

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

MODELOS LOG-NORMAL E MARKOVIANO PARA
ESTUDO DA EVOLUÇÃO DE ABUNDÂNCIA EM
UMA FLORESTA DE BABAÇU.

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

MARIA EMILIA MARTINS FERREIRA

ORIENTADOR: PROF. ROGÉRIO CID BASTOS, DR.

FLORIANÓPOLIS, MAIO DE 1999

MODELOS LOG-NORMAL E MARKOVIANO PARA ESTUDO
DA EVOLUÇÃO DE ABUNDÂNCIA EM UMA FLORESTA DE
BABAÇU.

MARIA EMILIA MARTINS FERREIRA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA EM SUA
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO.

PROF. RICARDO MIRANDA BARCIA, PH.D.
COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA

PROF. ROGÉRIO CID BASTOS, Dr.
Orientador

PROF. ANTÔNIO C. BORNIA, Dr.

PROF. ROBERT W. SAMOHYL, PH.D.

"De Tuas moradas regas os montes, e a terra se sacia com o fruto de tuas obras; fazes brotar relva para o rebanho e plantas úteis ao homem".

Salmo 164

Dedico este trabalho à minha família. Meus pais, Isaias e Josefina pelo apoio sempre presente e pela formação que me deram. Meus tios, Maria de Jesus e Miguel, por sua compreensão e apoio nas horas importantes. Meus tios, Mariana e César (*in memorian*), por todo apoio para a consecução do meu mestrado. Minha filha Helena e meu marido Paulo Afonso, pelo carinho e paciência, e por terem compreendido que em certos momentos tive que me ausentar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor Rogério Cid Bastos, pela orientação segura.

Agradeço ao Professor Paulo Afonso Bracarense Costa, do Departamento de Estatística da UFPR, pela orientação na construção dos modelos estatísticos.

Agradeço aos meus pais por terem me criado ligada às coisas da minha terra, e por informações sobre o babaçu necessárias para a elaboração dos modelos da dissertação.

Agradeço ao Professor João Cândido Bracarense Costa, do Departamento de Matemática e Estatística da UNIOESTE, pelo apoio na construção das Cadeias de Markov, e pela revisão pacienzosa de todo trabalho.

Agradeço à minha amiga Luiza Seligman, pelo apoio computacional.

Agradeço à minha amiga Elizabeth Gwan-Nulla, pela companhia no meu período nos Estados Unidos e pela revisão do inglês do "abstract" e do meu artigo "Log-normal and Markov Models for Study of the Abundance Evolution in a Brazilian Rain Forest".

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Renuh Khator, da University of South Florida, pelas valiosas discussões sobre interpretação de problemas ambientais e pela revisão do artigo "The Babassu as an Alternative Technology for Housing Construction: A Sustainable Development Approach".

Agradeço a senhora Maria José Almeida, da Divisão de Capacitação de Docentes-PPGE, da Universidade Estadual do Maranhão, por ter me auxiliado a conseguir a bolsa, e ter acompanhado todo desenvolvimento do meu mestrado.

Agradeço ao Dr. José Edson de Paula Júnior, da Empresa Industrial Bacabal Ltda, pelas importantes informações sobre o babaçu, e por ter me alertado dos riscos de devastação da floresta.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção pelos ensinamentos recebidos.

Agradeço à direção da Universidade Estadual do Maranhão pela oportunidade de realização do mestrado e pelo apoio financeiro recebido.

Agradeço à CAPES, pela bolsa recebida.

RESUMO

Desenvolvimento tecnológico sustentável é definido como a construção de tecnologias para setores que impliquem o uso de recursos naturais, de forma a buscar uma melhor qualidade de vida para os homens, sem perder a perspectiva de proporcionar pelo menos a mesma qualidade de vida para as gerações futuras.

A árvore do babaçu tem uma importância muito grande nas regiões norte e nordeste do país. As amplas possibilidades de tirar proveito do babaçu em diversas atividades econômicas, exigem que o aproveitamento desse recurso, essencialmente extrativista, seja bem planejado.

A atual forma rudimentar de colheita do babaçu, em ciclos de sete anos, com queimadas ao final de cada ciclo para limpeza do terreno, desbaste da floresta para evitar competição e permitir a atividade pecuária, é prejudicial ao equilíbrio da mata.

Propôs-se verificar se uma floresta real estava em equilíbrio, pela construção de uma distribuição das quantidades de árvores por idade. Adotou-se a hipótese de que se esta distribuição fosse log-normal a floresta estaria em equilíbrio.

A partir do uso do modelo log-normal construiu-se uma distribuição ideal.

Um modelo estocástico foi elaborado com base em quatro possíveis estados da floresta: *equilíbrio*, *remediável*, *deteriorada* e *devastada*. Através das distribuições limites verificou-se que uma floresta em equilíbrio entrará no estado de devastação com aproximadamente 15 anos, prejudicando enormemente a produção do coco e seus derivados.

Uma proposta de política de intervenção sustentável foi realizada para a recuperação da mata, com previsão de 29 anos para sua reconstrução. Finalmente, foi feito um estudo de impacto econômico de quatro cenários propostos.

ABSTRACT

Tecnological maintainable development is defined as the construction of technologies for sectors that imply the use of natural resources in a way to look for a better life quality in the present without losing the perspective of providing at least the same life quality for the future generations.

The babassu tree is relatively economically important in the areas north and northeast of Brazil. The wide possibilities of the babassu in several economic activities, demand that the use of that resource, essentially for extraction, be well planned.

The current rudimentary procedures for the babassu crop, in cycles of seven years, with burning at the end of each cycle for cleaning the land, thinning the forest to avoid competition and allowing animal grazing activity, are harmful to the equilibrium of the forest.

This work intends to verify whether a real babassu forest is in equilibrium through the construction of the distribution of the amounts of trees by age. The basic hypothesis adopted is that if this distribution was log-normal, then the forest would be in equilibrium. Based on the log-normal model an ideal distribution was built.

A stochastic model was built based in four possible states of the forest: *equilibrium*, *remediable*, *deteriorated* and *devastated*. Through the distributions limits it was verified that an equilibrium forest would enter into a devastation state after approximately 15 years, vastly harming babassu production and its components.

A proposal of politics of maintainable intervention was accomplished for the recovery of the forest, with forecast of 29 years for the reconstruction of the forest. Finally, it was made a study of economic impact of the four proposed sceneries.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Justificativa e Importância	3
1.4 Limitações	3
1.5 Estrutura	5
2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	7
2.1 Introdução	7
2.2 O Conceito de Desenvolvimento Sustentável	9
2.3 Desenvolvimento Sustentável e Economia	11
2.4 Desenvolvimento Sustentável e Tecnologia	13
2.5 Desenvolvimento Sustentável e Babaçu	15
3 O BABAÇU	18
3.1 Produtos da Palmeira Babaçu	18
3.2 Características, Ocorrência e Formações da Palmeira Babaçu	20
3.3 Tecnologia Agrícola Atual	22
3.4 O Babaçu no Contexto Regional e Nacional	24
4 MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO PARA ESTUDOS DE ABUNDÂNCIA	28
4.1 Introdução	28
4.2 O Problema	30
4.3 Ajustamento dos Dados a uma Curva Log-normal	33
5 MODELO ESTOCÁSTICO PARA ESTUDO DE PREVISÃO DE ABUNDÂNCIA	38
5.1 Introdução	38

	X
5.2 O Problema	38
5.3 A Propriedade de Markov	39
5.4 Os Parâmetros	40
5.5 Matriz Transição de Probabilidade	44
6 APLICAÇÃO	46
6.1 Introdução	46
6.2 Apresentação dos Dados	47
6.3 Ajuste dos Dados a uma Curva Log-normal	51
6.4 Distribuição Ideal	54
6.5 Aplicação do Modelo Estocástico no Estudo de Previsão de Abundância	54
6.6 Desenvolvimento de Política Ótima	77
6.7 Impacto Econômico de Diferentes Políticas de Exploração	82
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	93
7.1 Conclusões	93
7.2 Sugestões	95
Referências Bibliográficas	96
Anexo 1 - Análise de Sensibilidade para o Vetor Inicial das Probabilidades	98
Anexo 2 - Estimativas das Matrizes de Transição	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	Principais curvas características de distribuição de espécies	29
Figura 4.2	Distribuição do "rank" das espécies por sua importância relativa	30
Figura 4.3	Número de espécies por octavo de cobertura	34
Figura 6.1	Ciclo temporário da floresta de babaçu	61
Figura 6.2	Escala dos índices da floresta nos sub-estados	63
Figura 6.3	Número de palmeiras produtivas/ha no Cenário 1	84
Figura 6.4	Número de palmeiras produtivas/ha no Cenário 2	85
Figura 6.5	Número de palmeiras produtivas/ha no Cenário 3	86
Figura 6.6	Número de palmeiras produtivas/ha no Cenário 4	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Distribuição média da população de palmeira de babaçu	22
Tabela 4.1	Sumarização de distribuição de frequências observadas	35
Tabela 6.1	Distribuição de 0 a 5 anos (Pindoveiras)	48
Tabela 6.2	Distribuição de 6 a 9 anos (Palmeiras)	48
Tabela 6.3	Distribuição de 10 a 19 anos (Palmeiras)	50
Tabela 6.4	Distribuição árvores acima de 20 anos (Palmeiras)	50
Tabela 6.5	Distribuição de frequências das idades por número de árvores	51
Tabela 6.6	Distribuição ideal das árvores por idade	54
Tabela 6.7	Função distribuição acumulada dos tempos	76
Tabela 6.8	Número de palmeiras produtivas por ano no Cenário 2	86
Tabela 6.9	Número de palmeiras produtivas por ano no Cenário 3	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Distribuição de coco e amêndoa segundo o produtor	26
Quadro 6.1	Distribuição média da população de palmeira de babaçu	47
Quadro 6.2	Distribuição média rearranjada da população de palmeira de babaçu	49
Quadro 6.3	Número de árvores por octavo	51
Quadro 6.4	Número de árvores esperadas por octavo	53
Quadro 6.5	Determinação dos índices nos sub-estados de equilíbrio	62
Quadro 6.6	Índices para a floresta no estado remediável - $d'_{1j}(n)$	64
Quadro 6.7	Índices para a floresta no estado deteriorada - $d'_{2j}(n)$	64
Quadro 6.8	Índices para a floresta no estado devastada - $d'_{3j}(n)$	65
Quadro 6.9	Resumo dos valores dos índices $i_k(n)$, $k=0, \dots, 3$	65
Quadro 6.10	Distâncias de transição saindo do estado de equilíbrio (0)	67
Quadro 6.11	Distâncias de transição saindo do estado remediável (1)	67
Quadro 6.12	Distâncias de transição saindo do estado deteriorado (2)	68
Quadro 6.13	Distribuição das pindoveiras por idade	77
Quadro 6.14	Recomposição das pindoveiras	78
Quadro 6.15	Distribuição das palmeiras por idade	78
Quadro 6.16	Recomposição das palmeiras	79
Quadro 6.17	Recomposição das palmeiras	81
Quadro 6.18	Resumo do número de palmeiras produtivas por hectare	88
Quadro 6.19	Média de árvores produtoras/ha por cenário de desenvolvimento	89
Quadro 6.20	Produção de óleo por ano por cenário de desenvolvimento	89
Quadro 6.21	Produção de óleo por cenário de desenvolvimento	90

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Desenvolvimento tecnológico sustentável é definido como a construção de tecnologias para setores que impliquem o uso de recursos naturais, de forma a buscar uma melhor qualidade de vida para os homens, sem perder a perspectiva de proporcionar pelo menos a mesma qualidade de vida para as gerações futuras.

A questão pode então ser abordada segundo dois ângulos: o primeiro diz respeito a criar condições de vida para o homem que lhe proporcione uma existência minimamente digna e saudável, e o segundo, criar essas condições preservando o meio ambiente no qual o ser humano está inserido. Pressupõe-se portanto, uma utilização racional de recursos naturais esgotáveis.

A árvore de babaçu tem uma importância muito grande nos estados das regiões norte e nordeste do país. As amplas possibilidades de tirar proveito do babaçu em diversas atividades que vão da alimentação, vestuário, até elementos energéticos alternativos, exigem que o aproveitamento deste recurso, essencialmente extrativista, seja bem planejado.

Uma vez que a reposição das árvores à floresta se dá de forma natural, os problemas a serem solucionados podem ser estabelecidos da seguinte forma: (i) qual a probabilidade de devastação da floresta de babaçu e em quanto tempo ela poderá ocorrer se mantida a atual prática de exploração da floresta? (ii) quantas árvores em diferentes idades podem ser cortadas, de forma que a reposição natural das mesmas assegure o equilíbrio da floresta? A construção de um modelo matemático capaz de responder estas questões fazendo uma correspondência de uma situação real a um modelo ideal é fundamental para assegurar uma política sustentável de exploração.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é construir um modelo matemático que auxilie a monitoração do corte de árvores de babaçu de diferentes idades, de forma a preservar o equilíbrio de uma floresta de babaçu. A partir do modelo, é possível realizar avaliações econômicas, construindo diferentes cenários de evolução. No modelo proposto neste trabalho, os parâmetros são estatisticamente estimáveis e apresentam uma interpretação ecológica coerente e compreensível.

Apresentam-se como objetivos específicos:

- Construir um modelo log-normal para determinar uma distribuição de equilíbrio das idades das árvores;
- Construir um modelo markoviano para estudo da evolução da devastação da floresta;
- Verificar o número de árvores que podem ser cortadas durante a reconstrução da floresta;
- Verificar se a ação do homem em uma mata virgem tem o mesmo efeito que em uma mata em equilíbrio;
- Verificar o potencial produtivo de óleo com a atual forma de exploração da floresta e com uma política sustentável de exploração;
- Verificar qual das formas de relação produtiva - parceria, arrendatário, proprietário ou ocupante - resulta em melhor produção.

1.3 Justificativa e Importância

O grande problema da exploração extrativista, que implica em uma prática rudimentar e desorganizada, é a elaboração de formas alternativas de determinação de políticas de assédio ao recurso.

O equacionamento do problema é ponto de partida para a busca de possíveis soluções. A construção de modelos matemáticos que procuram descrever a questão é uma das formas de delinear-la. Através deles pode-se entender o estado do problema e fazer avaliações matemáticas de possíveis soluções.

Então para setores onde não há metodologias bem desenvolvidas e aproveitamento de tecnologias mais recentes, justifica-se uma pesquisa que possa auxiliar os agentes da exploração - trabalhadores, proprietários e governo - a obterem maior proveito do recurso em questão.

A produção dos derivados da palmeira babaçu pode vir a ter uma importância muito grande para o Estado do Maranhão e para o país. A presente pesquisa levanta os problemas que envolvem a sua exploração e propõe formas de aumentar significativamente a produção dos derivados da palmeira.

O estudo das relações sociais que envolvem o trato com o babaçu aponta para mudanças nas relações de produção, que além de gerar mais riquezas para o Estado, vislumbra melhor qualidade de vida para os seus cidadãos que estão envolvidos na produção. Finalmente a pesquisa alerta para a necessidade de preservação ecológica.

1.4 Limitações

Quando um modelo matemático é elaborado para representar um fenômeno real, algumas suposições e restrições precisam ser feitas.

A própria escolha do modelo reflete uma opção particular de leitura da realidade. Em especial, quando existem poucas abordagens anteriores para o estudo do fenômeno em questão, os modelos carecem de maior crítica e necessitam de acúmulo de discussão em torno de suas principais características. Este fato se constitui a principal limitação do estudo realizado.

A exploração de uma floresta é um fenômeno carregado de incertezas, sejam aleatórias ou de outras naturezas. Restringiu-se o estudo da floresta à incerteza aleatória, quando claramente incertezas de outras naturezas estão envolvidas nas medidas realizadas como, por exemplo, imprecisão e a não especificidade.

O levantamento dos dados em campo, que implicaram na exploração de uma floresta, em muitas regiões de mata fechada, dificilmente podem ser considerados como definitivos. A grande variação do número de palmeiras adultas nas amostras pesquisadas, sugere que diferentes políticas devem ser determinadas para diferentes regiões. O modelo foi constituído para uma floresta média padrão. Apesar dessa limitação, o modelo pretende ser geral o suficiente para ser aplicado em sub-parcelas da floresta.

A hipótese de partida foi que se as espécies de um ecossistema tem uma distribuição log-normal, então ela estará em equilíbrio. Esta hipótese foi estabelecida em alguns trabalhos como (WHITTAKER, 1965), (PRESTON, 1948), (MAY, 1975, 1981). O próprio MAY (1975) sugere que este comportamento pode estar refletindo generalizações estatísticas associadas ao trato de grandes amostras. MISHALL et al. (1985), usaram este modelo como uma medida empírica do estado de equilíbrio de comunidades de invertebrados em ecossistemas ribeirinhos. Este é um bom exemplo do uso de um modelo para detecção de padrões, não importando muito se a hipótese subliminar proposta para o modelo era verdadeira ou não.

Sugere-se que as estimativas dos parâmetros do processo de Markov - vetor de probabilidades inicial e probabilidades de transição - precisam ser refinados com

novas informações. Neste trabalho utilizaram-se as seguintes inferências para construção dos vetores: taxa de desflorestamento bruto (IBAMA,1997) e um levantamento realizado pela Secretaria de Agricultura do Maranhão da distribuição média da população de palmeira de babaçu. No entanto, as matrizes construídas a partir dessas estimativas levaram a resultados consistentes com outros estudos da devastação da floresta de babaçu.

Por não ser proposta central do trabalho, o estudo das conseqüências econômicas de diferentes formas de intervenção na floresta foram realizadas de forma bastante simples. Uma abordagem mais completa seria necessária para se poder avaliar com maior precisão o potencial econômico da exploração da mata de babaçu.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em sete capítulos. O primeiro apresenta a origem do trabalho, os objetivos, as limitações e a estrutura do trabalho.

Dos aspectos do desenvolvimento sustentável discutidos, a preocupação central do trabalho foi com a utilização de recursos naturais. Muito embora uma discussão do contexto em que se dá o uso dos recursos, seja fundamental para situar o problema. Então, o conceito de desenvolvimento sustentável é discutido no segundo capítulo, abordando sua relação com a economia, a tecnologia e as questões que envolvem a exploração do babaçu.

No terceiro capítulo, é feita uma apresentação do produto a ser estudado, a árvore de babaçu. A descrição da riqueza de possibilidades de emprego do babaçu, de sua importância e dos cuidados com a preservação de um recurso com exploração fundamentalmente extrativista, ajudam a justificar a importância de desenvolvimento de tecnologias que visem preservar esta riqueza natural.

Os dois capítulos seguintes, são de investigação ecológica propriamente dita. No Capítulo 4, é analisada a questão levantada sobre o corte de árvores. Em estudo sobre diversidade e convívio entre espécies, supõe-se que se as espécies se distribuem segundo uma curva log-normal, então o meio-ambiente está em equilíbrio. Neste trabalho as idades das árvores de babaçu são consideradas como espécies, e o número de árvores a serem cortadas em cada idade é determinada de forma a conservar o equilíbrio da mata.

No Capítulo 5 mostra-se como as cadeias de Markov podem ser utilizadas para a realização de previsão sobre a abundância das palmeiras de babaçu, determinando as probabilidades de a floresta permanecer no estágio atual ou ser devastada. A técnica proposta pretende ser geral o suficiente para ser aplicada em qualquer ecossistema.

No sexto capítulo é feito um estudo com base em dados modificados de uma floresta real de babaçu, para ilustração e verificação dos métodos empregados, seguido de uma avaliação econômica.

No último capítulo são apresentadas as conclusões e algumas sugestões.

2 Desenvolvimento Sustentável

2.1 Introdução

A gestão da qualidade ambiental se dá em um campo de ação específico, embora a exigência de raciocínio e atitudes holísticos tornem cada campo de ação um microcosmo de um organismo maior onde vários aspectos da vida são integrados. Assim, as metodologias para a gestão da qualidade ambiental não são simplesmente métodos que podem ser desenvolvidos fora do seu contexto regional, cultural, histórico e tecnológico. A humanidade tem aprendido na última metade deste século, que mudanças paradigmáticas seriam necessárias para garantir a vida na Terra, em particular da espécie humana e com níveis mínimos aceitáveis de qualidade de vida. Uma maneira sintética que cobre uma grande variedade de atividades foi definida como desenvolvimento sustentável ou sustentabilidade.

A preocupação com a qualidade de vida das gerações futuras e a preservação da Terra é um aspecto chave na definição de desenvolvimento sustentável. De forma mais acadêmica o desenvolvimento sustentável pode ser definido como um desenvolvimento que atende as necessidades do presente, sem ameaçar as necessidades das gerações futuras (BRUTLAND, 1991).

Uma tentativa de mudança paradigmática mais radical foi baseada na hipótese que a Terra é um planeta vivo. Estimulando o pensamento filosófico sobre o que significa para uma espécie ser parte de um planeta vivo. Esta hipótese, a hipótese Gaya que é vista hoje como uma teoria, busca estabelecer um equilíbrio entre a defesa do planeta e a defesa dos seres humanos. Critica a convicção que a humanidade pode governar o planeta, e sugere que a humanidade deveria seguir a orientação do planeta. Esta teoria vê a evolução do ambiente material e a evolução de organismos como parte de uma unidade, em um campo de ação único e indivisível (SAHTOURIS, 1989). Os autores

da teoria propõem que a espécie humana deveria ser vista no contexto da evolução biológica do planeta, como uma espécie ainda recente e experimental com fases de desenvolvimento que se igualam aos estágios do desenvolvimento individual do homem. A idéia de preservar a vida em um planeta com vida onde os seres humanos são mais um componente, iniciou uma discussão ecológica diferente da habitual. O papel dos seres humanos não é o de preservar a natureza como seu dominador, mas de se unir à natureza para preservar a Terra, como um elemento da natureza que, embora sendo inteligente, é um ser experimental que pode ser extinto como foram outras espécies no passado. Deste ponto de vista, a preservação dos meios naturais mudam de perspectivas, e a compreensão que os seres humanos tem de si mesmos e da natureza se transforma em uma forma de autopreservação que os tornem mais solidários para com seus semelhantes no presente e no futuro. Deste modo o homem se torna capaz de agir em vários campos, como política, ciência, indústria e tecnologia, de forma a garantir a sustentabilidade.

