

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DE UM FRAGMENTO DE
FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL, VALE DO RIO DOCE, MG,
POR MEIO DE MATRIZ DE TRANSIÇÃO**

Estudante: Mário César de Aguiar

Matrícula: 11/0064097

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar

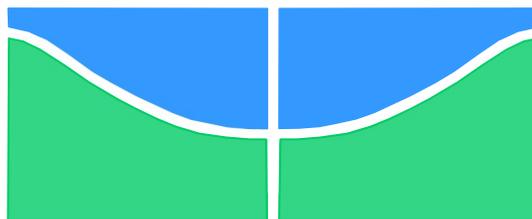
Menção: SS

Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador

Prof.ª Dr.ª Alba Valéria Resende
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Membro da banca

Ms. Gileno Brito de Azevedo
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Membro da banca

Brasília, Dezembro/2015



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DE UM FRAGMENTO DE
FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL, VALE DO RIO DOCE -
MG, POR MEIO DE MATRIZ DE TRANSIÇÃO**

Mário César de Aguiar

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar

**BRASÍLIA – DF
DEZEMBRO/2015**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DE UM FRAGMENTO DE
FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL, VALE DO RIO DOCE -
MG, POR MEIO DE MATRIZ DE TRANSIÇÃO**

Acadêmico: Mário César de Aguiar, Matrícula 11/0064097

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Prof. Orientador: Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar

**BRASÍLIA – DF
DEZEMBRO/2015**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DE UM FRAGMENTO DE
FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL, VALE DO RIO DOCE, MG, POR
MEIO DE MATRIZ DE TRANSIÇÃO**

Estudante: Mario César de Aguiar

Matrícula: 11/0064097

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar

Menção: _____

Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador

Prof^a. Dr^a Alba Valéria Resende
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Membro da banca

Ms. Gileno Brito de Azevedo
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Membro da banca

Brasília, Dezembro/2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial a minha mãe, a tia Maria, a Andréa minha irmã e minha sobrinha Luísa, pela confiança em mim depositada e por estarem sempre presentes na minha vida.

Agradecimento as minhas avós Marias que sempre foram exemplo de amor e compreensão.

Agradeço as minhas tias Sousa, Maria José, Cláudia, Cândida, Elzira, Mírian e o tio Marcos por todo o carinho que sempre tiveram e pelo incentivo constante.

Agradeço aos meus amigos e amigas que sempre estiveram presentes, em especial ao Felipe, Paulo, Netho, Fabiane, Elizângela, Carolina Rodrigues, Carolina Dutra, Cléssio, Marluce e Alexandre.

Aos meus amigos da faculdade por toda paciência. Larini, Ilana, Yanara, Marcos, Jocemara, Yolanda, Gabriela, Amanda, Val, Ingrid, Renata, Carolina e Francisca.

Ao professor e orientador Ricardo Oliveira Gaspar por toda a ajuda e por conduzir essa pesquisa.

Agradeço a Bete que esteve sempre presente, me ouvindo e confortando nos momentos difíceis.

Ao meu grande amigo Wellington por sempre estar ao meu lado.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, em especial ao professor Humberto, Sabina e Alba por todas as oportunidades e por todo o conhecimento compartilhado.

Agradeço aos funcionários da UnB pela dedicação com que desenvolvem seu trabalho.

Agradeço a UnB e a CAPES pelo incentivo e oportunidades oferecidas.

*“No mistério do sem-fim
equilibra-se um planeta.*

*E, no planeta, um jardim,
e, no jardim, um canteiro;
no canteiro uma violeta,
e, sobre ela, o dia inteiro,*

*entre o planeta e o sem-fim,
a asa de uma borboleta”.*

Cecília Meireles

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar a prognose da estrutura diamétrica de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana Secundária, no bioma Mata Atlântica, no município de Caratinga, localizado na região do Vale do Rio Doce – MG, por meio da cadeia de Markov. Neste fragmento foram mensuradas e identificadas, através de inventário contínuo, todas as árvores com diâmetro a 1,30 cm do solo (DAP) maior ou igual 5 cm provenientes de 16 parcelas de 10 x 50 m durante o período de 2002 a 2012, com intervalo de 5 anos. A partir destes dados foi desenvolvido a matriz de probabilidade de transição markoviana a partir da qual se realizou a prognose da estrutura diamétrica dessa formação florestal para os anos de 2007, 2012 e 2017. Para a análise dos resultados foi utilizado o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov. O resultado obtido foi satisfatório sendo que não houve diferença significativa entre as frequências projetadas e observadas do número de indivíduos por classe de diâmetro ao nível de 5% de probabilidade.

Palavras-chave: Cadeia de Markov. Prognose. Floresta Natural. Distribuição diamétrica.

ABSTRACT

The aim of this study was the prognosis of the diameter structure of a section of the semi-deciduous Submontane Secondary forest, in the Atlantic Forest, in the city of Caratinga, located in the region of Vale do Rio Doce - MG, through the Markov chain. In this section, all trees with a diameter above the soil of 1.30 cm and height greater than or equal 5 cm from 16 plots of 10 x 50 m during the period 2002-2012 were measured and identified through continuous inventory. From this data, a Markov matrix of transition probability was developed, from which the prognosis of the diameter structure of this forest formation for the years 2007, 2012 and 2017 was deduced. To analyse the results, we used the Kolmogorov-Smirnov statistical test. The result was satisfactory and there was no significant difference between the projected and observed frequencies of the number of individuals per diameter class at 5% probability.

