

MATRIZ DE TRANSIÇÃO PARA SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DE FLORESTAS NATURAIS SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE CORTE

A TRANSITION MATRIX MODEL FOR SIMULATING DIFFERENT ALTERNATIVE HARVESTING SCHEMES IN NATURAL FORESTS

Carlos Roberto Sanquetta¹ Doádi Antônio Brena² Humberto Angelo³ Jefferson Bueno Mendes³

RESUMO

É descrito e demonstrado um método quantitativo para auxiliar ao manejador na tomada de decisão quando cortes periódicos são efetuados em povoamentos florestais inequidêneos. O método utiliza matriz de transição. Os dados utilizados na construção do simulador são de uma floresta natural do Japão, remeçada por 10 anos. Os parâmetros necessários à aplicação do método são a matriz de transição de mudança nas frequências por classe diamétrica, estimativas de mortalidade natural e por danos, estimativas de aumento de recrutamento com a abertura de dossel e a taxa estimada de aceleração no crescimento provocado por interferências no povoamento. Um exemplo de aplicação do modelo proposto é mostrado, apresentando um cenário das possibilidades de simulação sob diferentes intensidades de corte. Concluiu-se que o modelo proposto é potencialmente um instrumento valioso para o manejador, uma vez que o crescimento e o ciclo de corte de povoamentos florestais inequidêneos podem ser preditos.

Palavras-chave: Dinâmica, floresta natural, modelo, matriz de transição, simulação.

SUMMARY

A quantitative approach of predicting the growth and yield of natural forests is described and applied. The method proposed aimed at helping the forest manager in decision making concerning the choice of an appropriate cutting cycle. The approach is based upon the transition matrix model. The data used in the simulation model constructed in this study came from a natural forest in Japan remeasured during 10 years. The parameters necessary for implementation of the

1.Engenheiro Florestal, Ph.D. Prof. do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná. 80035-010, Curitiba, PR.

2.Engenheiro Florestal, Dr. Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria. 97119-900, Santa Maria, RS.

3.Engenheiro Florestal, M.Sc., Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná. 80035-010, Curitiba, PR.

method are: the transition matrix of diameter classes, mortality and recruitment estimates for the forest under natural condition and open canopy, and the acceleration of growth rate due to human interference in the stand. The application of the model is demonstrate showing its potential utilization in simulating the effect of different cutting intensities. It was concluded that the model proposed might be a valuable tool for the manager to predict the growth and cutting cycle of logged uneven-aged forests.

Key words: Dynamics, natural forest, model, simulation, transition matrix.

INTRODUÇÃO

A avaliação precisa do crescimento florestal é de grande importância para o manejador florestal. Volume e área basal do povoamento podem ser convenientemente calculados a partir do número de árvores em cada classe diamétrica. O crescimento destes parâmetros pode ser estimado pela mudança na frequência de indivíduos que resulta da mudança no número de árvores de uma classe de diâmetro para outra, e através da mortalidade e do recrutamento. Este procedimento é conhecido como matriz de transição. O uso da matriz de transição é uma alternativa para os estudos de crescimento de florestas naturais, uma vez que, ao contrário dos modelos clássicos usados em florestas plantadas, não se apoia em variáveis de difícil acesso em povoamentos florestais inequidanos, tais como idade e índice de sítio.

No presente trabalho, um modelo de simulação baseado na matriz de transição é desenvolvido para prever a dinâmica das distribuições diamétricas e a produção de florestas nativas após as mesmas sofrerem diferentes intensidades de corte.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil vários estudos têm desenvolvido procedimentos para a caracterização da distribuição diamétrica em florestas nativas visando assegurar o manejo sustentado. Nas florestas tropicais destacam-se os trabalhos de DUBOIS (1971), SILVA (1989), HIGUCHI & VIEIRA (1990), DE AZEVEDO (1993), FREITAS & HIGUCHI (1993). Nos cerrados destacam-se os trabalhos de COSTA NETO & COUTO (1990), SCOLFORO & SILVA (1993) e DURIGAN *et al.* (1993). Na caatinga destaca-se o trabalho de LIMA *et al.* (1993).

