



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA

Dissertação de Mestrado

# Processos Estocásticos aplicados à Dinâmica Florestal

Edney Barata Pantoja

Orientação: **Prof. Dr. João Marcelo Brazão Protázio**  
Co-orientação: **Profa. Dra. Terezinha Ferreira de Oliveira**

*Durante a elaboração deste trabalho o autor recebeu apoio financeiro da CAPES*

Belém  
2018

Edney Barata Pantoja

## Processos Estocásticos aplicados à Dinâmica Florestal

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Matemática e Estatística da Universidade Federal do Pará, como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Estatística.

Orientação: **Prof. Dr. João Marcelo Brazão Protázio**  
Co-orientação: **Profa. Dra. Terezinha Ferreira de Oliveira**

Belém

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P198p

Pantoja, Edney Barata Pantoja

Processos Estocásticos Aplicados à Dinâmica Florestal / Edney Barata Pantoja Pantoja. — 2018  
9 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Matemática e Estatística (PPGME), Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Orientação: Prof. Dr. João Marcelo Brazão Protázio Protázio

1. Processos Estocásticos. 2. Simulação de Florestas. 3. Floresta Nacional do Tapajós . I. Protázio , João Marcelo Brazão Protázio , *orient.* II. Título

---

EDNEY BARATA PANTOJA

PROCESSOS ESTOCÁSTICOS APLICADOS À DINÂMICA FLORESTAL

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Estatística do Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Estatística. Área de Concentração: Matemática Aplicada

Aprovada em: 2 de Abril de 2018.

BANCA EXAMINADORA

João Marcelo B Protázio

---

Prof. Dr. João Marcelo Brazão Protázio (Orientador)  
Programa de Pós-graduação em Matemática e Estatística -  
(PPGME/UFPA)



---

Prof. Dr. Paulo Cerqueira dos Santos (Membro)  
Faculdade de Estatística - (FAEST/UFPA)



---

Prof. Dr. João dos Santos Protázio (Membro)  
Faculdade de Estatística - (FAEST/UFPA)

*Aos meus Pais, Meus Heróis e Tesouros do meu Coração.*

---

# Agradecimentos

---

Toda honra e toda glória ao Deus único e verdadeiro, por ter segurado firmemente em minhas mãos nas horas difíceis, fato este que me fez chegar até aqui.

Aos meus pais, Manoel dos Santos Pantoja (in memory) e Ivanildes Barata Pantoja, e meus irmãos, amores da minha vida, força e o incentivo para vencer.

Ao meu grande companheiro, Claudio Ayan, pelo apoio e confiança.

Ao Prof. João Marcelo Brazão Protázio por ter primeiramente “acreditado em mim”, pelo seu carinho e afeição, por abrir as portas e pela oportunidade que me deu de usufruir de um ambiente que me proporcionou tanto crescimento acadêmico e profissional. Aos meus amigos, que fiz no mestrado, Andrey, Miguel, Raul, Fernando, Rodrigo e em especial, Eder Lucena, “meu amigão” pela força com que me ajudaram nesses momentos tão tensos. E também pelos preciosos momentos de troca de conhecimento, mas também de experiências de vida.

A todos os professores que ainda que indiretamente, tenham contribuído com valiosos ensinamentos, em especial, Prof<sup>a</sup>. Terezinha, Prof<sup>a</sup>. Regina, Prof<sup>o</sup> Valcir e ao Prof<sup>o</sup> Anderson.

Ao Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística da Universidade Federal do Pará, por ter proporcionado esta grande oportunidade.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

*”Deus de Aliança... Deus de Promessas... tudo pode Passar... tudo pode Mudar... mas tua Palavra vai se Cumprir...”*

*Davi Sacer*

---

# Resumo

---

PANTOJA, Edney Barata. Processos Estocásticos aplicado a Dinâmica Florestal. 2018. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Estatística, UFPA, Belém - Pará, Brasil.

