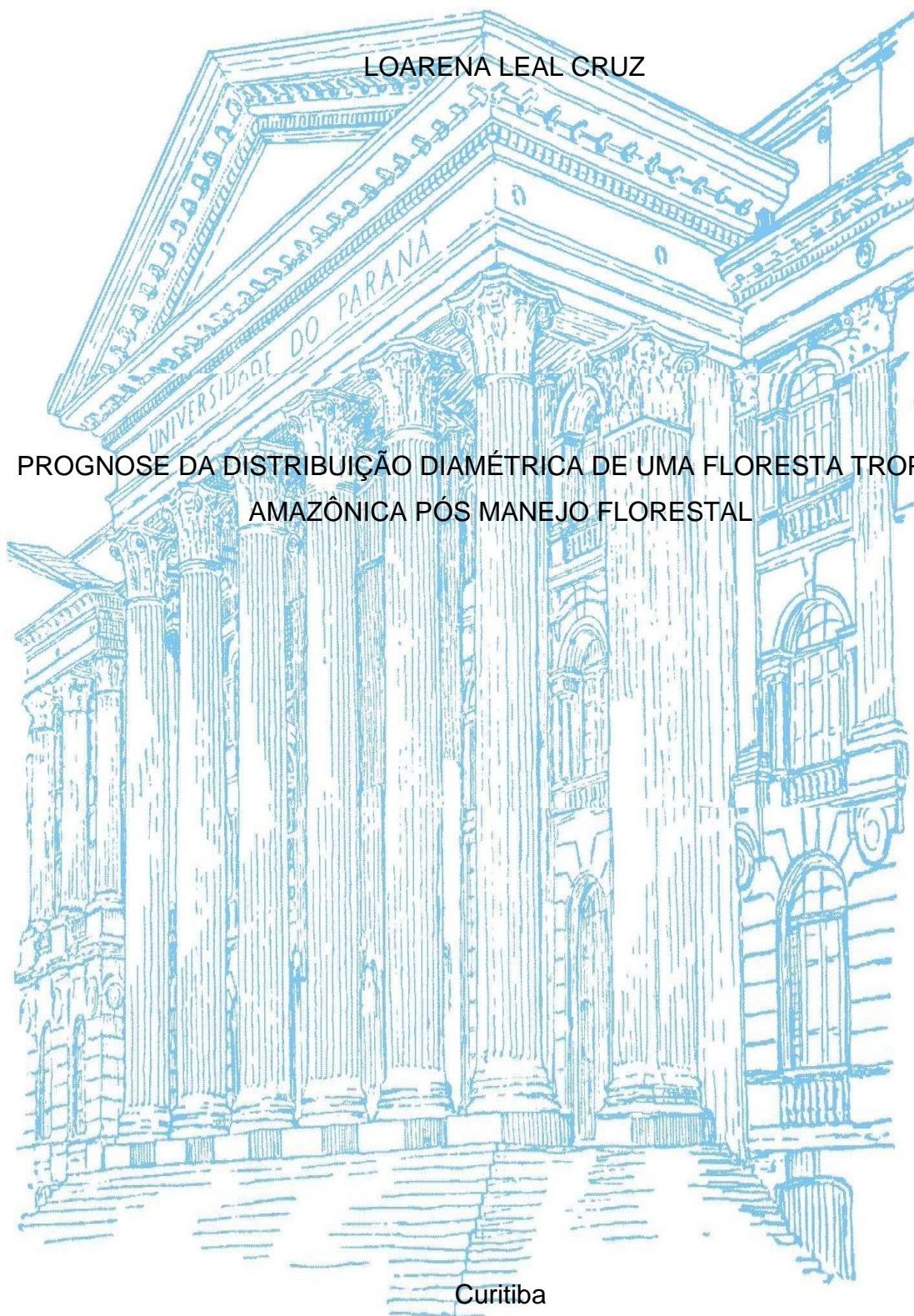


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LOARENA LEAL CRUZ

PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE UMA FLORESTA TROPICAL
AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL



Curitiba

2014

LOARENA LEAL CRUZ

PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE UMA FLORESTA TROPICAL
AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração em Manejo Florestal, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Co-orientadores: Prof^a. Dra. Ana Paula Dalla Corte
Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa

Curitiba

2014

Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR
Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Cruz, Loarena Leal

Prognose da distribuição diamétrica de uma floresta tropical amazônica pós manejo florestal/ Loarena Leal Cruz. – 2014
75 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Coorientadores: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 18/03/2014.

Área de concentração: Manejo florestal

1. Manejo florestal - Amazônia. 2. Florestas tropicais. 3. Florestas - Amazônia. 4. Teses. I. Nakajima, Nelson Yoshihiro. II. Corte, Ana Paula Dalla. III. Hosokawa, Roberto Tuyoshi. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.90981134

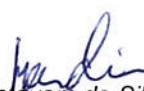
CDU – 634.0.6(811.34)




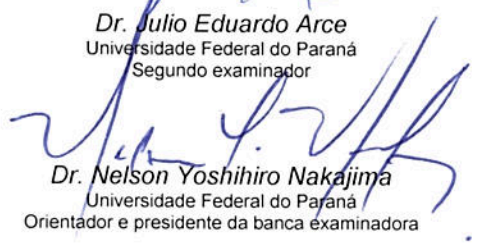
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da
Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER
Defesa n.º 1034

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Loarena Leal Cruz* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE UMA FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.



Dr. Fernando Cristóvam da Silva Jardim
Universidade Federal Rural da Amazônia
Primeiro examinador


Dr. Julio Eduardo Arce
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 18 de março de 2014.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

***A Nossa Senhora de Nazaré, fonte de amor e de fé!
Padroeira de Belém e Rainha da Amazônia,
A quem tenho eterna devoção.***

*À minha mãe Adelia pelo exemplo de força e dedicação.
Ao meu pai Sebastião pelo amor e dedicação (in memoriam).
Às minhas irmãs Loredana e Loana pelo carinho e amizade.*

DEDICO

BIOGRAFIA DO AUTOR

LOARENA LEAL CRUZ, filha de Sebastião Barros da Cruz (†) e Adelia Lima Leal, nasceu em Ananindeua, estado do Pará, no dia 09 de maio de 1986.

Iniciou o ensino fundamental em 1993 e concluído no ano de 2001, na Escola Estadual Pedro Amazonas Pedroso, no município de Belém-PA.

O ensino médio também foi realizado na Escola Estadual Pedro Amazonas Pedroso iniciado em 2002 e concluído em 2004.

No ano de 2005 ingressou no curso Técnico Florestal na Escola Agroindustrial Juscelino Kubistchek de Oliveira, no município de Marituba-PA e concluído em 2007.

No mesmo ano ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Rural da Amazônia, no município de Belém-PA, e concluído em agosto de 2011.

Em março de 2012 ingressou no mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração Manejo Florestal e, concluído em fevereiro de 2014.

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é a Deus Pai Eterno, refugio nos momentos de desânimos e dificuldades. A seu filho Jesus, pelo seu amor. E ao Espírito Santo, doce consolador, minha gratidão pela superação dos momentos difíceis;

À Universidade Federal do Paraná, sobretudo ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de ingresso no mestrado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao CNPq através do projeto “Avaliação da dinâmica florestal após exploração madeireira seletiva” pela disponibilidade do banco de dados utilizados para este trabalho.

Ao Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima por ter aceitado me orientar e pelos ensinamentos transmitidos, orientação, compreensão, paciência e companheirismo agradeço infinitamente pela confiança em mim depositada.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Roberto Hosokawa que apesar das dificuldades aceitou colaborar com seus conhecimentos na minha pesquisa.

A minha co-orientadora Prof^a. Dra. Ana Paula Dalla Corte pela amizade, orientação, auxílio e pelos conselhos e “dicas” sobre o tema abordado.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR, principalmente aos professores: Dr. Afonso Figueiredo Filho, Dr. Carlos Vellozo Roderjan, Dr. Franklin Galvão, Dr. Henrique Soares Koehler, Dr. Julio Eduardo Arce, Dr. Sebastião do Amaral Machado dos quais tive a honra de ter sido aluna e tenho profunda admiração e respeito por terem contribuído nessa minha formação e em especial a Dra. Yoshiko Saito Kuniyoshi pelo carinho e acolhimento em sua residência.

A minha mãe Adelia Lima Leal pelo amor incondicional que me transmite força e sabedoria, e, sobretudo na qual encontro inspiração para vencer todas as batalhas.

As minhas irmãs Loredana Leal e Loana Leal que sempre me incentivaram a perseverar apesar das adversidades, encontradas pelo caminho.

As companheiras de República Damaris Levita, Danuza Stall e Mahayana Ferronato pela amizade, companheirismo e enorme paciência.

Ao colega Angelo Ebling por ter compartilhado seu conhecimento e sempre me ajudado nas dúvidas que surgiram no decorrer deste trabalho.

Aos colegas do curso Anabela, Sara, Natália, Mariana, Ian, Alexandre, Santiago, Pompeu, Aurélio, Izabela, Manuela, Simone, e Mariane pela amizade, carinho e momentos de descontração.

Aos colegas do Laboratório de Manejo Florestal Allan, Emanuel, Hassan, Luan, Rodrigo e Rogério pelos conhecimentos compartilhados.

Aos amigos Eduardo, Lúcio e Milene, companheiros de república, pelo incentivo, força e amizade nos momentos finais.

A toda equipe de estagiários da UFRA que contribuíram para a coleta de dados da pesquisa.

Aos amigos do Grupo de Oração Universitário (GOU), que nos momentos de dificuldades foram meu sustento e amparo para perseverar sempre.

A Banca examinadora, pelas correções e valiosas sugestões, que ajudaram a melhorar este trabalho;

Em Especial ao Prof. Dr. Fernando Cristóvam da Silva Jardim, pela confiança em mim depositada, carinho, amizade, ensinamentos, pela presença na banca examinadora e disponibilização dos dados utilizados nesse trabalho.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

*“Você nunca sabe que resultados
virão da sua ação.*

*Mas se você não fizer nada,
não existirão resultados.”*

(Mahatma Gandhi)

“Demore na dúvida...

E descubra a sabedoria que existe

Em se esconder na ausência das palavras.”

(Padre Fábio de Melo)

*“O sucesso nasce do querer,
da determinação e persistência
em se chegar a um objetivo.*

*Mesmo não atingindo o alvo,
quem busca e vence obstáculos,
no mínimo fará coisas admiráveis.”*

(José Alencar)

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo avaliar a acuracidade das projeções da distribuição diamétrica empregando os modelos de Matriz de Transição e de Razão de Movimentação em diferentes intervalos de classe diamétrica. O experimento foi conduzido em 200 ha de uma floresta tropical de terra firme, no campo experimental da EMBRAPA, em Moju, estado do Pará, onde houve exploração seletiva em outubro de 1997. Foram selecionadas 9 clareiras, em torno das quais foram instaladas parcelas amostrais 10mx 50m, da bordadura da clareira para dentro da floresta, nas direções norte, sul, leste e oeste, onde foram medidos todos os indivíduos com DAP \geq 5 cm. Os dados foram coletados no período de 1998 a 2010, nas nove clareiras totalizando uma área amostral de 1,8 ha. A análise foi realizada com base nos dados obtidos em 1998 e 2001. A eficiência das projeções foi verificada com base nos valores observados, por meio do teste de Kolgomorov-Smirnov. Por fim a partir da metodologia de maior acuracidade foi realizada a prognose da floresta para o ano de 2022. Todas as projeções realizadas apresentaram distribuição diamétrica na forma de “J – Invertido” semelhantes as encontradas na estrutura real da floresta. No entanto a projeção que obteve melhor resultado quando comparadas com os dados observados foi a obtida pelo método de Razão de Movimentação. Diante disso foi estabelecida a prognose com intervalo de tempo de 12 anos, a qual mostrou que a floresta continua com seu padrão diamétrico de J-invertido demonstrando que a mesma está passando pelo processo de reestruturação.

Palavras-chave: Floresta Tropical, Prognose, Matriz de Transição, Razão de Movimentação.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the accuracy of diameter distribution projections using the Transition Matrix models and the Movement Ratio in different diameter class intervals. The experiment was carried out on 200 ha of tropical upland forest in experimental field of Embrapa, in Moju District, state of Para, where there was selective operation in October 1997. Nine clearings were selected at around which 10mx 50m sample plots were installed, the border of clearings to into the forest, in the directions north - south, east - west, where all individuals with DBH \geq 5 cm were measured. The data were collected in the period 1998-2010 in nine clearings, totaling a sampling area of 1.8 ha. The analysis was based on data obtained in 1998 and 2001. The efficiency of the projections was made based on the observed values, through Kolgomorov-Smirnov test. Finally from methodology more accurately was performed the prognosis for the forest to the year 2022. All performed projections had diametric distribution as "Inverted J" structure, similar to those found in real forest. However, the projections that obtained the best results if compared to observed data was the Movement Ratio Method. Thus the prognosis was established with time interval of 12 years, which showed that the forest continues with its diametric pattern of inverted-J demonstrating that the forest is undergoing process of restructuration.

Key-words: Tropical Forest, Prognosis, Transition Matrix, Movement Ratio.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO CAMPO EXPERIMENTAL DA EMBRAPA
AMAZÔNIA ORIENTAL NA PA-150, MUNICÍPIO DE MOJU – PA.....35
- FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS NOVE CLAREIRAS SELECIONADAS
EM ÁREA EXPLORADA SELETIVAMENTE NA ESTAÇÃO
EXPERIMENTAL DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL SITUADA NO
KM 30 DA RODOVIA PA 150, MOJU, PARÁ.....39
- FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS EM RELAÇÃO ÀS CLAREIRAS, EM
UMA AMOSTRA DE 1,8 ha DE FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA
PÓS MANEJO FLORESTAL.....40
- FIGURA 4 - MEDIÇÃO DO DAP A 1,30 DO SOLO (A) E REGISTRO DO DAP E
NOME VULGAR NA FICHA DE CAMPO.....41
- FIGURA 5 - MEDIÇÃO DO DAP NA OCORRÊNCIA DE SAPOPEMA.....41
- FIGURA 6 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA OBSERVADAS E ESTIMADAS PARA OS
ANOS DE 2007 COM INTERVALOS DE 5 CM DE DIÂMETRO EM UMA
FLORESTA TROPICAL PÓS MANEJO FLORESTAL.....53
- FIGURA 7 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA OBSERVADAS E ESTIMADAS PARA OS
ANOS DE 2007 COM INTERVALOS DE 5 CM DE DIÂMETRO EM UMA
FLORESTA TROPICAL PÓS MANEJO FLORESTAL.....53
- FIGURA 8 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA OBSERVADAS E ESTIMADAS PARA O
ANO 2007 COM INTERVALOS DE 10 CM DE DIÂMETRO EM UMA
FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL.....55
- FIGURA 9 - NÚMERO DE ÁRVORES OBSERVADAS E ESTIMADAS PARA O ANO
DE 2010 COM INTERVALOS DE 10 CM DE DIÂMETRO EM UMA
FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL.....56
- FIGURA 10 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA OBSERVADOS E ESTIMADO PELO
MÉTODO DE RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO PARA O ANO DE 2022
COM AMPLITUDE DE CLASSE DE 5 CM DE DIÂMETRO EM UMA
FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL.....60

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 - ESPÉCIES DE VALOR COMERCIAL ENCONTRADAS NA ÁREA DESTE ESTUDO QUE FAZEM PARTE DA FORMAÇÃO FLORESTAL DO TIPO EQUATORIAL SUBPERENIFÓLIA.....37
- TABELA 2 - ESPÉCIES DE VALOR COMERCIAL ENCONTRADAS NA ÁREA DESTE ESTUDO QUE FAZEM PARTE DA FORMAÇÃO FLORESTAL DO TIPO EQUATORIAL HIGRÓFILA DE VÁRZEA38
- TABELA 3 - MATRIZ DE PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO COM INTERVALO DE CLASSE DE 5 CM.....48
- TABELA 4 - MATRIZ DE PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO COM INTERVALO DE CLASSE DE 10 CM.....50
- TABELA 5 - FREQUÊNCIA DOS VALORES OBSERVADOS E PROJETADOS (INDIVDUOS/HA) PARA OS ANOS 2004, 2007 E 2010 EMPREGANDO A MATRIZ DE TRANSIÇÃO E RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO PARA AMPLITUDE DE CLASSE DIAMÉTRICA DE 5 CM.....51
- TABELA 6 - FREQUÊNCIA DOS VALORES OBSERVADOS E PROJETADOS (IND./HA) PARA OS ANOS 2004, 2007 E 2010 EMPREGANDO A MATRIZ DE TRANSIÇÃO E RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO PARA AMPLITUDE DE CLASSE DIAMÉTRICA DE 10 CM.....54
- TABELA 7 - VALORES DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA CALCULADA E CRÍTICOS PARA O TESTE DE ADERÊNCIA KOLMOGOROV-SMIRNOV ENTRE OS ANOS ANALISADOS.....57
- TABELA 8 - FREQUÊNCIA DOS VALORES OBSERVADOS E PARA O VALOR PROJETADO (2022) EMPREGANDO A RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO PARA AMPLITUDE DE CLASSE DIAMÉTRICA DE 5 CM.....59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 REGIÃO AMAZÔNICA	21
2.2 FLORESTAS TROPICAIS	22
2.3 FLORESTA PÓS-MANEJO FLORESTAL E SUA DINÂMICA	23
2.4 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	24
2.5 PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	29
2.5.1 Matriz de Transição ou Cadeia de Markov	29
2.5.2 Razão de Movimentação	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.1.1 Localização e acesso	35
3.1.2 Clima	36
3.1.3 Relevo e solo	36
3.1.4 Vegetação	36
3.2 HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO	38
3.3 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	38
3.4 COLETA DOS DADOS	40
3.5 PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	42
3.5.1 Matriz de transição	43
3.5.2 Razão de movimentação	45
3.5.3 Avaliação das prognoses	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA COM AMPLITUDE DE TEMPO DE 3 ANOS	48
4.1.1 Prognose florestal para intervalos de classe de 5 cm de diâmetro	50
4.1.2 Prognose florestal para intervalos de classe de 10 cm de diâmetro	54

4.1.3 Avaliação das prognoses.....	56
4.2 PROJEÇÃO DIAMÉTRICA FUTURA DA FLORESTA POR RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO.....	59
4.2.1 Distribuição diamétrica.....	60
5 CONCLUSÃO.....	62
6 RECOMENDAÇÕES.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

As florestas sempre exerceram indiscutível influência no progresso e na cultura da humanidade. Elas precedem e condicionam o desenvolvimento das civilizações, uma vez que seu produto principal, a madeira, sempre foi imprescindível para as mais variadas utilidades, especialmente como combustível e material de construção em todas as sociedades (SCHUMACHER e HOPPE, 2001).

