma classe diamétrica ( $a_i$ ), mudar para a classe diamétrica subsequente ( $b_i$ ), ou ainda mudar duas classes ( $c_i$ ). Estas probabilidades foram obtidas como:

$$a_1 = \frac{\text{Número de árvores vivas que permaneceram na } I - \text{ésima classe diamétrica no período de tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}{\text{Número de árvores existentes na } I - \text{ésima classe diamétrica no tempo } t_1}$$

$$b_1 = \frac{\text{Número de árvores vivas que migraram da } I - \text{ésima classe diamétrica para a } I + 1 - \text{ésima classe diamétrica no período de tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}{\text{Número de árvores existentes na } I - \text{ésima classe diamétrica no tempo } t_1}$$

$$c_1 = \frac{\text{Número de árvores vivas que migraram da } I - \text{ésima classe diamétrica para a } I - \text{ésima classe diamétrica} + 2 \text{ no período de tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}{\text{Número de árvores existentes na } I - \text{ésima classe diamétrica no tempo } t_1}$$

$$m_1 = \frac{\text{Número de árvores mortas na } I - \text{ésima classe diamétrica no intervalo de tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}{\text{Número de árvores existentes na } I - \text{ésima classe diamétrica no tempo } (\Delta t = t_2 - t_1)}$$

Em que:

$t_1$  = início do período de crescimento considerado;

$t_2$  = fim do período de crescimento considerado;

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre o início e o fim do período de crescimento considerado ( $t_2 - t_1$ ).

Seja para  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ , a condição é que a árvore continue viva e não seja colhida no intervalo de tempo considerado.

Deve-se considerar que em qualquer vegetação ocorrem mortalidade de árvores ( $m_i$ ), assim como recrutamento ou ingresso ( $I_i$ ), principalmente nas menores classes diamétricas. A probabilidade de ocorrência de mortalidade foi obtida como:

O recrutamento foi quantificado por ocasião da segunda e terceira medições, podendo ser representado ou não por algum modelo.

A projeção da estrutura da floresta foi de acordo com Buongiorno e Michie (1980), como se segue:

$$Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it} \quad (1)$$

Em que:

$Y_{t+\Delta t}$  = número de árvores projetadas

$G$  = probabilidade de transição por classe diamétrica

$Y_{it}$  = freqüência da classe de diâmetro

$I_{it}$  = recrutamento

A forma matricial da expressão 1 é:

$$\begin{bmatrix} Y_{1t+\Delta t} \\ Y_{2t+\Delta t} \\ Y_{3t+\Delta t} \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_{nt+\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ \cdot \\ \cdot \\ I_{nt} \end{bmatrix}$$

Deve-se destacar que se for efetuada a projeção da estrutura da floresta para 2 períodos de tempo, então a expressão (1) evolui para a forma:

$$Y_{2\Delta t} = G^2 \cdot Y_0 + G \cdot I_{it} + I_{i2}$$

Generalizando então a expressão (1), ela assume a forma:

$$Y_{n \cdot \Delta t} = G^n \cdot Y_0 + \sum_{i=0}^{n-1} G^i \cdot I_{(n-i)}$$

Em que:

$n = n$  períodos de prognose;

$Y_{t+\Delta t}$ ,  $G$ ,  $Y_{it}$ ,  $I_{it}$  = já definidos anteriormente.

### 2.3.3. Estados absorventes da cadeia de Markov

A característica básica deste estado é quando a probabilidade de transição, de uma classe diamétrica para outra, é igual a zero. Existe somente probabilidade das árvores permanecerem na mesma classe diamétrica, como a definição de  $a_i$ . Não ocorre a passagem de árvores para a iésima classe +1 ou +2, representada pelas probabilidades  $b_i$  e  $c_i$ .

Desta maneira, as prognoses da estrutura diamétrica das classes de diâmetro anteriores não podem ultrapassar a classe que apresenta estado absorvente. Há então um acréscimo de árvores continuamente nesta classe. Este acréscimo será mais intenso à medida que mais prognoses forem efetuadas, já que as árvores não mais saem desta classe.