Os estudos de crescimento após a colheita em povoamentos inequidanos, no Brasil, são poucos, com destaque para o trabalho de SILVA (1989), DE AZEVEDO (1993) e DURIGAN (1993). A metodologia até então utilizada na definição da intensidade de corte tem-se pautado na estrutura diamétrica proposta por MEYER (1953). Nesta linha destaca-se o trabalho de SCOLFORO & SILVA (1993), COSTA NETO & COUTO (1990) e CAMPOS *et al.* (1983).

Outro método para estimar mudanças na frequência diamétrica é a tabela de produção do povoamento, onde o número de árvores por classe de diâmetro é projetado através do tempo (HUSCH *et al.*, 1972). Neste procedimento, mudanças são os resultados do movimento de uma classe para outra sem considerar as perdas por mortalidade.

DE AZEVEDO (1993) usou a matriz de transição, para estimar, a curto e longo prazos, a projeção da distribuição de diâmetro de povoamentos naturais inequidanos submetidos a vários

níveis de interferências. Talvez, seja este um dos poucos estudos, no Brasil, que utilizaram matriz de transição para prognosticar a dinâmica de floresta nativa após diferentes intensidades de corte.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos por SANQUETTA (1994), na Ehime University Forest, em Komenono, Província de Ehime (132°52' E e 33°33' N), Japão. A área está localizada entre três zonas climáticas: temperada quente, nas partes mais elevadas do relevo; temperada fria, nas partes mais baixas; e zona intermediária. A altitude varia de 760 m a 855 m. A precipitação média anual é de 1.740 mm, com valores mínimo e máximo mensais de 73 mm em fevereiro e 216 mm em julho, respectivamente. As temperaturas mínima, média e máxima do ar registradas foram de -6,2°C, 12,3°C e 35,5°C, respectivamente (TOKUI & SAKAUE, 1964; NINOMIYA et al., 1985).

Os solos são classificados como solos florestais marrons, dos tipos BB (drenado), BC (levemente drenado), BD (moderadamente úmido), e BD (d) (moderadamente úmido subtipo drenado), segundo a classificação padrão dos solos florestais japoneses (TSUJITA et al., 1986).

A vegetação natural potencial da área foi classificada como pertencendo à aliança *Hidrangeo-Abietetum firmae*, da classe *Camellietea japonicae* (MIYAWAKI, citado por SANQUETTA, 1994). É uma área de transição entre a zona temperada quente mais elevada, dominada pelas espécies folhosas sempre-verdes ou perenes, e a zona temperada fria, mais baixa, dominada por espécies folhosas caducifólias (YAMANAKA, 1961).

Em dezembro de 1984, foi instalada uma parcela permanente, com 0,89 ha de área, em um povoamento da formação florestal acima mencionada, onde dominam as espécies coníferas *Abies firma*, *Tsuga sieboldii* (fir e hemlock, respectivamente) e outras espécies folhosas. A área situa-se ao norte da Ehime University Forest, mantida em sucessão natural desde o último corte raso. Esta parcela foi dividida em 112 subunidades de igual tamanho, ou seja, cerca de 80 m², havendo pequenas diferenças nas áreas das sub-parcelas determinadas por correções devidas à topografia.

A parcela tem sido remeida anualmente desde sua instalação em 1984, considerando todas as árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 4 cm. Dez medições repetidas foram efetuadas. Os dados utilizados no presente estudo foram obtidos por SANQUETTA (1994), na Ehime University Forest, em Komenono, Província de Ehime, Shikoku (132°52' E e 33°33' N), a menor das quatro principais ilhas do Japão. Esta área foi submetida a intensa atividade humana no passado, especialmente com a exploração de carvão vegetal. Maiores detalhes da descrição da área são dados por NINOMIYA et al. (1985), SANQUETTA et al. (1991), SANQUETTA (1994), SANQUETTA et al. (1994) e SANQUETTA et al. (1995).