Key-words: Chain of Markov. Prognosis. Natural forest. Diameter distribution.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Parcelas permanentes localizadas na Lagoa do Piau. | 21 |
|---|----|

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Número de árvores observadas por hectare para amplitude de classe de 5cm de diâmetro, durante os anos de 2002, 2007 e 2012 | 23 |
| Tabela 2. Número de árvores do povoamento que migraram do estado i para o j , em classes de diâmetro, do período de 2002 (t) a 2007 ($t+1$), no qual estado = classe de DAP, M = mortalidade e I = Ingrowth | 25 |
| Tabela 3. Matriz de probabilidade de transição (G) por classe diamétrica, por estados, para o período de 2002 e 2007, em que I é <i>Ingrowth</i> e M Mortalidade | 26 |
| Tabela 4. Prognose para uma etapa ($n=1$), ou seja, para o período de 2002 para 2007, em que N_0 é a frequência em 2002, I_1 o <i>Ingrowth</i> e N_{t+1} é a prognose para 2007 | 27 |
| Tabela 5. Prognose para duas etapas ($n=2$), para o período de 2002 para 2012 em que N_0 é a frequência em 2002; I_1 e I_2 são o <i>Ingrowth</i> ; G^2 e G são as matrizes de transição | 28 |
| Tabela 6. Prognose para três etapas ($n=3$), para o período de 2002 para 2017 em que N_0 é a frequência em 2002; I_1 , I_2 e I_3 são o <i>Ingrowth</i> ; G^3 , G^2 e G são as matrizes de transição..... | 28 |

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

I – Idade

Hdom – Altura total das árvores dominantes

B – Produção em área basal

V – Volume

P – Peso

S – Índice de local ou de sítio

$N_j \cdot \text{ha}^{-1}$ – Número de indivíduos por hectare

MG – Minas Gerais

I – *Ingrowth* ou recrutamento

DAP – Diâmetro a Altura do Peito a 1,30 m do solo

CAP – Circunferência a Altura do Peito a 1,30 m do solo

M – Mortalidade

C – Cortada ou colhida

t +1 – Inventário segundo

t – Inventário inicial

UFV- Universidade Federal de Viçosa

Aw – Clima Tropical com Inverno Seco

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1. Objetivo Geral..... | 13 |
| 1.1.1. Objetivos específicos..... | 13 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 13 |
| 2.1. Prognose de Crescimento e Produção Florestal..... | 13 |
| 2.2 A cadeia de Markov..... | 14 |
| 2.3. Floresta Estacional Semidecidual..... | 19 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 20 |
| 3.1. Caracterização da área de estudo..... | 20 |
| 3.2. Coleta de Dados..... | 22 |
| 3.3. Análise dos Dados | 22 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 30 |
| 6. REFERÊNCIAS | 31 |

1. INTRODUÇÃO

A prognose ou predição da produção florestal geralmente é realizada a partir do emprego de modelos de crescimento e produção, e de dados provenientes de inventário florestal contínuo com o uso de parcelas permanentes.

Segundo Davis e Johnson (*apud* SOUSA e SOARES, 2013), “*os modelos de crescimento e produção podem ser classificados em modelos tipo povoamento total, modelos de classe de tamanho ou de distribuição diamétrica e modelos de árvores individuais*”.

Segundo Sousa e Soares (2013) a prognose de florestas equiânias baseia-se em variáveis de povoamento, tais como: idade (I), altura total das árvores dominantes (H_{dom}), produções em área basal (B), volume (V) e peso (P), índice de local ou de sítio (S), e distribuição diamétrica ($N_j \cdot ha^{-1}$). Para florestas naturais e inequiâneas, que são caracterizadas por alto grau de complexibilidade e heterogeneidade, sendo constituídas de indivíduos de diferentes idades, espécies e tamanhos que estão sob efeito contínuo de processo de regeneração natural e sucessão, a prognose baseia-se nas produções em área basal (B), volume (V), peso (P) e principalmente na distribuição dos diâmetros ($N_j \cdot ha^{-1}$).

Segundo Vanclay (*apud* SOUSA e SOARES, 2013) e Scolforo (2006) os principais e mais difundidos modelos de distribuição de diâmetros são: Exponencial; Beta; Gama; Weibull; Univariada S_B ; Bivariada S_{BB} ; e as cadeias de Markov.

Dentre os modelos por classe de diâmetro, no tocante à prognose da estrutura florestal, destacamos as cadeias de Markov ou também chamadas de Matrizes de Transição. Na área biológica Leslie (1945) foi pioneiro ao trabalhar com populações de animais. No caso do Brasil, Higuchi (1987) foi precursor na aplicação de matriz de transição na prognose da estrutura de floresta nativa e posteriormente De Azevedo (1993), o primeiro em floresta tropical da Amazônia e o segundo em Floresta Atlântica.

Em um determinado período de medição das parcelas permanentes podemos obter as probabilidades da matriz de transição pela razão das mudanças ocorridas em uma classe diamétrica, essas mudanças podem estar associadas às árvores que mudaram de classe, as árvores que já morreram ou que permaneceram na classe, podem ser obtidas também pelo número de árvores existentes na classe diamétrica, em questão, no início do período de crescimento. A partir deste princípio obtém-se a projeção da estrutura diamétrica da floresta no tempo, sendo importante instrumento para se estimar produções e intervenções silviculturais

que possibilitem um manejo sustentável da mesma, garantindo sua viabilidade econômica e sua estabilidade ecológica (SANQUETTA, 1996a).

1.1. Objetivo Geral

Realizar a prognose da estrutura diamétrica de um fragmento da Floresta Estacional Semidecidual Submontana Secundária, no bioma de Mata Atlântica com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov.

1.1.1. Objetivos específicos

- a) Avaliar a dinâmica diamétrica de um fragmento da Floresta Estacional Semidecidual Submontana Secundária, no bioma de Mata Atlântica;
- b) Avaliar o estado da arte dos trabalhos realizados no Brasil sobre prognose florestal através do uso de Matriz de Transição (Cadeia de Markov);
- c) Testar a acuracidade das projeções diamétricas realizadas através da cadeia markoviana.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Prognose de Crescimento e Produção Florestal

Sousa e Soares (2013) destacam os principais objetivos da prognose, a saber: a) Prognosticar a estrutura e a produção da floresta; b) Avaliar a sustentabilidade ambiental e econômica do manejo da floresta; c) Definir necessidade, época e intensidade de aplicação de tratamentos silviculturais à floresta; d) Avaliar efeitos de alternativas de manejo da floresta; e) Predizer o ciclo de colheita ou de corte e; f) Fazer estudos de cenário.

O emprego de modelos de crescimento e produção possibilita a realização da prognose da produção do povoamento por unidade de área, a partir de dados de crescimentos das árvores em um determinado período de tempo. No caso de florestas equiâneas, também designadas por povoamentos regulares, os estudos da prognose da produção irão depender do conhecimento tanto da idade do povoamento quanto do seu índice de sítio (SCOLFORO, 2006).