A ocorrência deste estado compromete as prognoses das estruturas diamétricas da

floresta e impedem também que o estado de equilíbrio seja detectado. Se este estado for detectado, o estudo terá significado científico e didático, comprometendo o uso dos resultados para fins práticos.

### 2.4. Avaliação das projeções realizadas com a Matriz de Transição

A comparação entre os três períodos de observação não foi possível devido à inflexibilidade do método utilizado neste estudo, ou seja, as projeções devem ser feitas em períodos com iguais intervalos àqueles realizados nos levantamentos. Para o intervalo de 1987-92, só é possível prognosticar de 5 em 5 anos; para 1992-96, em períodos de 4 em 4 anos, e para 1987-96, de 9 em 9 anos. Portanto, o mínimo múltiplo comum para esta situação seria de 180 anos, e segundo Davis (1966); Davis e Johnson (1987); Avery e Burkhart (1994) e Scolforo (1997), períodos de projeção não devem ser longos, pois ocorrem mudanças na estrutura do povoamento, o que levaria a resultados inconsistentes.

A avaliação das prognoses, com base nos períodos de 1987-92 e 1992-96, foi através de um delineamento de blocos casualizados (DBC). Para esta situação, as classes diamétricas são os blocos e os tratamentos, os períodos de medição.

Tratamento 1: período de 1987-92;

Tratamento 2: período de 1992-96.

Este mesmo procedimento foi adotado para comparar as freqüências das classes diamétricas iguais ou superiores a 45 cm, já que, do ponto de vista do manejo, este diâmetro define o mínimo aproveitável para serraria.

Tabela 1.

Esquema de análise de variância para validação do modelo.

*Analysis of variance lay-out for model validation.*

FV	GL
TRAT.	(períodos de medição) - 1
BLOCO	(classes de diâmetro) - 1
RESIDUO	

Para possíveis diferenças entre os dois períodos em prognosticar o número de árvores para cada classe de diâmetro, será aplicado o teste de Scott e Knott (1974).

### 2.5. Avaliação das prognoses obtidas da matriz de transição, da razão de movimentação e Wahlenberg

Foi realizada uma análise de variância no delineamento fatorial com blocos casualizados para verificar o efeito do período e método na estimativa de frequência por classe de diâmetro, conforme mostrado na Tabela 2.

Os fatores foram:

Fator 1: Período ( 2 níveis)

Fator 2: Metodologia ( 3 níveis)

Blocos: Classes diamétricas (15 classes)

As prognoses foram avaliadas baseadas nos períodos de 1987 a 1992 e 1992 a 1996, uma vez que, para esses dois períodos, a estrutura da floresta foi projetada para o ano 2012. Para o período de 1987 a 1996, a coincidência de horizontes não foi possível e, por este motivo, as projeções provenientes deste período não foram avaliadas. Se na

Tabela 2.

Esquema da análise de variância para o delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial.

*Analysis of variance lau-out for random blocks design in factorial frame.*

FV	GL
PERÍODO(P)	1
MÉTODO(M)	2
P x M	2
BLOCO	14
ERRO	70
TOTAL	89

análise de variância for encontrado valor de F significativo, então a existência de diferenças no número de árvores/ha prognosticado para cada classe diamétrica será verificada através do teste de Scott e Knott (1974).

As prognoses para os períodos 86-92; 92-96; e 86-96, através da matriz de transição, serão obtidas conforme procedimento descrito na metodologia deste estudo. Já as prognoses para estes mesmos períodos, obtidas através do método razão de movimentação dos diâmetros e do método de Wahlenberg, são objetos de estudos sobre estes dois métodos desenvolvidos por Scolforo et al. (1999).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 é mostrada a frequência por classe diamétrica das árvores sujeitas a avaliação no período 1987-92, incluindo o recrutamento, as árvores que permaneceram

na classe diamétrica, as que mudaram para 1 classe acima e as que migraram para 2 classes acima daquela em que foram enquadrados por ocasião do inventário realizado em 1987.