Desenvolvimento do modelo

No desenvolvimento do modelo de simulação, as seguintes hipóteses, em relação ao comportamento de florestas nativas após corte e colheita, foram consideradas:

1. Após a colheita, há ocorrência de mortalidade por dano, uma vez que a derrubada de árvores de

grande porte atinge árvores nas suas periferias, e também por motivos de acesso ao interior da floresta. Tal dano ocorre de forma inversamente proporcional ao diâmetro, isto é, maiores são os danos em árvores de menor diâmetro;

2. A taxa de mortalidade natural (não por danos) se manterá igual à taxa verificada antes da exploração;

3. A abertura dossel provocada pela retirada das árvores de maior diâmetro provocará uma aceleração do crescimento diamétrico das remanescentes, também inversamente proporcional ao DAP;

4. Com o passar do tempo a taxa de aceleração de crescimento irá diminuir de forma proporcional à taxa de recuperação da área basal, chegando a zero no momento que a floresta recuperar sua área basal original;

5. A abertura do dossel também provocará um aumento de recrutamento devido ao aumento de luminosidade na floresta.

Matriz de transição original

A matriz de transição é um instrumento que o manejador pode recorrer para prever o recrutamento, a mortalidade e o estoque por classe diamétrica de uma floresta inequidiana ao longo do tempo. Sua representação matemática pode ser escrita como:

$$A \cdot E_0 + R = E_1 \quad (1)$$

onde: (A) é a matriz de transição que contém probabilidades de uma árvore passar para outras classes diamétricas através de crescimento com o tempo; (E_0) é o vetor de estoque no momento zero, ou seja, a distribuição diamétrica antes da predição; (R) o vetor de recrutamento; e (E_1) o vetor de estoque no momento um, no tempo de predição futuro.

Maiores detalhes conceituais sobre matriz de transição são encontrados em SANQUETTA *et al.* (1991), SANQUETTA *et al.* (1995), DE AZEVEDO (1993), FREITAS & HIGUCHI (1993) e BRUNER & MOSER (1979).

Matriz de transição após o corte

Se uma floresta sofre intervenções é esperado que mudanças irão ocorrer nos componentes da matriz de transição " A ". O modelo aqui proposto tem exatamente por objetivo agregar ao modelo original (1) mudanças em função da intervenção programada. Mais especificamente, os seguintes componentes serão alterados:

1. Vetor do Estoque (E'): deverá refletir o número de árvores (ou outra variável de interesse) após realizado o corte e a mortalidade por dano;

2. Vetor de Recrutamento (R'): deverá refletir a aceleração na taxa de recrutamento devido à abertura do dossel.

3. Matriz de Transição (A'): deverá refletir a aceleração no crescimento devido ao aumento na taxa

de iluminação promovido pela abertura do dossel.

A representação matricial abaixo ilustra o modelo proposto, representado da mesma forma que o modelo original, mas com seus componentes alterados segundo a metodologia descrita nos itens seguintes.

$$\begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1j} \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2j} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a'_{i1} & a'_{i2} & \dots & a'_{ij} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e'_1 \\ e'_2 \\ \vdots \\ e'_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r'_1 \\ r'_2 \\ \vdots \\ r'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e''_1 \\ e''_2 \\ \vdots \\ e''_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

Vetor do estoque após a intervenção

Após a intervenção (momento m'_0), o vetor do estoque sofre uma redução devido ao corte e à mortalidade por dano. O estoque em questão pode ser, por exemplo, o número de árvores, volume, ou área basal.

Esta redução pode ser representada matematicamente da seguinte maneira:

$$\begin{bmatrix} e'_1 \\ e'_2 \\ \vdots \\ e'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 - c_1 - m_1 \\ e_2 - c_2 - m_2 \\ \vdots \\ e_i - c_i - m_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde: e'_i = estoque na classe (i) no momento (m'_0) após a intervenção; e_i = estoque na classe (i) no momento (m_0); c_i = estoque retirado na classe i no momento (m_0); m_i = mortalidade por dano na classe (i).

Mortalidade por dano

Como o objetivo do modelo proposto é simular o comportamento da floresta, a mortalidade por dano pode ser estimada de forma empírica através da seguinte fórmula :

$$m_i = e_i \cdot d \cdot l_i \quad (4)$$

Onde: d = percentual de mortalidade por dano esperada para a primeira classe diamétrica, em décimos; $l_i = \frac{e_i}{e_1}$ = fator de redução da mortalidade em função da classe de diâmetro.

O manejador poderá determinar o valor de (d) em função de sua experiência e do sistema de exploração adotado ou através de dados oriundos de experimentos. Vários cenários de mortalidade por dano poderão ser testados antes da intervenção. Após a exploração, um inventário poderá determinar o valor correto.