Dentro deste contexto, a mudança de paradigma de mecanicista para biológico ou ecológico resulta na procura de um sistema de valores que enfoque a conservação, cooperação e parcerização em oposição a um sistema de valor que destaca a expansão, competição e dominação (LERÍPIO,1996) e (CAPRA & PAULI,1995). Aproximando as atividades humanas a este paradigma, seria provável que comércios, negócios e economia seguissem o mesmo padrão. NÓBREGA (1996) propõe que o mundo empresarial deveria seguir a evolução científica mais de perto. De acordo com ele, o cientista da complexidade e o homem de negócios em última instância enfrentariam o mesmo desafio.

Para efetivar este novo paradigma dentro do contexto de produção, PAULI (1996), observa que os objetivos da engenharia evoluíram dos conceitos de "defeitos zero" e "estoque zero" (da Administração da Qualidade Total e Just-in-Time respectivamente) para o conceito de "emissão zero". O último é um processo que elimina todos os tipos de desperdícios, e então, contribui para redução de custos. Porém, a proposta de emissão zero não se refere somente ao nível operacional, mas também ao modo de se encarar a produção. GRAEDEL & ALLENBY (1995) dizem que nenhuma

firma existe no vazio, na discussão do conceito de Ecologia Industrial. Eles declaram que todas as atividades industriais estão ligadas a outras transações e atividades, e seus impactos ao meio ambiente.

A procura de novas tecnologias acessíveis a camadas menos privilegiadas e baseada no paradigma do desenvolvimento sustentável, deveriam ser tentadas. A utilização de métodos com base em características regionais em seus aspectos culturais, tecnológicos, econômicos e naturais é o melhor modo para garantir qualidade de vida para as gerações presentes e futuras, conforme os preceitos do desenvolvimento sustentável.

2.2 O Conceito de Desenvolvimento Sustentável

Desenvolvimento sustentável é definido como aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.

Desenvolvimento sustentável contém dois conceitos chave: o conceito de necessidades e a noção de limitações. O primeiro, enfoca principalmente as necessidades essenciais das pessoas pobres do mundo, e o segundo, nas limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõem ao meio, impedindo-o de atender às necessidades presentes e futuras.

O desenvolvimento supõe uma mudança progressiva da economia e da sociedade. Caso uma via de desenvolvimento se sustente em sentido físico, teoricamente ela pode ser tentada até mesmo em um contexto social e político rígido. Porém, a sustentabilidade física só pode ser assegurada se políticas de desenvolvimento levarem em conta as possibilidades de mudanças em relação ao acesso aos recursos e quanto à distribuição de custos e benefícios.

Satisfazer as necessidades e aspirações humanas é o objetivo principal do desenvolvimento. Nos países em desenvolvimento, as necessidades básicas de um grande número de pessoas como alimento, vestuário, habitação e emprego, não estão sendo atendidas. Além dessas necessidades básicas, as pessoas também desejam uma qualidade melhor de vida. Em um mundo onde a pobreza e a injustiça são endêmicas, crise em ecologia e outros tipos de crise sempre podem acontecer. O desenvolvimento sustentável só pode ser alcançado se as pessoas tiverem suas necessidades básicas cumpridas e oportunidades de alcançar suas aspirações para uma vida melhor.

A satisfação das necessidades essenciais depende em parte de se alcançar o crescimento potencial pleno, e desenvolvimento sustentável requer claramente que haja crescimento econômico em regiões onde não estão sendo atendidas tais necessidades. Então, um crescimento simples não é o bastante. Uma grande atividade produtiva pode coexistir com a pobreza dissimulada, e isso resultaria em um risco para o meio ambiente. Por isso é que o desenvolvimento sustentável requer que a sociedade responda às necessidades humanas aumentando tanto o potencial de produção, como também, assegurando as mesmas oportunidades para todos.

Há muitos modos de uma sociedade se tornar menos capaz de atender às necessidades essenciais de seus membros. Um exemplo é a exploração excessiva de recursos. Dependendo da direção do progresso tecnológico, alguns problemas imediatos podem ser resolvidos, mas podem surgir outros ainda maiores.

O desenvolvimento sustentável não deve por em risco os sistemas naturais que garantem a vida na Terra: a atmosfera, a água, os solos, as florestas e os seres vivos.

No tocante a recursos não renováveis como minerais e combustíveis fósseis o seu uso pode resultar em uma redução nas quantidades disponíveis para as gerações futuras. Isso não significa que esses recursos não devam ser usados. Porém, o seu uso deve levar em conta a sua disponibilidade, a adoção de tecnologias que minimizam seu esgotamento, e a possibilidade de se obter substitutos para ele. Portanto, a

Terra não deveria ser deteriorada além de um limite razoável de recuperação. No caso dos minerais e combustíveis fósseis, é importante dosar o índice de esgotamento e enfatizar o uso econômico bem como a reciclagem, como um modo de garantir a sua existência até haver um bom substituto para ele.

O desenvolvimento tende a simplificar os ecossistemas e a reduzir a diversidade das espécies que neles vivem. E uma vez extinta, a espécie não se renova. A extinção de espécie vegetal e animal pode limitar muito as opções futuras. Por isso o desenvolvimento sustentável requer a preservação das espécies vegetais e animais.

Os chamados bens livres, como ar e água, também são recursos. As matérias primas e energias usadas nos processos de produção só em parte se tornam produtos úteis. O resto se transforma em rejeito. Para que haja desenvolvimento sustentável, é necessário reduzir os impactos adversos sobre a qualidade do ar, da água e de outros elementos naturais, para manter a integridade global do ecossistema.

Desenvolvimento sustentável é essencialmente um processo de transformação no qual o uso de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam reforçando o potencial presente e futuro a fim de atender às necessidades e aspirações humanas.

2.3 Desenvolvimento Sustentável e Economia.

O tema comum a essa estratégia do desenvolvimento sustentável é a necessidade de incluir considerações ecológicas e econômicas no processo de tomada de decisão. De fato, economia e ecologia estão integradas nas atividades do mundo real.

As preocupações econômicas e ecológicas, necessariamente, não estão se opondo. Políticas que apontam a preservar a qualidade de terras agrícolas e a preservar as florestas melhoram as perspectivas a longo prazo de desenvolvimento agrícola. Maior

eficiência no uso de matérias-primas e energia pode ser um objetivo ecológico, mas também, pode reduzir custos. Porém, muitas vezes a compatibilidade entre os objetivos ambientais e econômicos fica perdida quando se busca o ganho individual ou de algum grupo, sem dar grande importância ao impacto que isto pode causar aos outros, acreditando-se cegamente que a ciência encontrará soluções e ignorando-se as consequências que poderão ter num futuro distante as decisões tomadas hoje. A inflexibilidade das instituições agrava essa situação.

Uma séria inflexibilidade é a tendência a lidar separadamente com cada setor ou indústria sem preocupação com os vínculos intersetoriais. A agricultura moderna utiliza grandes quantidades de produtos industriais e energia produzida comercialmente. Ao mesmo tempo, o vínculo mais tradicional - agricultura como fonte de matéria-prima para indústria - está se desfazendo devido ao uso mais comum de produtos sintéticos. O vínculo entre energia e indústria também está mudando. Países industrializados mostraram uma tendência de um uso menos intensivo de energia na produção industrial.

Essas ligações intersetoriais resultam na constituição de contextos de interdependência econômica e ecológica que raramente é refletida como as políticas são elaboradas. As organizações setoriais normalmente têm objetivos setoriais e consideram os seus efeitos sobre outros setores como efeitos colaterais, os ignorando a menos que lhes obriguem que os assistam. Por isso, os impactos sobre as florestas raramente preocupam os responsáveis pelos rumos das políticas públicas ou das atividades comerciais nas áreas de energia, desenvolvimento industrial, agronomia e comércio internacional. A segmentação setorial de responsabilidades origina muitos problemas ambientais e de desenvolvimento. Esta segmentação deveria ser superada para uma possível existência de desenvolvimento sustentável.

Sustentabilidade requer responsabilidades mais amplas para os impactos das decisões. Então, mudanças nos sistemas institucionais e legais são necessárias para reforçar o interesse comum. Algumas destas mudanças vêm da idéia que um meio ambiente adequado à saúde e ao bem-estar é essencial para todos os seres humanos,

inclusive as gerações futuras. Esta perspectiva conduz ao direito de usar os recursos públicos e privados no seu contexto social apropriado. Além disso, permite medidas mais específicas.

A lei por si só não pode impor o interesse comum. Este requer a conscientização e apoio da comunidade e por conseguinte uma maior participação pública nas decisões que afetam o ambiente. O melhor modo para alcançar isto é descentralizar a administração dos recursos de que dependem as comunidades locais, dando-lhes voz ativa no tocante ao uso desses recursos. Também é importante encorajar as iniciativas dos cidadãos, dar mais poderes às organizações populares e fortalecer a democracia local.

Também é importante organizar, em nível internacional, a integração de fatores econômicos e ecológicos pelo sistema legal e decisório dos países. O uso crescente de matéria-prima e combustíveis torna mais estreito os laços entre os ecossistemas de diferentes países. As relações econômicas também aumentam mediante o comércio, o financiamento, o investimento e o intercâmbio, o que resulta em uma interdependência econômica e ecológica mais forte. No futuro, talvez mais que agora, o desenvolvimento sustentável vai exigir a unificação da economia e da ecologia nas relações internacionais.

2.4 Desenvolvimento Sustentável e Tecnologia

A orientação da tecnologia, o vínculo chave entre os seres humanos e a natureza, deve ser revisado se se espera alcançar desenvolvimento sustentável. Primeiro, a capacidade de inovação tecnológica tem que aumentar muito nos países em desenvolvimento, de forma que eles possam reagir mais eficazmente aos desafios de desenvolvimento sustentável. Segundo, é necessário mudar a direção do desenvolvimento tecnológico, de modo a conceder maior atenção aos fatores ambientais.

As tecnologias nos países industrializados nem sempre são apropriadas ou fáceis de se adaptar às características socio-econômicas e ambientais dos países em desenvolvimento. Além disso, a maior parte da pesquisa e do desenvolvimento no mundo negligencia assuntos cruciais como agricultura em áreas secas e controle de doenças tropicais que os países em desenvolvimento enfrentam. Não foram adaptadas as recentes inovações na área de conservação de energia, informação tecnológica e biotecnologia, prosperamente às necessidades dos países em desenvolvimento. Mais esforços deveriam ser enviados a estes assuntos. Estas lacunas precisam ser preenchidas no Terceiro Mundo através de apoio nas áreas de pesquisa, planejamento, desenvolvimento e especialização.

Preocupações com recursos naturais devem ser a base para o desenvolvimento da tecnologia alternativa, assim como a melhoria da tecnologia tradicional, e a escolha e adaptação da tecnologia importada. A maior parte da pesquisa tecnológica feita por organizações comerciais dedica-se a criar e processar informações que tenham valor de mercado. É necessário desenvolver tecnologias que produzam bem social, como melhor qualidade do ar, ou produtos mais duráveis, ou que resolvam problemas como a poluição e destino de desperdício, os quais geralmente não entram nos cálculos das empresas como custos externos da poluição ou destinação dos resíduos.

Políticas públicas deveriam garantir, por incentivos ou desincentivos, que as organizações comerciais considerassem os aspectos ambientais mais seriamente presentes nas tecnologias que eles desenvolvem. Institutos de pesquisa mantidos pelo governo deveriam seguir a mesma orientação.

A criação de tecnologias para o desenvolvimento ambiental está relacionada a questões de administração de riscos. Uma análise cuidadosa das negligências e vulnerabilidades da implementação de novas tecnologias, como também a adoção de padrões das atividades industriais, e planos de contingência para as operações pode reduzir as conseqüências catastróficas de uma falha ou acidente.

Os riscos ambientais que são resultados de decisões tecnológicas e desenvolvimentistas afetam os indivíduos e áreas que não influenciam nestas decisões. Seus interesses deveriam ser levados em conta. Mecanismos institucionais de âmbito nacional e internacional são cruciais para avaliar os impactos potenciais de novas tecnologias, antes que eles se tornem amplamente difundidos, de forma que sua produção, seu uso e seus resíduos não desgastem excessivamente os recursos naturais. Esses mecanismos são necessários sempre que há intervenções de monta em sistemas naturais, ou derrubada de florestas. Além disso, é necessário reforçar compensações pelos danos involuntários.

2.5 Desenvolvimento Sustentável e Babaçu

A palmeira babaçu ocorre em várias regiões do país. Está situada principalmente nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins. Região pobre do país em que a carência de recursos e investimentos traz como consequência baixos índices de qualidade de vida e elevados índices de pobreza, doenças endêmicas, analfabetismo e desorganização social. O reflexo dessa realidade pode ser observado nas principais atividades econômicas da região.

Particularmente, a exploração das reservas de babaçu, em detrimento de sua importância regional e nacional, social e econômica, tem aumentado continuamente de forma rudimentar. Apesar de grandes concentrações de palmeiras, o rendimento da mata é relativamente baixo. A ausência de desenvolvimento tecnológico mais intensivo e a carência de políticas sociais modulam uma realidade de intervenção desorganizada da floresta que a coloca em risco de sobrevivência, a despeito da enorme potencialidade oferecida pelo pleno aproveitamento dos recursos da palmeira.

O babaçueiro, catador e quebrador de coco, é hoje o brasileiro de mais baixa renda, apesar de estar vivendo numa área de elevado potencial econômico e energético. A grande maioria dos babaçueiros é de trabalhadores autônomos, que colhe e quebra o coco em períodos irregulares, vende seu produto aos donos de latifúndios ou intermediários a preços muito inferiores aos que as usinas de transformação pagam.

Nas áreas produtoras de amêndoas a atividade é tipicamente extrativista, onde o machado é utilizado como instrumento principal na quebra do coco. A produção está baseada no trabalho de famílias rurais de baixa renda.

A operação de quebra manual é morosa e exaustiva. Cada quebrador produz de 3 a 5kg de amêndoas por dia que lhe proporciona uma renda diária muito baixa. A mão-de-obra utilizada no setor é, em sua grande maioria, composta por mulheres e crianças, sendo mínima a participação do homem, mais dedicado ao trabalho na lavoura de subsistência ou coleta de coco a ser quebrado. Estima-se que no sistema atual de exploração, a venda da amêndoa participa com 15 e 20% da renda familiar, computando-se o total de famílias envolvidas no setor.

A influência sócio-econômica da amêndoa, incluindo sua industrialização, é bastante grande nas regiões onde ela é explorada.

Embora seja uma economia calcada no extrativismo primário, o babaçu tem uma razoável expressão econômica que absorve parte do trabalho das famílias na zona rural e constitui a principal atividade na indústria de transformação dos estados do Maranhão e do Piauí.

O babaçu é considerado o maior recurso oleífero do mundo, e um dos principais produtos extrativos do Brasil, contribuindo de maneira significativa para a economia de alguns estados brasileiros (ALVES, 1984).

O conceito de emissão zero pode ser bem exemplificada pela produção de babaçu. LONGO (1981) mostra o aproveitamento integral do coco de babaçu, com seu desdobramento a todas as frações primárias (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoas). A sua utilização será discutida com mais detalhes no Capítulo 3.

Apesar de tantas e tão variadas utilidades, por sua ocorrência não controlada do ponto de vista econômico e agrícola, o babaçu continua a ser tratado como um recurso marginal, permanecendo apenas como parte integrante dos sistemas tradicionais de subsistência.

Ferramentas rudimentares e o fogo são utilizados para a derrubada da mata e a limpeza do terreno. Nesse sistema o babaçual sofre as conseqüências da queimada que anula a produção do ano e interfere na produção dos anos seguintes.

Essa estratégia prejudicial a sobrevivência da mata é inclusive proibida por lei no estado do Maranhão.

É vital a implantação de novas tecnologias para o controle e monitoramento da floresta de babaçu em seus diferentes estágios, o corte da pindoveira para o cultivo do pasto, o corte da palmeira para alimentação e o corte das árvores adultas para diminuir a competição e abrir espaço para a criação de gado. São necessárias também, tecnologias para a melhor rentabilidade da produção, com o aumento do número de árvores produtivas, com maior número de cachos, com mais cocos.

O babaçu representa alta importância ecológica, social e política na qualidade de produto extrativo. Sua importância social aumenta mais porque a exploração do produto ocorre no período de entressafra das principais culturas regionais, concorrendo portanto, para a manutenção dessas famílias e contribuindo para conter o êxodo rural, além de exercer um papel fundamental na manutenção da fertilidade do solo (BEZERRA, 1995).

Desenvolvimento sustentável para a região dos babaçuais implica em uma política de investimentos para o desenvolvimento econômico e social da região, com incentivo à pesquisa. O desenvolvimento sustentável resultaria em melhores condições de vida da população e aumento da produtividade com o cuidado da preservação da floresta. De forma a garantir os atuais recursos para as futuras gerações.

3 O Babaçu

3.1 Produtos da Palmeira Babaçu

A palmeira babaçu é uma planta autóctone ao lado da palmeira cerífera carnaúba, uma das representantes das palmeiras características do Brasil. Cresce de forma espontânea nas florestas virgens e regiões selváticas e sua importância econômica foi reconhecida relativamente tarde; pela primeira vez foi mencionada no ano de 1820 (WILHELMS,1976).

A riqueza que representa a palmeira babaçu para o Brasil evidencia-se no fato de que vários subprodutos podem derivar-se dela. O interesse da exploração do babaçu concentra-se, atualmente, nas amêndoas que se encontram no coco, extraordinariamente duro e de tamanho mais ou menos de uma manga. Delas é extraído o óleo de babaçu, produto mais importante dentre os derivados da palmeira.

O emprego do óleo de babaçu estende-se desde a alimentação até o uso como lubrificante e combustível.

Na alimentação humana ele substitui a banha de porco e o azeite de oliva, e serve para a produção de uma espécie de manteiga. Como produto refinado representa excelente matéria-prima para a indústria da margarina.

Ainda presta-se como lubrificante, bem como combustível para motores a gasolina e motores a Diesel.

Serve também para a fabricação de perfumes, de plásticos, de artigos de limpeza (detergentes) e de vidro a prova de bala e de explosivos.

O fibroso epicarpo pode ser aplicado na confecção de produtos de artesanato como escovas, esteiras, passadeiras, cordas e cabos resistentes à água salgada, o mesocarpo encontra aplicação como alimento dos nativos, e como forragem para gado. O amido e a farinha de babaçu, sob forma de nutritiva farinha dietética, presta-se para a alimentação das crianças e dos doentes. No Estado do Maranhão, uma pequena fábrica produz um "chocolate de babaçu" dessa farinha, que serve também para a preparação de uma bebida achocolatada. Do mesocarpo seco pode-se obter um material isolante para fios elétricos.

As possibilidades econômicas mais interessantes são oferecidas pelo aproveitamento do endocarpo. Ele representa um ótimo combustível, e pode também ser empregado no fabrico de botões, colheres e outros pequenos objetos, e ainda como material isolante.

Aliás, quando ainda verde o coco inteiro encontra aplicação como adubo e também, ocasionalmente, como combustível. A sua queima produz uma fumaça oleífera para a coagulação do látex da seringueira para a fabricação de borracha.

A palmeira babaçu já era utilizada pelos aborígenes do Brasil como alimento, combustível e material para tecer cestos e esteiras. Em algumas regiões, ainda hoje é empregada para esses mesmos fins.

As folhas jovens da palmeira babaçu servem como paredes, tabiques e telhados para as primitivas choupanas dos nativos das regiões onde prolifera a planta; das folhas ressecadas fabricam-se esteiras, cestos, alforjes, sacos, chapéus e abanos; o tronco é aproveitado na construção de casas, e os pedúnculos do fruto encontram aplicação como adubo.

A parte vegetativa da palmeira (olho da palmeira) ou meristema apical, é designado e conhecido como "palmito", é muito apreciado pela população nativa como saboroso alimento.

O palmito em conserva é muito consumido no país, e apresenta excelentes possibilidades de venda no mercado externo.

3.2 Características, Ocorrência e Formações da Palmeira Babaçu

Um espanador com um cabo comprido - este é aproximadamente o aspecto da copa da palmeira babaçu de folhas pinadas para o alto formando com o horizonte ângulo de 25°. O seu porte distingue-a das demais espécies palmáceas que ocorrem no Brasil, das quais ela é a maior.

Possui tronco de cor sépia, relativamente delgado, cilíndrico, ereto e ligeiramente cônico, com diâmetro de 25 a 40 cm, e ocasionalmente 75 cm. Cresce devagar e quando adulta, depois de mais ou menos 10 a 15 anos, atinge altura que varia entre 15 a 20 metros, e excepcionalmente até 25 metros. 15 a 20 folhas pinadas, de 15 a 20 cm de largura, podem alcançar até 6 metros de comprimento.

Aproximadamente no décimo ano de vida a palmeira babaçu começa a florescer e a frutificar; ela pode alcançar a idade de até 200 anos.

O babaçu, planta da família dos palmáceas, é nativo da região Centro-Norte brasileira, onde se localiza sua principal ocorrência, constituindo-se em espécie altamente dominadora, formando grandes matas, às vezes homogêneas, às vezes em concorrência com outras espécies. É nos estados do Piauí e, principalmente, Maranhão que o babaçu assume importante expressão econômica.

A sua maior incidência é verificada no Maranhão, especialmente nas regiões de Cerrado, Cocais e Baixada, o que parece estar ligada às características da

natureza de transição desta área, com clima quente e úmido, estações definidas e pouco sujeitas a variações atmosféricas.

O estado do Maranhão participa, em média, com cerca de 65% da área nacional de ocorrência do babaçu, o que representa 30% da superfície do Estado.

O clima quente e úmido do Maranhão, zona intermediária entre a região da floresta amazônica, predominantemente equatorial e o tipo de vegetação do Nordeste, com transição para o planalto central, favorece a conservação e a multiplicação da palmeira babaçu e contribui para que sua frutificação comece, freqüentemente, ainda abaixo dos 10 anos (CÉSAR, 1951).