O presente artigo tem como objetivo aplicar modelos estocásticos para simular a dinâmica de uma área de Floresta Tropical Amazônica localizada no município de Belterra, no estado do Pará, Brasil. Os dados são provenientes de 25 parcelas permanentes de 62.5 ha, com medições anuais de todos os indivíduos com DAP maiores ou igual a 5 cm obtidos nos anos de 1981 e 1983. Foram utilizados três métodos baseados em cadeia de Markov para modelar e prever a distribuição diamétrica dos indivíduos no ano de 1987. Finalmente critérios estatísticos foram utilizados para apresentar o modelo mais adequado ao fenômeno sendo estudado mais apropriada para modelar a dinâmica da área.

**Palavras-chave:** Processos Estocásticos, Simulação de Florestas, Floresta Nacional do Tapajós.



---

# Abstract

---

PANTOJA, Edney Barata. Stochastic Processes applied to Forest Dynamic. 2018. Dissertation to obtain master's degree in Statistics, UFPA, Belém - Pará, Brazil.

The present article aims to apply stochastic models to simulate the dynamics of an area of Tropical Forest located in the municipality of Belterra, in the state of Pará, Brazil. The data come from 25 permanent plots of 62.5 ha, with annual measurements of all individuals with DBH greater than or equal to 5 cm obtained in the years 1981 and 1983. Three methods based on Markov Chain were used to model and predict the distribution diameter of the individuals in the year 1987. Finally, statistical criteria were used to present the model most appropriate to the phenomenon being studied more appropriate to model the dynamics of the area.

**Keywords:** Stochastic Processes, Forest Simulation, Tapajos National Forest.

# Processos Estocásticos aplicados à Dinâmica Florestal

Edney Barata Pantoja  
João Marcelo Brazão Protázio

May 3, 2018

## Abstract

The present article aims to apply stochastic models to simulate the dynamics of an area of Tropical Forest located in the municipality of Belterra, in the state of Pará, Brazil. The data come from 25 permanent plots of 62.5 ha, with annual measurements of all individuals with DBH greater than or equal to 5 cm obtained in the years 1981 and 1983. Three methods based on Markov Chain were used to model and predict the distribution diameter of the individuals in the year 1987. Finally, statistical criteria were used to present the model most appropriate to the phenomenon being studied more appropriate to model the dynamics of the area.

**Key Words:** Stochastic Processes, Forest Simulation, Tapajos National Forest.

## Resumo

O presente artigo tem como objetivo aplicar modelos estocásticos para simular a dinâmica de uma área de Floresta Tropical Amazônica localizada no município de Belterra, no estado do Pará, Brasil. Os dados são provenientes de 25 parcelas permanentes de 62.5 ha, com medições anuais de todos os indivíduos com DAP maiores ou igual a 5 cm obtidos nos anos de 1981 e 1983. Foram utilizados três métodos baseados em cadeia de Markov para modelar e prever a distribuição diamétrica dos indivíduos no ano de 1987. Finalmente critérios estatísticos foram utilizados para apresentar o modelo mais adequado ao fenômeno sendo estudado mais apropriada para modelar a dinâmica da área.

**Palavras chave:** Processos Estocásticos, Simulação de Florestas, Floresta Nacional do Tapajós.

## 1 Introdução

As florestas naturais são dinâmicas, em aspectos temporais e espaciais, formando mosaicos de estágios sucessionais, cuja configuração depende de uma série de fatores ambientais e ecológicos associados às características ecofisiológicas das espécies. A dinâmica estrutural e florística das florestas são causadas por diversos fatores que propiciam heterogeneidade ambiental no espaço e no tempo, em uma ampla escala de ação (Nascimento et al., 2012).