O fator de redução (l_i) tem por função estimar a mortalidade por dano nas classes diamétricas de (2) a (n). Este fator representa a hipótese de que a taxa de mortalidade por dano cai

de forma proporcional à razão entre a frequência do estoque na classe considerada (e_i) e a frequência da primeira classe (e_1).

Aumento de recrutamento

Com a abertura do dossel haverá um aumento na regeneração natural e, por conseguinte, no recrutamento de novos indivíduos. A formulação matemática a seguir objetiva representar o incremento no recrutamento ou ingresso.

$$\begin{bmatrix} r'_1 \\ r'_2 \\ \vdots \\ r'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \cdot h_i \\ r_2 \cdot h_i \\ \vdots \\ r_i \cdot h_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

Onde: r'_i = recrutamento verificado na classe (i) entre o momento (m_0') após a intervenção e (m_1); r_i = recrutamento normal verificado entre (m_0) e (m_1); h_i = taxa de aceleração do ingresso devido a abertura do dossel.

A taxa de aceleração do ingresso poderá ser determinada empiricamente quando da simulação do manejo, com base na experiência do técnico e/ou por meio de estudos previamente realizados. Após o corte, através do inventário, será possível medir a resposta da vegetação à intervenção.

A fórmula mostrada a seguir determina a taxa de aceleração por classe diamétrica :

$$h_i = (1 + z \cdot l_i \cdot w) \quad (6)$$

Onde: w = redutor da taxa de aceleração sobre a taxa (z) devido a recuperação da área basal entre o momento (m_t) e (m_{t+k}), onde (k) representa o intervalo de tempo da previsão e o momento atual; $l_i = \frac{e_i}{e_1}$ = fator de redução da aceleração em função da classe de diâmetro; z = taxa de aceleração sobre o recrutamento da classe diamétrica 1, devido a abertura do dossel;

O redutor (w) é determinado pela taxa de recuperação da área basal, e é calculado através da seguinte equação :

$$w = \frac{(ba_n - ba_{mk})}{ba_c} \quad (7)$$

Onde: ba_n = área basal antes da intervenção; ba_{mk} = área basal após a intervenção no momento (k); ba_c = área basal retirada; sendo (ba_{mk}) sempre menor ou igual a (ba_n).

Mudança na matriz de transição

A segunda hipótese que fundamenta este trabalho determina que a intervenção realizada na floresta irá promover um incremento na taxa de crescimento diamétrico das árvores. Por conseguinte, a matriz de transição irá mudar. Haverá um incremento nas probabilidades de mudança de uma classe para a outra. Em outras palavras, a matriz de transição será acelerada.

A nova matriz (A') de transição ficará assim representada:

$$\begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1j} \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2j} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a'_{i1} & a'_{i2} & \dots & a'_{ij} \end{bmatrix} \quad (8)$$

sendo que seus novos valores serão calculados através das seguintes equações:

Coefficientes das diagonais inferiores para o período $m_0' - m_k$

$$a'_{i,j} = a_{i,j} \cdot (1 + t \cdot l_{i,j} \cdot w) \quad (9)$$

sendo ($i > j$) e (k) igual ao intervalo de tempo.

Coefficientes da diagonal principal para o período $m_0' - m_k$

$$a'_{i,j} = 1 - \sum_{i=2}^n a'_{i,j} - m_i \quad (10)$$

Onde: m_i = mortalidade normal verificada na classe (i); t = taxa de aceleração sobre o crescimento devido a abertura do dossel; $l_{i,j} = \frac{e_{j+1}}{e_i}$ = fator de redução da aceleração em função da classe de diâmetro, sendo $i > j$; w = redutor da taxa de aceleração sobre a taxa (g) devido a recuperação da área basal entre o momento (m_k) e (m_{k+1}); k = intervalo de tempo entre as previsões.

Na exemplificação apresentada neste trabalho, o cálculo dos coeficientes da matriz não considera o fator de redução da aceleração em função da classe diamétrica ($l_{i,j}$). Isto não foi incorporado aqui em função da não disponibilidade de informações relativas ao comportamento das diversas classes em relação à intervenção. Na medida em que o monitoramento do comportamento da floresta avance, será possível considerar esta variável nas simulações.