A palmeira babaçu cresce em estado selvagem, e sua exploração está condicionada à sua descoberta nas matas. Isto também acontecia com as amêndoas do dendê, cujo cultivo em plantações é recente.

Não existem dados estatísticos sobre o número de palmeiras babaçu no Brasil. Isto explica-se pelo fato de que os babaçuais são explorados em forma de economia coletiva. Por isso, não são possíveis levantamentos regulares ou mesmo globais do IBGE, efetuando-se apenas estimativas mais ou menos aproximadas da realidade.

Na sucessão vegetal, a palmeira comporta-se como planta dominante, constituindo populações estratificadas, por faixa de crescimento, em quatro tipos bem caracterizados na terminologia regional dos Estados do Maranhão e Piauí, a saber: pindoveiras, palmiteiros, capoteiros e palmeiras, sendo que estas duas últimas são consideradas palmeiras adultas.

Com relação às palmeiras adultas, capoteiros (não produtivas) mais palmeiras, foi encontrado uma variação de 1 a 329 indivíduos por hectare, com uma média de 120 palmeiras/ha. Dependendo ainda de estudos mais cuidadosos, que a própria natureza já se encarrega de chegar perto do valor considerado ótimo por parte de alguns

agrônomos especialistas, pesquisadores do assunto, que o número de palmeiras adultas de babaçu por hectare deve situar-se entre 100 e 150 unidades. A distribuição média da cobertura do babaçual é a seguinte:

Tabela 3.1 - Distribuição média da população de palmeira de babaçu

DENOMINAÇÃO	IDADE	POPULAÇÃO MÉDIA
REGIONAL	ESTIMADA	(PALMEIRAS/HA)
Pindoveiras	1 a 5 anos	970
Palmiteiros	6 a 9 anos	21
Capoteiros e Palmeiras	acima de 10 anos	120
TOTAL		1.111

Fonte: Secretaria de Agricultura do Maranhão-1976

Diferentes pesquisas demonstraram que a distribuição das populações de palmeiras de babaçu, nos seus vários estágios de desenvolvimento, tem uma ampla faixa de variação. A concorrência entre indivíduos da mesma espécie, quando se aproximam ou atingem os limites de transição de uma população para outra, são fenômenos dignos de estudo a curto prazo.

3.3 Tecnologia Agrícola Atual

A produção agrícola das zonas babaçueiras do Maranhão, Piauí e Tocantins é obtida através de processos rotineiros, em que se empregam com freqüência ferramentas rudimentares para a derrubada da vegetação e o fogo para a limpeza do terreno. Nesse sistema, o babaçual sofre as conseqüências da queimada que anula a produção de novas mudas no ano, interfere negativamente na do ano seguinte, conduzindo a boas produções por 4 ou 5 anos motivados pela limpeza, até que a vegetação natural se recomponha e volte a estabelecer forte concorrência com a palmeiras.

Neste estágio a área estará apta a nova derrubada e queimada para instalação de novas culturas, fechando-se assim, o ciclo de lavouras temporárias nos babaçuais. O agricultor pratica, normalmente, o desbaste em áreas densas, deixando de 120 a 140 palmeiras por hectare. No setor pecuário, a implantação de pastagens faz-se sob o palmeiral desbastando-se o excesso nas faixas de população muito densa. Há uma forte tendência dos pecuaristas a executar desbaste excessivo, visando a erradicação das pindoveiras (palmeiras em primeiro estágio de desenvolvimento) que constituem autêntica praga para as pastagens. O sistema utilizado, além de prejudicar a produção do babaçu formado, elimina a possibilidade de recomposição, pela erradicação das palmeiras novas. Há casos, inclusive, de desnecessária e irracional devastação total de babaçuais.

São necessárias medidas racionalizadoras, no sentido de preservar e aumentar a produtividade do babaçual. Caso contrário, esta espécie tende a desaparecer gradativamente do cenário econômico regional, embora o Decreto nº 5.252/73 do Governo do Maranhão já proíba a derrubada de palmeiras.

A incontrolável devastação dos babaçuais nativos se dá por duas razões principais: (i) a prática da agricultura rudimentar e nômade e (ii) a proliferação de projetos agropecuários e industriais que desbastam irracionalmente ou erradicam por completo as palmeiras, trazem como consequência a diminuição da produtividade ou a redução das reservas. Em locais de maior densidade demográfica e também de maior unidade animal bovino, fez com que a média da palmeira adulta diminuísse para 82 árvores por hectare, atingindo em certas regiões 1 palmeira por hectare.

Numa área típica de babaçu e pouco modificada pelo homem, o número de palmeiras adultas acima de 20 anos atinge até mais de 300 plantas por hectare, consorciadas com grande número de palmeiras novas, palmiteiras e pindoveiras (de 1 a 5 anos) chegando até de 4.000 pés.

Em 1977 existia uma meta de multiplicar a produtividade em 3 vezes. Ela estava baseada nos indicadores obtidos pelo levantamento e princípio de experimentação

com babaçuais efetuados nas áreas de Codó e Caxias no Maranhão (S.T.I., 1977), onde se introduziu a reorganização agrícola, iniciada com trato cultural, com limpeza da área e desbaste de palmeiras adultas não-produtivas (capoteiros) em cada ciclo de sete anos.

A agricultura mecanizada dificilmente poderá ser executada em consórcio com babaçuais nativos, em virtude da distribuição irregular das palmeiras, dificultando ou inviabilizando desde o preparo do solo e tratos culturais até a colheita, bem como os danos que poderiam ser causados ao sistema radicular superficial do babaçu, através de operações de aração e gradagem.

3.4 O Babaçu no Contexto Regional e Nacional

O babaçu pode contribuir de modo decisivo para a diversificação da exportação brasileira e, por conseguinte, para uma intensificação da receita de divisas.

A exploração e o desenvolvimento da riqueza que a palmeira babaçu representa para o Brasil, tem significado não somente para o comércio exterior. Para o melhoramento da situação econômica do Nordeste, resultariam múltiplos efeitos positivos da intensiva utilização da palmeira babaçu e seus produtos.

O óleo contido na amêndoa é o principal produto do babaçu na exportações brasileiras.

Do ponto de vista econômico é difícil a avaliação potencial da produção dos babaçuais uma vez que a palmeira vegeta em formações compactas, onde aproximadamente 47% das palmeiras são improdutivas por falta de sol. Em florestas mais fechadas essa percentagem chega até os 75%.

O Ministério da Agricultura avalia que a superfície total de babaçu é de aproximadamente 13,4 milhões de hectares. Supõe-se que nessa superfícies total

encontram-se 20,1 bilhões de palmeiras que produzem anualmente 20.153 bilhões de cocos. Deles poderiam ser obtidos 302,3 milhões de toneladas de amêndoas e 151,1 milhões de toneladas de óleo.

Apenas foram consideradas nesses cálculos os possíveis rendimentos de amêndoas e óleos. Mas se forem considerados os demais subprodutos do coco babaçu, por certo quantidades consideráveis de riquezas (só em cocos cerca de 314,4 milhões de toneladas) estariam incluídas no quadro.

Se forem considerados os benefícios que o babaçu produz ao país, proporcionando maior economia de divisas, desenvolvimento geo-econômico, desenvolvimento industrial e desenvolvimento social, a relação custo/benefício para promover seu aproveitamento econômico é extremamente favorável.

O potencial produtivo de babaçu no campo das alternativas energéticas de fontes renováveis é imenso. A produção de enormes quantidades de coco por ano, poderia produzir segundo a Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio, 1 bilhão de litros de álcool, quase 2 milhões de toneladas de carvão, mais de 2 bilhões de m³ de gás combustível e cerca de 1,5 milhões de toneladas de epicarpo (combustível primário).

A energia contida nesses produtos tem potencial energético global de cerca de 40 bilhões de mega-calorias por ano, o que equiivale a uma potência instalada de aproximadamente 5 mil mega-watts operando 24 horas por dia durante todo um ano.

Entre as diversas alternativas tecnológicas para o aproveitamento das partes do coco de babaçu, o que apresenta maior potencial para se desenvolver e que responde às necessidades de encontrar novas formas de energia, é aquela que utiliza o mesocarpo para produção de álcool, o endocarpo para produção de carvão e gases, a amêndoa para produção de óleo - com posterior utilização em motores Diesel - e o epicarpo para utilização direta como combustível primário.

No Maranhão apenas 22% das famílias que trabalham com o babaçu dependem exclusivamente da extração da amêndoa do coco, das restantes, em 16% das famílias, o babaçu contribui com 70% para a formação da renda familiar, em 29% com 50% da renda e em 33% com 30% da renda.

A comercialização da amêndoa está montada sobre um sistema de intermediação entre produtores e a usina processadora .

Segundo o censo Agropecuário de 1996, a distribuição de coco e amêndoa tem a seguinte distribuição segundo o produtor:

Quadro 3.1 - Distribuição da quantidade produzida (ton) de coco e amêndoa segundo o produtor

Produtor	Maranhão			Outros Estados			Brasil	
	coco	amêndoa	razão	coco	amêndoa	razão	coco	amêndoa
Proprietário	456 (48,4%)	18.377 (16,1%)	40,3	518	3.948	7,6	974	22.325
Arrendatário	144 (15,3%)	25.837 (22,6%)	179,4	13	1.646	126,6	157	27.483
Parceiro	23 (2,5%)	7.011 (6,1%)	304,8	32	1.202	37,6	55	8.213
Ocupante	319 (33,8%)	63.162 (55,2%)	198	270	5.668	21	589	68.830
TOTAL	942	114.387	121,4	833	12.464	15	1.775	126.851

Fonte: Censo Agropecuário - IBGE - 1996

Essa produção é realizada em uma estrutura de posse de terra em que a maior parte das terras (85,7%) está nas mãos de proprietários.

A amêndoa principal sub-produto do coco é produzida principalmente pelo ocupante (55,2%), que é o trabalhador autônomo e nômade, que invade as terras para colheita e posterior quebra do coco para extração das amêndoas.

A relação amêndoa/coco para os ocupantes é de 198 toneladas de amêndoas para cada tonelada. Bastante superior à relação que o proprietário consegue (40,3), aproximadamente igual à do arrendatário e bem inferior à do parceiro (304,8).

A produção do proprietário e do ocupante é totalmente deles. O arrendatário tem uma pequena parte de sua produção passada ao proprietário, embora ele cultive na terra outros bens. O parceiro transfere diretamente uma parte da produção de amêndoas ao proprietário, o que é bastante variável no Estado. Se esse transferisse 30% de sua produção, as vantagens auferidas pela produção de amêndoa por coco seriam ainda maiores que a do ocupante.

Esta seria a melhor forma de explorar a produção de amêndoas. Tanto para o ocupante, como para o proprietário que aproveita muito pouco do coco. Essa situação não se resolve por decreto. É necessário o convencimento do proprietário, que por um lado, procura auferir lucros máximos sem perceber que essa não é a melhor forma de produção, e que portanto, tenta explorar ao máximo os parceiros e arrendatários. E por outro lado, o ocupante que não quer perder o seu "status" de autônomo, não percebe as vantagens da parceria, em particular porque a comercialização feita por atravessadores, devido a dificuldade de transporte (BEZERRA, 1995), diminui muito a sua lucratividade.

Ainda assim, a produtividade no Maranhão, o maior estado explorador do babaçu (90% da produção de amêndoas), é muitas vezes maior do que nos outros estados. O Maranhão produz somente 13% a mais de coco que o restante do país, mas produz 9,2 vezes a mais de amêndoas. A relação impressiona. Em média no Maranhão cada tonelada de coco produz 121,4 toneladas de amêndoas. Em quanto nos outros estados somente 15 toneladas de amêndoas (IBGE,1996).

Considerando a extensão da mata e a alta produtividade dos parceiros no Maranhão e levando-se em conta que esta é a forma menos agressiva de assédio à floresta, mesmo porque nesse caso seria possível um controle sustentável dos babaçuais, seria altamente recomendável gestões no sentido de incentivar a parceria.

4 Modelos de Distribuição para Estudos de Abundância

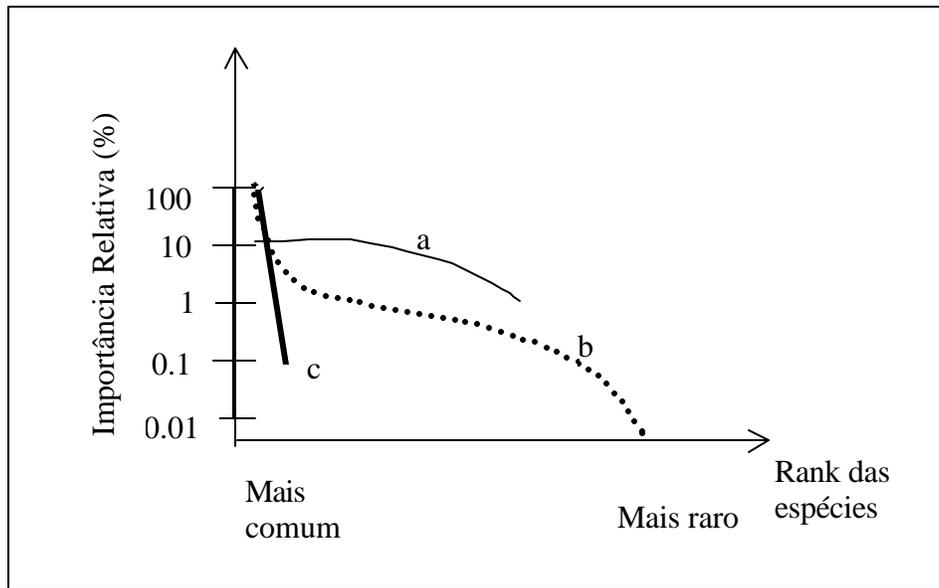
4.1 Introdução

Em estudos de comunidades ecológicas, a variação na abundância das espécies, é um dos tópicos centrais em razão da possibilidade de responder questões sobre o número de espécies que existem em dada comunidade e qual é a sua abundância relativa. Verificando-se, assim, que espécies são raras e quais e quantas são mais comuns. Subjacentemente surgem certos padrões. Uma série de modelos foram propostos na tentativa de quantificar esses padrões de abundância, motivados pelo desejo de ter descrições empíricas das relações de abundância das espécies e pelo desejo de testar hipóteses sobre a organização das comunidades ecológicas.

Existem várias formas de se avaliar dados de abundância de espécies levantadas de uma comunidade. Pode-se usar, por exemplo, a distribuição de frequências mostrando o número de espécies representados por 1, 2, ..., r indivíduos (ou qualquer outra medida de abundância como, para citar duas medidas usuais, biomassa ou percentagem de cobertura). Outro método, é plotar a abundância de cada espécie na comunidade na ordem de seu "rank" (posto) do mais abundante para o menos abundante (LUDWIG & REYNOLDS, 1988).

Agindo desta segunda forma, algumas distribuições características são observadas. As principais curvas para grandes comunidades são apresentadas na figura abaixo (MAY, 1975, 1981), (WHITTAKER, 1965) e (SUGIHARA, 1980).

Figura 4.1 - Principais curvas características de distribuição de espécies



A curva "b", ocorre quando a maioria das espécies têm abundância intermediária e somente poucas espécies são representadas por abundância muito altas e muito baixas.

Os outros dois padrões, curva "c", distribuição geométrica e curva "a", distribuição "palito quebrado" são casos extremos, onde uma espécie é extremamente dominante no primeiro caso, e onde as espécies tem abundâncias homogêneas ou uniformes no segundo caso. Estes dois padrões não foram considerados no presente estudo.

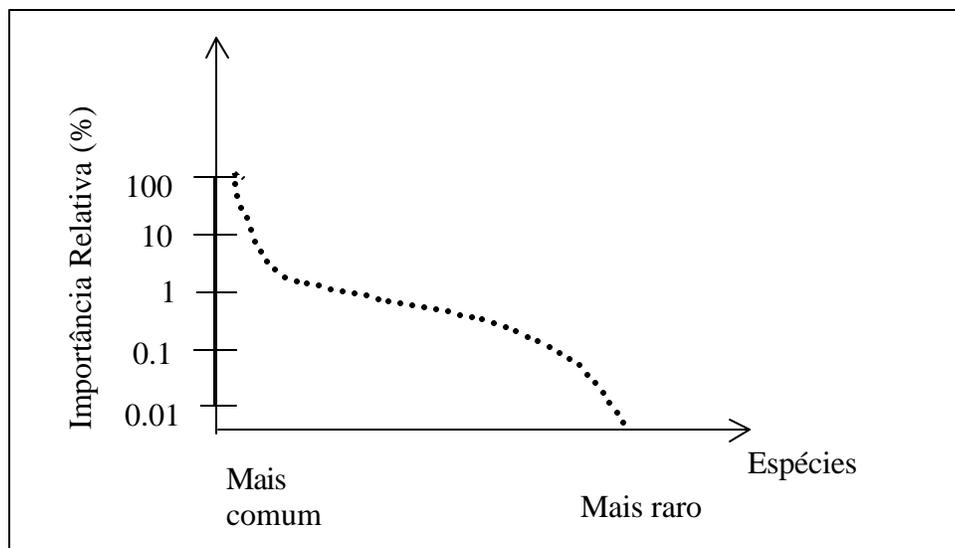
A motivação inicial para o desenvolvimento desses modelos era obter um modelo geral das relações da abundância das espécies em que os parâmetros fossem facilmente estimáveis e com significado ecológico claro. Tais modelos facilitariam as comparações das diversas comunidades através das diferenças ou similaridades dos parâmetros dos modelos das diferentes comunidades (GILLER, 1984). Embora a obtenção de tal modelo fosse extremamente útil, ainda não se obteve tal paradigma. O que se consegue ao tratar com um específico modelo são ferramentas para detectar

padrões ou tendências, que podem ser úteis para testar hipóteses sobre a organização das comunidades (MAY, 1975) e de seu equilíbrio.

4.2 O Problema

Para análise do problema rearranja-se as frequências das espécies (Figura 4.2) pelo logaritmo das classes de abundância usando o logaritmo na base 2 de forma que cada classe ou "octavo" represente o dobro do rank da classe de abundância anterior. Este procedimento é arbitrário, mas já convencional, em estudos ecológicos (PRESTON, 1946,1962) e (LUDWIG & REYNOLDS, 1988).

Figura 4.2 - Distribuição do rank das espécies por sua importância relativa



Os dados de abundância em comunidades ecológicas seguem aproximadamente uma curva log-normal, uma vez que abundâncias relativas de conjuntos grandes e heterogêneos de espécies tendem a serem governados por muitos fatores independentes e de acordo com o Teorema Central do Limite da Estatística, serão log-normalmente distribuídos. De fato, MAY (1975) mostrou que isto é verdadeiro para qualquer coleção grande e heterogênea, e usou como exemplos a distribuição de renda nos Estados Unidos e a distribuição da população humana entre as nações do mundo. Como era esperado, então, foi documentado que as relações de abundância que as

comunidades ecológicas usualmente praticam, seguem a forma de uma distribuição log-normal.

A distribuição log-normal é dada por:

$$S(R) = S_0 e^{(-a^2 R^2)} \quad (4.1)$$

onde,

$S(R)$ - número de espécies no R -ésimo octavo a partir da moda.

S_0 - é o número de espécies no octavo modal (o octavo com o maior número de espécies).

a - é uma medida inversa da amplitude da distribuição.

O presente modelo foi construído com base em uma só espécie, no caso o babaçu, cada idade foi considerada como se fosse uma espécie. Desta forma no modelo:

$S(R)$ - é a quantidade de idades (espécies) no R -ésimo octavo a partir da moda.

S_0 - é a quantidade de idades (espécies) no octavo modal.

a - é uma medida inversa da amplitude da distribuição.

Valem ainda as mesmas considerações baseadas no Teorema Central do Limite (MAY, 1975) para justificar a suposição de log-normalidade.

Trata-se portanto, em primeira instância, de ajustar os dados observados do rank das idades a uma distribuição log-normal através da estimativa dos dois parâmetros da distribuição, S_0 - o número de idades no octavo modal, e a relacionado com a amplitude da distribuição. Construindo assim o modelo para o cálculo do número de idades esperado para cada octavo.

MINSHALL et al. (1985) usaram o modelo log-normal como uma medida empírica do estado de equilíbrio de comunidades de invertebrados em ecossistemas ribeirinhos. Eles sugeriram que um alto grau de concordância com o modelo log-normal indica que a comunidade está em alto grau de equilíbrio.

A exploração do babaçu é fundamentalmente extrativista, conforme discutido no Capítulo 3. O seu manejo, portanto, consiste unicamente no controle do número de árvores cortadas em cada idade, considerando que a reposição das árvores cortadas se dá unicamente pelo crescimento natural. Assim, se na idade t houverem X_t árvores, na idade $t + \mathbf{D}$, existirão $X_{t+\mathbf{D}}$ árvores, resultante da expressão:

$$X_{t+\Delta t} = X_t - C_{\Delta t} \quad (4.2)$$

Onde $C_{\mathbf{D}}$ é o número de árvores da idade t cortadas no período \mathbf{D} .

O tempo médio de vida de uma árvore de babaçu é de aproximados 120 anos. Posto que raramente uma árvore atinge esta idade devido á sua utilização por corte anterior. Não se considera no modelo a mortalidade natural das árvores de babaçu. Assim, a menos de acidentes ecológicos, que são imprevisíveis, $C_{\mathbf{D}}$ representa unicamente o número de árvores da idade t cortadas no período \mathbf{D} .

O problema pode ser colocado, então da seguinte forma:

Quantas árvores de cada uma das t idades podem ser cortadas no período \mathbf{D} , observando-se o crescimento natural de forma que no tempo $t+\mathbf{D}$ a distribuição do rank das idades das árvores da floresta, continuem a obedecer aproximadamente a uma distribuição log-normal.

Uma vez que esta modelagem é realizada para áreas restritas e determinadas, a consideração de um número mínimo de árvores para certa idade t não é necessária ser determinada explicitamente, dada a natureza do próprio modelo, que só se

realiza para grandes amostras. Ou seja, pensar em cortar um grande número de árvores em cada idade t , de tal forma que ainda se obtivesse uma distribuição log-normal. Chegando-se a uma situação de equilíbrio ecológico teórico, suportado por uma grande devastação da floresta.