As características ecológicas mais usadas são: ciclo de vida; reprodução; propagação; ritmo de crescimento; capacidade fotossintética, e; regeneração (Whitmore, 1989, 1990). Já o agrupamento via a distribuição diamétrica permite o entendimento dos processos de

sucessão, propiciando informações sobre a regeneração natural, bem como da estrutura etária das populações (Harper, 1990; Paula et al., 2004; Canalez et al., 2006). Logo, o conhecimento da composição, estrutura e dinâmica da floresta em conjunto com as informações ecológicas das espécies fornece importantes evidências sobre a sucessão florestal, permitindo inferir sobre o estágio sucessional da floresta e adoção de boas ações de manejo e conservação dos seus recursos (Piña-Rodrigues et al., 1990; Pillar, 1994; Gandolfi et al., 1995; Maciel et al., 2003; Paula et al., 2004).

Os estudos sobre sucessão ecológica em ambientes florestais são baseados em inventário florestal contínuo, pois apenas com auxílio das informações obtidas nesses levantamentos é possível identificar os fatores que afetam a dinâmica da floresta, bem como utilizar essas informações para prognose de comportamento futuro por meio de modelos matemáticos. O uso de modelos de predição e prognose facilitam a análise da dinâmica da estrutura diamétrica em florestas naturais, propiciando uma avaliação prévia dos processos de sucessão florestal futuros, fornecendo subsídios para a tomada de decisão antecipada quanto ao uso dos recursos florestais.

A Cadeia de Markov ou Matriz de Transição consiste em um dos diversos processos estocásticos de predição para florestas tropicais. Esse tipo de modelo matemático é amplamente utilizado e difundido em estudos florestais de sistemas complexos relacionados à dinâmica, sucessão, crescimento e produção florestal (Alder, 1980; Buogiorno Michie, 1980; Shuggart, 1984; Higuchi, 1987; Guazzelli, 1993; Sanquetta et al., 1995; Teixeira et al., 2007; Souza Soares, 2013). A técnica se baseia em probabilidades de ocorrência dos eventos que propiciam a dinâmica florestal, tais como: ingresso ou a regeneração natural, mortalidade ou a perturbação do dossel e o crescimento em classes de tamanho (Austregêtilo et al., 2004; Teixeira et al., 2007).

O crescimento pode ser definido como o aumento das dimensões (diâmetro, altura, área basal, volume, biomassa e outros) de uma ou mais árvores, em um dado período de tempo e restringindo-se às partes da planta (células, galhos, folhas ou raízes) pode-se expressar o crescimento pelo aumento da extensão destas. O crescimento de árvores depende de fatores como a disponibilidade dos recursos ambientais (e.g. luz, água e nutrientes) e espaço físico (e.g. impedimentos por cipós), tamanho e constituição genética da árvore bem como sua história de desenvolvimento, cada um destes podendo afetar sozinho ou em conjunto o crescimento das árvores (Poorter e Bongers, 1993).

As taxas de crescimento de árvores são altamente variáveis. Existem grandes variações entre espécies, bem como entre árvores da mesma espécie, porém de diferentes tamanhos ou constituição genética, ou ainda estabelecidas em diferentes habitats. Em contraste, o crescimento de uma árvore individual durante períodos sucessivos é muito menos variável (Swaine, 1990). Indivíduos arbóreos de um dado tamanho podem representar uma grande diferença de idades, concomitantemente, árvores de uma dada idade podem alcançar diferentes tamanhos, portanto, indivíduos de um dado tamanho ou idade podem estar crescendo em muitas diferentes taxas refletindo negativamente na estimativa da trajetória de crescimento e do tempo de vida (Terborgh et al., 1997).

Carvalho (1997) define recrutamento como a admissão de um ser em uma determinada população ou comunidade. O recrutamento de plântulas pode ser confundido com o seu aparecimento ou germinação. Muitas vezes o recrutamento também é chamado de ingresso, e nesse caso deve ser definido como o processo pelo qual as árvores pequenas aparecem em um povoamento, como, por exemplo, em uma parcela permanente, após a primeira medição.