O fator de redução (w) é calculado pela mesma fórmula anteriormente descrita. Após o primeiro período de projeção, a cada período (k) de nova projeção, este fator promoverá uma diminuição na taxa de aceleração (t) e, por conseguinte, todos os coeficientes da matriz serão alterados. No momento em que a floresta recuperar sua área basal inicial, (w) assumirá o valor zero, levando (t) também a zero. Por conseqüência, a matriz de transição voltará ao seu estágio inicial de normalidade.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Resultados simulados com o modelo

Um exemplo aplicativo do modelo é apresentado a fim de demonstrar sua utilização. Contudo o modelo proposto foi desenvolvido para simular o desenvolvimento de florestas naturais sob quaisquer condições de interferência.

As condições iniciais pré-estabelecidas são taxa de mortalidade (d) igual a 20%, taxa de aceleração sobre o recrutamento da classe diamétrica (l), devido a abertura do dossel de 30%, taxa de aceleração sobre o crescimento devido a abertura do dossel (t) de 30% e a matriz de transição apresentada na Tabela 1 [ver SANQUETTA *et al.*, (1995) para detalhes].

TABELA 1: Matriz inicial de probabilidades de transição por centro de classe diamétrica para o período 1984-87, para um povoamento de “fir-hemlock”, Japão.

ESTADO ↓ →	RECRUTA- MENTO R	CENTRO DE CLASSE DE DIÂMETRO (cm)								MORTA- LIDADE M
		7	15	25	35	45	55	65	75	
R		0,9897								
7		0,9288	0,0202							0,0512
15			0,9247	0,0286						0,0466
25				0,8966	0,0541					0,0492
35					0,8889	0,0556				0,0560
45						0,8420	0,1580			0,0000
55							0,8750			0,1250
65								0,7500	0,2500	0,0000
75									1,0000	0,0000

Para efetuar a simulação com o modelo é necessário também informar a distribuição diamétrica inicial do povoamento (neste caso em 1984) e o recrutamento no período de simulação (neste caso entre os anos de 1984 e 1987), conforme apresentado na Tabela 2.

Os resultados simulados dos parâmetros essenciais ao manejador florestal são mostrados na Tabela 3. Observa-se que a área basal (ba_n) antes do corte e o número de árvore total (N) após 12 anos com base na simulação pré-estabelecidas tendem a retornar as condições iniciais.

Na Figura 1 é mostrada a evolução simulada da distribuição diamétrica após o corte até 1996 nas condições estabelecidas.

Possíveis refinamentos no modelo

Alguns refinamentos poderão ser feitos no futuro para aperfeiçoar o método aqui apresentado. O primeiro refere-se às estimativas dos parâmetros necessários as simulações do modelo, as quais

devem

TABELA 2: Distribuição diamétrica inicial em 1984 e recrutamento no período de 1984 e 1987 para um povoamento de “fir-hemlock”, Japão.

CENTRO DE CLASSE DE DIÂMETRO (cm)	NÚMERO DE ÁRVORES EM 1984/0,89 ha	RECRUTAMENTO NO PERÍODO 1984 a1987	NÚMERO DE ÁRVORES EM 1987/0,89 ha
7	1.785	192	1.852
15	557		549
25	203		198
35	54		59
45	19		19
55	8		10
65	8		6
75	3		5
Total	2.637		2.698

TABELA 3 - Evolução dos parâmetros simulados após intervenção em um povoamento de “fir-hemlock” no Japão.

PARÂMETROS	ANO					
	1984 antes do corte	1984' após o corte	1987	1990	1993	1996
ba_n	40,78					
ba_{mk}		33,50	35,28	36,85	38,29	39,46
ba_c		7,28				
w		1,0000	0,7553	0,5395	0,3421	0,1818
r_i'	192	250	236	223	212	202
N	2.637	2.220	2.360	2.479	2.580	2.664

ser precisamente determinadas, principalmente o recrutamento, a mortalidade natural e por dano, bem como as taxas de aceleração que afetam diretamente a matriz de transição.

No Brasil, alguns desses parâmetros já podem ser estimados com alguma fidedignidade, uma vez que já existem várias experiências de manejo sustentado em florestas tropicais. Esses parâmetros podem ser facilmente inseridos dentro do sistema aqui apresentado, uma vez que este permite flexibilidade para tal.