Péllico Netto e Brena (1997) afirmam que nenhum país pode prescindir dos recursos oriundos da floresta para seu desenvolvimento econômico e social, uma vez que os produtos florestais são utilizados nas mais diversas atividades, que vão desde a construção naval até móveis e artefatos, indispensáveis ao bem-estar do homem.

O Brasil é o país com a maior diversidade biológica do mundo (MITTERMEIER *et al.*, 1998), sendo a região Amazônica a maior reserva contínua e praticamente intacta do planeta, cobrindo uma área de aproximadamente 250 milhões de hectares (HIGUCHI *et al.*, 2000). A conservação, o manejo, o uso sustentável dos recursos naturais, o planejamento e ordenamento territorial e a avaliação de impactos ambientais, nessa região, passam obrigatoriamente pelo conhecimento da biodiversidade, o que torna enorme as demandas atuais pela informação científica de alta qualidade (PEIXOTO e MORIM, 2003).

Lamprecht (1990) afirma que as florestas tropicais, ao desaparecerem, levam consigo, irrecuperavelmente, os mais ricos reservatórios genéticos do planeta, antes mesmo de terem sido convenientemente conhecidos.

Segundo Pulz *et al.* (1999), no Brasil as florestas nativas têm sido tratadas de forma generalizada, principalmente no que diz respeito ao ciclo de corte das florestas nativas, que define 25-35 anos para as florestas da região Amazônica e 12 anos para a vegetação do cerrado.

De acordo com Schaaf (2001), para que haja continuidade na produção de benefícios se devem garantir a perpetuação dos recursos florestais. Mas para isso, é necessária a aplicação de técnicas silviculturais que assegurem a sustentabilidade do uso da floresta. Portanto, baseando-se no fato de que toda atividade de manejo implica em intervenção, a atuação do profissional florestal somente será bem

sucedida na medida em que ferramentas que lhe permitam prever os resultados de diferentes alternativas silviculturais estejam disponíveis. Assim, o êxito na escolha do manejo mais adequado, que garanta a utilização sustentável do recurso, poderá ser atingido.

Para Scolforo *et al.* (1996), nas florestas nativas, além de toda a complexidade de sua composição, com um grande número de espécies com as mais diferentes características silviculturais, ecológicas e tecnológicas, poucas são as informações de como as plantas crescem, seja em áreas intactas, seja em áreas exploradas ou ainda em áreas sujeitas a regime de manejo.

Todos esses conhecimentos são de extrema importância na aplicação de planos de manejo, ou ainda na definição do ciclo de corte e também como o número de árvores por classe de diâmetro evolui ao longo do tempo. Muitos outros pontos são ainda relevantes para que as florestas nativas possam ser utilizadas em bases sustentáveis tais como: suscetibilidade das espécies florestais a exploração; a economicidade do manejo sustentável; maior eficiência no processo de beneficiamento e aproveitamento da madeira, racionalização das técnicas de exploração e transporte, dentre outras.

Para Austregésilo *et al.* (2004), as florestas devem ser estudadas para propiciar o conhecimento e a manutenção da biodiversidade, bem como para que se viabilize a exploração de seus produtos, bens/serviços provenientes, de forma planejada e racional, com o intuito de garantir o fluxo contínuo desses recursos. A carência de um planejamento sistemático pode levar à definição de objetivos a partir de critérios subjetivos e à reduzida compatibilidade entre ações e objetivos.

No entanto, para atingir essa meta, é preciso conhecer o padrão e a dinâmica de crescimento das florestas exploradas, definir modelos de crescimento e de predição do estoque futuro da floresta, assim como identificação correta e a distribuição espacial das espécies, estrutura da vegetação, auto-ecologia das espécies, parâmetros demográficos da regeneração natural, biologia e dinâmica reprodutiva, que deverão ser obtidas em cada área ou formação vegetal delimitada para a minuciosa pesquisa de campo (FERREIRA, 2009).

Não há dúvida de que já existem técnicas indicadas ao manejo das florestas tropicais. Entretanto o que ainda se vê, em muitos casos, é uma exploração florestal sem normatização controlada e que logo é substituída pela agricultura ou outra

atividade, apesar de todas as discussões sobre uso adequado da terra e do meio ambiente.

Diante disso, muitos estudos têm sido desenvolvidos visando conhecer técnicas ou alternativas que possam assegurar a sustentabilidade desses recursos em florestas naturais em regime de rendimento sustentável. No entanto, essa sustentabilidade está fortemente relacionada com a definição exata do ciclo de corte e do conhecimento de como o número de árvores evolui ao longo do tempo.

Como alternativa para estudar e projetar o crescimento de florestas na Amazônia destaca-se o método de Matriz de Transição, também conhecido como Cadeia de Markov, um modelo de produção florestal, que depende de uma situação imediatamente anterior a atual para a projeção de uma situação imediatamente posterior. Este modelo tem sido amplamente utilizado no estudo da previsão de crescimento em florestas tropicais, sendo assim é o mais adequado à floresta Amazônica por ser um processo estocástico para a predição diamétrica, número de árvores mortas, número de árvores sobreviventes e número de árvores colhidas (ROCHA, 2001).

Outro modelo aplicado na prognose de florestas naturais é a Razão de Movimentação dos diâmetros baseado na teoria de projeção das tabelas de povoamento aplicado às florestas naturais, em que o emprego do incremento diamétrico médio é a variável mais usual para gerar as estimativas. Nesse modelo, assume-se que as árvores estão distribuídas uniformemente no interior das classes, e que cada árvore cresce a uma taxa média (SCOLFORO *et al.*, 1998), o que muitas vezes não ocorre em florestas naturais, principalmente quando se trata de florestas que sofreram alguma intervenção.

Os modelos de produção e prognose florestal são considerados instrumentos poderosos que asseguram o planejamento da produção florestal. Embora estes impliquem numa simplificação da realidade, obter a prognose da distribuição diamétrica das árvores que compõem a floresta possibilita inúmeras ações, dentre elas: determinar o ciclo de corte; definir da época e grau de intervenções silviculturais; valorar o estoque de exploração em um período futuro; avaliar o efeito de diferentes alternativas de colheita sobre a distribuição diamétrica; fazer predições da dinâmica da estrutura da floresta; e indicar a sustentabilidade ecológica e econômica de planos de manejo (SOUZA, A.L.; GAMA, J.R.V., 2004).

A predição do crescimento e da produção de povoamentos manejados e não manejados é essencial para a credibilidade de um plano de manejo sustentável, tendo em vista que as decisões de manejo são tomadas com base na taxa de crescimento e na produção que esses povoamentos podem alcançar de acordo com essa taxa (FERREIRA, 1997).

A sustentabilidade da produção de madeiras é, portanto, um desafio aos pesquisadores florestais. As informações referentes ao crescimento florestal são pré-requisito para o manejo sustentável das florestas. Contudo, poucos são os estudos relacionados a tais informações disponíveis para florestas tropicais brasileiras na região amazônica devido à dificuldade na obtenção de dados, uma vez que a variável idade das árvores é de difícil obtenção (STEPKA, 2008).

Assim, depreende-se a importância de estudar e conhecer como o número de árvores por classe de diâmetro evolui ao longo do tempo e dessa forma, contribuir para gerar informações sobre um dos ecossistemas florestais mais importantes do Brasil, a partir do monitoramento de uma floresta tropical submetida à exploração florestal de impacto reduzido.

Este estudo é parte do projeto denominado “Avaliação da dinâmica florestal após exploração madeireira seletiva” em execução desde 1998 cujo objetivo geral é avaliar o comportamento das espécies arbóreas, da regeneração natural e os aspectos da sucessão secundária em consequência de uma exploração madeireira seletiva. Desta forma, esta pesquisa objetiva entender, em parte, como o ecossistema florestal responde às intervenções antrópicas de exploração madeireira, como se dá esse processo e quais mudanças ocorrem na estrutura diamétrica ao longo do tempo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral:

Avaliar a acuracidade das projeções da distribuição diamétrica de uma Floresta Tropical Amazônica pós-exploração seletiva, no município de Moju, no Nordeste Paraense, empregando os modelos da Matriz de Transição e Razão de

Movimentação, tradicionalmente usadas na realização de projeções diamétricas de florestas nativas, aplicados em diferentes amplitudes de classes diamétricas.

1.1.2 Objetivos específicos:

- a) Realizar a prognose da distribuição diamétrica por meio da Matriz de Transição para intervalos de classe de diâmetro de 5 e 10 cm;
- b) Realizar a prognose da distribuição diamétrica por meio do método da Razão de Movimentação para intervalos de classe de diâmetro de 5 e 10 cm;
- c) Comparar a distribuição diamétrica estimada para 2007 e 2010 pelos métodos, Matriz de Transição e Razão de Movimentação, com a estrutura diamétrica observada na medição do experimento (testemunha) para as amplitudes de classe de diâmetro de 5 e 10cm;
- d) Verificar qual das duas amplitudes de classe utilizada é a mais indicada para prognosticar a floresta pós-exploração florestal;
- e) Realizar a prognose da distribuição diamétrica futura da floresta com a metodologia de maior acuracidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REGIÃO AMAZÔNICA

A Amazônia brasileira abrange uma área de aproximadamente 370.000.000 ha, ou seja, tem uma abrangência geográfica de dimensão continental, sendo que aproximadamente 337.400.000 ha é de área florestal e 32.600.000 composta de área não florestal. Embora esteja totalmente dentro da zona tropical, sua cobertura e condições ecológicas não são uniformes em todo território. Possui uma grande variedade de tipos de vegetação, tais como Floresta Tropical de Terra Firme nas modalidades alta e baixa, Floresta de Várzea, Floresta de Igapó, Campos naturais, Campinas de areia branca, vegetação de áreas costeiras como Restinga e Manguezal (LISBOA *et al.*, 1991; SILVA e SILVA 1998).

Pires (1972) apontou a ocorrência de nove (9) tipos principais de vegetação na Amazônia, sendo que as chamadas Matas de Terra Firme ocupam cerca de 90% da área de toda a região, representando, de longe, o ecossistema mais conspícuo e o de maior interesse científico.

No Brasil uma delimitação política denominada Amazônia Legal inclui os estados do Pará, Amazonas, Roraima, Amapá, Rondônia, Acre e parte dos estados de Mato Grosso, Tocantins e Maranhão. Floristicamente, a floresta amazônica ocorre em terras baixas, em locais de elevada pluviosidade (RIBEIRO *et al.*, 1999).

A Floresta Amazônica é caracterizada pela mais ampla área de floresta tropical do mundo (WORBES *et al.*, 1992), abrigando um terço das florestas tropicais do mundo, sendo a região detentora da maior reserva de madeira tropical. Além do valor madeireiro, a floresta tem riquezas como os produtos não madeireiros e diversas espécies de animais, plantas e micro-organismos. Existem, também, os serviços que a floresta presta para o equilíbrio do clima regional e global, especialmente pela manutenção dos ciclos hidrológicos e retenção de carbono (VERÍSSIMO e AMARAL, 1996).

Segundo Cunha (2013), isso gera um considerável interesse em promover a sustentabilidade da produção como estratégia para a manutenção da qualidade ambiental, a melhoria das condições sociais e a produção de madeira serrada.

Entretanto, no contexto de manejo e de tratamentos silviculturais, nesse tipo florestal estes quesitos são pouco conhecidos ou aplicados.

As preocupações gerais quanto ao modelo de desenvolvimento da Amazônia concentram-se na possibilidade de destruição do equilíbrio natural desse ecossistema e nas consequências dessa destruição, uma vez que ainda não foram avaliados precisamente todos os serviços que a floresta amazônica fornece relativos às suas funções ecológica e ambiental (KISHI, 2005).

2.2 FLORESTAS TROPICAIS

As florestas tropicais estão localizadas entre as latitudes 10°N e 10°S e representam aproximadamente 25% da superfície total de florestas do mundo, estando presentes em cerca de 70 países, sendo 23 nas Américas, 16 na Ásia e 31 na África (OFOSU-ASIEDU, 1997). Estima-se que possuam cerca de 50% da biodiversidade do planeta, numa área que cobre apenas 7% das áreas continentais (SALATI *et al.*, 1998).

Essas florestas são caracterizadas pela alta densidade de plantas e pela grande diversidade de espécies, cujos ritmos de crescimento são, em geral, diferentes. Tais formações florestais naturais possuem características mais complexas quando comparadas a florestas plantadas, tanto na estrutura horizontal ou vertical, quanto na distribuição espacial de árvores individuais (SMITH *et al.*, 1997).

A distribuição diamétrica dessas florestas tem a forma de J-invertido, que é uma distribuição típica de comunidades que se auto-regeneram, onde as árvores de menor dimensão representam a grande maioria da população. A distribuição das frequências por classes diamétricas em forma de J-invertido tem sido observada em florestas por muitos séculos (O'HARA, 1998). As espécies que possuem estas características se diferenciam pelo contínuo recrutamento (curta viabilidade das sementes) e por apresentarem alta mortalidade nos menores indivíduos, com menos chances competitivas, justificando, assim, sua forma de distribuição diamétrica exponencial, ou seja, J-invertido (MORY e JARDIM, 2001).

As florestas tropicais são fundamentais para a estabilização do clima mundial e para a conservação da biodiversidade. Atualmente, a Amazônia detém a

maior reserva contínua de floresta tropical úmida do mundo (HIGUCHI *et al.*, 2006), que pode ser estimada em 300 milhões de hectares de floresta primária.

Dentre os estudos de diversidade vegetal, o maior número de espécies arbóreas foi encontrado em uma floresta de terra firme da Amazônia Equatoriana (DAJOZ, 2005). No Brasil, o conhecimento da diversidade dos biomas ainda é muito escasso, sendo que na Amazônia o conhecimento de todos os grupos de organismos é considerado abaixo do regular segundo classificação do Ministério do Meio Ambiente (LEWINSOHN e PRADO, 2002).

A formação da floresta tropical é complexa e com diversos ecossistemas. Das propriedades estruturais da mesma, a diversificação de estratos vegetacionais é uma evidência, pois a floresta por sua dinâmica apresenta vários estágios de ciclos de crescimento e indivíduos em diversos estágios sucessionais (WHITMORE, 1998).

Um dos maiores impactos sobre a Floresta Tropical hoje, é a extração seletiva de madeira, a qual altera, mas não destrói a floresta. Whitmore (1997) afirma que a alteração da cobertura natural da floresta e a criação de clareiras, pela queda e remoção de árvores, assemelham-se à dinâmica natural das florestas.

2.3 FLORESTA PÓS-MANEJO FLORESTAL E SUA DINÂMICA

As informações sobre a dinâmica de uma floresta manejada são fundamentais na efetivação do manejo florestal, compatível com o novo paradigma de desenvolvimento sustentável (HIGUCHI e HUMMEL, 1997). A extração de madeira em florestas tropicais é uma atividade que causa grandes impactos ao ecossistema, e por isso, constitui o momento mais crítico na aplicação de um sistema de manejo. O planejamento adequado dessa atividade é a chave para se obter bons resultados, tanto do ponto de vista ambiental como econômico (SILVA *et al.*, 2001).

A dinâmica da floresta pode ser entendida como os processos de mudanças na composição florística, na fitossociologia, na estrutura diamétrica e na função das florestas, baseados no crescimento, no ingresso, na mortalidade e na regeneração. Esses processos e consequências ecológicas decorrentes produzem estruturas de grande heterogeneidade ao longo do tempo e espaço (LIEBERMAN *et al.*, 1995). Para entender esses processos é necessário, primeiro, conhecer o significado de

sucessão florestal. A sucessão ecológica é um fenômeno que envolve gradativas variações na composição de espécies e na estrutura da comunidade ao longo do tempo (HORN, 1974; FERREIRA, 1997).

As clareiras que ocorrem na floresta são um fator importante na manutenção da heterogeneidade destes ambientes (florestas tropicais). Estudos sobre distúrbios naturais nas florestas indicam que as clareiras são um fenômeno frequente e que sua ocorrência resulta nos aparentes mosaicos vegetais de diversas idades (PIRES O'BRIEN e O'BRIEN, 1995).

Quando a clareira é de pequeno tamanho, o ingresso não é abundante porque, normalmente, espécies de crescimento lento e tolerantes à sombra ocupam a clareira. Inversamente, as grandes perturbações tais como aquelas causadas pela exploração, geralmente, resultam em germinação e crescimento de grande número de espécies pioneiras de rápido crescimento, que logo crescem até o mínimo tamanho de medição (SILVA, 1989; CHAGAS *et al.*, 1999).