Assim, duas questões são colocadas. A primeira é ajustar os dados observados a uma curva log-normal e verificar a bondade deste ajustamento. A segunda é estabelecer uma política de cortes de árvores sem alterar o padrão de equilíbrio da mata, ou seja mantendo a distribuição dos ranks das idades segundo a curva log-normal. Proporcionando um manejo sustentável para a produção de babaçu.

O modelo proposto é geral o suficiente para a aplicação em qualquer floresta ou ainda em qualquer ecossistema.

4.3 Ajustamento dos Dados a uma Curva Log-normal

O ajustamento de dados observados a uma curva log-normal é realizado em três etapas, a saber: (a) organização da distribuição das frequências observadas, (b) estimação dos parâmetros e (c) verificação da bondade do ajustamento.

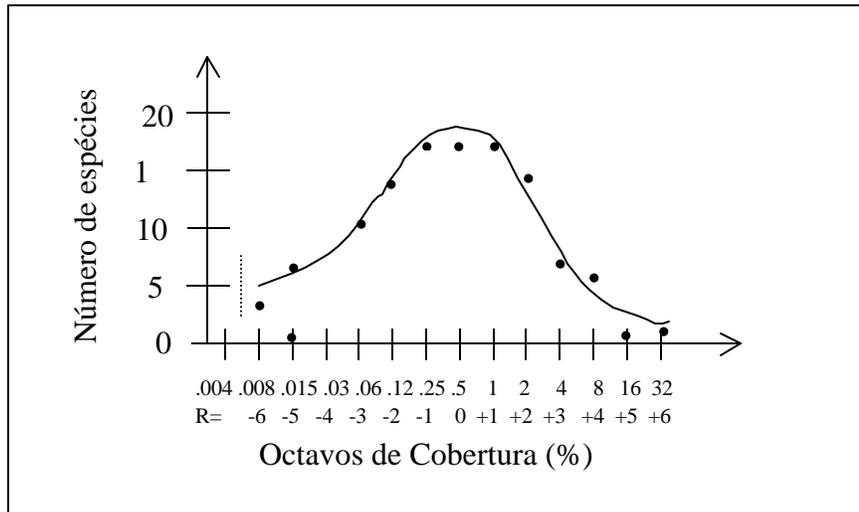
(a) Distribuição de frequências observadas

Os dados observados são arranjados na forma de uma distribuição de frequências, fornecendo o número de espécies (idades) em cada classe de abundância ou octavo. Seguindo a convenção de PRESTON (1948) de expressar logaritmo de abundância na base 2, R do i -ésimo octavo é dado por:

$$R = \log_2 \left(\frac{N_i}{N_0} \right) \quad (4.3)$$

onde: N_i é a abundância de espécies no i -ésimo octavo e N_0 é a abundância de espécies no octavo modal. Desta equação pode-se dizer que R é sempre igual a 0 no octavo modal, uma vez que $N_i = N_0$ e assim $R = \log_2(1) = 0$, representado na figura abaixo:

Figura 4.3 - Número de espécies por octavo de cobertura



Uma vez que cada octavo representa o dobro de abundância, a razão N_i/N_0 para octavos sucessivos a direita do modal será 2, 4, 6, 8, 16, 32 etc., e R será respectivamente 1, 2, 3, 4, 5, etc.; para os octavos à esquerda do modal, a razão N_i/N_0 para octavos sucessivos será 0.5, 0.25, 0.125, 0.063, 0.031, etc., e R será respectivamente, -1, -2, -3, -4, -5, etc.

Uma maneira conveniente de sumarizar uma distribuição de frequência observada é mostrada abaixo com um exemplo de um conjunto de dados que tem 8 octavos (octavo modal = 4) com cinco (R) espécies no R -ésimo octavo.

Tabela 4.1 Sumarização de distribuição de frequências observadas

octavo	$\frac{N_i}{N_0}$	R	R^2	Observado	
				S(R)	ln S(R)
1	0.125	-3	9	S(R=-3)	ln S(R=-3)
2	0.25	-2	4	S(R=-2)	ln S(R=-2)
3	0.5	-1	1	S(R=-1)	ln S(R=-1)
4	1	0	0	S(R=0)	ln S(R=0)
5	2	1	1	S(R=1)	ln S(R=1)
6	4	2	4	S(R=2)	ln S(R=2)
7	8	3	9	S(R=3)	ln S(R=3)
8	16	4	16	S(R=4)	ln S(R=4)

A coluna R^2 é um dado que aparece na equação 4.1 e os logaritmos naturais dos $S(R)$ são usados para estimar os parâmetros do modelo log-normal na estimação de parâmetros.

A curva log-normal, no gráfico 4.3, tende ao infinito ao longo do eixo dos x em ambas direções. A área abaixo da curva é teoricamente o universo que está sendo amostrado, isto é, o total do número de espécies teoricamente disponível para observação (PRESTON, 1948). Para pequenas amostras, somente o lado direito da curva é visível; como o tamanho das amostras aumentam e presumidamente as espécies raras na comunidade estão incluídas na amostra, o lado esquerdo da amostra se tornará visível (i.e., a moda da curva se moverá para a direita).

Se durante a construção da distribuição de frequências, uma abundância observada acontece de cair na linha que separa dois octavos, pela convenção uma metade das espécies com aquela abundância é colocada no mais baixo octavo e a outra metade no mais alto octavo. Por exemplo, usando o número de indivíduos por espécies como medida de abundância, em 10 espécies com 8 indivíduos cada, 5 das espécies são colocadas no octavo de 4-a-8 indivíduos e os outros 5 são colocados no octavo de 8-a-16 indivíduos.

(b) Estimação de Parâmetros

A distribuição log-normal é completamente caracterizada por 2 parâmetros, S_0 e a . Foi usado um método simples para estimar valores para estes parâmetros, mas a regressão não-linear poderia também ser usada.

Uma aproximação para o parâmetro a é dado por:

$$a = \sqrt{\frac{\ln \left[\frac{S(0)}{S(R_{\max})} \right]}{R_{\max}^2}} \quad (4.4)$$

Onde $S(0)$ é o número observado de espécie no octavo modal, $S(R_{\max})$ é o número observado de espécies no octavo "mais distante" da moda (indicado por R_{\max}).

No exemplo em (a) - Distribuição de Frequência, $R_{\max} = 4$. A equação 4.4 trabalha melhor quando os dados incluem observações de pelo menos 3 a 4 octavos distantes da moda. Também, se o octavo mais distante for o mesmo em ambas direções, por exemplo, -5 e +5, então um valor para a usando ambos valores de $S(R_{\max})$ na equação 4.4 deve ser computado e tirado a média.

O parâmetro a tem sido encontrado por volta de 0,2 para um grande número de amostras em ecologia, conseqüentemente isto tem levado a numerosas hipóteses do porque deste valor.

MAY (1975) tem mostrado que esta "regra" é na verdade um produto das propriedades matemáticas da distribuição log-normal, como o número total de espécies na comunidade varia de 20 a 10.000, o parâmetro a variará de 0,13 a 0,3.

Uma estimativa do parâmetro S_0 é obtido também fixando-o ao valor observado para o número de espécies no octavo modal, $S(0)$, ou pela estimativa de:

$$S_0 = e^{(\overline{\ln S(R)} + a^2 \overline{R^2})} \quad (4.5)$$

onde $\overline{\ln S(R)}$ é a média dos logaritmos do número observado de espécies por octavo, a é estimado e $\overline{R^2}$ é a média dos R^2 s.

Tradicionalmente, a distribuição log-normal tem sido ajustada a olho (VANDERMEER, 1981). Entretanto as duas equações (4.4) e (4.5) fornecem estimativas estatísticas razoáveis dos parâmetros. O programa LOGNORMAL.BAS (LUDWIG & REYNOLDS, 1988) permite uma substituição interativa de diferentes valores de a e S_0 dentro da equação 4.1 até que os desvios entre o número observado e o número esperado de espécies nos octavos sejam minimizados.

(c) A Freqüência Esperada

Usando as estimativas para S_0 e a , as freqüências log-normal esperadas são computadas usando a equação 4.1, e o teste de bondade de ajustamento do modelo para as freqüências observadas é "testado" com uma estatística qui-quadrado.

Os graus de liberdade são iguais ao número de octavos menos 2. Uma vez que se está apenas tentando obter um ajuste aproximado, esta estatística qui-quadrado deve ser usada como um guia para a seleção de parâmetros mais do que como um teste estatístico formal.

5 Modelo Estocástico para Estudo de Previsão de Abundância

5.1 Introdução

A avaliação da distribuição de uma comunidade ecológica, com referência à distribuição espacial ou etária de uma dada espécie ou à distribuição de diferentes espécies e suas relações em um dado espaço, refletem uma situação pontual no tempo. Um modelo que possa fazer previsões da evolução de uma espécie dada a prática usual de manejo de uma comunidade é um instrumento importante para a determinação da manutenção ou modificação de políticas de intervenção.

Uma vez que, para comunidades florestais, não existe a possibilidade de um controle rígido de metas estabelecidas, dados as interferências naturais e a ação humana incontroláveis, o modelo de previsão deve incorporar componentes de incerteza aleatória.

5.2 O Problema

Se for possível estabelecer uma distribuição de equilíbrio de uma floresta segundo a idade de suas árvores e distribuições intermediárias antes da devastação da floresta, pode-se construir um modelo markoviano, que determine probabilidades de transição de um estado para outro em diferentes tempos e a partir dele verificar a tendência do comportamento da floresta a médio prazo. Quando sabidamente a prática de uso dos recursos da floresta apontam para problemas de sobrevivência dela, a determinação do tempo previsto para sua devastação é de fundamental importância.

5.3 A Propriedade de Markov

Para aplicação de métodos markovianos é necessário que a propriedade de Markov seja aplicável ao fenômeno em estudo. Ou seja, o futuro comportamento depende somente do presente estado, e não de estados passados.

Assim, se $X(n)$ representa a variável aleatória em estudo, onde n é cada um dos estágios do processo, então

$$P[X(n+1) = x_{n+1} / X(1) = x_1, X(2) = x_2, \dots, X(n) = x_n] = P[X(n+1) = x_{n+1} / X(n) = x_n] \quad (5.1)$$

A probabilidade condicional é fundamentalmente independente dos valores anteriores do presente processo.

Então, sabendo-se que uma floresta se encontra em um determinado nível de preservação no presente tempo, as probabilidades dela permanecer nesse estado ou evoluir para outro no futuro dependem exclusivamente de seu estado no presente tempo, não importando como ela estava no passado, caracterizando-se, assim, a dependência de Markov. Esse processo é dito *sem memória*.

A palavra estado é freqüente e convenientemente usada na discussão dos processos de Markov, para representar o espaço amostral. O grau em que a floresta se encontra pode ser representado por um conjunto de quatro estados, a saber: *equilíbrio, remediável, deteriorada e devastada*.

Embora o conjunto de possíveis estados possa ser contínuo ou discreto, quando se restringe a atenção a processos de estados discretos eles são chamados de

Cadeias de Markov. Neste caso é possível indexar ou numerar os estados a um número finito ou infinito, como, 0, 1, 2,

Escreve-se então $P[X(n) = i]$ no lugar de $P[X(n) = x_n]$ e lê-se "a probabilidade que o processo esteja "no estado i " no estágio (passo ou tempo) n ".

No caso particular do estudo da situação de uma floresta, pode-se escrever cada estado da seguinte forma: estado 0: *equilíbrio*, estado 1: *remediável*, estado 2: *deteriorada* e estado 3: *devastada*. Então se $X(5) = 2$, diz-se que a floresta está *deteriorada* no quinto ano após o início das observações. Os estados não são naturalmente quantitativos, os números dos estados, simplesmente, indexam os vários estados.

Assim, é possível responder a certas questões de interesse como, por exemplo: qual a probabilidade do processo estar no estado i , no estágio n ? Representada por:

$$P[X(n) = i] \tag{5.}$$

2)

Ou, dado que o processo está no estado i , qual a probabilidade dele estar no estado j após k passos (por exemplo, anos). Simbolicamente:

$$P[X(n+k) = j / X(n) = i] \tag{5.}$$

3)

Outras questões de interesse podem ser: qual é a fração média de espaços (proporção média de tempo) que o processo gasta no tempo i ? Para o caso da floresta, é especialmente importante responder à questão: qual é a distribuição de probabilidades do

tempo para o estado *devastado*? Ou seja, qual é o tempo da "primeira passagem" para o estado 3?

5.4 Os Parâmetros

Para descrever o comportamento probabilístico de uma cadeia de Markov, são necessários dois conjuntos de informações. Elas representam os parâmetros do processo.

1. É necessário saber o estado no qual o sistema origina-se no estágio "0", ou mais genericamente, a distribuição de probabilidade dos estados iniciais:

$$q_i(0) = P[X(0) = i], \quad \forall i$$

(5.

4)

Apresenta-se então a notação simplificada $q_i(n)$ para a probabilidade que o processo esteja no estado "i" no estágio "n", em geral:

$$q_i(n) = P[X(n) = i].$$

(5.

5)

2. São necessárias as probabilidades de transição $p_{ij}(n)$. Cada uma delas representa a probabilidade de que o processo estará no estado j no tempo n , dado que estava no estado i no passo anterior:

$$p_{ij}(n) = P[X(n) = j / X(n-1) = i], \quad \forall \text{ os pares } i, j$$

(5.

6)

Em geral, essa probabilidade é uma função do "tempo" ou estágio n . Se não for, o processo é chamado de processo homogêneo no tempo, em tal caso pode-se escrever simplesmente,

$$p_{ij}(n) = p_{ij} \quad (5.$$

7)

No problema em questão, os estados de deterioração da floresta (0, 1, 2, 3) demonstram avanços nos estados de desmatamento desordenado que levam a floresta a sair do seu estado de *equilíbrio*. Hipoteticamente, o processo iniciar-se-ia no tempo em que a floresta era mata virgem, sem o assédio do homem. Em cada ano as condições da floresta poderiam potencialmente avançar para qualquer um dos estados com maior numeração, ou permanecer onde estava.

Caso a floresta seja *devastada*, ela permanecerá nesse estado, uma vez que não pode mais ser reconstruída dada a sua natureza extrativista, levando-se em conta a prática usual de exploração.

Isso implica que $p_{33}(n) = 1$. Tais estados, onde $p_{ii}(n) = 1$ para todo n são chamados de *estados absorventes*, uma vez que o processo em lá chegando, não pode sair mais.

Por outro lado, como a interferência humana não controlada na floresta impede que ela se regenere por si só, o processo nunca pode fazer uma transição para um estado mais baixo, por exemplo, $p_{21}(n) = 0$ para qualquer n .

Os outros valores das probabilidades de transição serão estimados através do estudo das diferentes distribuições por idade da floresta, partindo-se de uma distribuição ideal, ou em *equilíbrio* determinada a partir do estudo do modelo de distribuição log-normal, realizado no estudo de abundância no Capítulo 4.

Como o processo é não homogêneo, uma vez que a floresta se deteriora ano a ano e com velocidades diferentes, é necessário verificar a forma da intervenção humana para se estimar as probabilidades de transição.

O estudo de distribuição dos estados iniciais e a determinação das probabilidades de transição nos diferentes estágios, está apresentada no Capítulo 6, no seu tópico 4, "Aplicação de Modelo Estocástico no Estudo de Previsão de Abundância (Devastação)".

Probabilidade de Transição com m-passos

De uma forma mais geral, pode-se procurar a probabilidade de um processo estar no estado j , m passos mais tarde, dado que estava no estado i no tempo n .

Essas são chamadas *probabilidades de transição a m-passos*, $p_{ij}^{(m)}$, a probabilidade de transição simples p_{ij} representa $m = 1$ ou o caso de um passo.

$$p_{ij}^{(m)} = P[X(n+m) = j / X(n) = i] \quad (5.$$

8)

Se o processo é não homogêneo, suas probabilidades de transição $p_{ij}(n)$ dependem do estágio n . Nesse caso as probabilidades de transição a m-passos, denotados $p_{ij}^{(m)}(n)$, também dependerão do tempo absoluto n no qual o processo está no estado i .

Então, por exemplo, se a cadeia tem r estados

$$p_{ij}^{(2)}(n) = p_{i1}^{(1)}(n)p_{1j}(n+2) + p_{i2}^{(1)}(n)p_{2j}(n+2) + \dots + p_{ir}^{(1)}(n)p_{rj}(n+2) \quad (5.9)$$

9)

ou ainda,

$$p_{ij}^{(2)}(n) = \sum_{k=1}^r p_{ik}^{(1)}(n)p_{kj}(n+2) \quad (5.10)$$

0)

Desta forma, como $p_{ik}^{(m)}(n)$ é igual a $p_{ik}(n+1)$, a expressão acima pode ser escrita como,

$$p_{ij}^{(m)}(n) = \sum_{k=1}^r p_{ik}^{(m-1)}(n)p_{kj}(n+m) \quad (5.11)$$

1)

que pode ser interpretada dizendo que, um processo estará no estado j no tempo $n+m$, dado que estava no estado i no tempo n é a soma, sobre todos os estados, $k = 1, 2, \dots, r$, das probabilidades que o processo vá do estado k em $m-1$ passos e então passe para o estado j no m -ésimo passo.

As probabilidades marginais do estado $q_j(n)$ para uma cadeia não homogênea são dadas por:

$$q_j(n) = \sum_{i=1}^r q_i(0)p_{ij}^{(n)}(0) \quad (5.12)$$

2)

5.5 Matriz Transição de Probabilidade

As probabilidades de transição são convenientemente apresentadas na forma de matrizes, denotada $\Pi(n)$ ou simplesmente Π no caso homogêneo. Então por exemplo, no terceiro ano após a observação inicial, $n = 3$, as probabilidades de transição para o estudo serão:

$$\Pi(3) = \begin{array}{c} (0) \\ (1) \\ (2) \\ (3) \end{array} \begin{array}{c} (0) \\ (1) \\ (2) \\ (3) \end{array} \begin{bmatrix} p_{00}(3) & p_{01}(3) & p_{02}(3) & p_{03}(3) \\ 0 & p_{11}(3) & p_{12}(3) & p_{13}(3) \\ 0 & 0 & p_{22}(3) & p_{23}(3) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Onde os estados na vertical representam o estado de saída no ano 2, e os estados na horizontal, os estados de chegada no ano 3.

Assim, $p_{00}(3)$ representa a probabilidade da floresta permanecer no estado "0" no terceiro ano dado que ela estava no estado "0" no ano anterior, e $p_{01}(3)$ a probabilidade de uma transição deixando o estado "0" no ano 2 e entrando no estado "1" no terceiro ano.

Uma vez que a floresta não se recupera, $p_{10}(3) = 0$, a probabilidade de uma transição do estado 1 para o estado 0, no terceiro ano é 0, como a rigor em qualquer ano. Isso serve para todos os elementos iguais a zero na matriz.

Para o estado absorvente, $p_{33}(3) = 1$ porque a floresta *devastada* permanece no estado 3.

O número dos estados nas margens da matriz serão a partir de agora omitidos.

Uma vez que cada passo do processo de Markov deve permanecer no mesmo estado ou fazer uma transição para outro estado, e como esses estados são eventos mutuamente exclusivos, as somas das probabilidades em cada linha da matriz de transição devem ser iguais a 1. Se forem conhecidas as probabilidades em três estados, a probabilidade do quarto estado pode ser calculada usando essa propriedade.

As probabilidades de transição com m-passos podem ser representados na forma matricial da seguinte forma. Se, $\prod^{(m)}(n)$ é a matriz das probabilidades $p_{ij}^{(m)}(n)$, tem-se

$$\prod^{(m)}(n) = \prod(n+1)\prod(n+2)\dots\prod(n+m), \text{ e} \tag{5.1}$$

3)

$$q(n) = q(0)\prod^{(n)}(0), \text{ onde} \tag{5.1}$$

4)

$q(n)$ é o vetor coluna das probabilidades incondicionais do estado no tempo n .

6 Aplicação

6.1 Introdução

Com base em dados reais de uma floresta de babaçu foi feito um estudo das possibilidades de ação sobre a mesma e o reflexo dessas possibilidades do ponto de vista econômico. Dado que a forma atual de exploração do babaçu mostra uma tendência de devastação das florestas nativas, buscou-se verificar através de técnicas de processo estocástico, particularmente com o uso de cadeias de Markov, em que extensão esta devastação ocorre. Foram determinadas as probabilidades a médio prazo das florestas atingirem um dos quatro seguintes estados: *equilíbrio*, *remediável*, *deteriorada* ou *devastada*. Também foi verificado o tempo provável de completa devastação da floresta.

A estimação das probabilidades de transição foram realizadas a partir da construção de possíveis distribuições das idades das árvores.

Partindo-se de uma distribuição real média das idades de babaçu constituiu-se com o auxílio do modelo de abundância log-normal, o que seria uma distribuição em equilíbrio. A partir dela, estudou-se acompanhando a real utilização cíclica da lavoura de babaçu, estados intermediários, passando pelos estados *remediável* e *deteriorada* até atingir estado de *devastação*. Esses cenários auxiliaram a determinação das probabilidades de transição das cadeias de Markov.

Em outro sentido, estudou-se o que seria uma política ideal de recuperação da mata pelo simples acompanhamento de uma floresta em recuperação com intervenção humana racionalizada.

Finalmente, foram feitas algumas avaliações econômicas do efeito de cada uma das políticas a médio prazo.

A aplicação foi desenvolvida seguindo os seguintes passos: (i) Apresentação dos dados, (ii) Ajuste dos dados a uma curva log-normal, (iii) Determinação da distribuição de equilíbrio, (iv) Aplicação do modelo estocástico no estudo de previsão de abundância (devastação), (v) Estudo de recuperação da floresta e (vi) Análise econômica dos quatro possíveis cenários.

6.2 Apresentação dos Dados

Segundo levantamento da Secretaria de Agricultura do Maranhão-SAGRIMA no ano de 1976, a população média da palmeira babaçu por hectare se dá de acordo com o quadro abaixo:

Quadro 6.1 - Distribuição média da população de palmeira de babaçu

DENOMINAÇÃO REGIONAL	IDADE ESTIMADA	POPULAÇÃO MÉDIA (PALMEIRAS/HA)
Pindoveiras	0 a 5 anos	970
Palmiteiros	6 a 9 anos	21
Capoteiros	10 -20 anos	25
Palmeiras + Capoteiros	> 10 produt. e > 20 produt. ou não.	95
TOTAL		1.111

Fonte: Secretária da Agricultura do Maranhão - 1976.