O recrutamento é usualmente quantificado por meio do número de árvores ou plântulas

que alcançam ou excedem um tamanho limite específico em certo período, como resultado de diferentes processos de regeneração, como o estabelecimento, crescimento e mortalidade de plântulas (LEXERØD; EID, 2005). Segundo Kohyama e Takada (1998), obtêm-se taxas de recrutamento aparente simplesmente pela contagem de árvores que são menores que um tamanho mínimo em um inventário, mas que entraram nesse tamanho em um segundo inventário. Moser (1972) define ingresso como o acréscimo de árvores acima de um limite de tamanho arbitrariamente definido, representando um aumento das árvores contáveis que estão competindo por um nicho no povoamento mensurável.

Vanclay (1994b) diferencia os termos regeneração e recrutamento, sendo que regeneração é a renovação de povoamentos florestais por meios naturais ou meios artificiais (semeadura e plantio), enquanto que o recrutamento refere-se aos indivíduos que alcançaram um tamanho especificado (em altura ou em diâmetro). Os conceitos estão relacionados, e a distinção entre eles depende de eventos arbitrários no desenvolvimento de um indivíduo, desde a semente até uma pequena árvore.

Ingresso ou recrutamento pode ser definido como os indivíduos que apareceram entre duas medições, ou indivíduos que atingiram um DAP ou volume mínimo em duas medições consecutivas (Chagas, 2000; Gomide, 1997). O recrutamento mantém a floresta com novas árvores, podendo ou não compensar a mortalidade (Chagas, 2000). De acordo com Silva (1989), a quantidade de ingresso pode variar dependendo da composição florística e da perturbação do dossel. Caso a floresta sofra perturbações pequenas (como a queda de um galho ou uma árvore), o aparecimento de novos indivíduos é reduzido, porém grandes perturbações resultam maior quantidade de germinação, principalmente de espécies pioneiras de crescimento rápido.

A mortalidade pode ser definida como o número de indivíduos que morreram em um determinado período (Gomide, 1997; Chagas, 2000). Segundo Solomon (1980), a mortalidade e a reprodução consistem juntas no ponto de partida da maioria dos estudos de dinâmica de população. A mortalidade pode ocorrer tanto por causas genéticas como ambientais, porém, os modelos de crescimento ignoram o fator genético, dando maior importância aos fatores ambientais.

Em florestas tropicais Amazônicas, que é o caso em estudo, o modelo de mortalidade no tempo e no espaço é fortemente relacionado à máxima longevidade das árvores, sua distribuição em classes de tamanho, abundância relativa das espécies, tamanho e número de clareiras (Gomide, 1997; Swaine et al. 1987). Segundo, Swaine et al. (1987), as árvores mortas influenciam nas condições dos microambientes e, portanto, na taxa de crescimento de árvores vizinhas. A morte de uma árvore pode aumentar ou diminuir a mortalidade de outras, ocorrendo a uma taxa anual que varia de 1% a 2% em florestas primárias tropicais.

Os mesmos autores descreveram ainda, que as espécies pioneiras apresentam alta taxa de mortalidade, o que se deve ao fato de que as árvores em florestas tropicais são mais susceptíveis a senescência, seca, competição, ação de fungos e bactérias ou a combinação desses fatores. A taxa de mortalidade é diferente entre as espécies e sítios amostrais, tornando essa afirmação difícil de avaliar, principalmente em unidades amostrais pequenas (Gomide, 1997). Silva (1989) relatou que em florestas exploradas, a mortalidade tende a se estabilizar e torna-se constante nas maiores classes de diâmetro, concomitante com a morte das espécies pioneiras e substituição por espécies tolerantes à sombra.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Floresta Nacional do Tapajós, município de Belterra estado do Pará – Brasil, a altura do km 114 da rodovia Santarém-Cuiabá entre as coordenadas 2°40' - 4°10' de Latitude Sul e 54°45' - 55°30' de Longitude Oeste. A altitude está em torno de 175 m acima do nível do mar sendo o relevo plano e levemente ondulado. A área total da Floresta Nacional do Tapajós cobre aproximadamente 600.000ha (13 km – 60 km de largura e 150 km de comprimento). É uma faixa de terra limitada a leste pela BR163 (Santarém-Cuiabá), estendendo-se do km 50 a km 217 dessa rodovia, e a oeste pelo rio Tapajós, Estado do Pará.