O manejo florestal visando à sustentabilidade, tanto dos bens como dos serviços que uma floresta pode proporcionar, baseia-se na realização de projeções quantitativas de crescimento e produção, descritas por modelos de simulação. Dessa forma, os modelos de simulação dos processos dinâmicos da floresta são de grande valia para o manejo, pois auxiliam na utilização sustentável dos recursos de uma floresta, ou na sua conservação (MENDOÇA, 2005).

Um dos entraves à adoção de planos de manejo como forma de aproveitamento dos recursos florestais da Amazônia é a incerteza sobre a capacidade da floresta de se recompor após a exploração florestal, o que é motivado pela falta de conhecimento acerca do comportamento dinâmico das espécies e do ecossistema florestal (MENDES, 2011).

2.4 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

O crescimento da árvore é um processo caracterizado por mudanças na forma e no tamanho do tronco, com adição contínua de novas camadas de lenho ao longo de todo material lenhoso existente. A produção expressa a quantidade total do volume ou outra variável acumulada num determinado tempo (CAMPOS e LEITE, 2006).

Para SCOLFORO (1994), o conhecimento do crescimento e da produção presente e futura é fundamental para prática do manejo florestal sustentável. A existência de relações quantitativas entre as variáveis que envolvem o crescimento permite o ajuste de modelos matemáticos para a predição do desenvolvimento do povoamento em qualquer idade. Tais modelos são sínteses de observações e/ou fenômenos biológicos, aplicados nas condições sob as quais foram coletados os dados. No âmbito da Engenharia Florestal, os modelos são imprescindíveis (SPATHELF e NUTTO, 2000).

O conhecimento do crescimento florestal é de grande valia para o manejo florestal, principalmente quando se pretende explorar a floresta em regime de rendimento sustentável, ou seja, em cortes periódicos, constantes e iguais. Nesse tipo de regime explora-se periodicamente, volumes iguais aos crescidos, sem interromper o ciclo de produção florestal e também exaurir o solo (HOSOKAWA, 1972). Segundo esse autor, sabendo quanto cresce a floresta é possível dimensionar economicamente a área para suprir a demanda madeireira local ou regional.

Comumente os florestais utilizam modelos matemáticos e estatísticos como forma de descrição da estrutura e da produção de seus povoamentos, utilizando informações correntes para inferir cenários futuros. No geral, esses modelos são representações abstratas de qualquer fenômeno no mundo real, sendo uma ferramenta útil na reflexão, prognose e tomada de decisões em horizontes de planejamento de médio a longo prazo (BUONGIORNO e GILLESS, 1987).

De modo generalista, os modelos de crescimento visam projetar estimativas da estrutura florestal em um ponto específico do tempo (AVERY e BURKHART, 1994 apud AUSTRAGÉSILO *et al.*, 2004). De acordo com Vanclay (1994), as projeções são eficientes nas estimativas em períodos curtos de tempo, entre 5 e 25 anos compondo uma valiosa ferramenta para o planejamento florestal, uma vez que podem ser definidos o ciclo de corte para toda a floresta ou para determinadas espécies (PULZ *et al.*, 1999; SANQUETTA *et al.*, 1996b).

Segundo Peng (2000), o primeiro modelo estatístico aplicado na predição do crescimento e da produção de florestas multiâneas, da forma como conhecemos hoje, foi desenvolvido por Moser e Hall (1969). Desde então muitos modelos foram usados, com metodologias que passaram de uma abordagem empírica para uma

mais ecológica, mecanística, baseada em processos que incorporaram várias técnicas como sistemas de equações, projeções de tabela de volume não-linear, cadeia de Markov, modelos matriciais e redes neurais.

Os modelos clássicos de crescimento normalmente são baseados em variáveis como o índice de sítio e idade das árvores (CLUTTER *et al.*, 1983), o que acaba por dificultar estimativas de crescimento em florestas naturais, que muitas vezes não dispõem dessas informações em função de sua grande heterogeneidade (ROCHA, 2001; TEIXEIRA *et al.*, 2007). Como alternativa para projetar o crescimento de florestas nativas Enright e Ogden (1979) citam o uso de dados dendrométricos envolvendo o diâmetro das árvores.

A heterogeneidade encontrada em florestas naturais, composta por diferentes idades e espécies, além das associações formadas entre essas, dificulta o emprego de modelos capazes de projetar suas estruturas ao longo do tempo. Avery e Burkhart (1994) afirmam que os modelos de crescimento e produção florestal, independentes de sua complexidade estrutural, têm o propósito de apresentar estimativas para um ponto específico do tempo, em que os modelos de distribuição diamétrica baseados em funções probabilísticas de distribuição são os mais empregados.

Entre as dificuldades encontradas em projetar o crescimento de florestas heterogêneas inequidêneas, uma consiste na dependência dos modelos em utilizarem dados provenientes de inventários florestais contínuos com parcelas permanentes, em que as árvores são remedidas ao longo do tempo, fornecendo valores precisos sobre os processos dinâmicos (PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997). Vasconcelos *et al.* (2009) salientam a dificuldade encontrada na obtenção desses dados, atribuindo isso ao reduzido número de parcelas permanentes existentes.

A modelagem tem uma longa tradição na área florestal. Desde o início das florestas manejadas, surgiu o desejo de influenciar e prognosticar o crescimento com o fim de dominar a produção da matéria prima madeireira. Esse desejo tem as suas raízes nas circunstâncias especiais da produção florestal: os longos prazos e a irreversibilidade das decisões e intervenções uma vez tomadas (SPATHELF e NUTTO, 2000).

Embora os modelos impliquem numa simplificação da realidade, obter a prognose da distribuição diamétrica das árvores que compõem a floresta possibilita

várias ações dentre as quais podem ser citadas: 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 (PULZ *et al.*, 1999).

Os modelos de crescimento e produção são ferramentas usadas para prognosticar a dinâmica de um povoamento e, independentemente da complexidade estrutural que este possa apresentar, todos os modelos de crescimento e produção têm um propósito em comum, que é o de apresentar estimativas das características do povoamento para um ponto específico no tempo (AVERY e BURKHART, 1994).

Esses modelos aplicados em florestas naturais ou sob o regime de manejo, indicam as alterações estruturais, como: frequência de árvores por classe de diâmetro, taxas de mortalidade e recrutamento, tempo que uma ou mais espécies gastam até atingir determinada dimensão; estabelecem relações hipsométricas e ciclo do corte, economicidade da prática de manejo, racionalização das técnicas de exploração; verificam a eficiência e direcionam a aplicação de tratamentos silviculturais, bem como, indicam se a floresta funciona como sumidouro ou fonte de dióxido e carbono além de um rol de critérios que auxiliam quanto a tomada de decisão (TEIXEIRA *et al.*, 2007; PULZ *et al.*, 1999; SCOLFORO *et al.*, 1998).

Os modelos florestais, de acordo com Vanclay (1994), se distinguem em hierarquia por povoamento, classe de diâmetro e árvores individuais. Os modelos de distribuição diamétrica são os mais empregados e se baseiam em funções probabilísticas de distribuição, permitindo descrever as alterações na estrutura do povoamento (número de árvores por classe de diâmetro), nas relações hipsométricas e nas taxas de mortalidade, podendo todas estas características ser analisadas, simultaneamente, ao longo do tempo. Nesse tipo de modelo destacam-se: as tabelas de povoamento ou produção, nas quais se encontram o método da Razão de Movimentação, o método de Wahlenberg e os modelos estocásticos de crescimento em diâmetro, em que se tem a Matriz de Transição. Esses modelos são intermediários entre os modelos de povoamento total e os de árvores individuais, e podem fornecer informações suficientes para o manejo de florestas naturais inequidistantes, sem a complexidade inerente aos modelos de árvores individuais.

Austregésilo *et al.* (2004) compararam os métodos da Razão de Movimentação de Wahlenberg e da Matriz de Transição para a prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional secundária sem intervenção. As medições ocorreram entre 1986 a 1996 sendo medidas de dois em dois anos obtendo eficiência na prognose do número médio de árvores/ha, porém não foram aderentes na prognose da distribuição diamétrica da floresta estudada.

Pulz *et al.* (1999) avaliaram a prognose da estrutura diamétrica de um povoamento de floresta natural utilizando a Matriz de Transição a partir de três diferentes períodos de medição da floresta. Nesse trabalho, também foi realizada a análise comparativa das prognoses geradas pelo método da Matriz de Transição com as prognoses obtidas do método da Razão de Movimentação dos Diâmetros e do “método de Wahlenberg”. Os pesquisadores consideraram que 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.

A impossibilidade quanto à aplicação dos modelos tradicionais de crescimento em florestas naturais (ROCHA, 2001) implica no emprego de metodologias baseadas em funções probabilísticas, entre as quais se destacam os modelos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação (AUSTREGÉSILO *et al.*, 2004).

A utilização de modelos de crescimento em Engenharia Florestal é fundamental para o planejamento das atividades de manejo e predição de produção. Além disso, no caso de florestas nativas, o conhecimento de como as espécies crescem pode subsidiar projetos de recuperação de áreas degradadas, práticas de manejo sustentável baseadas no ciclo das espécies, entre outras atividades. No entanto, estimativas do crescimento e produção de florestas tropicais são difíceis por causa da falta de dados em florestas de tamanha complexidade (MACPHERSON *et al.*, 2010).

Nascimento (2012) afirma que o uso de modelos para caracterizar a dinâmica de florestas multiâneas e heterogêneas sempre será uma ferramenta necessária na ciência florestal. Atualmente muitas técnicas de modelagem vêm sendo usadas, contudo nenhuma pode ser preconizada como a melhor devido às peculiaridades que cada sítio apresenta, onde a eficiência do modelo sempre estará

ligada às necessidades do manejador florestal e do tipo e das condições do povoamento em que se trabalha.

2.5 PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Pulz *et al.* (1999) enfatizam que um dos instrumentos mais utilizados para auxiliar no planejamento florestal, é o modelo de produção. Embora estes impliquem uma simplificação da realidade, é extremamente útil para o administrador florestal, obter a prognose da distribuição diamétrica das árvores, possibilitando várias ações, dentre elas, a definição do ciclo de corte e a avaliação da viabilidade econômica do manejo.

Sanquetta *et al.* (1995) afirmam que a projeção da estrutura diamétrica no tempo é de real importância para o manejo e a economia das florestas nativas, pois, a partir dos diâmetros futuros pode-se estimar as produções e definir as intervenções no povoamento que assegurem a sustentabilidade econômica e ecológica das florestas.

Vários estudos têm desenvolvido procedimentos para a caracterização da distribuição diamétrica em povoamentos inequiâneos (BLISS e REINKER, 1964; NELSON, 1964). Diferente desses estudos, Clutter e Bennett (1965) têm usado as distribuições diamétricas como base para estimar o crescimento em povoamentos equiâneos, pelo uso da idade do povoamento, para computar a distribuição diamétrica no tempo. A extensão desse procedimento foi também utilizada por McGee e Della-bianca (1967).

2.5.1 Matriz de Transição ou Cadeia de Markov

A cadeia de Markov, ou matriz de transição, tem sido aplicada na modelagem de sistemas complexos em diferentes áreas do conhecimento. Os primeiros trabalhos na área biológica foram desenvolvidos por Leslie (1945), sendo o pioneiro no uso da cadeia de Markov, ao realizar estudos sobre mortalidade e fertilidade em populações de animais.

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.

Conforme Sanquetta (1996) e Scolforo (1998), nas matrizes de transição utiliza-se o critério de separar árvores de uma certa classe diamétrica que crescem para uma, duas ou mais classes consecutivas daquelas que permanecem na mesma classe ou morrem durante um dado intervalo de tempo. As probabilidades da matriz de transição são obtidas pela razão da dinâmica nas classes.

No caso em que essa probabilidade de transição dependa apenas do estado em que o fenômeno se encontra e do estado seguinte, o processo é chamado de processo de Markov, e uma sequência finita de estados seguindo esse processo é denominada Cadeia de Markov de parâmetro discreto homogêneo (BOLDRINI *et al.*, 1978; BERNARDO, 2000).

Para Sanquetta *et al.* (1996), o uso da matriz de transição pode ser um valioso instrumento ao manejador florestal, pois tal modelo pode produzir simulações satisfatórias da distribuição diamétrica, sendo que o modelo pode ser utilizado para elaborar simulações do desenvolvimento futuro da floresta após exploração. Entretanto, há uma carência destes estudos com dados de florestas tropicais, em especial na Amazônia brasileira.

Vale ressaltar que estas projeções não devem ser realizadas para período de tempo longo e nem para muitas etapas de prognose, visto que o desempenho dos modelos é condicionado a dois pontos básicos (SCOLFORO, 1998), a saber: Um considera que o incremento periódico em diâmetro das árvores da floresta, obtido nas parcelas permanentes, tem o comportamento no futuro idêntico ao obtido por ocasião das avaliações realizadas nas parcelas permanentes. Neste caso, assume-se que apesar de mudanças em sua estrutura, a floresta continuará no futuro a apresentar o mesmo crescimento que aquele detectado por ocasião da avaliação das parcelas permanentes, sendo denominada de transição estacionária. Um segundo ponto básico é que a projeção da estrutura da floresta depende somente do estado atual, não sofrendo efeito de qualquer característica passada da floresta, esta característica ou propriedade do modelo considerado é definida como propriedade markoviana.

Alguns pesquisadores desenvolveram o estudo de crescimento diamétrico das árvores através de matriz de transição. Pode-se citar, entre outros, Usher (1966), Bruner e Moser JR. (1973), Peden *et al.* (1973), Buongiorno e Michie (1980) e Robert e Hruska (1986). Nas regiões tropicais, por exemplo, pode-se citar Enright e Ogden (1979), Osho (1991) e Vanclay (1994). No Brasil, foi estudado por Higuchi (1987), Azevedo *et al.* (1994), Sanquetta *et al.* (1995, 1996), Scolforo (1997), Pulz *et al.* (1999), Arce *et al.* (2001), e Spathelf e Durlo (2001).

Na Região Amazônica, foi aplicado em uma área de floresta de terra firme por Higuchi (1987), Freitas e Higuchi (1993), utilizando a Cadeia de Markov dentro do manejo florestal como instrumento para elaboração de uma tabela de produção futura e um possível ciclo de corte. Mendonça (2005) utilizou matrizes de transição com o objetivo de simular os processos dinâmicos de uma área de floresta tropical de terra firme.

A Matriz de Transição foi aplicada pela primeira vez na área florestal por Usher em 1966, que avaliou um povoamento de *Pinus sylvestris* na Escócia. A Matriz de Transição é apropriada para análise de muitos fenômenos biológicos, principalmente em estudos relacionados com a dinâmica da floresta (ENRIGHT e OGDEN, 1979). Pode ser considerado um processo estocástico, assumindo que uma árvore possui uma determinada probabilidade de permanecer ou migrar para outras classes diamétricas, dependendo apenas de seu estado atual (HORN, 1975).

Clarke e Disney (1979) descrevem um processo estocástico como um fenômeno que varia no tempo com algum grau de imprevisibilidade ou aleatoriedade. Significa que, se for observado em momentos diferentes, sob condições presumivelmente idênticas, os valores das variáveis ligadas ao processo geralmente serão diferentes. Quando observações são feitas não continuamente, mas em sequência de momentos, tem-se um processo estocástico de parâmetro discreto.

Segundo Higuchi *et al.* (2008), a cadeia de Markov foi o modelo que melhor se ajustou às características das florestas da Amazônia contribuindo no aparecimento da grande maioria dos trabalhos ligados a modelagem dessa tipologia florestal. Inúmeros trabalhos utilizaram essa técnica na região tropical, tais como o de Higuchi (1987), Teixeira *et al.* (2007); Vasconcelos *et al.* (2009), entre outros; entretanto, devido as características dos povoamentos estudados e as restrições

técnicas desse método, há no mínimo duas desvantagens quanto ao uso desse ferramental (SCHNEIDER e FINGER, 2000).

A primeira desvantagem condiciona o uso da técnica a duas situações possíveis: florestas com características primárias, onde a dinâmica dos indivíduos e suas características de crescimento no geral são constantes devido ao crescimento linear de seus parâmetros populacionais ou; florestas secundárias cujo intervalo de projeção seja curto o bastante, a ponto que a mudança no crescimento possa ser representada por um segmento de reta.

Essa desvantagem limita a aplicação da técnica em povoamentos explorados, bem como reduz o horizonte de projeção, dificultando estudos de viabilidade técnica e econômica de florestas secundárias onde o uso de uma técnica de projeção se faz necessário. A segunda desvantagem desconsidera possíveis medições anteriormente aos eventos em análise, já que a técnica avalia o intervalo entre duas medições. Dessa forma a variabilidade de crescimento entre períodos, e seu efeito sobre o crescimento futuro do povoamento florestal, são desconsideradas.

Vanclay (1994) considera que, pela propriedade Markoviana, a probabilidade de movimento de uma árvore de uma classe para outra não poderia depender de outras árvores ou da área basal da floresta. Mas, na verdade, isso não acontece, conclui. O crescimento da floresta remanescente é alterado pelo aumento do espaço após a colheita, por diminuição da concorrência, mortalidade ou mesmo pela eliminação da árvore. Assim, a propriedade estacionária indica que os parâmetros da matriz deveriam permanecer constantes no tempo, trazendo dificuldades para reduzir a taxa de crescimento, enquanto que, por outro lado, a área basal aumenta. Assim, o mesmo autor afirma serem essas suposições insustentáveis na modelagem da dinâmica florestal, podendo a prognose ser irreal se as condições da floresta futura apresentarem grande diferença em relação às condições em que os dados foram observados.