Para o desenvolvimento da técnica proposta a distribuição das palmeiras segundo as idades deve ser dada idade por idade.

Pindoveira

De acordo com a distribuição média por fase da palmeira babaçu, esta primeira fase apresenta um total de 970 árvores por hectare. Sabe-se que a mortalidade de árvores nos primeiros anos se dá por causas naturais como ação de animais predadores,

condições climáticas e competição entre as próprias árvores segundo uma taxa de mortalidade de 50% ao ano. Desta forma a distribuição aproximada do número de árvores nos cinco primeiros anos é a que segue:

Tabela 6.1 - Distribuição de 0 a 5 anos (Pindoveiras)

Idade	Número de Árvores/ha
1 ano	500
2 anos	250
3 anos	125
4 anos	63
5 anos	32
TOTAL	970

Palmeiras

A segunda fase, conhecida como palmeira, apresenta, segundo aquele levantamento, um total de 21 árvores por hectare. A grande mortalidade nestas idades ocorre principalmente aos seis anos quando as árvores são cortadas para comercialização do palmito. De fato, o corte para este fim já começa no quinto ano de idade do babaçu. Depois do corte no sexto ano de idade, o número de palmeiras se distribui aproximadamente de forma uniforme.

Tabela 6.2 - Distribuição de 6 a 9 anos (Palmeiras)

Idade	Número de Árvores/ha
6 anos	6
7 anos	5
8 anos	5
9 anos	5
TOTAL	21

Capoteiros e Palmeiras

As palmeiras adultas são conhecidas como capoteiros ou palmeiras. Os capoteiros são aqueles que não produzem o fruto e as palmeiras são produtivas. Esta fase, para facilitar na distribuição das árvores por idade, foi dividida em dois blocos. O primeiro de 10 a 20 anos e o segundo acima dos 20 anos. O critério adotado para esta divisão foi o descrito abaixo.

O total de árvores adultas é de 120 árvores por hectare. Sabe-se que 53% deste total são capoteiros, resultando num total de 64 árvores não produtivas. Daí pode-se então determinar o número de 56 árvores adultas produtivas por hectare, pela diferença entre o total de árvores adultas e o número de árvores não produtivas, ou seja, o número de árvores produtivas é igual a $120 - 64 = 56$ árvores.

A proporção de capoteiros dos 10 aos 20 é $25/64 = 0,390625$. Supondo que esta proporção se repita para as árvores produtivas entre 10 e 20 anos de idade, tem-se que o número de produtivas nestas idades serão $0,390625 \times 56 = 22$ árvores produtivas entre 10 e 20 anos. Resulta daí que, 56 árvores são adultas produtivas das quais 22 estão entre os seus 10 e 20 anos. Acima dos 20 anos o número de árvores produtivas é 34 árvores por hectare. Veja quadro abaixo

Quadro 6.2 - Distribuição média rearranjada da população de palmeira de babaçu

DENOMINAÇÃO REGIONAL	IDADE ESTIMADA	POPULAÇÃO (PALMEIRAS/HA)	MÉDIA
Pindoveiras	0 a 5 anos	970	
Palmiteiros	6 a 9 anos	21	
Palmeiras(p) + Capoteiros(c)	10 a 20 anos	$22(p) + 25(c) = 47$	
	acima dos 20 anos	$34(p) + 39(c) = 73$	
TOTAL		1.111	

A distribuição aproximada do número de árvores adultas de 10 a 19 anos e com mais de 20 anos é dada de acordo com as tabelas abaixo.

Tabela 6.3 - Distribuição dos 10 aos 19 anos (Palmeiras)*

Idade	Número de Árvores/ha	Idade	Número de Árvores/ha
10 anos	5	15 anos	5
11 anos	5	16 anos	5
12 anos	5	17 anos	4
13 anos	5	18 anos	4
14 anos	5	19 anos	4
TOTAL			47

Tabela 6.4 - Distribuição árvores acima de 20 anos (Palmeiras)

Idade	Número de Árvores/ha						
20 anos	3	31 anos	2	42 anos	1	53 anos	1
21 anos	3	32 anos	1	43 anos	1	54 anos	1
22 anos	3	33 anos	1	44 anos	1	55 anos	1
23 anos	3	34 anos	1	45 anos	1	56 anos	1
24 anos	3	35 anos	1	46 anos	1	57 anos	1
25 anos	3	36 anos	1	47 anos	1	58 anos	1
26 anos	3	37 anos	1	48 anos	1	59 anos	1
27 anos	2	38 anos	1	49 anos	1	60 anos	1
28 anos	2	39 anos	1	50 anos	1	61 anos	1
29 anos	2	40 anos	1	51 anos	1	62 anos	1
30 anos	2	41 anos	1	52 anos	1	>62 anos	11
TOTAL							73

Na fase adulta as palmeiras são cortadas somente para desbaste e por isso apresentam uma distribuição aproximadamente uniforme.

6.3 Ajuste dos Dados a uma Curva Log-normal

A quantidade de idades observadas foram arranjadas em uma distribuição de freqüências, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 6.5 - Distribuição de freqüências das idades por número de árvores

(X)	1	2	3	4	5	6	32	63	125	250	500
(f)	32	5	7	3	10	1	1	1	1	1	1

A tabela acima mostra que existem 32 idades que têm uma só árvore, 5 idades com 2 árvores e assim por diante. As duas últimas classes mostram as 250 árvores com 2 anos e as 500 árvores com 1 ano. Os valores das freqüências significam que existe 1 idade que tem 250 árvores e 1 idade com 500 árvores.

O número de idades para cada octavo é dado pela tabela abaixo. O segundo octavo, com 18,5 idades, é o octavo modal.

Quadro 6.3 - Número de árvores por octavo

Octavo	Número de árvores por idade	R	R ²	S(R) Observado
1	0-1	-1	1	16
2	1-2	0	0	18.5
3	2-4	+1	1	11
4	4-8	+2	4	12.5
5	8-16	+3	9	0
6	16-32	+4	16	0.5
7	32-64	+5	25	1.5

* Toda árvore adulta será chamada de palmeira a partir daqui, como forma de facilitar a leitura.

8	64-128	+6	36	1
9	128-256	+7	49	1
10	256-512	+8	64	1

As idades que caem nos limites dos octavos têm que ser divididas entre os octavos correspondentes. Então:

- octavo 1 $(0 - 1) = 32/2 = 16$ idades

- octavo 2 $(1 - 2) = 16 + 5/2 = 18,5$

- octavo 3 $(2 - 4) = 2,5 + 7 + 1,5 = 11$, e assim por diante.

Estimação dos Parâmetros

As estimativas dos parâmetros a e S_0 resultaram nos seguintes valores:

$$a = 0,214 \text{ e } S_0 = 18,5, \text{ onde}$$

- a é uma medida de dispersão de distribuição das árvores na floresta que varia normalmente entre 0,13 e 0,3. Quanto maior for o valor de a , menor será a dispersão dos dados em torno do valor de S_0 .
- S_0 é a frequência das idades observada no octavo modal.

Estimados os valores de a e S_0 , pode-se determinar os valores esperados de $S(R)$ pela substituição dos valores de R na equação de regressão estimada.

$$S(R) = 18,5e^{(-0,214R^2)}$$

(6.

1)

Os valores observados e estimados encontram-se no quadro abaixo.

Quadro 6.4 - Número de árvores esperadas por octavo

Octavo	Número de árvores por idade	$S(R)$ Observado	$S(R)$ Esperado	$S(R)$ Esperado
1	0-1	16	17,7	17
2	1-2	18,5	18,5	18
3	2-4	11	17,7	17
4	4-8	12,5	15,4	15
5	8-16	0	12,3	12
6	16-32	0,5	8,9	9
7	32-64	1,5	5,9	6
8	64-128	1	3,6	4
9	128-256	1	2	2
10	256-512	1	1	1

Teste de aderência

Usando o programa BASIC LOGNORM.BAS, sob as hipóteses,

H_0 : a distribuição é log-normal

H_1 : a distribuição não é log-normal,

para estimar os parâmetros e fazer o teste de bondade de ajustamento qui-quadrado obteve-se os seguintes resultados:

$$a = 0,214 \text{ e } S_0 = 18,5$$

De acordo com os resultados tem-se que χ^2 calculado é maior que χ^2 tabelado a 1%. Este resultado leva a rejeição de H_0 com $p = 0,0006$ e conclui-se que a floresta não está em equilíbrio. A partir desse resultado obtido foi feita uma distribuição ideal das idades das árvores para a partir dessa distribuição fazer os estudos de evolução de florestas.

6.4 Distribuição Ideal

A distribuição ideal foi construída com base nos valores esperados de $S(R)$.

Tabela 6.6 - Distribuição ideal das árvores por idade

Dist. de 0 a 5 anos					
Idade	Número de árvores	Idade	Número de árvores	Idade	Número de árvores
1 ano	500	31 anos	10	67 anos	2
2 anos	250	32 anos	10	68 anos	1
3 anos	130	33 anos	10	69 anos	1
4 anos	65	34 anos	10	70 anos	1
5 anos	65	35 anos	5	71 anos	1
TOTAL	1.010	36 anos	5	72 anos	1
Dist. de 6 a 9 anos		37 anos	5	73 anos	1
6 anos	65	38 anos	5	74 anos	1
7 anos	65	39 anos	5	75 anos	1
8 anos	35	40 anos	5	76 anos	1
9 anos	35	41 anos	5	77 anos	1
TOTAL	200	42 anos	5	78 anos	1
Dist. de 10 aos 19 anos		43 anos	5	79 anos	1
10 anos	35	44 anos	5	80 anos	1
11 anos	35	45 anos	5	81 anos	1
12 anos	35	46 anos	5	82 anos	1
13 anos	35	47 anos	5	83 anos	1
14 anos	20	48 anos	5	84 anos	1
15 anos	20	49 anos	5	85 anos	1
16 anos	20	50 anos	3	86 anos	1
17 anos	20	51 anos	3	87 anos	1
18 anos	20	52 anos	3	88 anos	1
TOTAL	260	53 anos	3	89 anos	1
Dist. Acima dos 20 anos		54 anos	3	90 anos	1
19 anos	20	55 anos	3	91 anos	1
20 anos	20	56 anos	3	92 anos	1
21 anos	20	57 anos	3	93 anos	1
22 anos	20	58 anos	3	94 anos	1
23 anos	10	59 anos	3	95 anos	1
24 anos	10	60 anos	3	96 anos	1
25 anos	10	61 anos	3	97 anos	1
26 anos	10	62 anos	3	98 anos	1
27 anos	10	63 anos	3	99 anos	1
28 anos	10	64 anos	3	100 anos	1
29 anos	10	65 anos	3	101 anos	1

30 anos	10
---------	----

66 anos	2
---------	---

TOTAL	341
TOTAL GERAL	1.811

6.5 Aplicação do Modelo Estocástico no Estudo de Previsão de Abundância (Devastação)

Para avaliação da tendência de desenvolvimento da floresta através das cadeias de Markov é necessário definir os estados e estimar os parâmetros do processo: (i) a distribuição inicial dos estados e (ii) a matriz de transição de probabilidades.

Descrição dos Estados

Os quatros possíveis estados da floresta definidos, *equilíbrio* (0), *remediável* (1), *deteriorada* (2) e *devastada* (3), podem ser descritos da seguinte forma:

Equilíbrio:

A floresta está em *equilíbrio* quando ela proporciona a maior produção possível. A mata virgem pode ter até 4.000 árvores em um hectare, e é portanto mata fechada. Nela existe a competição entre as palmeiras, e entre elas e o mato, e falta luz para o pleno crescimento do coco. A mata virgem não é considerada como a ideal do ponto de vista da produção. Mesmo porque ela impossibilita o desenvolvimento da pecuária associada.

Uma mata é considerada em *equilíbrio* se a quantidade de árvores por idade se distribui segundo uma curva log-normal, como descrita anteriormente.

Observa-se na floresta em *equilíbrio* que o número de pindoveiras é de 1.010, de palmiteiras 200, de palmeiras adultas, entre 10 e 20 anos, 260 e de palmeiras com mais de 20 anos 340, fazendo um total de 600 palmeiras. E possibilitando o desenvolvimento de 500 pindoveiras no primeiro ano.

A relação entre o total de palmeiras e o total de árvores é um índice importante para a produtividade. Esse índice deve estar em torno de 33%. Na medida em que a floresta vai se deteriorando esse índice vai diminuindo.

Remediável:

A floresta está em estado *remediável* se ela ainda tiver uma boa quantidade de árvores adultas em relação ao total, algum valor entre 22 e 29%. Esta relação permite que ela se recomponha, na medida em que propicia ainda o crescimento de 500 pindoveiras no primeiro ano.

Apesar do número de pindoveiras de 1 ano ser o mesmo que o da floresta em *equilíbrio*, ocorre um corte razoável de palmeiras. Ela fica com praticamente a metade das palmeiras da floresta em *equilíbrio*, o que prejudica o desenvolvimento das árvores adultas e como consequência a produção de coco diminui, como a possibilidade de brotar novas pindoveiras.

Deteriorada:

A floresta está *deteriorada* se houver uma razoável quantidade de árvores adultas em relação ao total, algum valor entre 12 e 22%. Com esta relação a recuperação da floresta fica mais comprometida. A reposição de pequenas pindoveiras nem sempre atinge as 500 necessárias para o pleno desenvolvimento da mata.

Há ainda um grande corte de palmeiras que prejudica o crescimento de árvores adultas. Além disso, há corte de razoável número de árvores adultas e muitas delas produtivas. Diminuindo bastante a produção do coco e prejudicando a rebrota.

Devastada:

A floresta é considerada *devastada* se a relação entre o número de árvores adultas e o total estiver abaixo de 12%, chegando até 0% quando não se tem mais palmeiras. Nesse caso o número de pindoveiras fica bastante reduzido impossibilitando a recomposição da floresta, ainda mais porque o número de palmeiras fica bem reduzido e

a possibilidade de corte para alimentação tende a devastar as palmeiras. O número de árvores adultas é mínimo e o desmatamento geral da área é uma possibilidade bem concreta.

Distribuição Inicial dos Estados

Para a distribuição inicial dos estados, partiu-se da hipótese que a mata era virgem com os riscos naturais de deterioração provocada pela ação do fogo, principal acidente que ocorre na selva amazônica.

Quando esse tipo de acidente ocorre, equipes de socorro são formadas e dependendo da velocidade da ação dessas equipes a floresta pode atingir cada um dos estados de deterioração acima descritos.

A chance dela ser destruída é irrisória, portanto $p_{03} = 0$. Se a ação é rápida somente as árvores menores são destruídas, as pindoveiras de 1 e 2 anos. Nesse caso a floresta é considerada estar no estado *remediável*. Na distribuição em *equilíbrio*, próxima da distribuição real de uma mata virgem, o número de pindoveiras de 1 e 2 anos é de aproximadamente 750 árvores.

A percentagem de pindoveiras de 1 e 2 anos na mata de 1.811 árvores é:

$$\% (\text{pindoveira 1 e 2 anos}) = 750/1.811$$

Para determinar a chance dessas árvores serem queimadas, é necessário multiplicar-se essa percentagem pela probabilidade de haver uma queimada, " α ".

Essa probabilidade pode ser aproximada pela taxa média de desflorestamento bruto.

Essa taxa é determinada por estudos do IBAMA.

Para o ano de 1997, última taxa calculada pelo IBAMA, o valor dessa taxa foi de:

$$\mathbf{a} = \frac{13.227 \text{ km}^2}{5.000.000 \text{ km}^2} = 0,00264, \quad (6.$$

2)

onde 13.227 km²/ano representa a área de queimadas em toda a floresta amazônica no ano de 1997 e 5 milhões de km² a área total da floresta amazônica (IBAMA,1997).

Desta forma, a probabilidade das pindoveiras de 1 e 2 anos morrerem por acidente e assim a floresta estar no estado *remediável* é de:

$$q_1(0) = P[X(0) = 1] = \mathbf{a} \% (\text{pindoveiras 1 e 2}) \quad (6.$$

3)

$$q_1(0) = 0,00264 \cdot \frac{750}{1.811} = 0,0011$$

Para determinar a probabilidade inicial do estado 2: *deteriorada*, foram consideradas o conjunto de todas as pindoveiras, em um total de 1.010 em uma floresta em *equilíbrio*. Nesse caso deve-se considerar ainda que o tempo de queimada de todas as pindoveiras é maior que o tempo de queimada das pindoveiras de 1 e 2 anos. A percentagem em questão deve então ser multiplicada por um fator *k*, referente a quantas vezes mais tempo se gasta para queimar todas as pindoveiras em relação à queimada das pindoveiras menores.

Os tempos acima definidos são de 540 minutos para a queima de todas as pindoveiras e de 120 minutos para as pequenas.

Desta forma:

$$k = \frac{120}{540} = 0,22 \quad (6.$$

4)

E a probabilidade de todas as pindoveiras morrerem por acidente e a floresta estar então no estado *deteriorada* é de:

$$q_2(0) = P[X(0) = 2] = \mathbf{a.}\% \text{ (todas as pindoveiras).}k \quad (6.$$

5)

$$q_2(0) = P[X(0) = 2] = 0,00264 \cdot \frac{1010}{1811} \cdot 0,22 = 0,0003$$

Uma outra forma de considerar o fator tempo seria multiplicar $q_1(0)$ por 4,5, uma perspectiva um pouco mais pessimista, e que resultaria $q_1(0) = 0,0055$ e $q_2(0) = 0,0015$. No anexo 1 faz-se uma análise de sensibilidade que mostra que as duas considerações levam a resultados muito semelhantes na análise de previsão.

A probabilidade inicial do *equilíbrio*, foi determinada por diferença, utilizando-se o fato que a soma dos $q_i(0)$ é igual à unidade, então:

$$q_0(0) = 1 - [q_1(0) + q_2(0) + q_3(0)] \quad (6.$$

6)

$$q_0(0) = 1 - [0,0011 + 0,0003 + 0] = 0,9986$$

O vetor probabilidade inicial resulta em:

$$q_0 = [0,9986 \quad 0,0011 \quad 0,0003 \quad 0]$$

Matriz de Transição de Probabilidades

O ciclo da lavoura temporária do babaçu ocorre de sete em sete anos. Depois de roçar a mata e queimar as pindoveiras, que no caso de culturas associadas competem com o pasto, a produção de pindoveiras se reduz drasticamente, recuperando-se um pouco no ano seguinte e voltando à produção normal depois de 4 ou 5 anos. Foi considerado nesse estudo o caso de 5 anos, mais comum na prática.

Nesse sétimo ano, é comum também o desbaste de palmeiras adultas, principalmente do capoteiro, o babaçu não produtivo, muito embora sejam também cortadas palmeiras produtivas. É neste período que ocorre também o maior corte de palmeiras, embora elas sejam cortadas durante todo os anos do ciclo.

É possível então compreender a evolução do assédio à floresta através de sete matrizes de transição. O processo portanto, é não homogêneo.

As estimativas das probabilidades de transição nos sete estágios levam em consideração o ciclo usual do cultivo do babaçu e os índices que mostram a relação entre palmeiras adultas e o total de árvores, conforme descrito na apresentação dos estados. Se o índice estiver entre 29 e 33% a floresta será considerada em *equilíbrio*, entre 22 e 29% *remediável*, entre 12 e 22% *deteriorada* e entre 0 e 12% *devastada*. Os intervalos serão considerados fechados à esquerda. Por exemplo, 29% é ainda considerado em *equilíbrio*.

Cada um desses intervalos possuem portanto, 4, 7, 10 e 12 pontos, uma vez que pela definição dos estados os graus de deterioração da floresta são mais bem definidos para os menores graus de deterioração. Vale dizer, quando se compara o

equilíbrio com *devastada*, as características do *equilíbrio* são bem melhor definidas que as da *devastação*. De outra forma, a floresta tem um número maior de graus de *devastação* do que graus de *equilíbrio*.

A figura 6.1 ilustra o ciclo temporário da floresta de babaçu em correspondência com as matrizes de transição. A definição de probabilidade de transição adotada para o caso é:

$$p_{ij}(n) = P[X(n) = j / X(n-1) = i]$$

(6.

7)

Segundo sub-estado:

$$0_2 = [33-4/7; 33-2.4/7] = [32,43; 31,86]$$

A amplitude desse intervalo também é de 0,57, e a distância de seu limite inferior até a origem é de $2 \times 0,57 = 1,14$. Esse ponto, 31,86, é uma estimativa do índice para a floresta no segundo ano do ciclo, $i_0(2) = 31,86$.