O solo predominante é o latossolo amarelo moderado com textura pesada (60% a 94% de argila), com inclusão de latossolo amarelo concrecionário, derivado de argila pedregosa (Carvalho, 1992), o clima é do tipo Ami, segundo a classificação de Koppen, que é um clima tropical com uma estação seca de 2 a 3 meses por ano e precipitação anual acima de 2000 mm, com um período chuvoso de março a maio e período seco ou pouco chuvoso de agosto a novembro e a umidade relativa é de aproximadamente 86% (76 a 93%) e a média anual de temperatura está em torno de 25 °C, com médias mínimas de 18,4 °C e máximas de 32,6 °C (Carvalho, 1992, 2001; Oliveira, 2005).

### 2.2 Coleta de dados

O acompanhamento da dinâmica da Floresta Nacional do Tapajós teve início com o inventário das árvores onde foram identificadas por nome científico e vulgar, e realizado a medição do diâmetro a altura do peito (*DAP*) para todos os indivíduos com  $DAP \geq 5$  cm.

Para a realização do estudo foi necessário duas coletas, a primeira coleta foi realizada no ano de 1983, onde foi medido o *DAP* dos indivíduos arbóreos. A segunda medição ocorreu em 1989, onde se inclui os novos indivíduos que em 1989 passaram a possuir  $DAP \geq 5$  (Recrutamento) e registro das arvores que morreram entro os períodos de 1983 e 1989 (Mortalidade).

### 2.3 Diâmetro à Altura do Peito (*DAP*)

O  $DAP_{ij}$  representa o tamanho ou dimensão da unidade amostral  $i$  em centímetro no ano de medição  $j$  e é definido

$$DAP_{ij} = \frac{CAP_{ij}}{\pi} \quad (1)$$

onde  $CAP_{ij}$  é a circunferência à altura do peito medida a 1.3 m do solo em centímetros e  $\pi = 3.142$ .

### 2.4 Cadeia de Markov

Uma cadeia de Markov é um processo estocástico utilizado para estudar fenômenos naturais ou não, que passam, a partir de um estado inicial, por uma sequência de estados, onde a transição entre os estados ocorre segundo certa probabilidade (Fernandez, 1975). O autor define então a matriz Markoviana  $P$  como um conjunto enumerável ou finito de

estados  $p_{ij} \geq 0$ , definidos como a probabilidade de transição do estado  $i$  para o estado  $j$ , sujeito a condição  $\sum p_{ij} = 1$ .

Indiferente à dinâmica da distribuição diamétrica, estas propriedades implicam que [1] a distribuição diamétrica no futuro depende somente da distribuição atual e não da distribuição passada e [2] a probabilidade de uma árvore mudar-se, por exemplo, da classe  $i$  para a  $j$  em algum período específico deve permanecer a mesma todo o tempo, indiferente das condições do povoamento.

#### 2.4.1 Modelo baseado em Higuchi (1987)

De acordo com Higuchi (1987) e Azevedo et al. (1995), o modelo da matriz de transição está fundamentado no conceito de estado, ou seja, na situação em que a árvore pode ser encontrada (ingresso, classe de diâmetro e mortalidade). Portanto, parte do princípio que uma árvore encontrando-se em um estado, ela pode permanecer nele, ou mover-se para outro. Na prática, as probabilidades de transição  $p_{ij}$  estimadas pela equação

$$\hat{p}_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (2)$$

onde  $n_{ij}$  = é número de indivíduos na classe  $j$  (DPA) no tempo  $t+1$ , uma vez que estavam na classe  $i$  no tempo  $t$ ,  $n_i$  = é número de indivíduos na classe  $i$  no tempo  $t$ .