Sanquetta *et al.*(1996) utilizaram a matriz de transição para a elaboração de um modelo de prognose para uma floresta inequidânea no Japão, que sofreu intervenção e foi remeida no período de 10 anos, concluindo que a ferramenta é um instrumento valioso para o manejador florestal, uma vez que o crescimento e o ciclo de corte de povoamentos florestais inequidâneos podem ser preditos.

2.5.2 Razão de Movimentação

SCOLFORO *et al.* (1996), propuseram o método da razão de movimentação dos diâmetros para gerar tabelas de produção para florestas multiâneas, a partir da teoria de projeção da tabela do povoamento, em que o emprego do incremento diamétrico médio é o mais usual. Nesse modelo assume-se que as árvores estão distribuídas uniformemente no interior das classes, e que cada árvore cresce a uma taxa média (STEPKA, 2008; SCOLFORO *et al.*, 1998).

A distribuição das árvores no interior das classes é desconhecida, mesmo assim assume-se que ela é uniforme. A partir daí, a proporção de árvores que passam de uma classe para outra pode ser assumida como razão de movimento (AUSTREGÉSILO *et al.*, 2004).

Scolforo *et al.* (1998) define a razão de movimentação como a proporção de árvores que migram para a classes diamétricas superiores em função de seu incremento diamétrico, em que para isso, são necessários definir o incremento periódico em diâmetro de cada classe, calcular a razão de movimentação e somar ou subtrair os recrutamentos e mortalidade por classes.

O método da razão de movimentação tem sido pouco utilizado em trabalhos, principalmente no Brasil. Destacando-se basicamente os trabalhos de SCOLFORO *et al.* (1996), PULZ *et al.* (1999) e AUSTREGÉSILO *et al.* (2004).

Pulz *et al.* (1999) testaram a acuracidade dos métodos de matriz de transição, razão de movimentação e o método de Wahlenberg, constatando que os três métodos apresentam o mesmo grau de acuracidade para a prognose do número total de árvores da floresta.

SOLFORO *et al.* (1996) estudaram o crescimento e a produção em diâmetro e área basal, das espécies de uma floresta semidecídua Montana, definiram a idade dos indivíduos a nível de classe diamétrica e geraram um modelo de produção para prognose de sua estrutura utilizando o processo de Razão de Movimentação.

Austregésilo *et al.* (2004) realizaram prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Estacional Semidecídua secundária pelo método de razão de movimentação, método de matriz de transição e o método de Wahlenberg, comparando com a estrutura real do povoamento. Concluíram que todos os métodos testados foram eficientes para a prognose do número médio árvores/ha, porém, não

foram eficientes para a prognose quando comparados com a estrutura real da floresta estudada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização e acesso

O Estudo foi realizado no Campo Experimental da EMBRAPA Amazônia Oriental, que possui uma área total de 1.095 ha, no km 30 da Rodovia PA 150 (COSTA *et al.*, 1998), situado entre as coordenadas 2° 07' 30" a 2° 12' 06" de latitude Sul e 48° 46' 57" a 48° 48' 30" de longitude a Oeste de Greenwich, no município de Moju, à altura do km 30 da Rodovia PA - 150 (FIGURA 1), tendo como vias de acesso os ramais das comunidades Betânia, Santa Teresinha e Traquateua, além dos rios Ubá e Reboque. O município de Moju está distante do município de Belém, capital do estado, 58 km em linha reta e pertence à Mesorregião do Nordeste Paraense e à Microrregião de Tomé-Açu.

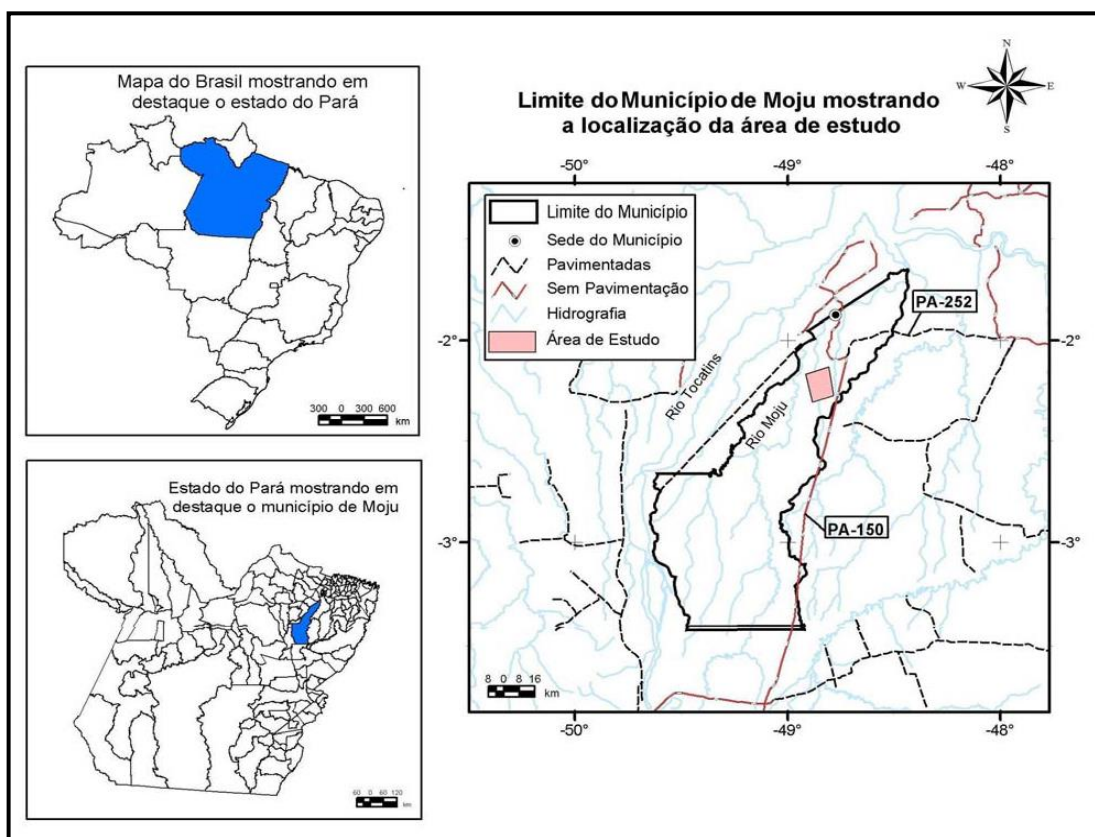


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO CAMPO EXPERIMENTAL DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL NA PA-150, MUNICÍPIO DE MOJU – PA.
FONTE: COSTA (2006).

3.1.2 Clima

O clima da região é Ami (quente e úmido), de acordo com a classificação de Köppen do tipo mesotérmico e úmido, com temperatura média anual oscilando entre 25 a 27°C, coincidindo com os meses de primavera do Hemisfério Sul, e as temperaturas mínimas diárias de 20°C ocorrem nos meses de inverno no referido hemisfério (Junho e agosto). A precipitação pluviométrica anual varia de 2.000 mm a 3.000 mm, com distribuição irregular, tendo período seco que vai de julho a dezembro. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano. O período de janeiro a junho é o mais chuvoso, apresentando uma concentração de cerca de 80%, implicando grandes excedentes hídricos e, conseqüentemente, grandes escoamentos superficiais e cheias de rios. A insolação mensal varia entre 148,0 h e 275,8 h e os valores mais elevados ocorrem no período de junho a dezembro, apresentando estreita relação com a precipitação. A umidade relativa do ar gira em torno de 85% (PROJETO GESPAN, 2003).

3.1.3 Relevo e solo

O relevo é plano a suavemente ondulado, com pequenos desnivelamentos que variam de 0% a 3%, e de 3% a 8% de declive, respectivamente, onde predominam solos bem drenados, classificados como Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos típicos e com suas fases pedregosas. Ao longo do Rio Ubá e Jacitara ocorre uma área deprimida estreita de várzea e uma pequena bacia que inundam no período chuvoso, onde são encontrados solos hidromórficos classificados como Gleissolos Háplicos e Plintossolos Argilúvicos (SANTOS *et al.*, 2003).

3.1.4 Vegetação

A cobertura vegetal da região, segundo a classificação adotada pela Embrapa em 1979, está representada por duas formações florestais bem definidas que são:

Floresta equatorial subperenifólia: tem como característica principal, ser formada em sua maioria por exemplares de grande porte, em torno de 25 a 35 metros de altura, com copas grandes e irregulares, formando muitas vezes uma cobertura continua e apresentando um sub-bosque bem desenvolvido em espécies características da formação, com presença de algumas palmáceas. As espécies de maior importância comercial encontradas fazendo parte dessa formação estão apresentadas na TABELA 1.

TABELA 1 - ESPÉCIES DE VALOR COMERCIAL ENCONTRADAS NA ÁREA DESTE ESTUDO QUE FAZEM PARTE DA FORMAÇÃO FLORESTAL DO TIPO EQUATORIAL SUBPERENIFÓLIA.

Nome Vulgar	Nome científico	Autor
Acapu	<i>Vouacapoua americana</i>	Aublet
Angelim	<i>Dinizia excelsa</i>	Ducke
Bacuri	<i>Platonia insignis</i>	Martius
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	(Aubl.) Willdenow
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	Aublet
Freijó	<i>Cordia goeldiana</i>	Huber
Ipê amarelo	<i>Tabebuia serratifolia</i>	(Vahl) G. Nicholson
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	Linnaeus.
Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i>	(Ducke) A. Chevalier
Marupá	<i>Simarouba amara</i>	Aublet
Mata-matá	<i>Eschweilera spp.</i>	Mart. ex DC
Quaruba	<i>Vochysia guianensis</i>	Aublet

FONTE: SANTOS *et al.* (2003)

Floresta equatorial higrófila de várzea: é uma formação cuja característica principal é encontrar-se sujeita a influência maior de flutuação dos níveis das águas nos períodos de cheias e vazantes. Sua ocorrência está estreitamente relacionada com o relevo condicionado a drenagem. É encontrada nas várzeas do Rio Ubá e em baixões alimentados através de igarapés no período das inundações. As espécies encontradas são em maiores percentagens de madeiras moles, com baixo valor comercial, exceto as representadas na TABELA 2.

TABELA 2 - ESPÉCIES DE VALOR COMERCIAL ENCONTRADAS NA ÁREA DESTE ESTUDO QUE FAZEM PARTE DA FORMAÇÃO FLORESTAL DO TIPO EQUATORIAL HIGRÓFILA DE VÁRZEA.

Nome Vulgar	Nome científico	Autor
Açacu	<i>Hura crepitans</i>	Linnaeus
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>	Aublet
Breu-branco-da-várzea	<i>Protium unifoliolatum</i>	Engler
Buriti	<i>Mauritia flexuosa</i>	Linnaeus
Ingá	<i>Inga disticha</i>	Bentham
Louro-da-várzea	<i>Nectandra amazonum</i>	Nees
Sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i>	(L.) Gaertner

FONTE: SANTOS *et al.* (2003)

3.2 HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO

Em outubro de 1997 a empresa Perachi Ltda. realizou uma exploração de impacto reduzido em 200 ha, com a retirada de 3,3 árvores/ha, correspondendo a um volume médio de 23m³/ha, sob orientação da Embrapa Amazônia Oriental e de acordo com a legislação florestal vigente. A exploração ocorreu no período de outubro-novembro de 1997. Um total de 24 espécies foram exploradas, dentre as quais destacam-se *Newtonia suaveolens* (Miq.) Brenan, *Piptadenia suaveolens* Miq., *Manilkara huberi* Ducke e *Vouacapoua americana* Aubl. (LOPES *et al.*, 2001), por possuírem os maiores volumes. Moradores locais relataram que no passado, houve exploração desordenada das duas últimas espécies.

O estudo teve início em março de 1998, compondo a linha de pesquisa do projeto “Rendimento Sustentável em Floresta Tropical Manejada”, de responsabilidade do Grupo de pesquisas MANEJO FCAP (Faculdade de Ciências Agrárias do Pará), que recebeu financiamento do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e SECTAM (Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente)/FUNTEC (Fundo Estadual de Ciência e Tecnologia) e o apoio logístico da Embrapa Amazônia Oriental/UFRA e moradores da região.

3.3 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Dessa exploração foram originadas diversas clareiras, considerando como clareira toda a área da floresta com dossel descontínuo, aberta pela queda de

árvores limitada pelas copas de árvores periféricas, dentre as quais nove foram utilizadas para a realização deste estudo (FIGURA 2), em uma área de 200 ha. As áreas das clareiras foram estimadas através da média de dois diâmetros, o maior da clareira e seu diâmetro perpendicular. Os tamanhos das clareiras variaram de 231 a 748 m², com média de 497 m². Com auxílio de equipamentos topográficos (trena, bússola), cada clareira teve seu centro determinado.

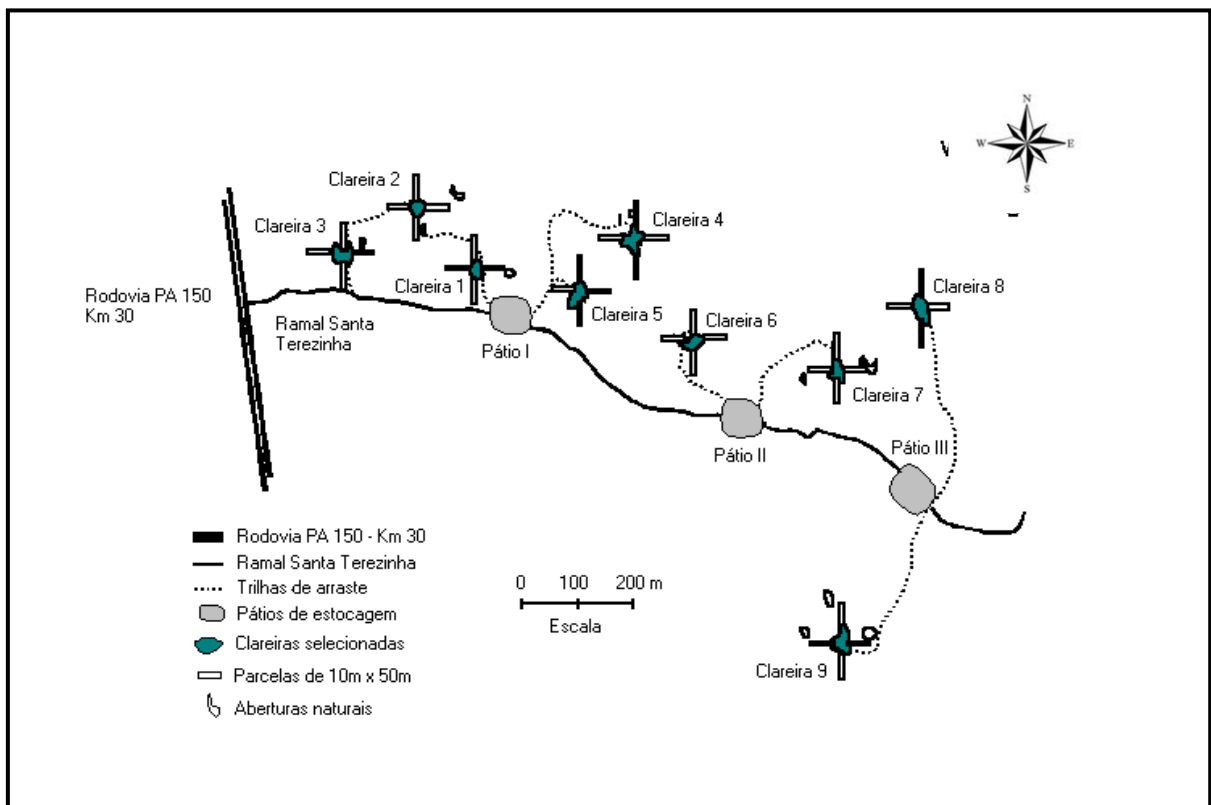


FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS NOVE CLAREIRAS SELECIONADAS EM ÁREA EXPLORADA SELETIVAMENTE NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL SITUADA NO KM 30 DA RODOVIA PA 150, MOJU, PARÁ.
 FONTE: KISHI (2005).

Em torno de cada clareira foram implantadas parcelas amostrais de 10m x 50m começando na bordadura da clareira para dentro da floresta, seguindo as direções norte, sul, leste e oeste, totalizando quatro faixas por clareira (FIGURA 3).

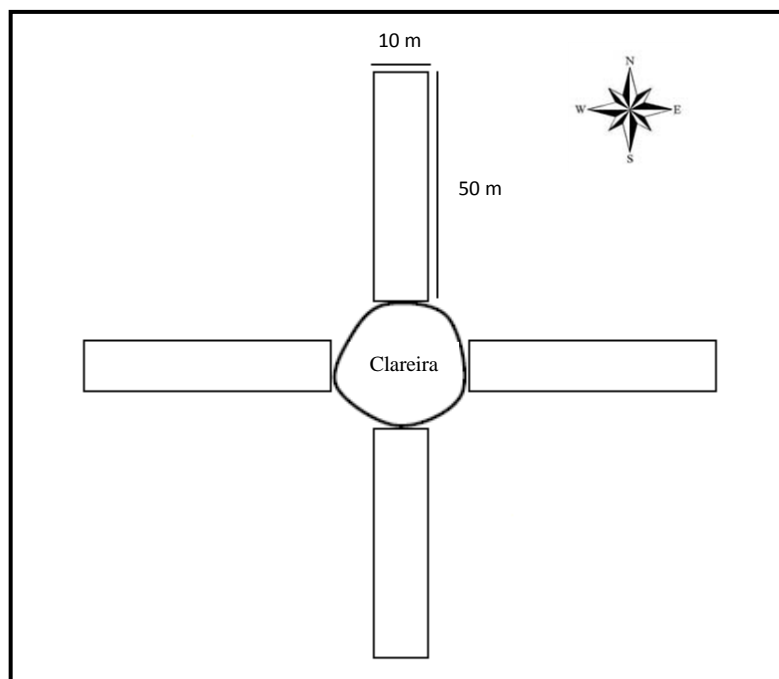


FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS PARCELAS EM RELAÇÃO ÀS CLAREIRAS, EM UMA AMOSTRA DE 1,8 ha DE FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL.