Com o auxílio desta tabela, foi obtida a matriz G de probabilidade inicial, cujos elementos são mostrados na Tabela 4. A probabilidade de uma árvore da classe de diâmetro 5-10 cm permanecer na mesma classe após 5 anos é de 0,7438 (573,0/770,4); a probabilidade de uma árvore desta mesma classe crescer até a próxima classe (10-15 cm) em 5 anos é 0,1087 (83,7/770,4); a probabilidade de uma árvore da classe 5-10 cm crescer até a classe 15-20 cm em 5 anos é 0,0031 (2,4/770,4); a probabilidade de uma árvore desta classe morrer em 5 anos é 0,1445 (111,3/770,4).

A matriz G (Tabela 4) apresenta, nas classes cujos valores centrais são respectivamente 67,5cm e 77,5cm, o estado absorvente. Neste caso, a probabilidade das árvores migrarem destas classes para as posteriores é zero. Haverá um “repesamento” do número de árvores prognosticadas nesta classe. Assim, não é possível realizar prognose a longo prazo para a floresta em questão, e nem mesmo detectar se há ou não o equilíbrio da distribuição diamétrica.

Na Tabela 5 é apresentada a predição do número de árvores/ha para o ano de 2012 com base nos períodos de 1987-92 e 1992-96 e para o ano de 2014 com base no período de 1987-96. Segundo Bruner e Moser Jr. (1973), esta é uma restrição ao uso do modelo, ou seja, o período de projeção só

Tabela 3

Progressão de todas as árvores do povoamento, por classe de diâmetro, no período de 1987-92.

*Movement of all trees of the stand, by diameter class in the period from 1987 to 1992.*

CENTRO DA CLASSE DIAMÉTRICA	ÁRVORES MOVIMENTANDO-SE NAS CLASSES DE DIÂMETRO			MORTALIDADE	TOTAL	RECRUTAMENTO
	0	1	2			
7,5	573,0	83,7	2,4	111,3	770,4	202,2
12,5	164,7	50,0	0,2	16,9	231,7	0,0
17,5	86,3	24,0	0,4	7,1	117,9	0,0
22,5	49,2	17,9	0,0	2,6	69,6	0,0
27,5	31,9	9,3	0,0	2,6	43,8	0,0
32,5	12,7	6,0	0,0	2,2	20,8	0,0
37,5	6,0	4,4	0,0	0,4	10,7	0,0
42,5	5,2	2,0	0,0	1,2	8,3	0,0
47,5	1,2	1,4	0,0	0,4	3,0	0,0
52,5	0,2	0,6	0,0	0,2	1,0	0,0
57,5	0,6	0,8	0,0	0,0	1,4	0,0
62,5	0,4	0,2	0,0	0,0	0,6	0,0
67,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
72,5	0,2	0,0	0,0	0,2	0,4	0,0
77,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0



Tabela 4.

Matriz inicial (G) de probabilidade de transição, por classe diamétrica, para o período de 1987-92.

*Initial matrix (G) of probability of transition, by diameter class, for the period from 1987 to 1992.*

	CLASSES DE DIÂMETRO														
	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5	77,5
7,5	0,7438														
12,5	0,1087	0,7106													
17,5	0,0031	0,2158	0,7323												
22,5		0,0009	0,2037	0,7066											
27,5			0,0034	0,2564	0,7285										
32,5					0,2127	0,6095									
37,5						0,2857	0,5556								
42,5							0,4074	0,6190							
47,5								0,2381	0,4000						
52,5									0,4667	0,2000					
57,5										0,6000	0,4286				
62,5											0,5714	0,6667			
67,5												0,3333	1,0000		
72,5														0,5000	
77,5															1,0000
MORT	0,1445	0,0728	0,0606	0,0370	0,0588	0,1048	0,0370	0,1429	0,1333	0,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5000	0,0000