Na prática, o sistema com  $n$  classes no tempo  $t$  pode ser representado na forma vetorial como  $E_t = [R, e_2, \dots, e_{n-1}, M]$ , onde  $R$  são os recrutados,  $e_2 \dots e_{n-1}$  são as classes diamétricas e  $M$  são os removidos devido a mortalidade.

Logo a matriz de transição  $P$  pode ser representada como

$$P = \begin{bmatrix} p_{R,R} & p_{R,2} & \dots & p_{R,n-1} & p_{R,M} \\ p_{2,R} & p_{2,2} & \dots & p_{2,n-1} & p_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n-1,R} & p_{n-1,2} & \dots & p_{n-1,n-1} & p_{n-1,M} \\ p_{M,R} & p_{M,2} & \dots & p_{M,n-1} & p_{M,M} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Assim, para estimar a distribuição diamétrica no tempo  $t + 1$ , utiliza-se a equação

$$E_{t+1} = E_t P, \quad (4)$$

onde  $E_t$  é a distribuição diamétrica dos indivíduos no tempo  $t$  e  $P$  é a matriz de transição.

#### 2.4.2 Modelo Baseado em Buongiorno e Michie (1980)

Aplicando-se as equações de Chapman-Kolmogorov (Parzen, 1962), verifica-se que o número de árvores por classe de diâmetro, após decorrido um período de tempo pode ser obtido por:

$$E_{t+1} = E_t P + R_t \quad (5)$$

onde  $E_{t+1}$  é o vetor do número de árvores por classe de diâmetro no tempo  $t + 1$ ,  $P$  é a matriz de probabilidade de transição,  $E_t$  é vetor do número de árvores por classe de diâmetro e  $R_t$  é o vetor de indivíduos recrutados no tempo  $t$ , definido como:

$$R_t = [c \dots 0], \quad (6)$$

onde  $c$  é constante.

### 2.4.3 Modelo baseado em Sanqueta et al. (1996)

Neste modelo, a distribuição diamétrica dos indivíduos no tempo  $t + 1$  é similar ao modelo de Buongiorno e Michie (1980) e é definido como:

$$E_{t+1} = E_t P + R_t, \quad (7)$$

onde  $E_{t+1}$  é o vetor do número de árvores por classe de diâmetro no tempo  $t + 1$ ,  $P$  é a matriz de probabilidade de transição,  $E_t$  é vetor do número de árvores por classe de diâmetro e  $R_t$  é o vetor de indivíduos recrutados no tempo  $t$ , agora definido como

$$R_t = [R(E_t) \dots 0], \quad (8)$$

onde  $R(E_t)$  é um vetor dependente da distribuição diamétrica dos indivíduos  $E_t$  e definido como

$$R(E_t) = \alpha \sum_{i=2}^{n-1} e_i, \quad (9)$$

onde  $\alpha$  é uma constante.

## 2.5 Critério de Seleção dos Métodos

O critério utilizado para medir a qualidade das estimativas, no sentido de indicar o método mais adequado para modelar o fenômeno é a função desvio definida como

$$d = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|E_i - \hat{E}_i|}{E_i} \quad (10)$$

onde  $E_i$  é o valor diamétrico observado e  $\hat{E}_i$  é o valor diamétrico estimado.

## 2.6 Experimento Computacional

O experimento consistiu em estimar a distribuição diamétrica dos indivíduos em 1987 utilizando cada um dos três modelos apresentados na seção anterior, seguindo o seguinte protocolo:

[1] Os indivíduos foram classificadas em 14 classes diamétricas definidas como,  $E = [R, e_{5 < DAP \leq 10}, \dots, e_{55 < DAP \leq 60}, e_{DAP > 60}, M]$ ;

[2] Inicialmente calculamos a matriz de transição  $P_{81-83}$  para cada um dos três modelos utilizando a informação da distribuição diamétrica dos indivíduos em 1981 e 1983;