3.4 COLETA DOS DADOS

Em cada sub-parcela amostral de 10m x 50m foram registrados, identificados e plaqueados todos os indivíduos, com DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) ≥ 5 cm. Os dados registrados foram DAP e o nome vulgar de cada espécie (FIGURA 4). Os dados foram coletados no período de 1998 a 2010, nas nove clareiras totalizando uma área amostral de 1,8 ha.

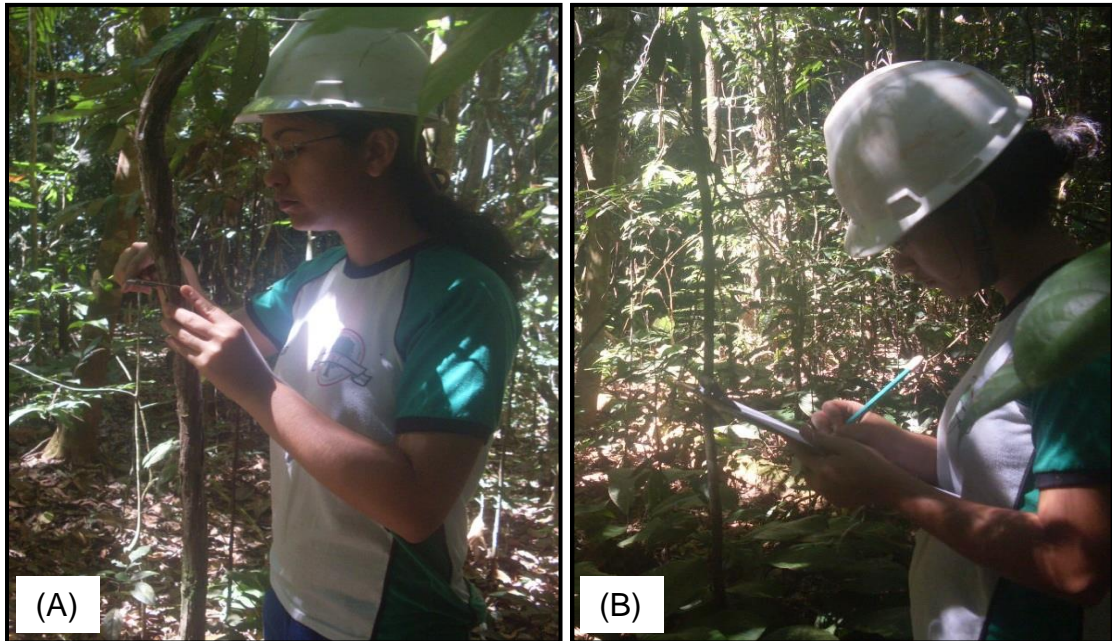


FIGURA 4 - MEDIÇÃO DO DAP A 1,30 DO SOLO (A) E REGISTRO DO DAP E NOME VULGAR NA FICHÂ DE CAMPO (B).

O DAP, sempre que possível, foi medido a 1,30m da superfície do solo. Na ocorrência de sapopemas, deformações ou irregularidades nos troncos, o ponto de medição passou a ser logo acima da anormalidade (FIGURA 5). Para se evitar erros nas medições posteriores, pintou-se uma faixa com tinta à base de óleo vermelha no ponto da medição.

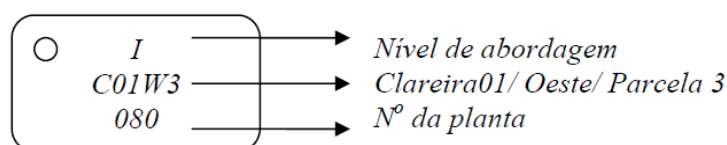


FIGURA 5 - MEDIÇÃO DO DAP NA OCORRÊNCIA DE SAPOPEMA.

Foi coletado material botânico, quando possível com amostras férteis, na forma de exsicatas que foram identificadas nos herbários do Museu Paraense Emílio Goeldi e da Embrapa Amazônia Oriental.

A listagem florística segue o sistema de classificação de Cronquist (1988). Foram consideradas espécies, gêneros e famílias botânicas, cujos nomes científicos foram conferidos mediante consulta nos “sites” The International Plant Names Index e Missouri Botanical Garden. Indivíduos não identificados foram contabilizados na amostra como Não Identificado (NI), sendo agrupados para facilitar as análises.

Todos os indivíduos foram etiquetados com uma placa de alumínio contendo o número da clareira, o nível de abordagem a que pertencia, a direção (Norte, Sul, Leste, Oeste e Centro), o número da parcela e o número do indivíduo dentro desta. De acordo com o exemplo a seguir:



As atividades de coleta de dados foram realizadas trimestralmente, a partir de abril de 1998 a abril de 2001, especificamente a partir do 20º dia dos meses de março, junho, setembro e dezembro. Após 6 anos, em 2007 foram realizadas duas medições, e no ano de 2010 foi realizada mais uma medição totalizando 16 medições feitas no período de 12 anos. Todavia, a análise foi realizada com base nas medições que perfazem períodos anuais após o início do estudo, ou seja, 1ª medição (dados básicos) ano de 1998, 13ª medição (três anos) ano de 2001, 14ª medição (nove anos após a exploração) ano de 2007, e 16ª no ano de 2010 (doze anos após a exploração).

3.5 PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

A prognose da distribuição diamétrica foi realizada para períodos equivalentes às medições realizadas, ou seja, para períodos de três anos, neste caso, partindo-se dos dados de 1998 a 2001, projetou-se a distribuição diamétrica para 2004, 2007 e 2010. Sendo estes dois últimos anos comparados com a distribuição diamétrica real, obtida nas 14ª e 16ª medições.

A distribuição diamétrica de uma floresta é obtida pelo agrupamento dos indivíduos em intervalos de diâmetro à altura do peito - DAP (LOETSCH *et al.*, 1973). Quanto à definição da amplitude dessas classes não há regra definida, sendo que para florestas, normalmente, utilizam-se classes com amplitude de 5 cm (MACHADO *et al.*, 1998; DURIGAN, 1999) e 10 cm (LONGHI, 1980).

A influência da amplitude das classes diamétricas foi testada por meio do emprego das duas classes diamétricas comumente empregadas, uma com 5 cm de amplitude e outra com 10 cm. Logo, os modelos da Matriz de Transição e a Razão de Movimentação foram projetados empregando duas amplitudes temporais e duas amplitudes de classe diamétrica cada.

Neste estudo, utilizou-se dos métodos Matriz de Transição e Razão de Movimentação para projeção da distribuição diamétrica da floresta.

3.5.1 Matriz de transição

A matriz de transição é um método de simulação que considera as frequências diamétricas no ano de início da simulação (t) na forma de vetor, que multiplicado por uma matriz de probabilidades de transição entre classes diamétricas (G) permite obter as frequências diamétricas do ano final ($t + \Delta t$). O recrutamento é considerado também como um vetor (lit), que é adicionado ao produto vetor-matriz descrito. A mortalidade pode ser considerada de duas maneiras, como um vetor subtração, ou incluída na matriz na última linha ou coluna (ARCE *et al.*, 2001).

A matriz de transição foi construída com base na enumeração da migração ou permanência dos indivíduos em suas respectivas classes diamétricas, assim como o número de recrutamentos e mortalidades dentro de cada classe. A probabilidade de transição de cada período de projeção foi obtida por meio da matriz de probabilidade "G" (PULZ *et al.*, 1999) representada abaixo:

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

Em que:

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 na mesma classe diamétrica (a_i), mudar para a classe diamétrica subsequente (b_i), ou ainda mudar duas classes (c_i).

m_i = Probabilidade de uma árvore da classe “ i ” morrer no período estudado.

Buongiorno e Michie (1980) citam que a estrutura diamétrica da floresta no tempo futuro é o resultado da multiplicação da matriz de probabilidade de transição pelo número de árvores no período atual, somado ao número de árvores ingressas, Logo, a projeção da estrutura da floresta pode ser obtida pela seguinte fórmula:

$$Y_{t+\Delta t} = Gt \times Y_t + It$$

Em que:

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

G = Probabilidade de transição por classe diamétrica;

Y_t = Frequência da classe de diâmetro;

I_t = Recrutamento.

A forma matricial da expressão anterior, com a mortalidade incluída é denominada de Matriz de Transição, sendo expressa da seguinte forma:

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

Quando observada a ausência de indivíduos em uma dada classe diamétrica (frequência igual a zero), ocorre o estado adsorvente, denominado por Scolforo *et al.* (1998) como a probabilidade zero de transição diamétrica. O estado adsorvente impede o avanço das árvores para classes diamétricas superiores comprometendo o

significado científico e didático, impedindo que o estado de equilíbrio seja detectado (PULZ *et al.*, 1999).

3.5.2 Razão de Movimentação

Na razão de movimentação, assume-se que as árvores estão distribuídas uniformemente no interior das classes, onde cada árvore cresce a uma taxa média (STEPKA 2008). As projeções empregando o modelo da Razão de Movimentação são realizadas por meio da quantificação do incremento periódico médio em diâmetro, por classe de diâmetro, adicionando-se a isso os recrutamentos e descontando a mortalidade. A proporção de árvores que avança para classes diamétricas subsequentes é definido como Razão de Movimentação.

A realização deste método é definida pelas seguintes etapas: relacionar o número de árvores por hectare e por classe de diâmetro; quantificar o incremento periódico médio em diâmetro em cada classe; efetuar o cálculo da Razão de Movimentação; relacionar o número de recrutamentos e de mortalidade em função de suas respectivas classes diamétricas; descontar as árvores mortas, e adicionar os recrutamentos (SCOLFORO *et al.*, 1998).

Logo, a Razão de Movimentação é definida pela proporção de árvores que avançam entre as classes diamétricas em função do incremento diamétrico.

A Razão de movimentação é calculada a partir da expressão:

$$RM = \left(\frac{\overline{IPD}_j}{C} \right) 100$$

Onde:

RM = Razão de Movimento;

\overline{IPD}_j = Incremento periódico médio em diâmetro da j-ésima classe de diâmetro; e

C = Amplitude de Classe de Diâmetro.

O incremento periódico médio, por classe diamétrica foi obtido a partir da expressão:

$$\overline{IPD}_j = \frac{\sum_{i=1}^n (DAP_{2i} - DAP_{1i})}{N}$$

Em que:

IPD_j = Incremento periódico médio em diâmetro da j -ésima classe de diâmetro;

DAP_{1i} = DAP da i -ésima árvore na 1^o medição;

DAP_{2i} = DAP da i -ésima árvore na 2^o medição;

N = Número Total de árvores em cada classe diamétrica.

Os valores correspondentes à razão de movimentação indicam a porcentagem do total de árvores que migram para a próxima classe diamétrica. Já o seu valor decrescido de 100 indica a porcentagem do número total de indivíduos que permanecem na classe diamétrica.

Para interpretação da taxa de movimentação, considera-se que, os dois dígitos à direita expressam o percentual de árvores que avançam uma classe de diâmetro em relação ao terceiro dígito a partir da direita (SCOLFORO *et al.*, 1996).

3.5.3 Avaliação das prognoses

A partir das projeções da distribuição diamétrica, por meio dos métodos, matriz de transição e razão de movimentação, comparou-se a estrutura diamétrica estimada para 2007 e 2010 com a estrutura diamétrica observada a partir dos dados coletados. Para isso, foi empregado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

Esse teste compara a máxima diferença entre a frequência observada acumulada e a frequência estimada acumulada, dividida pelo número de observações.

O teste K-S é aplicado nos valores de máxima divergência (D_n) entre distribuições, sendo que menores valores de D_n indicam melhores ajustes. O valor de máxima divergência (D_{cal}) é definido pela expressão:

$$D_{cal} = \frac{(max |F_o(x) - F_e(x)|)}{n}$$

Em que:

D_{cal} = Ponto de máxima divergência;

$F_o(x)$ = Frequência observada acumulada;

$F_e(x)$ = Frequência estimada acumulada;

n = Número de observações.

A significância do teste é dada pela seguinte equação:

$$D_{cal} = \frac{D_n}{N}$$

Em que:

D_{calc} = Valor da distribuição;

D_n = Valor de máxima divergência;

N = Número total de indivíduos observados.

Logo, os valores de D_{cal} serão confrontados com o valor crítico (D_{crit}) obtido na tabela K-S para N indivíduos, bilateral para $\alpha=95\%$ de probabilidade de confiança. A hipótese H_0 fica então condicionada: se D_{cal} for $\leq D_{crit}$, então aceita-se H_0 .

Por meio da análise gráfica da distribuição diamétrica entre os anos observados e estimados, e com base no resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, foi determinado a melhor metodologia empregada para projeção da floresta em questão, então, a partir dessa metodologia foi realizada uma projeção futura para o ano de 2022, o que consiste num período de 25 anos após a exploração florestal, com os dados obtidos nos anos de 1998 e 2010, consistindo um intervalo de tempo de 12 anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA COM AMPLITUDE DE TEMPO DE 3 ANOS

A prognose da distribuição diamétrica da floresta foi realizada por meio dos métodos de matriz de transição e razão de movimentação.

A estrutura diamétrica foi projetada para intervalos equivalentes aos de medição, ou seja, a cada três anos, considerando as medições realizadas nos anos de 1998 e 2001, prognosticou-se a floresta para os anos de 2004, 2007 e 2010. Sendo estes dois últimos anos comparados com os dados reais observados.

Foram realizadas duas análises considerando dois intervalos de classe diferentes, o primeiro com amplitude de classe diamétrica de 5 cm, e o segundo para uma amplitude de classe de 10 cm.

A matriz de probabilidade de transição elaborada à partir dos dados do período de 1998-2001, considerando a amplitude de classe de 5 cm de diâmetro pode ser observada na TABELA 3.

TABELA 3 - MATRIZ DE PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO COM INTERVALO DE CLASSE DE 5 CM.

Classe 1998	Classe 2001														
	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	>70	
7,5	0,92														
12,5	0,08	0,85													
17,5		0,15	0,84												
22,5			0,15	0,83											
27,5			0,00	0,17	0,73										
32,5					0,27	0,84									
37,5						0,16	0,78								
42,5							0,22	0,49							
47,5								0,49	0,79						
52,5								0,02	0,21	0,75					
57,5										0,25	0,73				
62,5											0,27	1,00			
67,5												0,00	0,75		
>70													0,25	1,00	
Mortas	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,07	0,20	0,00	0,20	

Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de DAP;
 Probabilidade de árvores que avançaram para a classe de DAP seguinte;
 Probabilidade de árvores que avançaram para duas classes de DAP seguinte;
 Probabilidade de árvores que morreram.

Na TABELA 3 a diagonal principal da matriz, representa a probabilidade de árvores que existiam numa determinada classe de DAP no período inicial e que

permaneceu na mesma classe de DAP no período final. A diagonal secundária representa a probabilidade das árvores que existiam numa determinada classe de DAP no período inicial se moverem para a classe seguinte, ou até mesmo duas classes, no período final. Também, nesta tabela, está destacada a probabilidade das árvores que existiam numa determinada classe de DAP no período inicial e que apareceram mortas no período final.

A partir da matriz de probabilidade de transição construída com base no intervalo de classe igual a 5 cm (TABELA 3) foi possível observar que em doze das quatorze classes ocorreu o avanço de uma pequena porcentagem de indivíduos para a classe seguinte. Outro aspecto importante pode ser visto na classe 42,5, onde a matriz indicou que uma pequena porcentagem das árvores dessa classe avançarem duas classes diamétricas no período de três anos.

Na classe 62,5 foi possível observar a probabilidade de permanência de indivíduos na mesma classe diamétrica igual a 100%, ou seja, para efeito de projeção ocorre o estado adsorvente. Desta forma quando se projeta a estrutura, não há transição de árvores desta classe para a classe seguinte. Este estado adsorvente é uma peculiaridade deste método que também foi observado por outros pesquisadores que utilizaram modelo de matriz de transição, dentre eles se destacam: SCOLFORO *et al.* (1996), PULZ *et al.* (1999) e AUSTRÉGESILO *et al.* (2004). De acordo com os autores, o estado adsorvente é uma desvantagem do método matriz de transição.

Na tabela a seguir (TABELA 4) verifica-se a matriz de probabilidade de transição elaborada a partir dos dados obtidos nas medições de 1998 e 2007, considerando o intervalo de classe de 10 cm, onde estão representadas as probabilidades de transição das árvores que avançaram uma classe, duas classes e/ou que morreram.

TABELA 4 - MATRIZ DE PROBABILIDADE DE TRANSIÇÃO COM INTERVALO DE CLASSE DE 10 CM.