pode ser múltiplo daquele em que a matriz de transição foi construída. Observou-se, nesta tabela, que a prognose do número de árvores, baseada no período de 1987-92, apresenta um aumento progressivo do número de árvores/ha para todas as classes de diâmetro. Já nos períodos de 1992 a 1996 e de 1987 a 1996, a classe 10 15 cm apresentou uma redução no número de árvores/ha, já que a mortalidade nessa classe foi de 11,3% em 1992-96 e 17,0% de 1987-96. Este fato, aliado ao baixo número de árvores recrutadas, contribuíram para essa redução. Na classe de 15 20 cm houve semelhança entre a freqüência observada em 1996 e a

predita. Esta classe já não foi influenciada significativamente pela mortalidade e o ingresso de árvores, tal como ocorreu na classe 10 15 cm.

Ainda analisando estes dois períodos, notou-se que para as classes de diâmetro acima de 60 cm, ocorreu também uma redução do número de árvores projetadas. Este fato ocorre provavelmente devido à alta mortalidade (em termos relativos) nas duas classes anteriores. No período de 1992-96, a mortalidade nas classes de 50 55 cm e 55 60 cm foi, respectivamente, 25% e 50%. No período 1987-96, as taxas foram, respectivamente, 80% e 57,14% nas classes 50%.

Tabela 5.

Projeção do número de árvores por hectare, por classe de diâmetro, com base nos três períodos estudados.

*Projection of the number of trees, by diameter class based on the three studied periods.*

CENTRO DA CLASSE DIÂMÉTRICA	PERÍODOS					
	1987 à 1992		1992 à 1996		1987 à 1996	
	POPULAÇÃO EM:		POPULAÇÃO EM:		POPULAÇÃO EM:	
	1992	2012	1996	2012	1996	2014
7,5	573,0	783,3	563,3	660,3	400,6	680,0
12,5	248,4	276,7	222,4	177,4	218,8	211,4
17,5	138,7	183,5	148,8	145,6	148,8	161,7
22,5	73,4	97,3	81,1	99,8	80,1	94,6
27,5	50,2	68,4	48,2	50,5	48,2	54,6
32,5	22,0	29,3	26,4	33,2	26,2	27,2
37,5	11,9	15,4	12,3	15,2	12,1	12,2
42,5	9,5	13,1	9,1	9,2	9,2	8,4
47,5	3,2	4,4	4,6	6,0	4,6	3,9
52,5	1,6	2,3	1,6	2,6	1,6	1,8
57,5	1,2	1,9	0,4	0,6	0,4	0,3
62,5	1,2	2,2	1,2	0,5	1,2	0,3
67,5	0,4	1,9	0,6	0,3	0,6	0,3
72,5	0,2	0,0	0,4	0,2	0,4	0,1
77,5	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
82,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0
TOTAL	1135,1	1480,1	1120,6	1201,4	953,0	1256,7

No período 1987-96 as taxas foram, respectivamente 80% e 57,14% nas classes 50 55 cm e 55 60 cm.

Nas classes intermediárias da floresta (25 40 cm), ocorreu um aumento médio de 13,8% no número de árvores para o período de 1992 a 1996 e de 8,7%, de 1987-96. Provavelmente, tal fato se deva ao maior incremento periódico médio das árvores situadas nestas classes diamétricas.

O fato de assumir que as probabilidades de transição sejam dependentes somente do estado atual da floresta e que estas mesmas probabilidades sejam mantidas constantes ao longo do tempo, segundo Bruner e Moser Jr. (1973) e Sanquetta et al. (1996b), são aspectos negativos do modelo, visto que

diferentes padrões de crescimento não podem ser expressos por valores fixos.