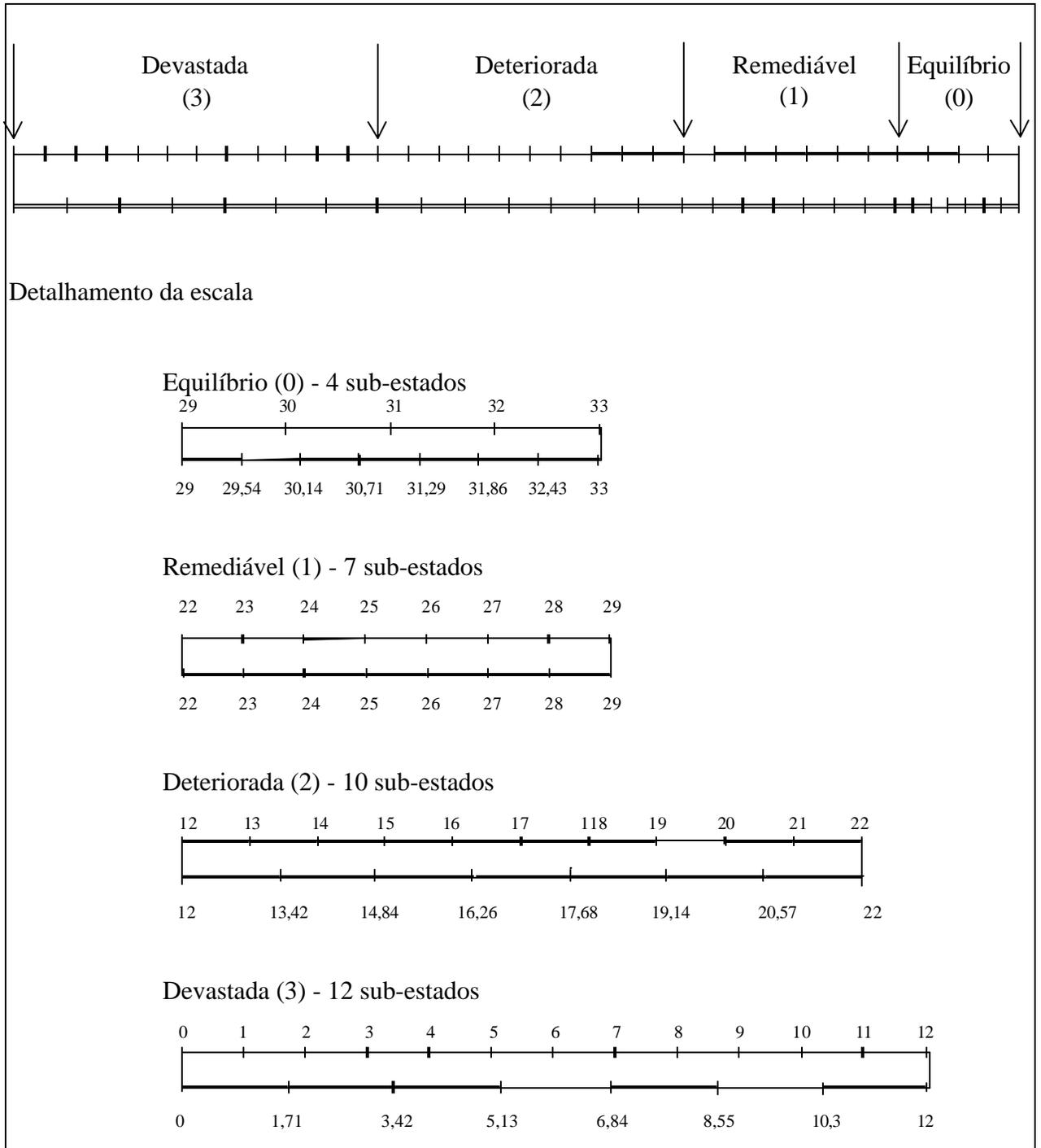
E dessa forma foi possível calcular os índices em que a floresta se encontra quando está no estado de *equilíbrio*, através da expressão $i_0(n) = 33 - d'_{00}(n)$. O quadro abaixo é um resumo do estudo realizado acima para todos os anos considerados.

Quadro 6.5 - Determinação dos índices nos sub-estados de equilíbrio

Ano/Estágio (n)	Distância da origem do estado $d'_{00}(n)$	Índice $i_0(n)$
1	0,57	32,43
2	1,14	31,86
3	1,71	31,29
4	2,29	30,71
5	2,86	30,14
6	3,43	29,57
7	4,00	29,00

O mesmo procedimento foi adotado para os outros três estados; *remediável* com 7 pontos de intervalo (22 a 29%), *deteriorada* com 10 pontos de intervalo (12 a 22%) e *devastada* com 12 pontos de intervalo (0 a 12%). O procedimento geral, foi então, dividir cada um desses intervalos por 7, resultando então em uma escala não regular, em cada um dos estados, com um total de 28 sub-estados conforme figura abaixo.

Figura 6.2 - Escala dos índices da floresta nos sub-estados



Para a floresta *remediável* (1), com índices entre 22 e 29% haverá uma coincidência entre as duas escalas: elas têm a mesma unidade. O resultado do estudo de distâncias é apresentado no quadro abaixo; onde $i_1(n) = 29 - d'_{11}(n)$.

Quadro 6.6 - Índices para a floresta no estado remediável $d'_{11}(n)$

Ano/Estágio (n)	Distância da origem do estado $d'_{11}(n)$	Índice $i_1(n)$
1	1,00	28,00
2	2,00	27,00
3	3,00	26,00
4	4,00	25,00
5	5,00	24,00
6	6,00	23,00
7	7,00	22,00

Observe-se que a origem para o cálculo dos novos índices agora é o índice 29, que corresponde ao limite superior da origem no estado *remediável*.

Para a floresta *deteriorada* (2), os índices variam de 12 até 22%. Com variação de $10/7 = 1,43$ entre um sub-estado e outro. O resultado das distâncias à origem do estado (22%) estão no quadro abaixo; onde $i_2(n) = 22 - d'_{22}(n)$.

Quadro 6.7 - Índices para a floresta no estado deteriorada - $d'_{22}(n)$

Ano/Estágio (n)	Distância da origem do estado $d'_{22}(n)$	Índice $i_2(n)$
1	1,43	20,57
2	2,86	19,14
3	4,29	17,71
4	5,71	16,29
5	7,14	14,86

6	8,57	13,43
7	10,00	12,00

O mesmo cálculo foi realizado para o último estado, *devastada* (3), onde os índices variam de 0 a 12%, e cuja unidade é 12/7. Os resultados estão na tabela abaixo; onde $i_3(n) = 12 - d'_{33}(n)$.

Quadro 6.8 - Índices para a floresta no estado devastada - $d'_{33}(n)$

Ano/Estágio (n)	Distância da origem do estado $d'_{33}(n)$	Índice $i_3(n)$
1	1,71	10,29
2	3,43	8,57
3	5,14	6,86
4	6,86	5,14
5	8,57	3,43
6	10,29	1,71
7	12,00	0,00

O quadro abaixo apresenta todos os índices referenciados aos seus estado e ano em que eles acontecem:

Quadro 6.9 - Resumo dos valores dos índices $i_k(n)$, $k=0, \dots, 3$

Tempo (n)	(0)	(1)	(2)	(3)
1	32,43	28,00	20,57	10,29
2	31,86	27,00	19,14	8,57
3	31,29	26,00	17,71	6,86
4	30,71	25,00	16,29	5,14
5	30,14	24,00	14,86	3,43
6	29,57	23,00	13,43	1,71
7	29,00	22,00	12,00	0,00

A determinação das estimativas das probabilidades de transição foram feitas tomando-se por base essa nova escala. A transição entre os sub-estados corresponde à piora do estado geral da floresta de um ano para o outro. A distância a ser percorrida entre um sub-estado e outro mostra a força da evolução do estado geral da mata.

Em um mesmo estado, essas distâncias representam a evolução da mata de um ano para o outro.

As distâncias que serão denominadas de *distâncias de transição* $d_{ij}(n)$, de agora em diante, no caso da floresta no estado de *equilíbrio* coincidem com $d'_{00}(n)$. Ou seja, $d_{00}(n) = d'_{00}(n)$. Essa coincidência não ocorre para os outros estados como é visto no decorrer do estudo. A distância de transição mostra o quanto a floresta se deteriora quando passa de um sub-estado para outro em um dado tempo.

Começando então, pelo estado de *equilíbrio*.

Inicialmente foram tratadas da distância de transição dentro do próprio estado. A distância de transição do estágio 0 da floresta para o estágio 1 (primeiro ano) será $d_{00}(1) = 33 - 32,43 = 0,57$. Equivale dizer que $d_{00}(1) = 33 - i_0(1)$. A transição do estágio 0 para o estágio 2, ou seja para o segundo ano será $d_{00}(2) = 33 - 31,86 = 1,14$. Então $d_{00}(2) = 33 - i_0(2)$. A lei de formação geral para o cálculo das distâncias de transição de estado no *equilíbrio* é $d_{00}(n) = 33 - i_0(n)$.

O cálculo das distâncias de transição do estado de *equilíbrio* para os demais estados foi determinado pela expressão geral $d_{0j}(n) = 33 - i_j(n)$. Por exemplo, a distância de transição do estado de *equilíbrio* para o estado *deteriorado* no sexto ano é $d_{02}(6) = 33 - 13,43 = 19,57$. (Em negrito no quadro abaixo).

O quadro abaixo apresenta as distâncias de transição do estado "0" para os outros estados. O ponto de saída é o valor da floresta em *equilíbrio* 33% e o ponto de chegada é cada um dos índices dos sub-estados correspondentes aos anos.

Quadro 6.10 - Distâncias de transição saindo do estado de equilíbrio (0)

n	k = 0	k = 1	k = 2	k = 3
1	0,57	5,00	12,43	22,71
2	1,14	6,00	13,86	24,43
3	1,71	7,00	15,29	26,14
4	2,28	8,00	16,71	27,86
5	2,86	9,00	18,14	29,57
6	3,43	10,00	19,57	31,29
7	4	11,00	21,00	33,00

As distâncias de transição dentro do estado 2 e dentro do estado 3, foram calculadas pelas expressões $d_{11}(n) = 29 - i_1(n)$ e $d_{22}(n) = 22 - i_2(n)$.

Para as distâncias de transição dos estados *remediável* para *deteriorada* e *devastada* e do estado *deteriorada* para *devastada* foram adotados procedimentos idênticos ao realizado para o cálculo das distâncias de transição do estado de *equilíbrio* para os demais. As expressões gerais para os cálculos dessas distâncias são: *remediável* para *deteriorada*: $d_{12}(n) = 29 - i_2(n)$, *remediável* para *devastada* $d_{13}(n) = 29 - i_3(n)$ e *deteriorada* para *devastada* $d_{23}(n) = 22 - i_3(n)$. Os resultados obtidos estão nos dois quadros que seguem:

Quadro 6.11 - Distâncias de transição saindo do estado remediável (1)

n	k = 0	k = 1	k = 2	k = 3
1	0	1	8,43	18,71
2	0	2	9,86	20,43

3	0	3	11,29	22,14
4	0	4	12,71	23,86
5	0	5	14,14	25,57
6	0	6	15,57	27,29
7	0	7	17,00	29,00

Quadro 6.12 - Distâncias de transição saindo do estado deteriorado (2)

n	k = 0	k = 1	k = 2	k = 3
1	0	0	1,43	11,71
2	0	0	2,86	13,43
3	0	0	4,29	15,14
4	0	0	5,71	16,86
5	0	0	7,14	18,57
6	0	0	8,57	20,29
7	0	0	10,00	22,00

A suposição de que a floresta não tem capacidade de voltar a um estado superior de *equilíbrio* se mantida a atual forma de exploração, implica que não é necessário o cálculo do que seriam as *distâncias negativas*, que estão representadas por zeros nos dois últimos quadros.

Observe-se que nas tabelas os valores das casas decimais são os mesmos para cada estado e ano, somente o valor inteiro muda. Esse fato ocorre porque o que se está fazendo é um simples deslocamento da origem para valores mais à esquerda.

O termo origem está sendo considerado aqui no ponto mais à direita, sem perda de significado. Mesmo tendo-se em mente que a origem de uma escala matemática é o zero e que ela cresce da esquerda para a direita, o que se está considerando como origem é a origem do estado da floresta.

Como foi indicado anteriormente, essas distâncias de transição são usadas para a construção das matrizes de transição de probabilidades. Começando-se pela seguinte constatação. Quanto mais perto for um ponto de outro na escala, maior é a probabilidade da floresta evoluir nesse sentido. De outra forma, se a floresta está em *equilíbrio* com o índice de 33%, a chance que ela alcance o ponto 32,43 é maior que a chance que ela alcance o ponto 31,86. Com isso pôde-se estabelecer que as probabilidades de transição são razões inversas das respectivas distâncias de transição, padronizadas para que se tenha uma função densidade de probabilidades em cada linha das matrizes, ou seja, que cada linha das matrizes de transição somem 1.

Foram calculadas primeiramente o que se chamará de *razões de transição*. Que são simplesmente os inversos das distâncias de transição. De tal modo que

$$r_{ij}(n) = 1/d_{ij}(n) \quad (6.)$$

8)

E a padronização foi realizada para o cálculo das probabilidades de transição da seguinte forma:

$$p_{ij}(n) = r_{ij}(n) / \sum_i r_{ij}(n) \quad (6.)$$

9)

Abaixo estão apresentados os cálculos das probabilidades de transição do estado *equilíbrio* para os demais estados no tempo inicial.

$$r_{00}(1) = \frac{1}{0,57} = 1,75$$

$$p_{00}(1) = \frac{1,75}{2,07} = 0,84$$

$$r_{01}(1) = \frac{1}{5} = 0,20$$

$$p_{01}(1) = \frac{0,2}{2,07} = 0,10$$

$$r_{02}(1) = \frac{1}{12,42} = 0,08$$

$$p_{02}(1) = \frac{0,08}{2,07} = 0,04$$

$$r_{03}(1) = \frac{1}{22,71} = 0,04$$

$$p_{03}(1) = \frac{0,04}{2,07} = 0,02$$

onde,

$$\sum_i r_{ij} = 2,07 \text{ e } \sum_i p_{ij} = 1,00$$

As probabilidades de transição para os diferentes estados, calculadas acima, correspondem à primeira linha da primeira matriz de transição. A memória de cálculo das demais probabilidades de transição das sete matrizes estão no Anexo 2.

É mister observar que como não se admite que a floresta volte a um estado de transição "menor", ou seja, que ela possa se reorganizar se mantida a atual política de exploração da mata, o estado de devastação é um estado absorvente. E, portanto, não faz sentido aqui a realização do procedimento de cálculo das distâncias padronizadas internas ao estado, como a que foi realizada para os outros estados.

A seguir são apresentadas as sete matrizes de transição do processo.

M(1)					M(2)				
	0	1	2	3		0	1	2	3
0	0,84	0,10	0,04	0,02	0	0,76	0,14	0,06	0,04
1	0	0,85	0,10	0,05	1	0	0,77	0,16	0,08
2	0	0	0,89	0,11	2	0	0	0,82	0,18
3	0	0	0	1	3	0	0	0	1

M(3)					M(4)				
	0	1	2	3		0	1	2	3

$$\begin{array}{l}
 0 \begin{bmatrix} 0,70 & 0,17 & 0,08 & 0,05 \\ 1 & 0 & 0,71 & 0,19 & 0,10 \\ 2 & 0 & 0 & 0,78 & 0,22 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 0 \begin{bmatrix} 0,66 & 0,19 & 0,09 & 0,05 \\ 1 & 0 & 0,67 & 0,21 & 0,11 \\ 2 & 0 & 0 & 0,75 & 0,25 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{cc}
 \begin{array}{c} \text{M(5)} \\ 0 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \\ 0 \begin{bmatrix} 0,64 & 0,20 & 0,10 & 0,06 \\ 1 & 0 & 0,64 & 0,23 & 0,13 \\ 2 & 0 & 0 & 0,72 & 0,28 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} &
 \begin{array}{c} \text{M(6)} \\ 0 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \\ 0 \begin{bmatrix} 0,61 & 0,21 & 0,11 & 0,07 \\ 1 & 0 & 0,62 & 0,24 & 0,14 \\ 2 & 0 & 0 & 0,70 & 0,30 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{M(7)} \\ 0 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \\ 0 \begin{bmatrix} 0,60 & 0,22 & 0,11 & 0,07 \\ 1 & 0 & 0,60 & 0,25 & 0,15 \\ 2 & 0 & 0 & 0,69 & 0,31 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

Algumas observações sobre as matrizes de transição são pertinentes neste ponto. Observando a matriz para o primeiro estágio verificou-se que os valores da diagonal são valores elevados, o que significa dizer que as probabilidades de permanência no mesmo estado ainda são grandes. Enquanto os valores fora da diagonal são pequenos, significando pouca chance de mudança de estado. Verificou-se também, que em cada linha as probabilidades vão decrescendo mostrando que é mais provável que a floresta atinja pontos mais próximos na escala. Além disso, pôde-se observar que os valores das probabilidades na diagonal crescem dos estados de maior organização da floresta para os de maior deterioração. Este fato decorre de que a fase de *equilíbrio* é a de menor amplitude, seguida das outras fases, fato que já havia sido comentado na

construção da escala. Este comportamento já era esperado, o que demonstra coerência na estimação das probabilidades de transição.

Observando-se as matrizes em todos os estágios, verificou-se que os valores correspondentes das diagonais decrescem ano a ano. Enquanto os valores correspondentes fora das diagonais crescem. O significado desse comportamento é que com o passar dos anos a floresta vai se desgastando dentro do seu próprio estado, aproximando-se assim do estado de grau mais alto de deterioração. Por essa razão, as probabilidades estimadas de mudança de estados vão crescendo. Ainda assim, ao completar um ciclo, sete anos, as probabilidades de permanência no mesmo estado ainda são razoáveis.

Surgiu no entanto, uma questão com relação a matriz que corresponde ao período no qual a limpeza, o roçado, o desbaste de árvores adultas e a queimada são realizados. Esse procedimento faz com que o risco de deterioração da floresta aumente, sendo que em algumas vezes a devastação da mata é provocada por essa prática. Assim, as estimativas de probabilidades devem ser ponderadas com um fator de risco. Este fato ocorre no primeiro ano de cada ciclo, que é representado pela matriz $M(1)$. Utilizou-se então, novamente a *taxa geral de desflorestamento*, α , com os dados do IBAMA, para corrigir essas probabilidades.

O procedimento adotado foi o de multiplicar os valores das probabilidades da diagonal, que significam permanecer no mesmo estado, por essa taxa. Porque no momento do final do ciclo, a intervenção humana é a mais forte no sentido de perturbação do estado da floresta. Assim, os novos valores da diagonal são: $p_{00}(1) = 0,00264 \times 0,84 = 0,0002$, $p_{11}(1) = 0,00264 \times 0,85 = 0,002$ e $p_{22}(1) = 0,00264 \times 0,89 = 0,0002$. Para cada linha as probabilidades restantes receberam proporcionalmente aos seus valores a diferença restante. Para a primeira linha da matriz, tomando $p_{01}(1)$ como exemplo, o procedimento foi o que segue: $p_{01}(1) = (0,10/(1-0,84)) \times 0,998 = 0,624$. Os resultados obtidos estão apresentados na matriz abaixo:

$$\begin{array}{c}
 M(1) \\
 \begin{array}{cccc}
 & 0 & 1 & 2 & 3 \\
 0 & \left[\begin{array}{cccc}
 0,002 & 0,624 & 0,250 & 0,124 \\
 1 & 0 & 0,002 & 0,665 & 0,333 \\
 2 & 0 & 0 & 0,002 & 0,998 \\
 3 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \end{array}$$

Como se observa, os resultados encontrados refletem melhor o risco que a floresta sofre com a ação do homem, segundo a prática atual da lavoura. O fato das probabilidades na diagonal serem as mesmas não tem muito problema aqui, uma vez que elas são muito pequenas. Em cada linha, como era previsto, as probabilidades vão decrescendo na medida em que a situação da floresta se afasta do estado considerado na coluna vertical direita da matriz, que representam os estados de saída.

A partir das matrizes de transição de probabilidades uma série de questões podem ser respondidas em termos de previsão. Multiplicando-se a matriz de transição do primeiro ano $M(1)$ pela do segundo ano $M(2)$ tem-se as probabilidades de transição dos estados no início do processo para dois anos depois. O resultado desse produto é apresentado abaixo:

Ano Dois:

$$\begin{bmatrix}
 0,0015 & 0,4808 & 0,3050 & 0,2190 \\
 0 & 0,0015 & 0,5456 & 0,4529 \\
 0 & 0 & 0,0016 & 0,9984 \\
 0 & 0 & 0 & 1,0000
 \end{bmatrix}$$

Essa matriz apresenta as probabilidades de transição em dois anos. Convém observar que ela não segue a tendência até a matriz $M(7)$, onde as probabilidades de transição na diagonal são maiores do que as apresentadas aqui. De fato, ela não precisaria seguir aquela tendência uma vez que determina probabilidades de dois anos, e aquela de um ano só.

Uma matriz de interesse é a matriz do produto dos sete primeiros anos, quando se completa um ciclo. Ela fornece as probabilidades da floresta evoluir de um estado hoje para um dos estados no final do ciclo.

Ano Sete:

$$\begin{bmatrix} 0,0002 & 0,0547 & 0,1835 & 0,7645 \\ 0 & 0,0002 & 0,1114 & 0,8884 \\ 0 & 0 & 0,0003 & 0,9997 \\ 0 & 0 & 0 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

Pode-se observar pelos resultados obtidos como a evolução da floresta para estados mais deteriorados pode acontecer rapidamente. A probabilidade da floresta continuar em *equilíbrio* depois de sete anos cai de 84% para quase 0%. Enquanto a probabilidade dela ir para um estado de devastação atinge 76,45%, quando sai do *equilíbrio* ou 88,84% se ainda estava em estado *remediável*. Se a saída no início do processo era *deteriorada*, a floresta entra no estado de *devastação* com 99,97%, ou seja é praticamente certo que ela entrará no estado *devastada* se se encontrava *deteriorada* no início do ciclo.

Para se considerar a distribuição incondicional das probabilidades de transição no sétimo ano, toma-se o vetor inicial de probabilidades e multiplica-se pela matriz acima obtida, o resultado obtido é o vetor abaixo:

$$[0,0002 \quad 0,0546 \quad 0,1834 \quad 0,7647]$$

Os resultados revelam que a distribuição incondicional das probabilidades de transição é muito próxima da distribuição de probabilidades da primeira linha da matriz imediatamente acima. Esse resultado sugere que independentemente da floresta

ser mata virgem ou estar em *equilíbrio*, a ação humana tem capacidade igual de destruição da floresta.

Para se observar o que a atual prática de queimada resulta para a floresta, basta comparar o resultado da matriz aos sete anos com a matriz aos seis anos.

Ano seis:

$$\begin{bmatrix} 0,0015 & 0,4808 & 0,3050 & 0,2190 \\ 0 & 0,0150 & 0,5456 & 0,4529 \\ 0 & 0 & 0,0160 & 0,9984 \\ 0 & 0 & 0 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

A comparação das matrizes Ano seis e Ano sete revela que o desbaste e queima na floresta é uma prática que atinge fortemente a floresta. E que embora seja proibido por lei ele continua dizimando boa parte da mata.