[3] Estimamos a distribuição diamétrica dos indivíduos para cada um dos modelos em 1985,  $\hat{E}_{85}$ , utilizando suas respectivas matrizes de transição e a distribuição diamétrica dos indivíduos em 1983,  $E_{83}$ ;

[4] Estimamos a distribuição diamétrica dos indivíduos para cada um dos modelos em 1987,  $\hat{E}_{87}$ , utilizando suas respectivas matrizes de transição e a distribuição diamétrica estimada dos indivíduos em 1985,  $\hat{E}_{85}$ ;

[5] Finalmente calculamos o desvio associado a cada uma das estimativas usando como parâmetro a distribuição diamétrica observada em 1987,  $E_{87}$ .

## 3 Resultados

### 3.1 Modelos Implementados

#### 3.1.1 Modelo baseado em Higuchi (1987)

Na tabela abaixo é apresentada a matriz de transição  $P_{[81-83]}$  de 1981 para 1983 pelo modelo baseado em Higuchi (1987).

Tabela 1: Matriz de probabilidade de transição de um estado  $i$  para outro  $j$  durante um período de dois anos (81 - 83)

	R	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	>60	M
R	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
5-10	0.00	0.73	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
10-15	0.00	0.00	0.71	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
15-20	0.00	0.00	0.00	0.73	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
20-25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
25-30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
30-35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.69	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16
35-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12
40-45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.21	0.00	0.00	0.00	0.16
45-50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.11	0.02	0.00	0.09
50-55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.11	0.02	0.07
55-60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.06	0.15
>60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.09
M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

#### 3.1.2 Modelo Baseado em Buongiorno e Michie (1980)

O modelo baseado em Buongiorno e Michie (1980) aqui implementado foi

$$E_{t+1} = E_t P + [140 \dots 0]. \quad (11)$$

#### 3.1.3 Modelo baseado em Sanqueta et al. (1996)

O modelo baseado em Sanqueta et al. (1996) aqui implementado foi

$$E_{t+1} = E_t P + [0.015 \sum_{i=2}^{n-1} e_i \dots 0]. \quad (12)$$

## 3.2 Resultados

Os resultados apresentados depois da implementação do protocolo podem ser vistos na **Tabela 2** e na **Figura 1**, apresentados logo abaixo.