De acordo com Scolforo (2006) para florestas nativas que possuem composição variada em espécie e idade e cuja classificação de sítio é inviável, o uso das tabelas do povoamento é a modelagem mais indicada para projeção de crescimento e produção florestal. Para o manejo florestal, tal procedimento é fundamental, uma vez que irá permitir ao manejador estabelecer as condições de melhoria, qualidade e produtividade.

Dentre os métodos de projeção das tabelas do povoamento Scolforo (2006) destaca: a) Uso do incremento diamétrico médio tendo como base o centro da classe de diâmetro; b) Uso do incremento médio reconhecendo dispersão dentro da classe de diâmetro; c) Incremento diamétrico variável sobre o diâmetro atual; d) O modelo de produção através da matriz de transição; e) Modelo de Adams e Ek (1974) e; f) Método de Condit, Hubber e Foster.

A Matriz de Transição ou cadeia de Markov é um importante instrumento na predição diamétrica florestal, sendo um método de fácil aplicação (variáveis de fácil mensuração) e de resultados satisfatórios.

2.2 A cadeia de Markov

Alguns fenômenos que acontecem na natureza podem ser estudados como se passassem por uma sequência de estados, ou seja, por meio de um estado inicial, a transição de um determinado estado para outro ocorrerá de acordo com uma probabilidade. Quando a probabilidade de transição depende somente do estado em que o fenômeno se encontra e do estado seguinte é conhecida como modelo de Markov. As sequências de estados que seguem esse processo recebem o nome de cadeia de Markov (BOLDRINI *et al.* 1978).

Para Hiller e Lieberman (1980), a cadeia de Markov trata-se de um processo estocástico que possui um número finito de estados; atende a 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 estacionária e tem uma probabilidade inicial associada a cada estado.

O modelo de Markov baseia-se no conceito de estado, sendo que o estado é a situação em que o indivíduo arbóreo se encontra na floresta, isto é: *ingrowth* ou recrutamento (I), sobrevivente (classe de DAP), mortalidade (M) e cortada ou colhida (C). Neste modelo existe o tempo presente t (inventário inicial) em um determinado estado (I , classe de DAP , M ou C), e um tempo futuro $t+1$ (inventário seguinte), no qual a árvore pode permanecer ou mover do estado inicial (SOUSA e SOARES, 2013; SCOLFORO, 1998).

O recrutamento ou *ingrowth* é determinado em função de medições periódicas nas parcelas permanentes e representa o número de árvores vivas que entraram na menor classe diamétrica durante o intervalo de tempo t para $t + 1$, podendo ser expresso em volume, área basal ou frequência por hectare (SOUSA e SOARES, 2013; CAMPOS e LEITE, 2013). O recrutamento ou *ingrowth* pode ser prognosticado por meio do ajuste de modelos de recrutamento (SOUSA e SOARES, 2013), como por exemplo:

$$I_{t+1} = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot B_t} \cdot \varepsilon_i$$

em que:

I_{t+1} = Ingresso (*ingrowth* ou recrutamento) por hectare no fim de um período ($t+1$);

B_t = área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) no tempo t ;

β_0 e β_1 = parâmetros a serem estimados por análise de regressão;

ε_i = erro aleatório associado ao modelo.

A Mortalidade (M_{t+1}) refere-se ao número de árvores que morreram durante o intervalo de tempo entre t e $t+1$, sendo determinada também pelas remedições das parcelas permanentes. A prognose da mortalidade é de difícil mensuração, podendo ser resultante de fatores intrínsecos aos indivíduos (genéticos e senescência) ou ao povoamento (competição interespecífica e interespecífica) e pode ser também influenciada por condições ambientais ou pela ação do homem (SOUSA e SOARES, 2013).

A mortalidade pode ser estimada por modelos de regressão (SOUSA e SOARES, 2013), tais como:

$$m_{t+1} = \beta_1 B_t \cdot \varepsilon_1$$

$$m_{t+1} = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 \cdot B_t} \cdot \varepsilon_1$$

em que:

m_{t+1} = mortalidade de indivíduos por hectare durante um período de tempo ($t+1$);

Bt = área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) no tempo t ;

β_0 e β_1 = parâmetros a serem estimados por análise de regressão;

ε_1 = erro aleatório associado ao modelo.

O corte (C) representa o volume ou número de árvores vivas abatidas ou colhidas durante o período monitorado e está relacionado aos desbastes (CAMPOS e LEITE, 2013).

A partir da cadeia Markoviana é possível encontrar os estados absorventes presentes na mesma, ou seja, quando a probabilidade de transição de árvores de uma classe diamétrica para outra, é igual a zero (PULZ, 1999). A ocorrência deste estado poderá comprometer as prognose das estruturas diamétricas da floresta e impedir também que o estado de equilíbrio seja detectado. Scolforo (2006) faz a mesma ressalva indicando que o estado absorvente ocorre quando a probabilidade das árvores continuarem na mesma classe diamétrica é igual a 1 (um) e por outro lado a probabilidade de transição para outra classe diamétrica é igual a 0 (zero).

A utilização da teoria de projeção das tabelas de povoamento em florestas nativas permite estimar as mudanças na estrutura diamétrica da floresta. No caso da prognose da estrutura diamétrica é necessário que os indivíduos possam ser divisíveis em grupos de estados (classes de diâmetro, recrutamento, mortalidade e corte) e que existam possibilidades de movimentação de um estado para o outro ao longo do tempo.

A utilização do modelo de produção através da matriz de transição deve obedecer dois preceitos básicos:

- a) As propriedades estacionárias do processo devem ser satisfeitas, isto é, a floresta deverá apresentar ao longo do tempo um mesmo incremento periódico, assim “*as probabilidades de transição entre dois estados específicos devem permanecer constantes no tempo*” (SANQUETA *et al.*, 1996a)
- b) Atender a propriedade Markoviana em que a predição da estrutura da floresta dependerá somente do estado atual, sem interferência de qualquer característica passada da floresta (SCOLFORO, 2008).