### 3.1. Consistência do modelo

Os resultados da análise de variância são apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Pelos resultados apresentados na Tabela 6, não existe diferença significativa entre os períodos de 1987-92 e 1992-96 para a prognose do número de árvores envolvendo todas as classes diamétricas. O mesmo comportamento foi observado para as classes de diâmetro acima de 45 cm, conforme Tabela 7. Isto significa que a partir de inventários realizados em diferentes épocas, pode-se efetuar a prognose da estrutura da floresta para períodos inferiores a 20 anos. O

método mostra-se, sob este aspecto, versátil, já que, no período 1987-92, a taxa de recrutamento (2,5%) sobrepujou a de mortalidade (2,0%) e, em 1992-96, ocorreu fenômeno inverso, ou seja, taxa de recrutamento de 2,7% e a de mortalidade, 3,6%.

Tabela 6.

Análise de variância do número de árvore prognosticado por hectare, por classe de diâmetro, para os dois períodos considerados.

*Analysis of variance of prognosticated number of trees per hectare, by diameter class, for the two considered periods..*

FV	GL	SQ	QM	F	SIGNIF
TRAT	1	2590,02	2590,02	3,352	0,08849
BLOCO	14	988855,90	70632,56	91,412	0,00000
RESÍDUO	14	10817,56	772,683		

CV= 31,098 %

Tabela 7.

Análise de variância do número de árvore prognosticado por hectare com DAP 45 cm, para os dois períodos observados.

*Analysis of variance of prognosticated number of trees per hectare, by diameter class, for the two considered periods.*

FV	GL	SQ	QM	F	SIGNIF
TRAT	1	0,5302433	0,5302433	0,730	*****
BLOCO	6	37,22355	6,203924	0,00978	0,0000
RESÍDUO	6	4,358173	0,7263622		

CV= 51,615 %

### 3.2. Avaliação das prognoses dos três métodos utilizados neste estudo, em dois períodos observados

Utilizando as predições do número de árvores por hectare, por classe diamétrica,

apresentadas na Tabela 8, foi possível compará-las, através do delineamento fatorial em blocos casualizados, para os períodos de 1987 a 1992 e de 1992 a 1996.

De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 9), houve diferença significativa para períodos e blocos. O efeito de bloco (classes de diâmetro) foi altamente significativo, o que comprovou a eficiência deste em controlar as possíveis variações em função das diferentes dimensões dos indivíduos na floresta. A diferença constatada entre os dois períodos comparados pode ser explicada pelas mudanças ocorridas na estrutura da floresta, particularmente em relação ao recrutamento e à mortalidade. Constatou-se, também, que não houve diferenças entre os métodos utilizados.

## 4. CONCLUSÕES

O método da matriz de transição não sofreu influência das diferentes épocas de medição para fins de prognose da estrutura diamétrica, apesar de ter sido detectada mudança na estrutura da floresta, particularmente da taxa de recrutamento e de mortalidade.

Os métodos da matriz de transição, razão de movimentação de diâmetro e Wahlenberg apresentaram mesmo grau de acuracidade para fins de prognose do número total de árvores na floresta.

Para a prognose da frequência por classe diamétrica, estes métodos apresentaram desempenho diferenciado. O mesmo fato foi constatado para os diferentes períodos de avaliação. Neste caso, pelo menos, um dos métodos, foi sensível às mudanças na estrutura da floresta.

Tabela 8.

Prognose do número de árvores através das três metodologias.