Tabela 2: Desvio Médio Relativo

Modelo	Higuchi (87)	Buongiorno (80)	Sanqueta (96)
Desvio	31.64%	26.8%	26.41%



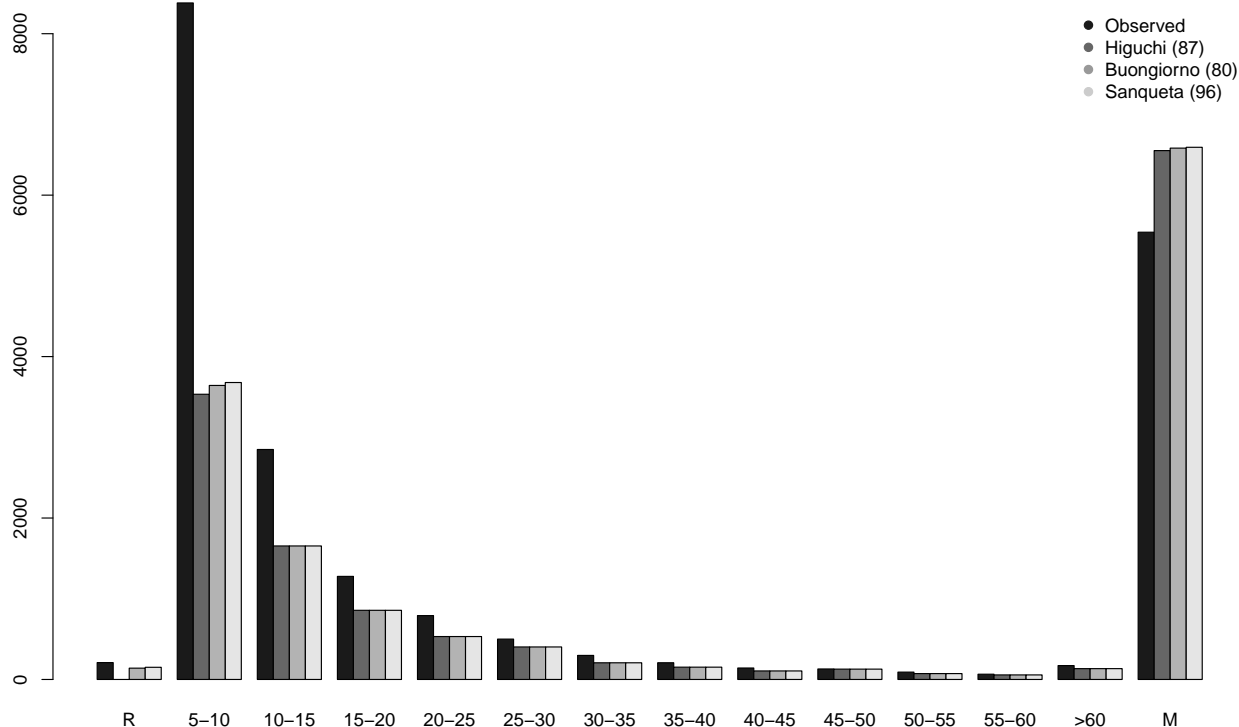


Figura 1: Comparação entre a distribuição diamétrica observada,  $E_{87}$ , e as respectivas distribuições diamétricas estimadas,  $\hat{E}_{87}$ , pelos métodos de Higuchi (87), Buongiorno (80) e Sanqueta (96)

## 4 Considerações Finais

Os resultados apresentados pelo experimento indicam que o método mais adequado para estimar a distribuição diamétrica dos indivíduos em 1987 foi o de Sanqueta et al (1997), que apresentou desvio relativo médio de 26.41%, o que é um resultado bastante satisfatório, levando-se em consideração que o fenômeno estudado, uma floresta tropical amazônica, é de alta complexidade.

Também como esperado, os resultados apresentados para a estimativa do recrutamento de uma maneira geral não foi satisfatório, mas por outro lado, as estimativas para a mortalidade apresentada por todos os modelos foram bem próximas do valor observado.

Pretende-se no futuro obter índices a partir da matriz de transição que sejam capazes de acrescentar mais informação ao modelo e assim melhorar ainda mais as estimativas para a dinâmica da floresta.

Este trabalho também tem como um dos objetivos principais contribuir de alguma forma com a nossa região, trazendo com isso insights na área de conservação ambiental e qualificando pesquisadores adaptados para a nossa realidade.

## 5 Referências Bibliográficas

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

HIGUCHI, N. Short-term growth of na undisturbed tropical moist Forest in the brazilian Amazon. Michigan: Michigan State University, 1987. 129p. (Thesis-PhD)

KOHYAMA, T., 1998. Scaling up from stifting-gap mosaic to geographic distribution in the modelling of forest dynamics. *Ecol. Res.* 20, 305-312.

PARZEN, G. Stochastic process. San Francisco. Holden-Day, 1962. 324p.

SANQUETTA, C. R., ANGELO, H., BRENA, D. A., MENDES, J, B. Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento de floresta natural com matriz Markoviana de potência. *Revista Floresta*, Curitiba, v.24, n.1/2, p.23-36, 1996.

SILVA, J.N.M. The behaviour of the tropical rain forest of the brazilian Amazon after logging. Oxford: University of Oxford, 1989, 302 p. (Thesis-Ph.D.).

SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L. Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequiâneos pelo emprego da teoria da Cadeia de Markov. Viçosa: DEFUFV, 2013. 11 p. (Apostila).

TAKADA, T., 1994. The relationship between the transition matrix model and the diffusion model. *J. Math. Biol.* 32, 789-807.

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