De acordo com De Groot (*apud* PULZ *et al.*, 1999) uma cadeia probabilística de transição pode assumir k estados de S_1, S_2, \dots, S_k , possibilitando que a probabilidade de transição de um estado S_i para um estado S_j assume um valor p_{ij} (número que só depende de S_i e S_j), para $i = 1, 2, \dots, k$ e $j = 1, 2, \dots, k$. Logo, a matriz probabilística de Markov é uma matriz (P) quadrada de $k \times k$ com elementos p_{ij} , representada abaixo:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1k} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{k1} & P_{k2} & \cdots & P_{kk} \end{pmatrix}_{k \times k}$$

Segundo Azevedo *et al.* (1995), para cada intervalo de medição divide-se o número de árvores que morreram, mudaram de classe ou permaneceram na mesma classe pelo número de árvores naquela classe no início do período de crescimento, obtendo assim a matriz de probabilidade de transição.

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

G = matriz de probabilidade de transição;

i_n = i -ésima classe de diâmetro;

a_i , b_i , c_i = probabilidades de uma árvore viva permanecer numa mesma classe diamétrica subsequente (b_i), ou ainda mudar duas classes (c_i);

m_i = probabilidades das árvores morrerem no período estudado.

De acordo com BUNGIORNO e MICHIE (1980) a estrutura diamétrica de uma formação florestal será estimada através da multiplicação da matriz de probabilidade de transição pelo número de árvores atuais somada ao número de árvores ingressas, esta equação é conhecida por equação matricial de Chapman-Kolmogorov (SOUZA e SOARES, 2013) e é representada pelo modelo abaixo:

$$N_{t+\Delta t} = G \cdot N_{it} + I_{it}$$

$N_{t+\Delta t}$ = vetor coluna do número de árvores projetadas por classe de diâmetro;

G = matriz de probabilidade de transição por classe diamétrica;

N_{it} = vetor coluna de número de árvores por classe diamétrica;

I_{it} = vetor coluna número de árvores ingressas ou recrutadas (*ingrowth*).

A forma matricial das árvores projetadas $N_{t+\Delta t}$ é representada por:

$$\begin{matrix} N_{1t+\Delta t} \\ N_{2t+\Delta t} \\ N_{3t+\Delta t} \\ \vdots \\ \vdots \\ N_{nt+\Delta t} \end{matrix} = \begin{pmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \dots & m_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} N_{1t} \\ N_{2t} \\ N_{3t} \\ \vdots \\ \vdots \\ N_{nt} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ \vdots \\ \vdots \\ I_n \end{pmatrix}$$

Para se obter a predição para n períodos, no caso em que seja considerado o ingresso constante, pode-se generalizar a expressão para:

$$N_{t+\Delta t} = G^n \cdot N_0 + \sum_{i=0}^{n-1} G^i \cdot I_{(n-i)} + I_n$$

Sendo assim para prognose para 2 períodos ($n=2$) temos que:

$$N_{t+2} = G^2 \cdot N_0 + G \cdot I_1 + I_2$$

Para 3 períodos ($n=3$) temos:

$$N_{t+3} = G^3 \cdot N_0 + G^2 \cdot I_2 + G \cdot I_1 + I_3$$

As projeções diamétricas de uma floresta nativa não devem ser realizadas para períodos longos e nem para muitas etapas, visto que o seu desempenho está condicionado a dois pontos básicos, a saber: o seu comportamento futuro é idêntico ao presente obtido através do incremento periódico dos indivíduos por meio da mensuração das parcelas permanentes e, por fim, sua estrutura depende somente do estado atual, não sofrendo efeito de qualquer característica passada da floresta (SOUSA e SOARES, 2013; SCOLFORO, 2006).

Scolforo (2006) destaca a ocorrência do estado estável ou equilíbrio da floresta, onde o número de árvores por classe diamétrica permanece constante ao longo das diversas prognoses. Neste caso pode-se inferir que a formação florestal está em clímax, porém a mortalidade e o recrutamento continuam ocorrendo, sem alterar drasticamente a estrutura da floresta.

A cadeia de Markov ou matriz de transição tem sido utilizada por diversos pesquisadores na prognose do crescimento e produção de povoamentos inequiduais (AZEVEDO, 1993; HIGUCHI, 1987; SCOLFORO *et al.*, 1998; PULZ, 1998; PULZ *et al.*, 1999; SANQUETTA *et al.*, 1996a, 1996b; CUNHA *et al.*, 2002; VASCONCELOS *et al.*, 2009; LANA *et al.*, 2015).

2.3. Floresta Estacional Semidecidual

A Floresta Estacional Semidecidual constitui uma vegetação pertencente ao bioma da Mata Atlântica. Sua maior extensão em área contínua situa-se na Região Sul e Sudeste do Brasil. Sua nomenclatura refere-se à marcante característica apresentada por esta vegetação que, em função de dois diferentes períodos de influência climática (chuvas e secas), perde parcialmente suas folhas. Assim, as árvores podem regular seu balanço hídrico, perdendo suas folhas em períodos de menor incidência das chuvas e temperaturas mais elevadas ou vestindo-se de verde nos períodos mais chuvosos do ano. Isto ocorre porque o conjunto florestal pode perder entre 20 e 50% das folhas conforme as estações (MARTINS, 2012).

Com relação a nomenclatura, podemos interpretar que “Estacional” está relacionado a estação do ano, “Semi” significa em parte e “Decidual” tem origem de decídua, proveniente do latim *decidere*, que significa parcial. Estruturada em camada, esta floresta apresenta um estrato arbóreo com dossel (copa) elevado, formado por árvores que podem atingir até 40 metros de altura. Abaixo, o estrato arbustivo, rico em diversidade de plantas. Os fatores físicos como clima e solos, que influenciados pelas suas diferenças de temperatura, chuvas e relevo, propiciam

dentro da Floresta Estacional Semidecidual, alguma subdivisões, a saber: a) Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, as que formam matas ciliares que ocorrem associadas nas margens dos rios; b) Floresta Estacional Semidecidual Submontana, as que se desenvolvem em solos mais secos, nas regiões abaixo das montanhas e; c) Floresta Estacional Semidecidual Montana, as que ocorrem em áreas montanhosas com elevações médias acima de 400 metros de altitude (CAMPOS e FILHO, 2010).