No que se refere ao parâmetro que reflete a taxa média de incremento diamétrico poderia-se utilizar experiências do trabalho de DE GRAAF (1981). O autor menciona que árvores nos trópicos após a exploração sem tratamento silvicultural crescem em torno de 0,1 a 0,4 cm/ano, enquanto árvores remanescentes de floresta explorada (com tratamentos silviculturais) ficam em torno de 0,6 a 1,0 cm/ano. Um outro estudo no município de Paragominas, Estado do Pará, conforme mencionam BARRETO & UHL (1993), identificou-se que o crescimento diamétrico das árvores

após o exploração varia em função dos danos no fuste, da forma da copa e da presença de cipós. As árvores dominadas por cipós ou com danos leves crescem em média 0,35 cm/ano, já as

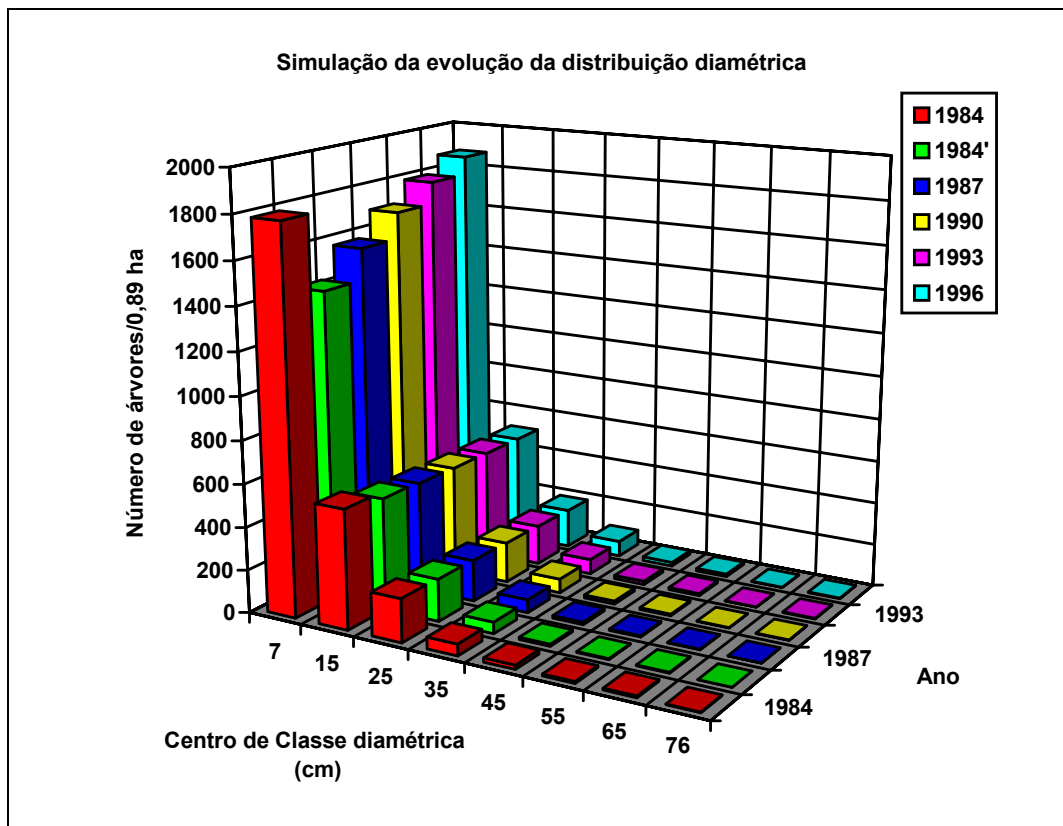


FIGURA 1: Simulação do crescimento após o corte com o modelo proposto no período de 1984 a 1996 numa floresta de “fir-hemlock” no Japão.

árvores livres de danos e de cipós crescem 0,6 cm/ano e as árvores gravemente danificadas crescem 3 vezes menos, ou seja, 0,2 cm/ano. Experiências também oriundas dos planos de manejo aprovados pelo IBAMA também poderiam ser empregadas no sistema aqui proposto para permitir a simulação dos efeitos de cortes na floresta.