*Prognosis of the number of trees, through the three methodologies.*

CLASSES DE DIÂMETRO	PROJEÇÃO PARA 2012 COM BASE EM 1987-92			PROJEÇÃO PARA 2012 COM BASE EM 1992-96			PROJEÇÃO PARA 2014 COM BASE EM 1987-96		
	MÉTODOS			MÉTODOS			MÉTODOS		
	RAZÃO DE MOV.	MAR KOV	WAHLEN BERG	RAZÃO DE MOV.	MAR KOV	WAHLEN BERG	RAZÃO DE MOV.	MAR KOV	WAHLEN BERG
05 10	536,658	783.333	674,756	291,831	660.271	381,093	313,031	679.963	417,685
10 15	324,645	276.745	264,422	178,346	177.428	123,183	236,762	211.362	167,117
15 20	226,020	183.514	187,706	141,919	145.595	132,600	177,076	161.709	146,273
20 25	120,614	97.344	99,101	103,247	99.792	97,359	87,724	94.617	89,273
25 30	65,269	68.445	68,077	56,622	50.489	47,076	48,216	54.617	49,922
30 35	36,048	29.342	28,436	31,674	33.245	33,593	31,068	27.198	27,711
35 40	22,452	15.400	15,595	20,270	15.198	15,324	17,429	12.167	14,009
40 45	16,327	13.099	12,733	11,851	9.179	9,072	11,853	8.433	8,711
45 50	5,787	4.425	4,437	7,477	6.003	6,065	4,578	3.876	4,411
50 55	3,060	2.256	2,318	3,414	2.583	2,611	2,571	1.759	2,326
55 60	2,047	1.938	2,266	0,749	0.575	0,106	0,688	0.278	0,357
60 65	2,616	2.187	2,331	0,442	0.539	0,976	0,532	0.350	1,190
65 70	1,104	1.891	1,908	0,165	0.298	0,248	0,556	0.265	0,198
70 75	0,572	0.025	0,000	0,739	0.198	0,198	0,662	0.099	0,397
75 80	0,153	0.198	0,198	0,187	0.000	0,000	0,078	0.000	0,000
80 85	0,275			0,472		0,198	0,198		0,198
85 90							0,111		
TOTAL	1363,648	1480,143	1364,286	849,405	1201,395	849,702	935,516	1256,692	929,780

Tabela 9.

Análise de variância do número de árvore/ha, para as três metodologias avaliadas.

*Analysis of variance of the number of trees per hectare, for the three evaluated methodologies.*

FV	GL	SQ	QM	F	SIGNIF
PERÍODOS (P)	1	19008,66988	19008,66988	7,054	0,0098
MÉTODOS (M)	2	4877,40276	2438,70138	0,905	0,4092
P x M	2	1236,22806	618,11403	0,229	0,7956
BLOCO	14	1852230,60109	132302,18579	49,097	0,0000
ERRO	70	188631,08936	2694,72985		
TOTAL	89	2065983,99115			

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EVERY, T.E.; BURKHART, H.E. **Forest measurements**. New York: McGRAW-HILL, 1994. 432 p.
- AZEVEDO, C.P. **Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequianos pelo emprego da matriz de transição**. Viçosa: UFV, 1993. 118 p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).
- 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. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 187-199, abr./jun. 1995.
- BINKLEY, C.S. Is Succession in hardwood forests a stationary Markov process? **Forest Science**, Washington, v. 26, n. 4, p. 566-570, Dec. 1980.