A maior extensão em área contínua de Floresta Estacional Semidecidual situava-se na Região Sul e Sudeste do Brasil, em áreas que originalmente também cobriam grande parte do leste do Paraguai e do nordeste da Argentina (HOLZ e PLACCI, 2005). Imigrou para o território brasileiro como grande floresta ciliar ao longo da bacia do Rio Uruguai, via bacia do Rio Jacuí, alcançando assim a parte central do Rio Grande do Sul (RIZINNI, 1997; KLEIN, 1980). A partir daí, expandiu-se pelos afluentes do Rio Jacuí até as terras roxas do centro-sul da bacia do Paraná, a oeste da Floresta Ombrófila Densa e, ou, Mista no interior dos Estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, chegando até Minas Gerais (AB’SABER, 2003; CÂMARA, 2005). Atualmente, ocorre em todos os domínios brasileiros, com 54.876 km² na Mata Atlântica, 30.835 km² na Amazônia e 6.223 km² no Pantanal (PROBIO, 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

Este estudo foi realizado em um fragmento de floresta estacional semidecidual Submontana, com 256,94 ha, localizado na região do Projeto da Lagoa do Piau, em Caratinga-MG. As 16 parcelas mensuradas que foram analisadas neste estudo fazem parte da Mata 1 e são representadas pelas parcelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 18, 19, 20, 21 e 22 (Figura1).

De acordo com a classificação de *Köppen*, o clima da região é do tipo “Aw”, caracterizado como clima tropical com inverno seco (de maio a outubro) e apresentando uma estação chuvosa no verão (de novembro a abril). A temperatura média do mês mais frio é de 19,1 °C e no mês

mais quente, 28,3 °C. As chuvas apresentam uma média anual da ordem de aproximadamente 1.374 mm (VELOSO *et al.*, 1991).

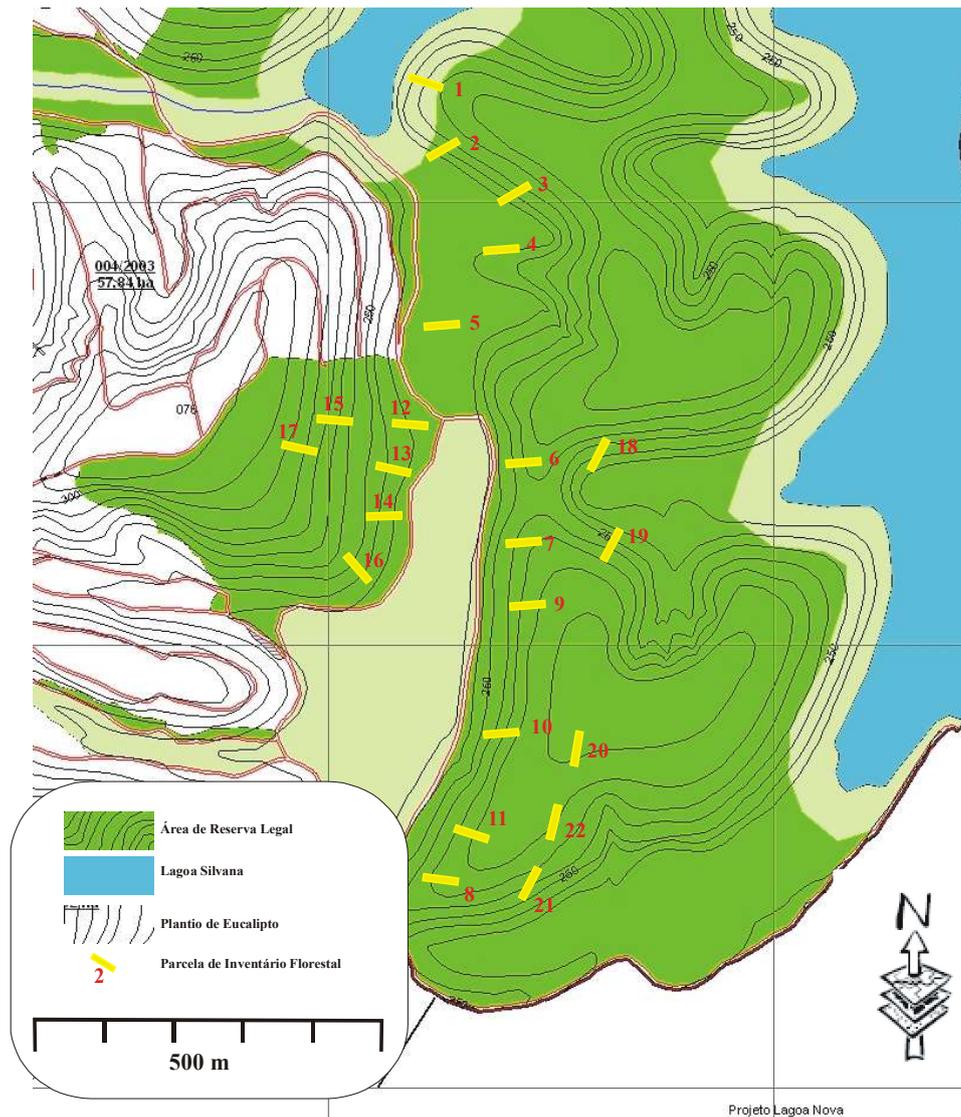


Figura 1: Parcelas permanentes localizadas na Lagoa do Piau.

3.2. Coleta de Dados

Para atender este estudo, em 2002 foram estabelecidas 16 parcelas permanentes de 0,05 ha (10 x 50m), distribuídas aleatoriamente no fragmento. Em cada parcela foram mensuradas e identificadas botanicamente todas as árvores com circunferência a 1,30 m do solo maior ou igual a 15 cm ($CAP \geq 15$ cm).

Os indivíduos foram distribuídos em classes diamétricas, sendo que o critério de inclusão foi $DAP \geq 5$ cm e a amplitude de classe considerada foi de 5 cm.

As parcelas permanentes foram mensuradas periodicamente a cada 5 anos, sendo as medições realizadas em 2002, 2007 e 2012.

Neste estudo a predição diamétrica foi realizada considerando os períodos monitorados, ou seja, 2002, 2007 e 2012. O período compreendido entre 2002 e 2007 foi utilizado para gerar a matriz de transição e o monitoramento de 2012 foi utilizado na validação do modelo.