Classe 1998	Classe 2001											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	>105	
10	0,96											
20	0,04	0,93										
30		0,07	0,93									
40			0,07	0,92								
50				0,08	0,89							
60					0,11	0,89						
70						0,11	0,83					
80							0,17	0,75				
90								0,00	1,00			
100								0,25	0,00	1,00		
>105											0,00	1,00
Mortas	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50

Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de DAP;
 Probabilidade de árvores que avançaram para a classe de DAP seguinte;
 Probabilidade de árvores que avançaram para duas classes de DAP seguinte;
 Probabilidade de árvores que morreram.

Analisando a TABELA 4 foi possível observar que em sete das onze classes ocorreu a transição de uma pequena porcentagem das árvores para a classe seguinte, sendo que a maioria permaneceu na classe original. Em relação às classes 90, 100, e acima de 105 ocorreu a probabilidade de 100 % das árvores permanecerem na mesma classe em períodos futuros. A matriz de probabilidade também indicou que na classe 100, há probabilidade das árvores dessa classe avançarem duas classes diamétricas no período de três anos.

4.1.1 Prognose florestal para intervalos de classe de 5 cm de diâmetro

Nas projeções realizadas para amplitude de classe diamétrica de 5 cm, foram descritas 15 classes de frequência, sendo que a última classe pode ser considerada classe aberta, que abrange indivíduos cujo DAP > 75 cm (TABELA 5), evitando, com isso, estados adsorventes, que consiste na ausência de indivíduos em determinada classe diamétrica, ou seja, a prognose em classes desse tipo resultaria em um valor igual a zero.

TABELA 5 - FREQUÊNCIA DOS VALORES OBSERVADOS E PROJETADOS (INDIVÍDUOS/HA) PARA OS ANOS 2004, 2007 E 2010 EMPREGANDO A MATRIZ DE TRANSIÇÃO E RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO PARA AMPLITUDE DE CLASSE DIAMÉTRICA DE 5 CM.

Centro de Classe	Amplitude de Classe diamétrica de 5 cm							
	2004			2007			2010	
	MaTr	RaMo	Obs	MaTr	RaMo	Obs	MaTr	RaMo
7,5	694	670	642	727	805	632	670	935
12,5	137	176	187	91	180	187	122	188
17,5	82	102	111	57	103	107	76	104
22,5	45	58	66	32	60	64	45	63
27,5	20	35	40	8	34	42	16	33
32,5	26	27	32	20	28	33	26	28
37,5	8	16	21	3	16	21	10	15
42,5	4	14	13	1	13	16	4	13
47,5	10	9	9	7	10	9	9	10
52,5	4	5	6	3	5	7	4	6
57,5	3	6	4	1	5	5	1	5
62,5	5	2	3	2	2	3	3	2
67,5	1	2	3	1	2	4	2	2
72,5	3	1	0	1	1	1	3	1
>75	6	4	5	3	4	3	5	3
Total	1.047	1.127	1.142	957	1.267	1.136	996	1.407

Obs - valores observados para a floresta; MaTr - valores projetados pelo modelo Matriz de Transição; RaMo - Valores projetados pelo modelo Razão de Movimentação.

O número total de árvores observado em 2007 e 2010 foi de respectivamente, 1.142 e 1.136 indivíduos/ha. Como pode ser percebido, o número de árvores diminuiu ao longo dos anos, fato este que pode ser justificado pelo adensamento do dossel que tende a se reestruturar com o passar dos anos, aumentando com isso a competição por espaço no sub-bosque da floresta. Logo após a exploração florestal ocorrem algumas mudanças no meio físico alterando a biocenose, ou seja, mudas estabelecidas morrem por sensibilidade à luz, plantas de espécies pioneiras aparecem e outras têm uma maximização de crescimento (VIEIRA e HIGUCHI, 1990).

Portanto, com o passar do tempo, espécies que necessitam de grande quantidade de luz em todas as fases da vida, não conseguem chegar a uma categoria de tamanho superior, favorecendo então, o aumento da competição dessas espécies com espécies tolerantes, levando com isso o aumento da mortalidade principalmente de espécies pioneiras que se estabeleceram logo após a

exploração florestal, uma vez que as plantas têm seu desenvolvimento e seu crescimento determinados pela luz (MEIRA-NETO *et al.*, 2005).

Como observado na TABELA 5, para amplitude de classe de 5 cm, o método da Razão de Movimentação apresentou valores crescentes quanto ao número total de indivíduos, sendo que na projeção realizada para o ano de 2007 foi a que apresentou maior proximidade com os valores observados superestimando em 11% o número total de indivíduos/ha. Por outro lado, as projeções pela Matriz de Transição apresentaram um decréscimo quanto ao número de indivíduos, até a segunda projeção, e depois crescente, mas ainda assim em número menor que o observado, apresentando valores inconsistentes ao longo dos anos, não corroborando com o encontrado por Colpini (2008) que, utilizando Matriz de Transição em uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional semidecidual no estado de Mato Grosso, demonstrou uma redução progressiva no número de indivíduos para todas as classes de diâmetro.

Os valores projetados da distribuição diamétrica pelos dois métodos para os períodos projetados, seguiram a mesma estrutura de uma floresta natural intacta, com maior número de indivíduos nas menores classes (“J” invertido), descrito por Meyer *et al.* (1961), o que é esperado para florestas nativas (Figura 6 e 7).

A presença de poucos indivíduos nas classes diamétricas de tamanhos superiores é um indicativo de que o número de indivíduos capazes de atingir esses diâmetros é limitado. Machado *et al.* (2010) complementam que distribuição decrescente em forma de “J” invertido é característica da maioria das florestas nativas.

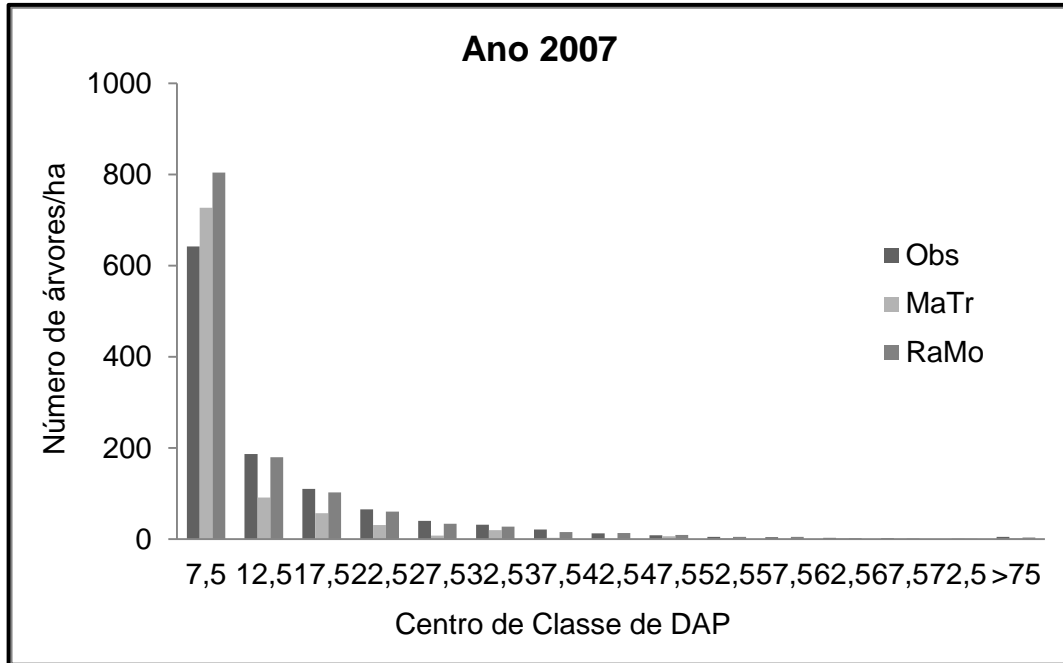


FIGURA 6 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA OBSERVADAS E ESTIMADAS PARA OS ANOS DE 2007 COM INTERVALOS DE 5 CM DE DIÂMETRO EM UMA FLORESTA TROPICAL PÓS MANEJO FLORESTAL.

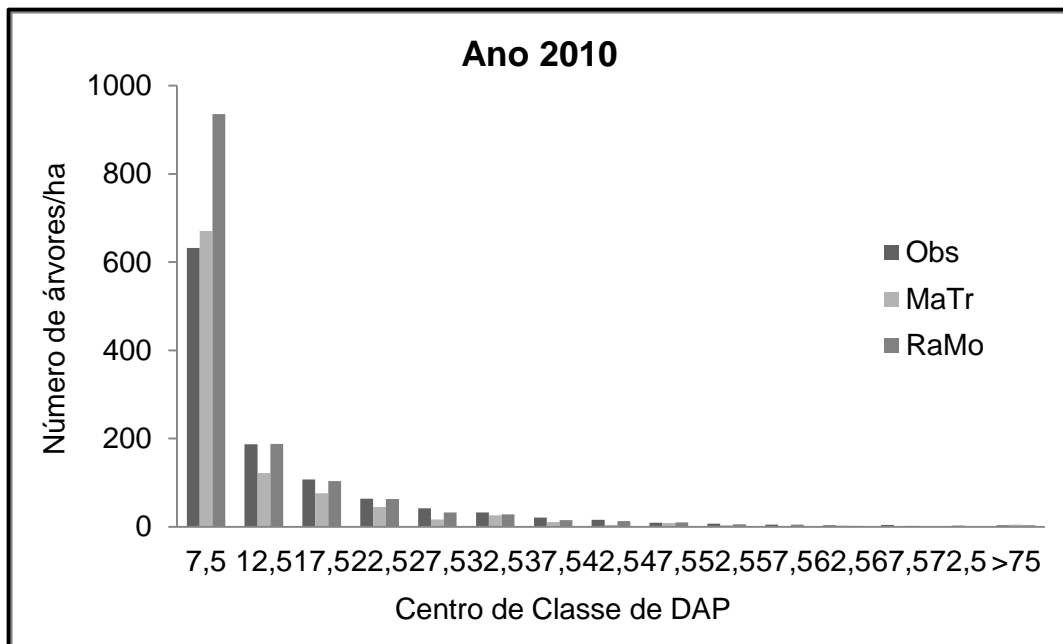


FIGURA 7 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA OBSERVADAS E ESTIMADAS PARA OS ANOS DE 2007 COM INTERVALOS DE 5 CM DE DIÂMETRO EM UMA FLORESTA TROPICAL PÓS MANEJO FLORESTAL.

Nas FIGURAS 6 e 7 observa-se que na primeira classe diamétrica há uma superestimativa no número de indivíduos observados tanto para Matriz de Transição como para Razão de Movimentação nas duas projeções realizadas quando comparadas com os valores observados, nas demais classes o números de

árvores/ha estimados pelo método de Razão de Movimentação é o que mais se aproxima da distribuição diamétrica real da floresta, comparado aos valores estimados pela Matriz de Transição.

No entanto, na FIGURA 7 nota-se claramente que a projeção realizada pelo método de Razão de Movimentação para o ano de 2010, gerou uma superestimativa mais elevada na primeira classe diamétrica, em relação ao gerado pela Matriz de Transição, contudo, a Razão de Movimentação apresentou valores mais aproximados nas demais classes comparados aos dados reais. Dalla Lana (2013) descreve que diferenças na prognose, principalmente na primeira classe de diâmetro, são comuns, devido essa ser a classe de maior dinâmica dentro da floresta.

4.1.2 Prognose florestal para intervalos de classe de 10 cm de diâmetro

Para amplitude de classe diamétrica de 10 cm, a distribuição das frequências diamétricas ocorreu em 10 classes, tornando mais generalista os processos dinâmicos dentro de cada uma dessas, implicando na menor possibilidade de estados adsorventes (TABELA 6).

TABELA 6 - FREQUÊNCIA DOS VALORES OBSERVADOS E PROJETADOS (IND./HA) PARA OS ANOS 2004, 2007 E 2010 EMPREGANDO A MATRIZ DE TRANSIÇÃO E RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO PARA AMPLITUDE DE CLASSE DIAMÉTRICA DE 10 CM.

Amplitude de Classe diamétrica de 10 cm								
Centro de Classe	2004			2007			2010	
	MaTr	RaMo	Obs	MaTr	RaMo	Obs	MaTr	RaMo
10	905	804	829	994	895	819	926	978
20	151	186	175	132	218	171	153	253
30	61	71	72	54	81	74	64	93
40	25	33	34	21	37	37	29	42
50	13	15	14	11	18	17	12	20
60	7	10	8	6	11	8	6	12
70	2	3	3	1	3	5	2	3
80	1	2	2	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	2	1	1	2
>95	3	1	3	3	2	2	3	1
Total	1.168	1.126	1.141	1.224	1.266	1.136	1.196	1.405

Obs - valores observados para a floresta; MaTr - valores projetados pelo modelo Matriz de Transição; RaMo – Valores projetados pelo modelo Razão de Movimentação.

Considerando a amplitude de classe de 10 cm (TABELA 6), percebe-se que a projeção para o método de Razão de Movimentação também apresentou os valores crescentes quanto ao número total de indivíduos, o mesmo encontrado por EBLING (2012), assim como o ano de 2007 apresentou os valores mais próximos.

Por outro lado as projeções geram estimativas menos precisas se comparadas a amplitude de classe de 5 cm. O método de Matriz de Transição demonstrou melhores estimativas que a Razão de Movimentação em relação ao número total de árvores na floresta superestimando apenas em 7,3% o número total de árvores observado no ano de 2007 e 5,2% no o ano de 2010, enquanto o método de Razão de Movimentação superestimou em 11% o número total de árvores para o ano de 2007 e 23% para o ano de 2010. No entanto quando se avalia o número de árvores por classe de diâmetro o método de Razão de movimentação obteve valores mais próximos em determinadas classes.

A distribuição diamétrica entre classes para amplitude de classe de 10 cm apresentou menor acuracidade quando comparada com a amplitude de 5 cm, sendo isso melhor visualizado por meio da análise gráfica (FIGURA 8 e 9), que também revela melhores projeções entre classes diamétricas pelo modelo da Razão de Movimentação, concordando com o observado por EBLING (2012).

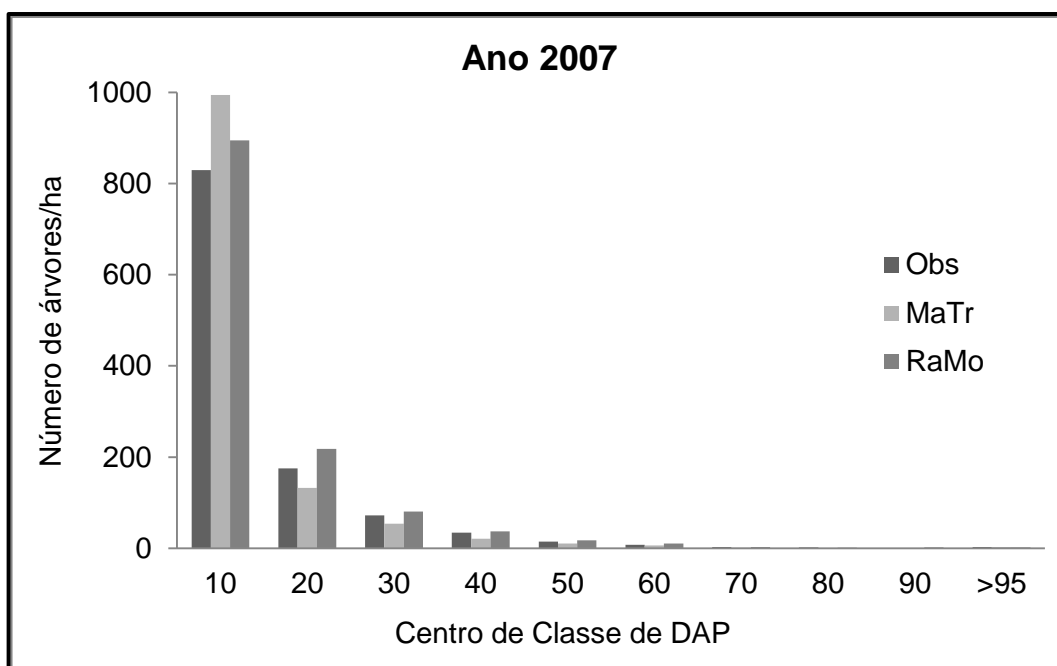


FIGURA 8 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA OBSERVADAS E ESTIMADAS PARA O ANO 2007 COM INTERVALOS DE 10 CM DE DIÂMETRO EM UMA FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL.