Tomando-se 14 anos para avaliação, que perfazem dois ciclos observa-se que o risco da floresta entrar no estado de devastação passa a ser bastante grande. Se ela estiver em algum estado diferente do *equilíbrio*, a probabilidade que ela vá para o estado *devastada* é 100%. E se ela estivesse em *equilíbrio* no início do processo, a chance dela não entrar no estado *devastada* é de $1 - 0,9966 = 0,0034$, ou seja menos de 0,5%.

Ano Catorze:

$$\begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0000 & 0,0034 & 0,9966 \\ 0 & 0,0000 & 0,0000 & 1,0000 \\ 0 & 0 & 0,0000 & 1,0000 \\ 0 & 0 & 0 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

Tempo para a primeira passagem

A distribuição da variável aleatória T , o tempo do início do processo até que a floresta entre no estado *devastada*, da qual não saíra mais, responde à questão do tempo esperado de sobrevivência produtiva da mata.

Uma vez que o processo não pode deixar o estado 3, a probabilidade que T seja menor ou igual a algum valor de t é a probabilidade que o processo entre no estado 3 naquele tempo.

Pode-se calcular as funções de distribuição acumulada dos tempos da seguinte forma:

$$F_T(t) = P[T \leq t] = q_3(t) \quad (6.1)$$

0)

Então:

$$F_T(1) = q_3(1)$$

$$F_T(2) = q_3(2)$$

.....

$$F_T(n) = q_3(n)$$

Onde,

$$F_T(n) = q(0) \cdot \Pi^{(n)}(0)$$

(6.1)

1)

Desta forma a função acumulada de probabilidades é a que segue:

Tabela 6.7 - Função distribuição acumulada dos tempos

FT1	FT2	FT3	FT4	FT5	FT6	FT7	FT8	FT9	FT1	FT1	FT1	FT1	FT1	FT1
									0	1	2	3	4	5
0,1245	0,2193	0,3347	0,4546	0,5736	0,6788	0,7647	0,9659	0,9725	0,9791	0,9851	0,9900	0,9938	0,9966	1,0000

Considerando-se uma casa decimal, 12 anos é o tempo em que a floresta entra definitivamente no estado de devastação. De qualquer forma, aos 15 anos ela entra com probabilidade 1 no estado de devastação.

É possível, mas de menor interesse no exame do problema, o cálculo da função densidade de probabilidades através das expressões:

$$p_T(i) = FT(i) - FT(i - 1) \quad (6.1)$$

2)

Matrizes de Transição com "m" estágios

As probabilidades de transição com "m" estágios podem ser realizadas pela multiplicação adequada das matrizes. Por exemplo, a matriz do ano 3 é resultado do produto da matriz dois anos pela matriz correspondente do tempo anterior.

Ano Três:

$$\begin{bmatrix} 0,0011 & 0,3436 & 0,3292 & 0,3342 \\ 0 & 0,0011 & 0,4259 & 0,5731 \\ 0 & 0 & 0,0013 & 0,9987 \\ 0 & 0 & 0 & 1,0000 \end{bmatrix}$$

Outras probabilidades de transição podem ser investigadas.

6.6 Desenvolvimento de Política Ótima

Para reconstrução da mata, utilizou-se duas distribuições por idade, uma real e uma ideal. Partindo-se da distribuição real, procurou-se os pontos críticos de desenvolvimento da mata.

O estudo será realizado para cada um dos diferentes grupos de idade.

Pindoveiras

As distribuições das pindoveiras são as que seguem:

Quadro 6.13 - Distribuição das pindoveiras por idade

Idade	Ideal	Real
1	500	500
2	250	250
3	130	125
4	65	63
5	65	32

Para se atingir a distribuição ideal, tem-se que controlar as causas de mortalidade das pindoveiras de idade dois para três anos, de três para quatro anos e da idade quatro para idade cinco.

Em dois anos é possível resolver o problema. Das 250 de dois anos, 130 devem completar três. Das 125 com três anos deve-se conservar 65 para atingirem quatro anos e essas 65 devem ainda serem conservadas para alcançarem 5 anos de idade no ano seguinte. A partir daí essa produção deve ser mantida.

O quadro 6.14 apresenta o desenvolvimento recomendável para as pindoveiras atingirem o número ideal. Os valores em negrito destacam a necessidade de dois anos para a recomposição das pindoveiras.

Quadro 6.14 - Recomposição das pindoveiras

Idade	Ideal	Real	1 ano	2 anos
1	500	500	500	500
2	250	250	250	250
3	130	125	130	130

3	130	125	130	130	130	130	130
4	65	63	65	65	65	65	65
5	65	32	63	65	65	65	65
6	65	6	32	63	65	65	65
7	65	5	6	32	63	65	65
8	35	5	5	6	32	35	35
9	35	5	5	5	6	32	35
Total	1.210	991	1.056	1.116	1.176	1.207	1.210

O problema principal do corte das palmeiras não é refletido completamente aqui. Embora seja difícil essa recomposição pela grande utilização do palmito para alimentação, o reflexo maior de seu corte será na recomposição das palmeiras adultas.

A recomposição das palmeiras exigiu um controle de 5 anos. Os valores em negrito no quadro 6.16 revelam a necessidade deste tempo.

Observa-se então que é possível o corte de 28 (63 - 35) palmeiras de 7 anos do 3º para 4º, e de 30 (65 - 35) palmeiras de 7 anos do 4º para o 5º, atingindo-se assim as 65 palmeiras com 7 anos e as 35 palmeiras com 8 anos necessárias para a distribuição ideal. O corte das palmeiras a partir do 6º ano poderia sempre ser permitido em número de 30, mas somente para árvores de 7 anos.

Além de manter o equilíbrio, vale dizer que a palmeira de 7 anos já produz maior quantidade de alimento, dado o diâmetro maior da árvore com essa idade.

Palmeiras

Para se compreender o problema das palmeiras basta acompanhar o crescimento das 6 palmeiras de seis anos até elas se tornarem árvores adultas. A distribuição da evolução da reconstrução da mata, na forma matricial, deixa bem claro o problema que será discutido aqui.

As distribuições das palmeiras segundo as idades, até quarenta anos, são apresentadas no quadro abaixo:

As seis palmeiras de seis anos terão 7 anos no ano 1, 8 anos no ano 2 e 9 anos no ano 3. Se não cortadas, serão palmeiras de 10 anos no ano 4 e assim por diante. No ano 29 elas terão 35 anos ocasião em que poderão equilibrar a floresta porque nesta ocasião a mata ideal necessita de 5 árvores. Observe-se que as diferenças ($7 - 1 = 6$), ($8 - 2 = 6$) ... devem ser mantidas, obtendo-se então $35 - 6 = 29$ anos. Tomou-se o ano 29 como o ponto de referência mínimo para a floresta voltar ao seu *equilíbrio*. Observe-se os valores em negrito no quadro 6.17.

Desta forma, os cortes recomendados são: 12 (35 - 20) palmeiras de 14 anos do 9º ano em diante, 10 (20 - 10) palmeiras de 22 anos do 17º ano em diante, 4 (10 - 6) palmeiras de 34 anos do 29º em diante.

Além desses cortes, pode-se ainda cortar duas palmeiras de 49 anos todo ano, uma palmeira de 65 anos, uma de 68 anos e uma de mais de 68 anos.

Atingindo o equilíbrio é então permitido cortar em total de duzentas e trinta e oito (238) palmeiras adultas a cada 7 anos, mantendo-se a atual prática cíclica, só que controlada.

No corte das palmeiras adultas deve-se priorizar os capoteiros, árvores não produtivas.

6.7 Impacto Econômico de Diferentes Políticas de Exploração

A literatura sobre a produção do coco babaçu e seus derivados é a mais variada possível.

O levantamento de dados usados para esse trabalho procurou ter a perspectiva mais realista possível, tomando por base levantamentos não otimistas de produção.

De qualquer forma, o principal objetivo de pesquisa foi construir possíveis cenários para duas diferentes formas de exploração da palmeira. A primeira levando em conta a atual forma de exploração. A outra, através de uma política de intervenção sustentável.

O ponto de saída para a análise pode ser a partir de uma mata já devastada ou a partir de uma mata virgem, que ainda vai receber a intervenção do homem.

Desta forma, quatro possíveis cenários podem ser elaborados.

Cenário 1: Produção seguindo a prática atual de exploração em uma floresta já em uso.

Cenário 2: Produção seguindo a prática atual de exploração em uma floresta virgem.

Cenário 3: Produção seguindo uma prática sustentável de recuperação de uma floresta já em uso.

Cenário 4: Produção seguindo uma prática sustentável portanto de conservação de uma floresta virgem.

Os estudos revelaram que uma floresta virgem atinge o estado de devastação definitiva aos 15 anos. Na verdade essa é uma perspectiva mais otimista, uma vez que aos 7 anos a probabilidade da floresta atingir o estado de devastação, já é bastante grande. Como o objetivo foi mostrar o enorme impacto econômico da mudança de política de intervenção, optou-se por uma abordagem mais conservadora, considerando a melhor hipótese para a devastação, 15 anos.

Seguindo ainda essa abordagem, tomou-se para o menor nível de devastação, o maior número de palmeiras produtivas possível. O maior grau de devastação implica em destruição da floresta, não havendo mais como se falar em produção.

Como será discutido mais adiante, é possível o desenvolvimento de pesquisas para aumentar a produtividade em cada palmeira, com o aumento do número de cachos por palmeira, aumento do número de cocos por cacho, o aumento do número de amêndoas por coco e também do aumento da produção de óleo por amêndoa. Esse crescimento da produção depende de vários fatores, um deles é de uma tecnologia de

desbaste de palmeiras não produtivas para evitar competição e aumentar a entrada de luz e ar. Apesar da política de sustentabilidade proposta implicar automaticamente nesse ganho de produção, ele não será considerado para efeito do estudo comparativo entre os quatro cenários.

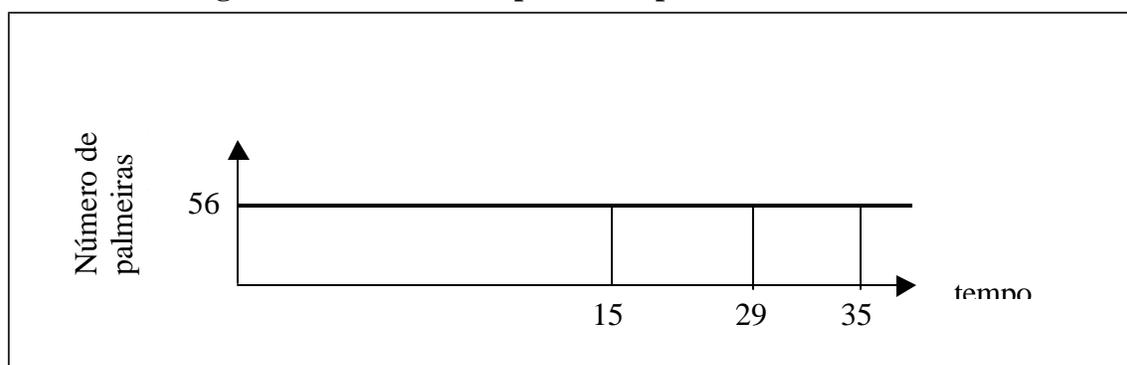
Como foi visto, uma floresta *devastada* possui em média 120 palmeiras adultas por hectare, das quais 47% são produtivas. Nessa floresta o número de palmeiras produtivas é de aproximadamente 56 árvores por hectare. Em uma floresta em *equilíbrio* o número de palmeiras adultas é de 340 por hectare, sendo 160 produtivas.

A reconstrução de uma floresta *devastada* leva na melhor das hipóteses 29 anos.

Esses dois tempos, 15 anos para a devastação e 29 para a reconstrução foram os tempos utilizados para a análise econômica. Optou-se por se fazer uma análise no tempo em vez de uma análise pontual para incorporar essas evoluções.

O Cenário 1 pode ser descrito pela curva abaixo:

Figura 6.3 - Número de palmeiras produtivas/ha no Cenário 1

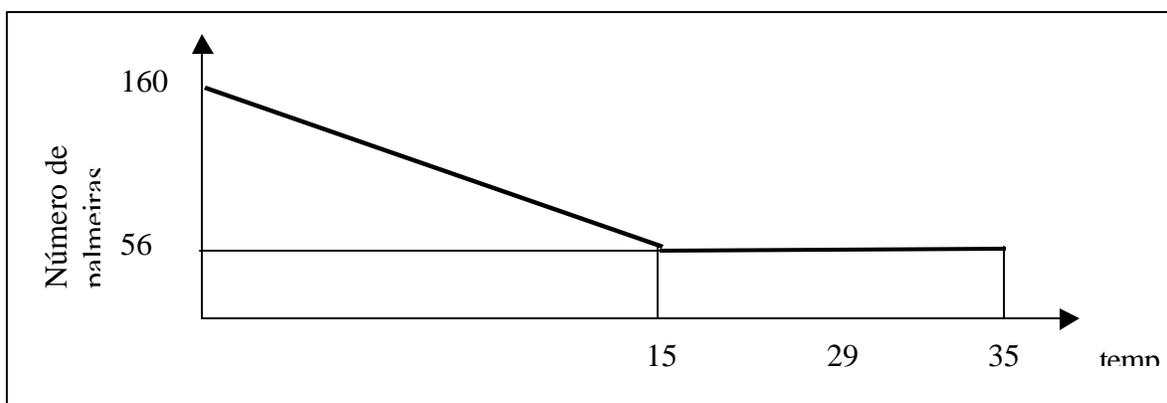


Essa curva representa a exploração da floresta segundo a prática atual de lavoura cíclica, que no mínimo conserva o número de palmeiras produtivas por hectare. Dessa forma, se tem nos primeiros 15 anos, $56 \times 15 = 840$ árvores produtivas e de 15 a 29

anos, mais $56 \times 14 = 784$, com um total de 1.624 árvores produtivas por hectare em 29 anos. Considerando que uma geração trabalha 35 anos, de 29 a 35 anos serão produzidas mais $56 \times 6 = 336$ árvores, o total geral da produção nesses 35 anos será então de 1.960 árvores, com média de 56 palmeiras produtivas por hectare por ano.

No Cenário 2, o comportamento do número de árvores no tempo pode ser descrito pelo gráfico abaixo:

Figura 6.4 - Número de palmeiras produtivas/ha no Cenário 2



Nos primeiros 15 anos há um desgaste da floresta, partindo de uma situação de *equilíbrio* com 160 árvores por hectare, até atingir o número 56 aos 15 anos. A partir daí, o número de árvores produtivas permanece em 56 por hectare até o 35º ano. A curva que descreve o comportamento até os 15 anos, pode ser descrita pela seguinte equação da reta:

$$y = 160 - \frac{104}{15}x \quad (6.1)$$

3)

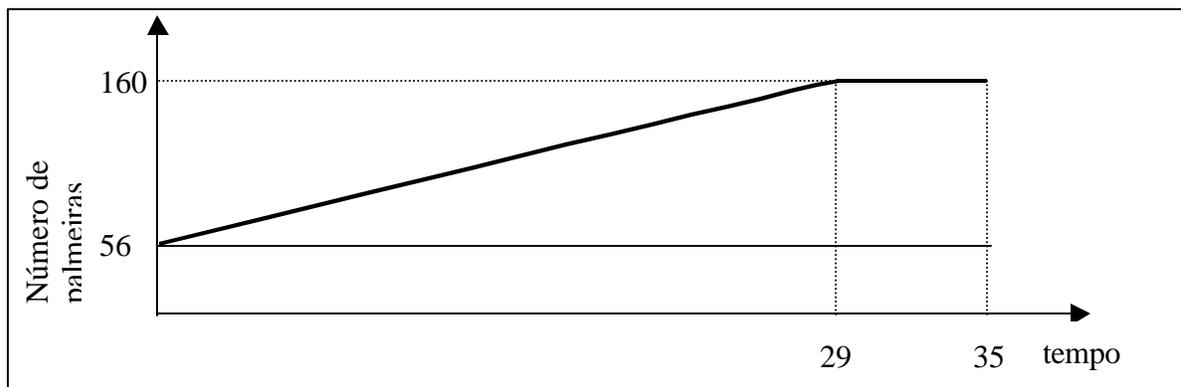
Como resultado o número de árvores produtivas por ano está apresentado na tabela abaixo:

Tabela 6.8 - Número de palmeiras produtivas por ano no Cenário 2

Anos	Números de árvores	Anos	Números de árvores
1	153	9	98
2	146	10	91
3	139	11	84
4	132	12	77
5	125	13	70
6	118	14	63
7	111	15	56
8	105		
TOTAL		1.568	

Assim, o total de árvores produtivas será de 1.568 até o 15º ano, mais 784 entre o 15º e 29º ano. Considerando também uma geração de 35 anos, com essa política haveria ainda a produção de mais 56 árvores por ano durante esses seis anos. Ou seja, mais 336 árvores que somadas às anteriores resultariam em 2.744 árvores em 35 anos, com média anual de 90 árvores produtivas por hectare por ano em toda uma geração.

O Cenário 3 pode ser descrito pela curva abaixo:

Figura 6.5 - Número de palmeiras produtivas/ha no Cenário 3

Esse cenário descreve uma política de recuperação de uma mata *devastada* em 29 anos. A equação da reta que mostra essa evolução é:

$$y = 56 + \frac{104}{29}x$$

(6.1)

4)

O que fornece o seguinte número de árvores produtivas por ano, conforme segue:

Tabela 6.9 - Número de palmeiras produtivas por ano no Cenário 3

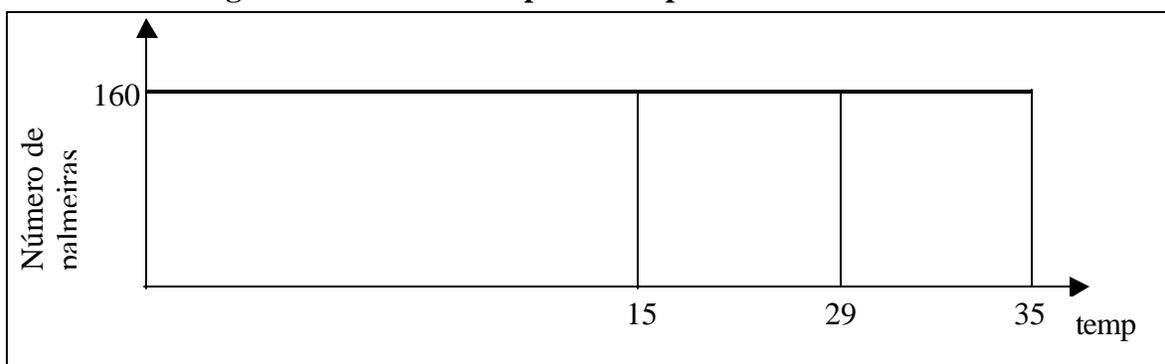
Anos	Números de árvores	Anos	Números de árvores	Anos	Número de árvores
1	60	11	97	21	134
2	63	12	101	22	138
3	67	13	104	23	141
4	71	14	108	24	145
5	75	15	112	25	149
6	78	16	115	26	153
7	82	17	119	27	156
8	86	18	123	28	160
9	89	19	127		
10	93	20	130		
TOTAL					3.076

Assim, o número de árvores de 15 anos é de 1.286 mais 1.790 nos próximos 14 anos, com total de 3.076 árvores produtivas até 29 anos. Considerando mais

a produção de 6 anos até os 35 anos, tem-se que o número total de árvores produtivas nesse período será de $3.076 + 6 \times 160 = 4.144$ árvores com média de 120 palmeiras produtivas por hectare por ano.

O último cenário, Cenário 4, pode ser descrito pela curva abaixo:

Figura 6.6 - Número de palmeiras produtivas/ha no Cenário 4



Esse é o cenário ideal com exploração sustentável desde a primeira abordagem na floresta. Média de 160 árvores por hectare por ano.

O quadro abaixo resume o número de palmeiras por hectare por ano, segundo cada um dos cenários descritos:

Quadro 6.18 - Resumo do número de palmeiras produtivas por hectare

Cenários	Nº de árvores produtivas nos primeiros 15 anos/ha	Nº de árvores produtivas de 15 a 29 anos/ha	Nº de árvores produtivas de 29 a 35 anos/ha	Total de árvores produtivas até 35 anos/ha	Média de árvores produtivas ano/ha
Cenário 1	840	784	336	1960	56
Cenário 2	1568	784	392	2744	79
Cenário 3	1286	1790	1120	4196	120
Cenário 4	2.400	2240	960	5600	160

Antes de aprofundar as conseqüências na produção desses quatro cenários, uma observação fundamental deve ser feita. Comparando-se a produção de palmeiras produtivas até 15 anos, a produção no cenário 3 é menor que a do cenário 2. O cenário 3 é um cenário de recuperação da floresta, enquanto o cenário 2 é o de exploração de uma mata virgem. Se comparadas as produções nesses 15 anos, aparentemente é mais vantajoso economicamente explorar uma floresta virgem com a prática atual, 1.568 contra 1.286 palmeiras.

O aspecto importante nessa consideração é que o cenário 3 a mais longo prazo renderá maior produção que o cenário 2, conservando a floresta dentro da perspectiva de desenvolvimento sustentável. Mas é necessário que o produtor compreenda a necessidade de manutenção do recurso a longo prazo em detrimento de buscar resultados imediatos. Não fosse por preservar os recursos para as futuras gerações, a adoção de tal consciência poderia gerar frutos para a sua geração, ou mesmo para o produtor individualmente.

A análise dos possíveis resultados foi feita com base nos dados de produção de palmeiras adultas produtivas por hectare, conforme descrita no quadro abaixo.