3.3. Análise dos Dados

A acuracidade da prognose foi avaliada através da comparação da estrutura diamétrica observada em 2007 e 2012, a partir dos dados coletados na remedição dos referidos anos, com a estrutura diamétrica estimada para 2007 e 2012, obtida pelo método de matriz de transição. Para isso, foi utilizado o teste de *Kolmogorov–Smirnov (K-S)* ao nível de 5% de probabilidade, permitindo avaliar a concordância entre as duas distribuições cumulativas (distribuição diamétrica observada e projetada referente a 2007 e 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de árvores observadas, através da mensuração das 16 parcelas permanentes, em 2002, 2007 e 2012 é de, respectivamente, 1669, 1813 e 1786 ind.ha⁻¹. A Tabela 1 mostra o número de indivíduos, mortalidade e recrutamento por classe diamétrica com amplitude de classe de 5 cm e o total para cada ano monitorado.

Tabela 1. Número de árvores observadas por hectare para amplitude de classe de 5cm de diâmetro, durante os anos de 2002, 2007 e 2012

| CC* | 2002 | 2007 | M** 2007 | I*** 2007 | 2012 | M 2012 | I 2012 |
|--------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
| 7,5 | 1110 | 1133 | 80 | 256,5 | 1092,5 | 130 | 192,5 |
| 12,5 | 390 | 479 | 30 | 6,25 | 478,75 | 63,75 | 1,25 |
| 17,5 | 119 | 141 | 8,75 | 1,25 | 143,75 | 25 | 1,25 |
| 22,5 | 31 | 41 | 3,75 | 0 | 46,25 | 2,5 | 1,25 |
| 27,5 | 8 | 8 | 1,25 | 0 | 15 | 0 | 0 |
| 32,5 | 1 | 3 | 1,25 | 0 | 1,25 | 0 | 0 |
| 37,5 | 9 | 4 | 1,25 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 42,5 | 1 | 4 | 0 | 0 | 3,75 | 0 | 0 |
| 47,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 52,5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ≥55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 1669 | 1813 | 126,25 | 263,75 | 1786 | 221,25 | 196,25 |

*CC = centro de classe de diâmetro; **M = mortalidade; ***I = *ingrowth* ou recrutamento.

O *ingrowth* ou recrutamento foi prognosticado do seguinte modelo de recrutamento:

$$I_{t+1} = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot B_t} \cdot \varepsilon_i$$

em que :

I_{t+1} ; B_t ; β_0 ; β_1 e ε_i = já definidos anteriormente.

A equação obtida pela regressão foi a seguinte:

$$I_{t+1} = e^{3,925386 - 2,14855 \cdot B_t} \cdot \varepsilon_i$$

O valor estimado obtido para o recrutamento foi de 239,95 ind.ha⁻¹. Este resultado é semelhante ao valor de recrutamento para uma floresta semidecidual montana registrado pelos trabalhos de Pulz (1999) e Scolforo (2006).

A Tabela 2 representa a matriz de progressão de todos os indivíduos (árvores vivas e mortas) registrados nos inventários florestais realizados em 2002 e 2007, distribuídos em classes de diâmetro (estados).

A Tabela 3 representa a matriz inicial de probabilidades de transição gerada a partir de dados da Tabela 2.

As Tabela 4, 5 e 6 representam as prognose de densidade de indivíduos para os anos de 2007, 2012 e 2017.

A análise estatística realizada entre as árvores observadas e prognosticadas foi efetuada através do Teste de Kolmogorov-Smirnov e é representada pela Tabela 7.

Tabela 2. Número de árvores do povoamento que migraram do estado i para o j, em classes de diâmetro, do período de 2002 (t) a 2007 (t+1), no qual estado = classe de DAP, M = mortalidade e I = Ingrowth

| | | Estados, em 2002 | | | | | | | | | | | | | Total (t+1) |
|------------------|--------|------------------|--------|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|---------|-------------|
| | | I | 7,5 | 12,5 | 17,5 | 22,5 | 27,5 | 32,5 | 37,5 | 42,5 | 47,5 | 52,5 | >55 | M | |
| Estados, em 2007 | I | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7,5 | 256,25 | 868,75 | | | | | | | | | | | | 1125,00 |
| | 12,5 | 6,25 | 156,25 | 316,25 | | | | | | | | | | | 478,75 |
| | 17,5 | 1,25 | 3,75 | 42,50 | 93,75 | | | | | | | | | | 141,25 |
| | 22,5 | | | 1,25 | 16,25 | 23,75 | | | | | | | | | 41,25 |
| | 27,5 | | | | | 2,50 | 5,00 | | | | | | | | 7,50 |
| | 32,5 | | | | | 1,25 | 1,25 | 0,00 | | | | | | | 2,50 |
| | 37,5 | | | | | | | | 3,75 | | | | | | 3,75 |
| | 42,5 | | | | | | | | 3,75 | 0,00 | | | | | 3,75 |
| | 47,5 | | | | | | | | | 0,00 | 0,00 | | | | 0,00 |
| | 52,5 | | | | | | | | | 1,25 | | 0,00 | | | 1,25 |
| | >55 | | | | | | | | | | | | 0,00 | | 0,00 |
| | Next | | | | | | | | | | | | | | 0,00 |
| | M | | 80,00 | 30,00 | 8,75 | 3,75 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | | | | | | 126,25 |
| Total (t) | 263,75 | 1108,75 | 390,00 | 118,75 | 31,25 | 7,50 | 1,25 | 8,75 | 1,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1931,25 | |

Tabela 3. Matriz de probabilidade de transição (G) por classe diamétrica, por estados, para o período de 2002 e 2007, em que I é *Ingrowth* e M *Mortalidade*

| | | Estados, em 2002 | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| | | I | 7,5 | 12,5 | 17,5 | 22,5 | 27,5 | 32,5 | 37,5 | 42,5 | 47,5 | 52,5 | >55 | M |
| Estados, em 2007 | I | | | | | | | | | | | | | |
| | 7,5 | 0,9760 | 0,7908 | | | | | | | | | | | |
| | 12,5 | 0,0192 | 0,1286 | 0,8109 | | | | | | | | | | |
| | 17,5 | 0,0048 | 0,0031 | 0,1090 | 0,7872 | | | | | | | | | |
| | 22,5 | | | 0,0032 | 0,1383 | 0,7600 | | | | | | | | |
| | 27,5 | | | | | 0,0800 | 0,6667 | | | | | | | |
| | 32,5 | | | | | 0,0400 | 0,1667 | 0,0000 | | | | | | |
| | 37,5 | | | | | | | 0,0000 | 0,4286 | | | | | |
| | 42,5 | | | | | | | | 0,4286 | 0,0000 | | | | |
| | 47,5 | | | | | | | | | 1,0000 | 0,0000 | | | |
| | 52,5 | | | | | | | | | | 0,0000 | 0,0000 | | |
| | >55 | | | | | | | | | | | 0,0000 | 0,0000 | |
| | M | | 0,0776 | 0,0769 | 0,0745 | 0,1200 | 0,1667 | 1,0000 | 0,1429 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | |