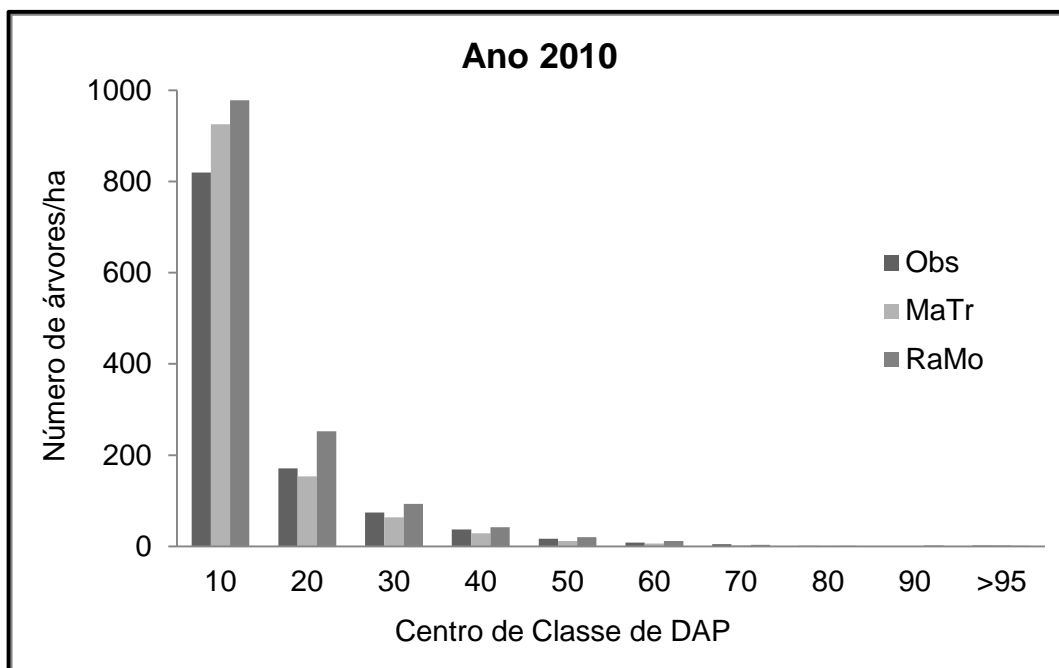


FIGURA 9 - NÚMERO DE ÁRVORES OBSERVADAS E ESTIMADAS PARA O ANO DE 2010 COM INTERVALOS DE 10 CM DE DIÂMETRO EM UMA FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL.

Observa-se que, na amplitude de classe de 10 cm (FIGURAS 8 e 9), o maior número de indivíduos também está concentrado nas primeiras classes e o menor número nas últimas classes, seguindo o padrão comum em florestas tropicais, que é a distribuição decrescente com forma de “J invertido”.

Para ambas as amplitudes de classe diamétrica, observou-se que a maioria das árvores apresenta maior probabilidade de permanecer na mesma classe diamétrica, em especial aquelas que apresentam maiores diâmetros. Acentua-se a isso a amplitude temporal empregada, pois menores amplitudes temporais implicam em menor probabilidade de migração de classe, devido o menor tempo incrementado.

Ebling *et al.* (2012) enfatiza que para classes diamétricas inferiores, estas são mais fortemente influenciadas pelos recrutamentos e mortalidade potencializadas pela maior frequência de árvores.

4.1.3 Avaliação das Prognoses

A avaliação das prognoses foi realizada através do teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov (K-S), onde foram comparadas a estrutura real da floresta nos

anos de 2007 e 2010 com os valores projetados pelos métodos da Matriz de Transição e da Razão de Movimentação.

Para os dois intervalos de classes de diâmetro dos métodos empregados, o que melhor estimou o número de árvores para o ano de 2007, segundo o teste K-S foi o da Razão de Movimentação com intervalo de classe de 10 cm de diâmetro (TABELA 7), sendo que para intervalo de classe de 5 cm também se aceita a hipótese de que a distribuição diamétrica prognosticada é similar à distribuição real ($P < 0,05$).

TABELA 7 - VALORES DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA CALCULADA E CRÍTICOS PARA O TESTE DE ADERÊNCIA KOLMOGOROV-SMIRNOV ENTRE OS ANOS ANALISADOS.

	Projeção 2007		Projeção 2010	
	MaTr	RaMo	MaTr	RaMo
Dcalc (classe 10 cm)	0,1448	*0,0219	0,0933	0,1154
Dcalc (classe 5 cm)	0,1148	*0,0244	0,0689	0,1517
Dcrit (95%)	0,0403	0,0403	0,0403	0,0403

MaTr – Matriz de Transição; RaMo- Razão de Movimentação; Dcalc –valores calculados para a distribuição diamétrica Dcrit – valores críticos para tabela KS.

*Significativo a 5% no teste bilateral.

Para as projeções realizadas para o ano de 2010, o teste K-S não apresentou aderência em nenhuma das metodologias aplicadas, indicando que estas não foram eficientes na prognose da distribuição diamétrica da floresta estudada. No entanto, o método de Matriz de Transição com intervalo de classe de 5 cm foi o que chegou mais próximo de atingir aderência.

As taxas de incremento nas classes diamétricas, utilizadas pelo método de Razão de Movimentação, são capazes de gerar estimativas mais próximas dos valores observados da floresta, quando comparada às funções probabilísticas de Markov, contrariando Teixeira *et al.* (2007), que descrevem a Matriz de Transição como o modelo que melhor se ajusta para a predição na Floresta Amazônica.

As maiores diferenças observadas entre a estrutura real e a prognose para 2010, possivelmente, se devem ao fato de que a floresta está em pleno processo de sucessão devido à intervenção realizada, uma vez que determinados indivíduos, principalmente do sub-bosque, são diretamente afetados por alterações no dossel florestal, provocados por distúrbios naturais ou antrópicos.

Segundo Scolforo *et al.* (1998), vale salientar que os modelos de Razão de Movimentação e Matriz de Transição apresentam algumas limitações, entre elas: a projeções de períodos múltiplos do empregado no modelo; a construção dos modelos baseados no estado que a floresta apresenta na ocasião do período inventariado, considerando que este estado seja constante para as projeções futuras. Define-se isso como “Propriedade Markoviana”.

Azevedo (2006) diz que a principal causa do decréscimo da acurácia com o passar do tempo é inerente à natureza do modelo. Outras importantes origens dos erros estão no intervalo de tempo (\cong 6 anos) para estimar eventos tais como a mortalidade de grandes árvores, o qual ocorre esporadicamente e provavelmente não aleatoriamente no tempo e no espaço e na inclusão (exclusão) de perturbações.

A exatidão das predições sobre vários períodos depende de uma boa estimativa, que, por sua vez, depende da suficiência de dados para todas as classes de diâmetro (BRUNER e MOSER, 1973).

Ek (1974) e Moser (1972) também tiveram dificuldades com projeções de longo prazo (20 anos), principalmente, nas classes de maior tamanho, confirmando que as projeções de longo prazo acumulam mais erros.

Por esse motivo se evitou projeções de longo prazo que, em muitas circunstâncias, não são realísticas e introduzem muita subjetividade, além do que dificilmente são comparadas aos dados reais.

Conforme Lippe *et al.* (1985) é possível a utilização da cadeia de Markov, quando as mudanças nas probabilidades de transição devido a efeitos espaciais são "pequenas", e a abundância das espécies tendem a permanecer constante. Se essas condições não forem verificadas, essa técnica pode gerar estimativas tendenciosas e imprecisas das projeções das distribuições de diâmetros, principalmente devido ao uso da matriz de probabilidade estacionária (SOARES *et al.*, 2009).

Pela análise gráfica e pelo teste K-S, as estimativas geradas por meio da Razão de Movimentação resultaram em maior proximidade do número de árvores observado, por isso, este método foi escolhido, para projetar a floresta para o ano de 2022. Devido este descrever melhor a acuracidade das projeções e como a diferença entre as prognoses com este modelo foi apenas entre as classes de diâmetro, quando se compara os intervalos de 5 cm e 10 cm. Isso sugere que

ambos os intervalos estão corretos para as estimativas. Apesar de que, geralmente, os estudos em florestas nativas consideram intervalos de diâmetros maiores, para fins práticos, e por esta floresta se encontrar numa fase pós-exploratória, optou-se por usar o intervalo de classe de 5 cm de DAP.

4.2 PROJEÇÃO DIAMÉTRICA FUTURA DA FLORESTA POR RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO

A partir das metodologias utilizadas foi escolhido o método de Razão de Movimentação e com intervalo de classe de 5 cm para prognosticar a floresta para o período de 24 anos, devido esta demonstrar melhor acuracidade em relação a Matriz de Transição. Os valores observados durante todos os períodos e o estimado para o ano de 2022 pode ser observado na TABELA 8.

TABELA 8 - FREQUÊNCIA DOS VALORES OBSERVADOS E PARA O VALOR PROJETADO (2022) EMPREGANDO A RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO PARA AMPLITUDE DE CLASSE DIAMÉTRICA DE 5 CM.

Amplitude de Classe diamétrica de 5 cm					
CC (cm)	Obs 1998	Obs 2001	Obs 2007	Obs 2010	Prog 2022
7,5	545	622	642	632	626
12,5	181	185	187	187	146
17,5	104	109	111	107	81
22,5	57	62	66	64	50
27,5	40	35	40	42	23
32,5	27	34	32	33	22
37,5	17	11	21	21	14
42,5	14	14	13	16	7
47,5	9	10	9	9	7
52,5	5	7	6	7	2
57,5	7	5	4	5	3
62,5	3	4	3	3	3
67,5	2	2	3	4	0
> 70	6	6	5	4	0
TOTAL	1016	1106	1142	1135	986

Onde: CC – Centro de Classe diamétrica Obs - valores observados para a floresta; Prog - valores projetados pelo modelo Razão de Movimentação.

Analisando a TABELA 8 verificou-se que o número de árvores no decorrer do período estudado aumentou (2007) e depois diminuiu (2022). Este fato pode ser justificado devido à área em estudo localiza-se em área de exploração florestal,

onde a mortalidade e o recrutamento apresentam maiores porcentagens do que uma área não explorada. SILVA *et al* (1999) concluíram que o estímulo resultante da abertura do dossel pela extração de árvores é passageiro, visto que nos primeiros anos de observação o crescimento das árvores e o aumento do número de ingresso ocorreram intensamente depois entrou em declínio.

4.3.1 Distribuição Diamétrica

A projeção da distribuição diamétrica seguiu a mesma estrutura observada da floresta nos anos anteriores, com pequenas alterações, configurando o padrão típico de florestas naturais balanceadas não alteradas (modelo “J-invertido” ou exponencial negativo) descrito por Meyer *et al.* (1961) (FIGURA 10). Nesse sentido, as pequenas alterações estruturais demonstram um equilíbrio das classes diamétricas mesmo após a colheita.

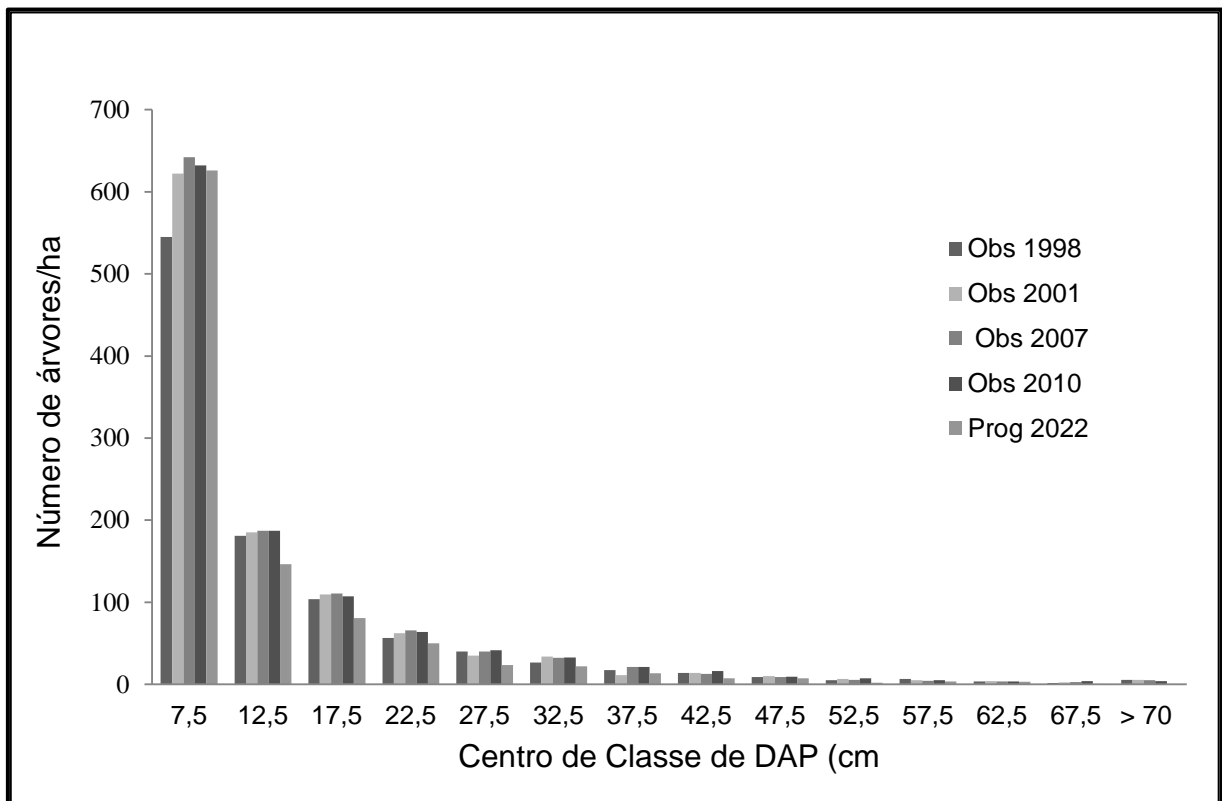


FIGURA 10 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA OBSERVADOS E ESTIMADO PELO MÉTODO DE RAZÃO DE MOVIMENTAÇÃO PARA O ANO DE 2022 COM AMPLITUDE DE CLASSE DE 5 CM DE DIÂMETRO EM UMA FLORESTA TROPICAL AMAZÔNICA PÓS MANEJO FLORESTAL.

Hosokawa *et al.* (1998), Oliveira *et al.* (1998), ITTO *et al.* (1999) e Mendonça *et al.* (2000) encontraram resultados semelhantes, que seguem o padrão de distribuição diamétrica em florestas tropicais da Amazônia brasileira. Podem-se citar alguns estudos de distribuições diamétricas que seguiram o padrão de uma curva na forma de “J -invertido”, como Azevedo *et al.* (1994) em estudo de predição de distribuição diamétrica em floresta sem interferência na Reserva Florestal de Linhares - ES e Ferreira *et al.* (1998) em floresta secundária de transição submetida a quatro níveis de redução de área basal em Minas Gerais.

Lamprecht (1962) afirmou que uma distribuição diamétrica regular (maior número de indivíduos nas classes inferiores) é a maior garantia para a existência e sobrevivência das espécies. No entanto Hartshorn (1978), afirma que quando ocorre uma estrutura diamétrica irregular, ou a não existência de plântulas de determinadas espécies, principalmente do sub-bosque, não indica que as mesmas tendem a desaparecer, mas sim que algumas espécies sucessionais dependem necessariamente da formação de clareiras para regenerar.

Estudos sobre prognose da distribuição diamétrica podem contribuir significativamente para o manejo de florestas tropicais, auxiliando na determinação do ciclo de corte ou mostrando as tendências que a floresta de hoje apresentará em um futuro próximo (VASCONCELOS *et al.*, 2009).

Contudo, a falta de inventários florestais contínuos e rigorosos, principalmente na Região Amazônica, é um fator limitante para obter a acuracidade das projeções diamétricas nas florestas multiâneas, seja intacta ou manejada.

5 CONCLUSÃO

Para os métodos de Razão de Movimentação e Matriz de Transição a distribuição diamétrica da floresta seguiu o padrão estrutural comum encontrado nas florestas tropicais, ou seja, “J-invertido”.

Dentre os métodos utilizados pode-se afirmar que o melhor modelo empregado para prognosticar a floresta estudada é o método de Razão de Movimentação com amplitude temporal de 3 anos.

A amplitude de classe diamétrica que obteve maior acuracidade foi a realizada pelo método de Razão de Movimentação com intervalo de classe de 10 cm, no entanto as duas amplitudes de classe utilizadas foram eficientes para o ano de 2007.

Os estudos também mostraram que apesar do método de Matriz de Transição gerar estimativas semelhantes aos valores observados na floresta, não apresentou aderência pelo teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov.

A prognose realizada para o ano de 2022 também apresentou distribuição diamétrica na forma de J-invertido, e quando comparada com os valores observados nos anos anteriores apresentou sua estrutura semelhante, demonstrando equilíbrio das classes diamétricas mesmo após vinte cinco anos de colheita.

Por fim conclui-se que os modelos utilizados para prognosticar a distribuição diamétrica da floresta podem ser ferramentas eficazes nos estudos para predizer o futuro daquelas florestas que passaram por intervenção antrópica de exploração madeireira.

6 RECOMENDAÇÕES

Com o intuito de melhorar os conhecimentos científicos e indicar possíveis utilizações de metodologias a serem aplicadas recomenda-se:

Testar o desempenho de outras amplitudes de classe diamétrica para as metodologias aplicadas.

Testar a inclusão dos indivíduos abaixo de 5 cm de DAP (regeneração natural).

Testar outros modelos utilizados para se prognosticar a floresta.

Estimular à continuidade das remedições dos inventários florestais (IFC), principalmente, aqueles obtidos após a realização de explorações florestais.

Realizar a avaliação da distribuição diamétrica considerando os diferentes grupos ecológicos existentes, ao invés de considerar a floresta como um todo.

REFERÊNCIAS

ARCE, J. E.; PIZATTO, W.; SANQUETTA, C. R.; WENDLING, J. L. G.; MAESTRI, R. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 27, n.1/2, p. 83-98, 2001.

AUSTREGÉSILO, S. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SOUZA, A. L.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, E. S. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semidecidual secundária. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.2, p.227-232, 2004.

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest management**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 1994. 432p.

AZEVEDO, C. P.; SOUZA, A. L.; CAMPOS, J. C. C.; PAULA JUNIOR, G. G. Predição da distribuição diamétrica da Floresta Atlântica pelo emprego da matriz de transição. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 179-193, 1994.

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.

AZEVEDO, C. P. **Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia Oriental: experimentação e simulação**. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BERNARDO, E. M. **Processos Markovianos de decisão**. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências Tecnológicas, 2000.