No tocante à regeneração, o modelo de simulação apresentado neste trabalho poderia ser alicerçado em dados já existentes na literatura, pelo menos para se ter possibilidades de simulação dos efeitos de cortes na floresta. Neste particular, o trabalho de SILVA (1989) traz consigo informações relevantes para um processo de simulação. Em 8 anos de observações em uma floresta tropical após a exploração, ele concluiu que a mesma por si só induziu a regeneração de espécies comerciais e potenciais. O estoque de espécies comerciais evoluiu de 41% antes da exploração para 76% após a abertura do dossel. O crescimento em diâmetro de todas as espécies de um modo geral aumentou, no entanto o efeito benéfico durou apenas 3 a 4 anos após a exploração, quando começou decrescer. Além disso, os ingressos de espécies comerciais e de potencialmente comerciais diminuíram de 60 e 47%, respectivamente, entre o segundo e oitavo ano após a exploração. O autor ainda reporta que tratamento com remoção de 75m³/ha, com média de 16 árvores/ha, foi considerado muito pesado para ser sustentável, assumindo um sistema de manejo

policíclico. LIMA et al. (1993) estudou o sistema de manejo florestal em faixa em uma caatinga no município de Aquiraz, Estado do Ceará, verificando que as faixas exploradas sobre o sistema de corte raso apresentaram uma recuperação promissora com incrementos médios em altura de 6,22 a 7,28 cm/mês e que, o sistema de exploração adotado não afetou a composição florística no tocante ao número de espécies e densidade dos indivíduos, quando comparado com o inventário anterior.

Os coeficientes afetados pela taxa de mortalidade também podem ser inicializados com dados já existentes na literatura. Sabe-se, por exemplo, que a mortalidade é marcadamente alta logo após a exploração da floresta. Com o passar do tempo ela estabiliza a níveis de uma floresta primária, tempo este referido em cerca de 10 anos, segundo JONKERS (1982) e DE GRAFF (1986). Na Floresta Nacional do Tapajós, SILVA (1989) encontrou uma taxa de mortalidade de 2,8% para um período de 8 anos de observações. DURIGAN et al. (1993), em um experimento no cerrado paulista, verificou que o número de árvores mortas e quebradas nos tratamentos que sofreram cortes seletivos ficaram em torno de 10%.

Em função dessas experiências, apesar da necessidade de coleta contínua de mais dados, acredita-se ser possível ao manejador florestal aplicar o modelo ora proposto, iniciando, assim, uma primeira aproximação rumo a um melhor conhecimento da realidade futura do crescimento e da produção de florestas naturais sujeitas a cortes.

Um segundo refinamento do modelo diz respeito à construção de matrizes de transição que contemplem as diferentes espécies que compõem a floresta, não as considerando num só conjunto (vide SOLOMON et al., 1987).

O terceiro refinamento refere-se à necessidade de se avaliar mais profundamente as amplitudes diamétricas adequadas para se construir as matrizes. No presente modelo, classes arbitrárias foram utilizadas para efeito de demonstração do modelo e por facilidade operacional. A definição das classes diamétricas pode ser mais apropriadamente feita baseando-se nas taxas de crescimento das árvores. Estudos nesse sentido estão em andamento, os quais estão sendo feitos pelo primeiro autor.

Uma quinta melhoria seria a respeito do uso prévio de uma função matemática de frequência (do tipo Weibull, por exemplo) para alisar a distribuição irregular de árvores em certas classes diamétricas, evitando assim a passagem exagerada de árvores para outras classes ou o impedimento de tal passagem, caso os dados originais estivessem com problemas de amostragem em algumas classes. Esse problema também está sendo estudado e será alvo de publicações futuras.

Um último aspecto seria sobre os dados de recrutamento e mortalidade. Recrutamento e mortalidade são eventos extremamente variáveis e difíceis de quantificar durante poucos anos de coleta de dados (BRUNER & MOSER, 1979). Remedições prolongadas são necessárias para desenvolver equações correlacionando mortalidade e recrutamento com características do povoamento e, assim, assegurar confiabilidade na estimativa desses eventos (SOLOMON et al., 1987). Para enfrentar esse problema, é imprescindível implementar estudos através de parcelas permanentes. Visando contribuir nesse sentido algumas áreas experimentais permanentes já foram estabelecidas em vários ecossistemas sob a responsabilidade dos dois primeiros autores. Os resultados desses experimentos poderão permitir a verificação e a validação formal do modelo proposto neste artigo.