- BRUNER, H.D.; MOSER Jr, J.W. A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands. **Canadian Journal of Forest Research**, Ontario, v. 4, p. 409-417, 1973.
- BUONGIORNO, J.; MICHIE, B.R. A matrix model of uneven-aged forest management. **Forest Science**, Washington, v. 26, n. 4, p. 609-625, Dec. 1980.
- CURI, N.; LIMA, J.M.; ANDRADE, H. et al. Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 14, p.297-307, set./dez. 1990.
- DAVIS, K.P. **Forest management: regulation and valuation**. New York: McGRAW-HILL, 1966. 519p.
- DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest management**. 3.ed. USA: McGRAW-HILL, 1987. 790 p.
- DE GROOT, M.H. **Probability and statistics**. Califórnia: Addecon-Wesley Publishing, 1989. 723 p.
- ENRIGHT, N.; OGDEN, J. Application of transition matrix models in forest dynamics: *Araucaria* in Papua New Guinea and *Nothofagus* in New Zealand. **Australian Journal of Ecology**, Victoria, v.4, p. 3-23, 1979.
- FREITAS, J.V.; HIGUCHI, N. Projeções da distribuição diamétrica de uma floresta tropical úmida de terra firme pela cadeia de Markov In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p. 545-548.
- HIGUCHI, N.; **Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the brazilian Amazon**. Michigan: Michigan State University, 1987. 129 p. (Thesis-Ph D.).
- LEFKOVITCH, L.P. The study of population growth in organisms grouped by stages. **Biometrics**, Tucson, v. 2, n. 1, p. 1-18, Mar. 1965.
- LESLIE, P.H. On the use of matrices in certain population mathematics. **Biometrika**, London, v. 33, n. 3, p. 183-212, Nov. 1945.
- LESLIE, P.H. Some further notes on the use of matrices in population mathematics. **Biometrika**, London, v. 35, n.3/4, p. 214-245, Dec. 1948.
- MENDOZA, G.A ; SETYARSO, A . Transition matrix forest growth model for evaluating alternative harvesting schemes in Indonesia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 15, p. 219-228, 1986.
- MICHIE, B.R.; BUONGIORNO, J. Estimation of a matrix model of forest growth from remeasured permanent plots. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 18, p. 127-135, 1984.
- MICHIE, B.R.; McCANDLESS, F.D. A matrix model of oak-hickory stand management and valuing forest land. **Forest Science**, Bethesda, v. 32, n. 3, p. 759-768, Sept. 1986.
- OLIVEIRA FILHO, A T.; MELLO, J.M.; SCOLFORO, J.R.S. Effects of past disturbance and edges on tree community structure and dynamics within a fragment of tropical semideciduous forest in south-eastern Brazil over a five-year period (1987-1992). **Plant Ecology**, Belgium, v. 131, p. 45-66, 1997.
- OLIVEIRA FILHO, A.T.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. Composição florística e estrutura comunitária de um remanescente de floresta semidecídua montana em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 167-182, dez. 1994.
- OSHO, J.S.A . Matrix model for tree population projection in a tropical rain forest south-western Nigeria. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.59, p. 247-255, 1991.
- PULZ, F.A. **Estudo da dinâmica e a modelagem de uma floresta semidecídua montana na região de Lavras -MG**. Lavras: UFLA, 1998. 156p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal). Análise comparativa da prognose da estrutura diamétrica pelo método da matriz de transição em relação a razão de movimento dos diâmetros e ao método de Wahlenberg, p.113-156.
- SANQUETTA, C.R.; ANGELO, H.; BRENA, D.A. et al. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 65-78, nov. 1996ba.
- SANQUETTA, C.R.; ANGELO, H.; BRENA, D.A. et al. Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento de floresta natural com matriz Markoviana de potência. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 24, n. 1/2, p. 23-26, jul. 1996b.
- SCOLFORO J.R.S.; PULZ, F.; MELLO, J.M.de et al. Modelagem da estrutura diamétrica de uma floresta inéquianêa pelo método de Wahlenberg. **Revista Árvore**, Viçosa, 19p, 1999. (submetido).
- SCOLFORO, J.R.S.; PULZ, F.A .; MELLO, J.M. Modelagem da produção, idade da floresta nativa, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: SCOLFORO, J.R.S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. Cap.5, p. 189-245.

- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n.3, p. 507-512, Sept. 1974.
- SOLOMON, D.S.; HOSMER, R.A.; HAYSLETT Jr., H.T. A two-stage matrix model for predicting growth of forest stands in the northeast. **Canadian Journal of Forest Research**, Ontario, v. 16, p. 521-28, 1986.
- USHER, M.B. A Matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 3, p. 355-367, 1966.
- VANCLAY, J.K. Growth models for tropical forests: a synthesis of models and methods. **Forest Science**, Bethesda, v. 41, n. 1, p. 7-42, Feb.1995.
- VANCLAY, J.K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Copenhagen: CAB International, 1994. 312 p.
- VILELA, E.A.; RAMALHO, M.A.P. Análise das temperaturas e precipitação pluviométrica de Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 71-79, jan./jun. 1979.