Tabela 4. Prognose para uma etapa ($n=1$), ou seja, para o período de 2002 para 2007, em que N_0 é a frequência em 2002, I_1 o *Ingrowth* e N_{t+1} é a prognose para 2007

| | | Centro de classe de DAP (cm) | | | | | | | | | | | N_0 | I_1 | N_{t+1} (2007) | | | | |
|------------------------------|-----------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|-------|------------------|---|--------|---|---------|
| | | 7,5 | 12,5 | 17,5 | 22,5 | 27,5 | 32,5 | 37,5 | 42,5 | 47,5 | 52,5 | ≥ 55 | | | | | | | |
| Centro de Classe de DAP (cm) | 7,5 | 0,7835 | | | | | | | | | | | | X | 1108,75 | + | 239,95 | = | 1108,70 |
| | 12,5 | 0,1409 | 0,8109 | | | | | | | | | | | | 390,00 | | 0 | | 472,50 |
| | 17,5 | 0,0034 | 0,1090 | 0,7895 | | | | | | | | | | | 118,75 | | 0 | | 140,00 |
| | 22,5 | | 0,0032 | 0,1368 | 0,7600 | | | | | | | | | | 31,25 | | 0 | | 41,25 |
| | 27,5 | | | | 0,0800 | 0,6667 | | | | | | | | | 7,50 | | 0 | | 7,50 |
| | 32,5 | | | | 0,0400 | 0,1667 | 0,0000 | | | | | | | | 1,25 | | 0 | | 2,50 |
| | 37,5 | | | | | | 0,0000 | 0,4286 | | | | | | | 8,75 | | 0 | | 3,75 |
| | 42,5 | | | | | | | 0,4286 | 0,0000 | | | | | | 1,25 | | 0 | | 3,75 |
| | 47,5 | | | | | | | | 0,0000 | 0,0000 | | | | | 0,00 | | 0 | | 0,00 |
| | 52,5 | | | | | | | | | 1,0000 | 0,0000 | | | | 0,00 | | 0 | | 1,25 |
| | ≥ 55 | | | | | | | | | | | 0,0000 | | | 0,00 | | 0 | | 0,00 |

Tabela 5. Prognose para duas etapas ($n=2$), para o período de 2002 para 2012 em que N_0 é a frequência em 2002; I_1 e I_2 são o *Ingrowth*; G^2 e G são as matrizes de transição

| Centro de classe | $G^2 * N_0$ | $G * I_1$ | I_2 | Prognose 2012 |
|------------------|-------------|-----------|--------|---------------|
| 7,5 | 680,7004 | 188,0104 | 239,95 | 1108,6608 |
| 12,5 | 505,5772 | 33,8148 | 0 | 539,3920 |
| 17,5 | 164,9550 | 0,8116 | 0 | 165,7665 |
| 22,5 | 52,0223 | 0 | 0 | 52,0223 |
| 27,5 | 8,3000 | 0 | 0 | 8,3000 |
| 32,5 | 2,9000 | 0 | 0 | 2,9000 |
| 37,5 | 1,6071 | 0 | 0 | 1,6071 |
| 42,5 | 1,6071 | 0 | 0 | 1,6071 |
| 47,5 | 0,0000 | 0 | 0 | 0,0000 |
| 52,5 | 3,7500 | 0 | 0 | 3,7500 |
| >55 | 0,0000 | 0 | 0 | 0,0000 |

Tabela 6. Prognose para três etapas ($n=3$), para o período de 2002 para 2017 em que N_0 é a frequência em 2002; I_1 , I_2 e I_3 são o *Ingrowth*; G^3 , G^2 e G são as matrizes de transição

| Centro de classe | $G^3 * N_0$ | $G^2 * I_2$ | $G * I_1$ | I_3 | Prognose 2017 |
|------------------|-------------|-------------|-----------|--------|---------------|
| 7,5 | 533,3560 | 147,3137 | 188,0104 | 239,95 | 1108,6301 |
| 12,5 | 505,8986 | 53,9156 | 33,8148 | 0 | 593,6290 |
| 17,5 | 187,6248 | 4,9615 | 0,8116 | 0 | 193,3979 |
| 22,5 | 63,7302 | 0,2194 | 0 | 0 | 63,9496 |
| 27,5 | 9,6951 | 0 | 0 | 0 | 9,6951 |
| 32,5 | 3,4642 | 0 | 0 | 0 | 3,4642 |
| 37,5 | 0,6888 | 0 | 0 | 0 | 0,6888 |
| 42,5 | 0,6888 | 0 | 0 | 0 | 0,6888 |
| 47,5 | 0,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 |
| 52,5 | 1,6071 | 0 | 0 | 0 | 1,6071 |
| >55 | 0,0000 | 0 | 0 | 0 | 0,0000 |