BLISS, D. M.; REINKER, K. A. A lognormal approach to diameter distribution in even aged stands. **Forest Science**, v. 10, n. 3, p. 350-360, 1964.

BOLDRINI, J. L.; COSTA, S. I. R.; RIBEIRO, V. L. S. F. F.; WETZER, H. G. **Álgebra linear**. São Paulo, Haper & Row Brasil, 1978.

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, 1980.

BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. **Forest management and economics**. New York, NY: Macmillan Publishing Company, 1987, 285 p.

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

CHAGAS, R. K.; BOTELHO, S. A.; VOLPATO, M. M. L. Análise fitossociológica da regeneração em áreas de clareira e dossel em uma floresta estacional semidecídua Montana-MG. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS: FOREST 99, 5., 1999, Curitiba. **Anais...** Curitiba: BIOSFERA, 1999, CD-ROOM.

CLARKE, A.B.; DISNEY R. L. **Probabilidade e Processos Estocásticos**. Rio de Janeiro: LTC, 1979. 338p

CLUTTER, J.L. et al. **Timber Management: A Quantitative Approach**. New York: John Wiley and sons, 1983.

CLUTTER, J. L.; BENNETT, F. A. Diameter distributions in old-field slash pine plantations. **General Forestry Resource Council**, n. 13, p. 1-9, 1965.

COLPINI, C. **Dinâmica e prognose da produção de uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional semidecidual**. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

COSTA D.H.M.; FERREIRA C. A. P.; SILVA J. N. M.; LOPES J. do C. A.; CARVALHO I. O. P.; **Potencial madeireiro de floresta densa no município de Mojú, Estado do Pará**. 1998. Belém: Embrapa-CPATU.

COSTA, S. C. C. **Dinâmica populacional de *Protium Pallidum* Cuatrec. (Breu Branco) em uma Floresta Tropical de terra firme explorada seletivamente no estado do Pará, Brasil**. 67 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de

Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2006.

CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. New York: The New York Botanical Garden, 1988.

CUNHA, T. A. **Crescimento de espécies florestais madeiráveis como subsídio para o manejo florestal na Amazônia Ocidental**. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

DAJOZ, R. **Princípios de ecologia**; tradução MURAD, F. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

DALLA LANA, M. **Dinâmica e prognose do crescimento em um fragmento de floresta ombrófila mista no sul do Paraná**. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

EBLING, A. A. **Dinâmica e projeção diamétrica em remanescente de Floresta Ombrófila Mista na FLONA de São Francisco de Paula, RS**. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

EK, A.R. Nonlinear models for stand table projection in northeern hardwood. **Canadian Journal of Forest Research**, 4:23-7. 1974.

ENRIGHT, N.; OGDEN, J. Applications of Transition Matrix Models in Forest Dynamics: Araucaria in Papua New Guinea and Nothofagus in New Zealand. **Journal of Ecology**, London, v.4, p.3-23, jan./dez. 1979.

FERREIRA, G. C. **Modelagem ambiental de espécies de árvores no Vale do Jari, Monte Dourado, Pará usando dados de inventário florestal**. 181 f. Tese (Doutorado em Botânica) Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro/Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro, 2009.

FERREIRA, R. L. C. **Estrutura e dinâmica de uma floresta secundária de transição, Rio Vermelho e Serra Azul de Minas, MG.** Viçosa, 208f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Setor de ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. 1997.

FERREIRA, R. L. C.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Ingresso e mortalidade em uma floresta secundária de transição. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 155-162, 1998.

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 E I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: S.B.S./ S.B.E.F., 1993. v. 2, p. 545-548.

HARTSHORN, G.S. (1978) Treefalls and tropical forest dynamics. In *Tropical trees as living systems*. Tomlinson, P.B. and Zimmermann, M.H. (eds.), 675pp, Cambridge University Press, New York, 617-638.

HIGUCHI, N.; HUMMEL, A. C. Desenvolvimento Sustentavel: a Experiencia do Setor Madeireiro. In: Simpósio Internacional sobre Biomassa e Nutrientes Florestais, 1997, Manaus, AM. BIONTE - Biomassa e Nutrientes Florestais. **Anais...** Manaus: INPA, 1997. v. 1. p. 33-46.

HIGUCHI, N. O uso da cadeia de Markov para projetar a distribuição de frequência (diâmetro e mortalidade) em uma Floresta Tropical Úmida de Terra Firme. In: ENCONTRO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA, Manaus, **Anais...** Manaus: INPA/IBDF, 1987, p. 118.

HIGUCHI N.; SANTOS J.; RIBEIRO R.J.; SILVA R.P. & ROCHA R.M. Sustentabilidade na produção de madeira dura tropical. **Revista Silvicultura**, São Paulo, v. 83, p. 32-37, 2000.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; TRIBUZY, E. S. **Manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira.** Manaus, p. 140-155, 2006.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; SILVA, R. P. da; LIMA, A. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; FELSEBURGH, C. A.; TRIBUZY, E. S. **Noções básicas sobre manejo florestal.** Grupo de pesquisas em manejo florestal/INPA. 2008, 270 p (APOSTILA).

HORN, H. S. The ecology of secondary succession. Ann. **Review Ecology System**, v. 5, p. 25-37, 1974.

HORN, H.S. Markovian Properties of Forest succession. In: CODY, M.; DIAMOND, J.(Eds.). **Ecology and Evolution of Communities**. Cambridge: Harvard University Press, p. 196-211, 1975.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1998.

HOSOKAWA, R.T. **Ordenamento florestal**. Curitiba: UFPR, 1972. 1v. (Notas de aula).

ITTO; FUNPAR; IBAMA. Curso de disseminação e treinamento nas diretrizes e critérios da ITTO – Fase II, Estágio 2. Projeto PD 30/95. Amazonas. 1999. 6.42p.

KISHI, I. A. S. **Dinâmica da população de *Protium polybotryum* (turcz.) Engl. durante três anos após exploração florestal seletiva em uma floresta tropical de terra-firme**. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2005.

LAMPRECHT, H. Ensayo sobre unos metodos para el analisis estructural de los bosques tropicales. **Acta Cientifica Venezoelana**, Merida, v.13, n. 2, p. 57-65, 1962.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos Trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: GTZ,1990.

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

LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. **Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do conhecimento**. São Paulo: Contexto, p. 176, 2002.

LIPPE, E.; SMIDT, J. T.; GLENN-LEWIN, D. C. Markov models and succession: a test from a heathland in the Netherlands. **Journal of Ecology**, Oxford, v.73, n. 3, p.775-791, 1985.

LISBOA, P. L. B.; TEREZO, E. F. M.; SILVA, J. C. A. 1991. **Madeiras Amazônicas: considerações sobre exploração, extinção de espécies e conservação.** Boletim Museu Paraense Emílio Goldi, Sér. Bot. 7(2)

LIEBERMAN, M.; LIEBERMAN, D.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. S. Canopy closure and the distribution of tropical forest tree species at La Selva, Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v. 11, p. 161-178, 1995.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory.** München: BVL Verlagsgesellschaft, v.2, 1973.

LONGHI, S.J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no sul do Brasil.** 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

LOPES, J. do C. A.; WHITMORE, T. C.; BROWN, N. D.; JENNINGS, S. B.; Banco de sementes de uma floresta tropical úmida no município de Moju, PA. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; YARED, J. A. G. (Ed.). **A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa/DFID.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, p. 185-201, 2001.

MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; OLIVEIRA, E. B. de. Estudo da estrutura diamétrica para a *Araucaria angustifolia* em florestas naturais na região sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 26, n. 1/2, p. 59-70, dez. 1998.

MACHADO, Sebastião A.; SANTOS, Angelo A. P.; NASCIMENTO, Rodrigo G. M.; AUGUSTYNICZIK, Alan L. D.; ZAMIN, Naiara T. Modelagem da distribuição diamétrica de quatro espécies de Lauraceae em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 12, n. 1, 2010.

MACPHERSON, A.; SCHULZE, M.; CARTER., D.; VIDAL, E. A model for comparing reduced impact logging with conventional logging for an eastern Amazonian forest. **For. Ecol. Manage.** v. 260, p. 2002-2011, 2010.

MCGEE, C. E., DELLA-BIANCA, L. **Diameter distributions in natural yellow-poplar stands.** U. S. F. S., 1967. 7p. (Res. Pap., SE-25).
MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R.; SOUZA, A. L. Influência da cobertura e do solo na composição florística do sub-bosque em uma floresta estacional semiducidual em Viçosa, MG, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, vol. 19. n. 3, p. 473-486. 2005.

MENDES, F. S. **Dinâmica da vegetação do sub-bosque sob influência de clareiras causadas pela exploração em uma floresta de terra firme no Município de Mojú-Pa, Brasil**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém 2011.

MENDONÇA, A. C. A.; CORREA, I. M.; LIMA JUNIOR, M. J. **Avaliação dos danos de exploração após dois anos em uma floresta de terra-firme com base em dados de uma parcela permanente** (Projeto Santa Rita - Itacoatiara/AM – Convênio FUA/GETHAL). 84 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2000.

MENDONÇA, A. C. A. **Caracterização e Simulação dos Processos Dinâmicos de uma Área de Floresta Tropical de Terra Firme Utilizando Matrizes de Transição**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MEYER, H.A.; RECKNAGEL, A.B.; STEVENSON, D.D. **Forest management**. New York: The Ronald Press Company, 1961.

MITTERMEIER, R.A.; MYERS N.; THOMSEN J.B.; FONSECA G.A.B.; OLIVIERI S. Biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas: approaches to setting conservation priorities. **Conservation Biology**. 12: p. 516-520. 1998.

MORY, A. de M.; JARDIM, F. C. da S. Comportamento de *Goupia glabra* Aubl. (Cupiúba) em diferentes níveis de desbastes por anelamento em plantas naturais. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 36, p. 55-66, 2001.

MOSER, J. W.; HALL, O.F. Deriving growth and yield functions for uneven-aged forest stands. **Forest Science**, Bethesda, v. 15, n. 1, p. 183-188, 1969.

MOSER, Jr, J. W. Dynamics of an uneven-aged forest stand. **Forest Science**, 18:184-191, 1972.

NASCIMENTO, R. G. M. **Modelagem e prognose da produção de uma Floresta Tropical Úmida Densa de Terra Firme na Amazônia Central**. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Curitiba, 2012.

NELSON, T. C. Diameter distribution and growth of Loblolly pine. **Forest Science**, v. 10, n. 1, p. 105-114, 1964.

OFUSU-ASIEDU. El intercambio de experiencias y situación del conocimiento sobre la ordenación forestal sostenible de los bosques tropicales húmedos In: WORLD

FORESTRY CONGRESS, 11; **Proceedings**. Antalya, TO, CD-ROM, vol 6, p.247-267, 1997.

O'HARA, K. L. Silviculture for structural diversity: a new look at multiaged systems. **Journal of Forestry**, Washington, v. 96, n. 7, p. 4-10, 1998.

OLIVEIRA, M. da S.; FREITAS, J. V. de; CUNHA, U. S. **Implantação e Avaliação dendrométrica de uma parcela permanente Na fazenda experimental da Universidade do Amazonas (FEU)**. 46 f. Monografia (Grau de Engenheiro Florestal) – Universidade do Amazonas, Manaus, 1998.

OSHO, J. S. A. Matrix model for tree population projection in a tropical rain forest of south-western Nigeria. **Ecol. Model.** n. 59, p. 247-255.

PEDEN, L. M.; WILLIAMS, J. S.; FRAYER, W. E. A Markov model for stand projection. **Forest Science**, v. 19, p.303-14, 1973.

PEIXOTO, A. L.; MORIN, M. P. Coleções botânicas: documentação da biodiversidade brasileira. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.55, n.3, p. 21-24, 2003.

PENG, C. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**, v. 132, n. 1-3, p. 259 - 279, 2000.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A.; **Inventário Florestal**. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997.

PIRES, J.M. **Estudos dos principais tipos de vegetação do estuário amazônico**. 183 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1972, 183p.

PIRES-O'BRIEN, M. J.; O'BRIEN, C. M. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais**. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação, 1995.

PROJETO GESPAN – **Gestão Participativa de Recursos Naturais**. Informações básicas sobre o município de Moju, Pará: uma contribuição para seu planejamento. Moju: Prefeitura Municipal de Moju, 2003.

PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequidiana com a matriz de transição. **Cerne**, Lavras, v.5, n.1 p.1-14, 1999.

RIBEIRO, J. E. L. S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A.; BRITO, J. M.; SOUZA, M. A. D.; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. C.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. **Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus: INPA, 1999. 799p.

ROBERTS, M. R.; HRUSKA, A. J. Predicting diameter distributions: a test of the stationary Markov model. **Can. J. For. Res.**, v.16, p.130-135, 1986.

ROCHA, R.M. **Taxa de recrutamento e mortalidade da floresta de terra-firme da bacia do rio Cuieiras na região de Manaus - AM**. 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, 2001.

SALATI, E.; SANTOS, A. A.; LOVEJOY, T. E.; KLABIN, I. **Porque salvar a Amazônia**. Manaus: INPA, 114 p. 1998.

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. 23-26, 1995.

SANQUETTA, C.R.; BRENA, D. A.; ANGELO, H.; MENDES J. B. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.65-78, jan./mar. 1996.

SANTOS, P. L. dos; SILVA, J. M. L. da; SILVA, B. N. R. da; SANTOS, R. D. dos; REGO, G. S. **Caracterização e potencialidade dos solos do Campo Experimental de Moju**. Belém: Governo do estado do Pará, 2003.

SCHAAF, L. B. **Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no Sul do Paraná**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequidiana heterogêneas**. Santa Maria, Rio Grande do Sul. UFSM, 2000, 195 p.

SCHUMACHER, M. V; HOPPE, J. M; **A Floresta e os Animais**. Série ecologia AFUBRA. Volume 5. Porto Alegre, 2001. 120 p.

SCOLFORO, J. R. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**: Parte 1. Lavras: ESAL / FAEPE, 182 p. 1994.

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

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: Fundação de apoio ao ensino, pesquisa e extensão – FAEPE, 1997.

SCOLFORO, J. R. S.; PULTZ, F. A.; MELO, J. M. Modelagem da produção, idade das florestas nativa, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: SCOLFORO, J. R. S. (Coord.). **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, p.189-246, 1998.

SILVA, J. N. M. **The behaviour of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging**. 312 f. Thesis. Oxford University, England, 1989.

SILVA, S.M.A. da; SILVA, J.N.M.; BAIMA, A.M.V.; LOBATO, N.M.; THOMPSON, I.S.; COSTA-FILHO, P.P. **Impacto da exploração madeireira em floresta de terra firme no Município de Moju, Estado do Pará**. In: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, p. 309-323, Belém 2001.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. do C. A.; ALMEIDA, B. F.; COSTA, D. H. M.; OLIVEIRA, L. C.; VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. Crescimento e produção de uma floresta tropical da Amazônia brasileira treze anos após a exploração. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: Contribuições do Projeto EMBRAPA, 1999, Belém, **Anais...** Belém: EMBRAPA, p.186-189, 1999.

SMITH, D. M.; LARSON, B. C.; KELTY, M. J.; ASHTON, P. M. **The practice of silviculture**: applied forest ecology. New York: Wiley and Sons, 1997.

SOARES, C. P. B. et al. Predição do crescimento em povoamentos clonais de eucalipto não desbastados utilizando matrizes de transição não estacionárias. **Árvore**, Viçosa, v.33, n.5, p.831-840, 2009.

SOUZA, A.L., GAMA, J.R.V. Prognose da produção de florestas multiâneas. 2004. Disponível em <ftp://www.ufv.br/def/disciplinas/ENF642/PROVA_3/Aula%20-%20Prognose.pdf> Acesso em 07 de abril de 2014.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao crescimento florestal**. Santa Maria: UFSM, 70 p. 2000.

SPATHELF, P.; DURLO, M. A. Transition matrix for modeling the dynamics of a subtropical seminatural forest in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 151, p. 139-149, 2001.

STEPKA, T.F. **Modelagem da dinâmica e prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista por meio de Matriz de Transição e Razão de Movimentação**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná, Irati, 2008.

TEIXEIRA, L.M.; JEFFREY Q. CHAMBERS, J. Q.; SILVA, A. R. E; LIMA, A. J. N.; CARNEIRO, V. M. C.; SANTOS, J. dos; HIGUCHI, N. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus - AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta Amazonica**, Manaus, v.37, n.3, p 377-384, jul./set. 2007.

USHER, M. B. A matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests. **J. Appl. Ecol.** n. 3, p.355-367, 1966.

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

VASCONCELOS, S.S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M.V.N. Predição da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, Manaus, v.39, n.1, p.71-80, jan./mar. 2009.

VERÍSSIMO, A.; AMARAL, P. A exploração madeireira na Amazônia: situação atual e perspectivas. **Cadernos de propostas**, v.3, p.9-16, 1996.

VIEIRA, G., HIGUCHI, N. Efeito do tamanho de clareira na regeneração natural em floresta mecanicamente explorada na Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. **Anais...** Campos do Jordão, p. 22-27, 1990.

WORBES, M.; KLINGE, H.; REVILLA, J.D.; MARTIUS, C. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of várzea forests in Central Amazonia. *Journal of Vegetation Science*, 3: p. 553-564, 1992.

WHITMORE, T.C. Tropical forest disturbance, disappearance, and species loss. LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD Jr, R. O. (Eds) **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. University of Chicago Press, p 3-12. 1997

WHITMORE, T.C. **An introduction to Tropical Rain Forests. Second edition**. New York. Oxford University Press. 282 p. 1998.