Quadro 6.19 - Média de palmeiras produtoras/ha por cenário de desenvolvimento

Cenário	Média de árvores produtoras/ha
Cenário 1	56
Cenário 2	79
Cenário 3	120
Cenário 4	160

Levando em conta a produção média de óleo de coco por palmeira, seu principal produto, tem-se as seguintes relações: uma palmeira produz dois cachos, cada cacho produz duzentos cocos, cada coco tem três amêndoas e de cada amêndoa se produz 5 gramas de óleo. Assim, uma palmeira produz em média 6 kg de óleo. Para os diferentes cenários a produção de óleo por hectare, por ano será:

Quadro 6.20 - Produção de óleo por ano por cenário de desenvolvimento

Cenários	Produção de óleo por ano (kg/ha)
Cenário 1	336
Cenário 2	474
Cenário 3	720
Cenário 4	960

O estado do Maranhão possui, segundo estimativa do Ministério da Agricultura, 8.655.000 hectares de cobertura de babaçu. Então o potencial de produção de óleo por ano em cada um dos cenários é de:

Quadro 6.21 - Produção de óleo por cenário de desenvolvimento

Cenários	Produção de óleo (ton)
Cenário 1	2.908,8
Cenário 2	4.102,5
Cenário 3	6.231,6
Cenário 4	8.308,8

Comparando o Cenário 1 com o Cenário 3, os dois cenários que partem da floresta *devastada*, o resultado econômico da política de desenvolvimento sustentável aumenta a produção em 2,1 vezes. Essa relação para a mata virgem é de 2,0 vezes mais produção para a exploração através da prática sustentável em 35 anos, tendendo a aumentar com o passar dos anos.

Esse fato é muito importante porque pode alterar a forma nômade da lavoura do babaçu que tende sempre a buscar novas áreas para exploração da floresta, dissimulando devastação. O produtor que investir em recuperação de áreas já exploradas pode ter aumento de produção a longo prazo em locais de acesso mais fácil, uma vez que o investimento para desbravar novos terrenos diminuirá a sua receita imediata.

Embora esta última questão esteja fora do escopo desse trabalho, o início de produção em mata virgem implica em aquisição de novas terras, desbaste de capoteiros e limpeza do terreno para que a floresta fique em *equilíbrio* - melhor forma de produção do que na mata virgem. Isto tudo implica em investimento de recursos que podem muito bem serem empregados em culturas associadas, no desenvolvimento da pecuária e também no investimento em pesquisas para a melhoria da produção por palmeira.

Os frutos se formam somente sob a ação de muita luz e ar. As melhores e mais densas formações se encontram nas beiras de rios e lagos, à margem das estradas e campos abertos. Nas regiões como Minas Gerais, onde as matas são menos cerradas, os cocos dos babaquais contém freqüentemente um número maior de amêndoas: 6, 7 e 8 por coco.

A agricultura rotineira e a implantação de pastagens, se conduzidas em moldes mais racionais, podem coexistir com os babaquais, melhorando sua produtividade sem colocar a floresta em risco.

A cultura extrativista é por suas características uma cultura de grande risco, como foi a exploração das seringueiras na Amazônia, praticamente extinta do ponto de vista econômico e que já representou um forte componente da economia regional e nacional na época chamada de *o ciclo da borracha*.

O cacau e o dendê na Bahia são outros dois exemplos importantes de cultura extrativista do Brasil. O primeiro por falta de condições tecnológicas de controle da praga chamada *vassoura de bruxa* perdeu a sua importância econômica na região. O dendê, por outro lado, desenvolvido em campos experimentais na Bahia desde o início dos anos 70, iniciou com uma produção do óleo, por hectare superior à do babaçu nas condições atuais. Essa diferença deve-se ao rendimento conjunto dos óleos de palma (mesocarpo) e palmiste (amêndoa), enquanto o babaçu só conta com o óleo da amêndoa.

Nas regiões de Codó e Caxias no Maranhão, onde se introduziu a reorganização agrícola, iniciada com trato cultural (desde limpeza da área e desbaste de palmeiras adultas) e utilização de adubo orgânico, obteve-se um incremento de 38% com o aumento do tamanho dos cachos.

Além do óleo, existem mais uma enormidade de produtos do babaçu, conforme descrito no Capítulo 3 desse trabalho, como álcool, carvão, gás, produtos alimentares, ração, produtos de saboaria, perfumes, plásticos, vidros, explosivos, óleo fino para aparelhos de precisão e motores de avião, celulose e materiais de construção entre outras possibilidades. Optou-se por verificar o impacto econômico somente para o óleo da amêndoa do coco por ser o seu principal produto e porque a análise da produção de óleo foi suficiente para fazer o estudo comparativo entre os quatro cenários.

Para completar a análise do impacto econômico que uma mudança dessa ordem faria na economia do Maranhão basta dizer que a produção de coco e de amêndoas tiveram uma arrecadação de US\$ 34,7 milhões, segundo o último Censo Agropecuário (1996) e a produção de amêndoas chegou a 114.387 toneladas naquele ano, 91% de toda a produção nacional. Dobrar a produção significa que a participação do babaçu na economia daquele estado teria um aumento significativo. Essa política seria geradora de emprego nos três setores da economia, levando maior desenvolvimento para a região, com maiores possibilidades de melhoria da qualidade de vida para a população, preservando a mata e seus recursos para as próximas gerações.

7 Conclusões e Sugestões

7.1 Conclusões

O modelo de distribuição para estudos de abundância para diferentes espécies, se adapta bem ao estudo dentro de uma mesma espécie considerando a sua distribuição por idade. Em especial, quando as idades identificam plantas com características bem diversas como é o caso do babaçu. A distribuição de equilíbrio encontrada não é possível com a atual prática da lavoura do babaçu. Seriam necessários pelo menos 29 anos de controle rígido do corte de árvores, para que a floresta voltasse a um estado de equilíbrio.

Embora a mata virgem não possa ser considerada em equilíbrio do ponto de vista da produção, a atual forma de lavoura, implica na devastação da mata, seja ela virgem ou estando em equilíbrio em no máximo 15 anos. A modelagem matemática para descrever a evolução do estado de uma floresta, saindo do equilíbrio e passando pelos estados remediável e deteriorada até atingir a devastação, deve ser cuidadosa para que os parâmetros sejam estimáveis e com significado ecológico claro.

Embora este estudo careça de uma abordagem mais ampla no que diz respeito aos resultados econômicos das diferentes formas de assédio à floresta, o potencial econômico mal explorado do coco do babaçu e de seus derivados fica muito claro. Dada a riqueza energética dos produtos do babaçu, um estudo pormenorizado deste produto precisa ainda ser realizado. De qualquer forma, pelo estudo da produção potencial do óleo de babaçu, pôde-se concluir que uma exploração racional da floresta pode aumentar em pelo menos duas vezes a atual produção.

A reconstrução de florestas além de garantir os recursos para futuras gerações, pode resultar em ganhos significativos para os atuais produtores, valendo a

pena investir nas atuais áreas, sem necessidade de abertura de novas frentes em florestas virgens.

A agricultura rotineira e a implantação de pastagens, se conduzidas em moldes mais racionais, podem coexistir com os babaçuais, melhorando a produtividade deles.

O potencial produtivo de óleo no cenário de desenvolvimento sustentável, é de 8.308,8 (1.000 ton) por ano.

A forma que resulta em melhor produção é o da parceria, com produção superior à do proprietário, do arrendatário e do ocupante.

O estado com maior produtividade de amêndoas é o Maranhão. 63% da área nacional de babaçu está no estado e 90% de toda produção de óleo. O Maranhão produz 13% a mais de coco que o restante do país, e 9,2 vezes mais amêndoas que os outros estados juntos.

Depois de atingido o equilíbrio é sempre possível o corte de 30 palmeiras de 7 anos por hectare por ano.

Para atingir o equilíbrio são permitidos os seguintes cortes de palmeiras por hectare: quinze de 14 anos do 9º ano em diante, dez de 22 anos do 17º ano em diante e quatro de 34 anos do 29º ano em diante.

É possível o corte imediato por hectare de duas palmeiras de 49 anos, uma de 15 anos, uma de 68 anos e uma com mais de 68 anos por ano.

Depois de atingido o equilíbrio, é possível o corte de duzentas e trinta e oito (238) palmeiras adultas por hectare em idades diferentes a cada 7 anos.

7.2 Sugestões

Um dos grandes problemas de realização de inventário florestal é a dificuldade do levantamento de dados na própria mata. A dificuldade de acesso faz com que os resultados de tais levantamentos sejam pouco precisos. Sugere-se portanto que a amostragem seja feita através de sensoriamento remoto.

A quantidade de árvores por idade foi utilizada para a determinação dos quatro estados das matrizes de transição. Os resultados para a definição dos estados não são totalmente precisos devido à dificuldade de levantamento de dados. Poder-se-ia considerar os estados como conjuntos difusos e trabalhar com Cadeias de Markov difusas.

O estudo das conseqüências econômicas das diferentes formas de intervenção na mata realizado nesse trabalho foi feito de forma simples. Um aprofundamento das técnicas de avaliação econômica seria recomendável para se ter estimativas mais precisas dos possíveis resultados de produção segundo os cenários propostos.

7.2 Sugestões

Um dos grandes problemas de realização de inventário florestal é a dificuldade do levantamento de dados na própria mata. A dificuldade de acesso faz com que os resultados de tais levantamentos sejam pouco precisos. Sugere-se portanto que a amostragem seja feita através de sensoriamento remoto.

A quantidade de árvores por idade foi utilizada para a determinação dos quatro estados das matrizes de transição. Os resultados para a definição dos estados não são totalmente precisos devido à dificuldade de levantamento de dados. Poder-se-ia considerar os estados como conjuntos difusos e trabalhar com Cadeias de Markov difusas.

O estudo das conseqüências econômicas das diferentes formas de intervenção na mata realizado nesse trabalho foi feito de forma simples. Um aprofundamento das técnicas de avaliação econômica seria recomendável para se ter estimativas mais precisas dos possíveis resultados de produção segundo os cenários propostos.

Referências Bibliográficas

1. BEZERRA, ONEIDA B. *Localização de Postos de Coleta para Apoio ao Escoamento de Produtos Extrativistas - Um Estudo de Caso Aplicado ao Babaçu*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia de Produção, 1995.
2. BRUNDTLAND, G.H. *Nosso futuro comum. Relatório da Comissão Mundial sobre Meio-Ambiente e Desenvolvimento*. ONU. Ed. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro. 1991.430p.
3. CAPRA F. & G.PAULI. *Steering business toward sustainability*. United Nations University Press. Tokio. 1995. 191p.
4. CARVALHO, A.O. *Tecnologia alternativa para construção de casas populares: abordagem histórica, princípios e técnicas construtivas*. Monografia apresentada para a conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão. São Luís 1995. 59p.
5. CÉSAR, NICEU. *O babaçu em: O Observador Econômico e Financeiro*. Rio de Janeiro, nº 189, Outubro 1951,p. 35ss.
6. GILLER, P. S. *Community Structure and the Niche*. Chapman and Hall London. 1984.
7. GRAEDEL T.E. & B.R. ALLENBY *Industrial Ecology*. Prentice Hall. New Jersey. 411p.
8. IBAMA(1997),<http://www.ibama.gov.br/online.htm/publicaçõesavulsas/amazonia/> divulgação das estimativas oficiais do Desflorestamento Bruto na Amazônia Brasileira - 1997.
9. LERIPIO, A de A. *Emissão Zero: Um novo conceito de qualidade total*. Artigo distribuído no curso Novas Metodologias em Gestão da Qualidade Ambiental. 1996. 10p.
10. LUDWIG J.A. & J.F. REYNOLDS. *Statistical Ecology. A primer on methods and computing*. Editado por John Wiley & Sons. Canada. 1988. 337p.
11. MAY, R. M. Patterns of species abundance and diversity. In: *Ecology and Evolution of Communities*. (M. L. Cody and J.M. Diamond, Eds) Belnap Press, Cambridge, MA, 1975. pp.81-120.

12. MAY, R. M. Patterns in multi-species communities. In *Theoretical Ecology* (R.M. May, Ed.). Sinauer Assoc., Sunderland, MA, 1981. pp. 197-227.
13. MIC/STI. *Côco Babaçu: matéria-prima para produção de álcool e carvão*. Editado pela Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio. Brasília. 1977. 24p.
14. MINSHALL G.W, et all. Species richness in streams of different size from the same drainagem basin. *American Naturalist* **125**: 16-38. 1985.
15. NOBREGA, C. *Em busca da empresa quântica. Analogias entre o mundo da ciência e o mundo dos negócios*. EDIOURO. Rio de Janeiro. 1996. 384p.
16. PAULI, G. *Emissão Zero: A busca de novos paradigmas*. EDIPUCRS. Porto Alegre. 1996.312p.
17. PRESTON, F. W. The commonness and rarity of species. *Ecology*. **29**: 254-283. 1948.
18. PRESTON, F. W. The canonical distribution of comonness and rarity Part 1. *Ecology* **43**: 185-215. 1962.
19. SAHTOURIS, E.S. *Gaia: do caos ao cosmos*. Editora Interação 1991. 308p.
20. SUGIHARA, G. Minimal community structure: An explanation of species abundances patterns. *American Naturalist* **116**: 770-787. 1980.
21. UNU/IAS Working Paper n. 17. *Biodiversity – Related Aspects of Intellectual Property Rights*. 1996. 58p.
22. UNU *Annual Report*. 1995.
23. WILHELMS, S. *Babaçu: riqueza não explorada*. Editado pela Carteira de Comércio Exterior do Banco do Brasil S/A. Brasília.16p.
24. WHITTAKER, R.H. Dominance and diversity in land plant communities. *Science* **147**: 250-260. 1965.

Anexo 1

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO VETOR INICIAL DE PROBABILIDADES

Para a construção do vetor inicial de probabilidades considerou-se que a queima das pindoveiras de 1 e 2 anos levariam a floresta ao estado *remediável*, e que a queima de todas as pindoveiras (até 5 anos de idade) levaria a floresta ao estado *deteriorada*.

Assim, utilizando-se da informação que o número de pindoveiras de 1 e 2 anos era de 750 árvores e que o número de pindoveiras até 5 anos era de 1010 árvores. Com auxílio da taxa média de desflorestamento bruto do IBAMA (α), igual a 0,00264 em 1997, calculou-se a probabilidade inicial para o estado *remediável* (1) da seguinte forma.

$$q_1(0) = P[X(0) = 1] = \alpha \cdot P(\text{pindoveiras 1 e 2 anos}). \quad (1)$$

)

$$q_1(0) = 0,00264 \cdot 750/1811 = 0,011$$

Para calcular o vetor probabilidade inicial do estado "deteriorada" (2), considerou-se ainda o fator tempo. O tempo para a queimada das árvores pequenas é de 120 minutos e para as árvores grandes 540 minutos. Gerando um fator $k = 120/540 = 0,22$, resultando na seguinte probabilidade inicial.

$$q_2(0) = P[X(0) = 2] = \alpha \cdot P(\text{todas as pindoveiras}) \cdot k \quad (2)$$

)

$$q_2(0) = 0,00264 \cdot 1010/1811 \cdot k = 0,0015 \cdot k$$

$$q_2(0) = 0,00264 \cdot 1010/1811 \cdot 120/540 = 0,0003.$$

Este fator poderia ter sido utilizado, em $q_1(0)$, multiplicando-se aquela probabilidade por 4,5. Resultando,

$$q_1(0) = 0,055 \text{ e } q_2(0) = 0,015.$$

Esta segunda forma de abordar o problema é mais "pessimista", uma vez que apressa a entrada da mata no estado de *devastação*, porque os vetores de probabilidade iniciais serão respectivamente:

$$q_0^O = [0,9986 \ 0,0011 \ 0,0003 \ 0,0000]$$

$$q_0^P = [0,9932 \ 0,0053 \ 0,0015 \ 0,0000]$$

onde q_0^O significa perspectiva otimista e q_0^P pessimista.

Quando se trabalha com as distribuições incondicionais aos sete anos, final do ciclo, os resultados obtidos são:

$$q_7^O = [0,0709 \ 0,1331 \ 0,2277 \ 0,5669]$$

$$q_7^P = [0,0705 \ 0,1327 \ 0,2275 \ 0,5679]$$

A diferença entre os vetores é muito pequena o que implica ser indiferente a escolha entre ser pessimista ou otimista.

Verifica-se também, que a matriz de transição de probabilidades condicional ao final de um ciclo de sete anos tem como primeira linha as seguintes probabilidades:

[0,0710 0,1332 0,2277 0,5666]

Observa-se aqui também, a semelhança com os vetores de probabilidade inicial, embora ele não tenha sido utilizado para este cálculo.

Esse resultado sugere que independentemente da mata ser virgem ou estar em equilíbrio, quando há a intervenção humana, a velocidade de deterioração é a mesma.

Anexo 2

ESTIMATIVAS DAS MATRIZES DE TRANSIÇÃO

As probabilidades de transição ($p_{ij}(n)$) são dadas por

$$p_{ij}(n) = r_{ij}(n) / \sum_i r_{ij}(n)$$

(A2.1)

onde, as razões de transição são dadas por:

$$r_{ij}(n) = 1/d_{ij}(n).$$

(A2.2)

E $d_{ij}(n)$ são as distâncias de transição dadas nos quadros 6.10, 6.11 e 6.12 do capítulo 6.

Os quadros abaixo fornecem as distâncias de transição, as razões de transição e as probabilidades de transição para saída dos estados equilíbrio (0), remediável (1) e devastado (2), respectivamente

O quadro abaixo apresenta as distâncias de transição do estado "0" para os outros estados:

Quadro A2.1- Distâncias de transição saindo do estado de equilíbrio (0)

Matriz	k = 0	k = 1	k= 2	k = 3
1	0,57	5,00	12,43	22,71
2	1,14	6,00	13,86	24,43
3	1,71	7,00	15,29	26,14
4	2,28	8,00	16,71	27,86
5	2,86	9,00	18,14	29,57
6	3,43	10,00	19,57	31,29

7	4	11,00	21,00	33,00
---	---	-------	-------	-------

O quadro abaixo apresenta as razões de transição do estado "0" para os outros estados:

Quadro A2.2- Razões de transição saindo do estado de equilíbrio (0)

Matriz	k = 0	k = 1	k = 2	k = 3	Soma
1	1.7544	0.2000	0.0805	0.0440	2.0789
2	0.8772	0.1667	0.0722	0.0409	1.1569
3	0.5848	0.1429	0.0654	0.0383	0.8313
4	0.4386	0.1250	0.0598	0.0359	0.6593
5	0.3497	0.1111	0.0551	0.0338	0.5497
6	0.2915	0.1000	0.0511	0.0320	0.4746
7	0.2500	0.0909	0.0476	0.0303	0.4188

O quadro abaixo apresenta as probabilidades de transição do estado "0" para os outros estados; as linhas 1 das 7 matrizes de transição:

Quadro A2.3- Probabilidades de transição saindo do estado de equilíbrio (0)

Matriz	k = 0	k = 1	k = 2	k = 3	Soma
1	0.8439	0.0962	0.0387	0.0212	1
2	0.7582	0.1441	0.0624	0.0354	1
3	0.7035	0.1718	0.0787	0.0460	1
4	0.6652	0.1896	0.0908	0.0544	1
5	0.6361	0.2021	0.1003	0.0615	1
6	0.6143	0.2107	0.1077	0.0673	1
7	0.5969	0.2171	0.1137	0.0724	1

O quadro abaixo apresenta as distâncias de transição saindo estado remediável(1):

Quadro A2.4 - Distâncias de transição saindo do estado remediável (1)

Matriz	k = 0	k = 1	k = 2	k = 3
1	0	1	8,43	18,71
2	0	2	9,86	20,43
3	0	3	11,29	22,14
4	0	4	12,71	23,86
5	0	5	14,14	25,57
6	0	6	15,57	27,29
7	0	7	17,00	29,00

O quadro abaixo apresenta as razões de transição saindo do estado remediável (1):

Quadro A2.5 - Razões de transição saindo do estado remediável (1)

n	k = 0	K = 1	k = 2	k = 3	(3)
1	0	1.000	0.1186	0.0534	1.1721
2	0	0.5000	0.1014	0.0489	0.6504
3	0	0.3333	0.0886	0.0452	0.4671
4	0	0.2500	0.0787	0.0419	0.3706
5	0	0.2000	0.0707	0.0391	0.3098
6	0	0.1667	0.0642	0.0366	0.2675
7	0	0.1429	0.0588	0.0345	0.2362

O quadro abaixo apresenta as probabilidades de transição saindo do estado remediável (1); as linhas 2 das 7 matrizes de transição:

Quadro A2.6 - Probabilidades de transição saindo do estado remediável (1)

Matriz	k = 0	k = 1	k = 2	k = 3	Soma
1	0	0.8532	0.1012	0.0456	1
2	0	0.7688	0.1559	0.0753	1
3	0	0.7137	0.1896	0.0967	1
4	0	0.6746	0.2123	0.1131	1
5	0	0.6455	0.2283	0.1262	1
6	0	0.6230	0.2401	0.1370	1
7	0	0.6049	0.2491	0.1460	1

O quadro abaixo apresenta as distâncias de transição saindo estado deteriorada (2):

Quadro A2.7 - Distâncias de transição saindo do estado deteriorada (2)

Matriz	k = 0	k = 1	k = 2	k = 3
1	0	0	1,43	11,71
2	0	0	2,86	13,43
3	0	0	4,29	15,14
4	0	0	5,71	16,86
5	0	0	7,14	18,57
6	0	0	8,57	20,29
7	0	0	10,00	22,00

O quadro abaixo apresenta as razões de transição saindo do estado deteriorada (2):

Quadro A2.8 - Razões de transição saindo do estado deteriorada (2)

n	k = 0	K =1	k= 2	k =3	Soma
1	0	0	0.6993	0.0854	0.7847
2	0	0	0.3497	0.0745	0.4241
3	0	0	0.2331	0.0661	0.2992
4	0	0	0.1751	0.0593	0.2344
5	0	0	0.1401	0.0539	0.1939
6	0	0	0.1167	0.0493	0.1660
7	0	0	0.1000	0.0455	0.1455

O quadro abaixo apresenta as probabilidades de transição saindo do estado deteriorada (2); as linhas 3 das 7 matrizes de transição:

Quadro A2.9 - Probabilidades de transição saindo do estado deteriorada (2)

Matriz	k = 0	k =1	k= 2	k =3	Soma
1	0	0	0.8912	0.1088	1
2	0	0	0.8244	0.1756	1
3	0	0	0.7792	0.2208	1
4	0	0	0.7470	0.2530	1
5	0	0	0.7223	0.2777	1
6	0	0	0.7030	0.2970	1
7	0	0	0.6875	0.3125	1