Tabela 7. Número de árvores observadas e prognosticadas por hectare e classe de diâmetro

| Centro de Classe de DAP (cm) | Número de árvores observadas (Nj.ha ⁻¹) | | | Número de árvores prognosticadas (Nj.ha ⁻¹) | | |
|------------------------------|---|---------|---------|---|----------------|---------|
| | 2002 | 2007 | 2012 | 2007 | 2012 | 2017 |
| 7,5 | 1110,00 | 1132,50 | 1092,50 | 1108,70 | 1108,66 | 1108,63 |
| 12,5 | 390,00 | 478,75 | 478,75 | 472,50 | 539,39 | 593,63 |
| 17,5 | 118,75 | 141,25 | 143,75 | 140,00 | 165,77 | 193,40 |
| 22,5 | 31,25 | 41,25 | 46,25 | 41,25 | 52,02 | 63,95 |
| 27,5 | 7,50 | 7,50 | 15,00 | 7,50 | 8,30 | 9,70 |
| 32,5 | 1,25 | 2,50 | 1,25 | 2,50 | 2,90 | 3,46 |
| 37,5 | 8,75 | 3,75 | 5,00 | 3,75 | 1,61 | 0,69 |
| 42,5 | 1,25 | 3,75 | 3,75 | 3,75 | 1,61 | 0,69 |
| 47,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 52,5 | 0,00 | 1,25 | 0,00 | 1,25 | 3,75 | 1,61 |
| >55 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 1669 | 1813 | 1786 | 1781 | 1884 | 1976 |
| K-S | | | | 0,0454 n.s. | 0,0449 n.s. | |

K-S = Teste de *Kolmogorov-Smirnov*
n.s não significante ao nível de 5%

De acordo com Sanqueta *et al.* (1996a) com o objetivo de melhoria na acuracidade da matriz de transição certos cuidados podem auxiliar o manejador em uma melhor aplicação deste método, visto que a Cadeia de Markov é de fácil aplicação e construção, entre eles podemos citar:

- Construção de matrizes que englobem as diferentes espécies que estão presentes na floresta, obtendo assim incrementos característicos de cada espécie;
- Avaliação adequada das amplitudes diamétricas utilizadas na construção das matrizes;
- Melhoria da coleta de dados referentes a mortalidade e recrutamento;
- Intervalos curtos de medições durante períodos prolongados das parcelas permanentes com objetivo de desenvolver equações sobre recrutamento e mortalidade.

5. CONCLUSÕES

O uso da matriz de transição configura-se como um instrumento de grande valia ao manejador florestal. Podendo, o mesmo, produzir simulações satisfatórias da distribuição diamétrica o que auxiliará na avaliação ambiental e econômica do manejo de uma floresta.

A projeção da estrutura diamétrica do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Submontana Secundária neste estudo foi satisfatória, sendo que os erros das estimativas não foram estatisticamente significativos ao nível de 5% de probabilidade.

Portanto a Cadeia de Markov ou Matriz de transição é um importante instrumento para prognosticar a dinâmica da floresta nativa auxiliando o planejamento do manejo florestal sustentável.

6. REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil**: potencialidade paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial. 2003.

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, 1995.

BOLDRINI, J. L., COSTA, S. I. R., RIBEIRO, V. L. S. F. F., WETZER, H. G. **Álgebra linear**. São Paulo, Haper & Row do Brasil, 1986. 411p.

BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix modelo of unevenaged forest management. **Forest Science**, Washington, v. 12, n. 1, p.109-122. 2002

CÂMARA, I. G. Breve história da conservação da Mata Atlântica. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. (Eds.). **Mata Atlântica**: biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica & Conservação Internacional, 2005. p. 31-42.

CAMPOS, J.B.; SILVEIRA FILHO, L. **Floresta Estacional Semidecidual** (Cartilha). Volume 5. Curitiba, 2010.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 605 p.

CUNHA, U. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; SANQUETTA, C. R. Predição da Estrutura Diamétrica de Espécies Comerciais de Terra Firme da Amazônia por meio de Matriz de Transição. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 109-122, 2002

DE AZEVEDO, C.P. **Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequânios pelo emprego da matriz de transição**. Viçosa, MG, UFV, 1993. 118 p. (Dissertação Mestrado).

DE GROOT, M. H. **Probability and statistics**. Califórnia: Addeson-Wesley Publishing, 1989. 723 p.

HOLZ, H.; PLACCI, G. Raízes socioeconômicas da perda da biodiversidade em Misiones. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I.G. **Mata Atlântica**: biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica & Conservação Internacional, 2005. p. 207-226.

HIGUCHI, N. 1987. **Short-term growth of na undisturbed tropical moist forest in the Brazilian Amazon**. Tese de doutorado. Michigan State University. 129p.

HILLER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introduction to operations research**. 3 ed. San Francisco: Holden Day, 1980. 829p.

KLEIN, R. M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia**, v.32, p. 165-384, 1980.

LANA, D.M.; NETTO, S.P.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R.; EBLING, A.A. Prognose da Estrutura Diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v.22, p.71-78, 2015.

LESLIE, P.H. **On the use of matrices in certain population mathematics**. Biometrika, London, v.33, n.3, p.183-212, 1945.

MARTINS, S. V. **Ecologia das Florestas Tropicais do Brasil**. 2.ed. – Viçosa, MG: ED. UFV, 2012. 371p.

PROBIO. **Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira**. Subprojeto mapeamento dos biomas brasileiros. Brasília: MMA e CNPq. Disponível em: www.mma.gov.br/portalbio. Acesso em 2015.

PULZ, F. A.; SCOLFORO, J.R.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M.; FILHO; A.T.O. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma Floresta inequianea com a Matriz de Transição. **Cerne**, v.5, n.1, p.01-14, 1999.

PULZ, F. A. 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. In: **Estudo da dinâmica e a modelagem de uma floresta semidecidual montana na região de Lavras -MG**. Lavras: UFLA, 1998. Cap.4. 156p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)

RIZINNI, M. J. N. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda. 1997.

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. A.; MELLO, J. M. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. S. (Ed.). **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. p.189-245.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Modelo de produção para floresta nativa como base para manejo sustentado. **Cerne**, Lavras, v.2, n.1, p. 112-137, 1996.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.

SOUZA, A. L.; ARAÚJO, P. A.; CAMPOS, J. C. C.; NETO, F. P. de. Dinâmica de Crescimento em Diâmetro de uma Floresta Primária sem Interferência: Uma Análise pelo Tempo de Passagem entre Classes Diamétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 17, n. 2, p. 129-45, maio/ago. 1993.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas Nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa – MG: Ed. UFV, 2013.

USHER, M. B. A matrix model for forest management. **Biometrics**, p.309-315, 1969.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Copenhagen: CAB International, 1994. 312 p.

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V.N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Revista Acta Amazônica**, v. 39, n. 1, p. 71-80, 2009.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1991. 123 p.