CONCLUSÕES

As estimativas elaboradas neste estudo mostraram que o uso da matriz de transição pode ser um valioso instrumento ao manejador florestal. Verificou-se que tal modelo pode produzir simulações satisfatórias da distribuição diamétrica. O modelo apresentado pode ser utilizado para elaborar simulações do desenvolvimento futuro da floresta após exploração.

As principais vantagens do uso da matriz de transição são a facilidade de ser construída e a possibilidade de desenvolvimento do modelo com apenas duas medições.

A partir de simulações feitas com o modelo aqui apresentado o manejador poderá estimar a frequência diamétrica da floresta no futuro, bem como fazer outras predições concernentes ao planejamento da produção da floresta natural de sua alçada, sejam elas predições de volume, área basal, etc..

O mérito maior do modelo aqui apresentado é que a simulação permite que, dadas certas informações mínimas, o ciclo de corte pode ser determinado. No exemplo apresentado neste estudo foi demonstrado que cortando-se todas as árvores acima de 30 cm de DAP em 1984, 12 anos (1996) ou mais seriam necessários para que a floresta recuperasse o seu estoque inicial.

Finalmente, o presente modelo, se explorado de modo eficiente, poderá se constituir numa ferramenta muito útil para a busca de soluções relativas ao manejo competente de florestas naturais. A possibilidade de determinação do ciclo de corte vem de encontro à necessidade do técnico ou empreendedor florestal em saber o momento ideal de intervir na floresta nativa, bem como às condicionantes legais dos planos de manejo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETO, P. & UHL, C. O potencial de produção sustentável de madeira em Paragominas-PA na Amazônia Oriental: Considerações ecológicas e econômicas. In: I CONGRESSO FLORESTAL PAN-AMERICANO e VII CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais...** Curitiba, 1993, S.B.S/S.B.E.F., v1, p. 387-392.
- BRUNER, H.D., MOSER Jr., J.W. A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands. **Canadian Journal Forest Research**, v.3, p. 409-417, 1979.
- CAMPOS, J.C.C.; RIBEIRO, J.C. & COUTO, L. Emprego da distribuição diamétrica na determinação da intensidade de corte em matas nativas submetidas ao sistema de seleção. **Revista Árvore** v.7, n.2, p. 110-122, 1983.
- COSTA NETO, F. & COUTO, L. 1990. Subsídios para manejo do cerrado. In: VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais...** Campos do Jordão, 1990, S.B.S/S.B.E.F., p. 117-126.
- DE AZEVEDO, C.P. **Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequidâneos pelo emprego da matriz de transição.** Viçosa, MG, UFV., 1993. 118 p. (Dissertação Mestrado).
- DE GRAAF, N. R. **A silvicultural system for natural regeneration of tropical rain forest in Suriname.** Wageningen Agricultural University, 1986. 250p.

- DUBOIS, J. L. C. Silvicultural research in the Amazon. (FAO Report) no. FO: SF/BRA 4. **Technical Report 3**, 1971.
- DURIGAN, G.; GARRIDO, L. M. A. G. & GARRIDO, M. A. O. Manejo silvicultural do cerrado em Assis-SP. In: I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO e VII CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais...** Curitiba, 1993, S.B.S/S.B.E.F., v.1, p. 374-377.
- FREITAS, J.V. de & HIGUCHI, N. 1993. Projeções da distribuição diamétrica de uma floresta tropical úmida de terra firme com a utilização da cadeia de Markov. In: I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO e VII CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais...** Curitiba, 1993, S.B.S/S.B.E.F., v.2, p. 545-548.
- HIGUCHI, N. & VIEIRA, G. Manejo sustentado da floresta tropical úmida de terra firme na região de Manaus - Um projeto de pesquisa do INPA. In: VI Congresso Florestal Brasileiro, **Anais...** Campos do Jordão, 1990, S.B.S/S.B.E.F., v.11, p. 34-37.
- HUSCH, B., MILLER, C.I., & BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 2.ed. New York, Ronald Press, 1972. 410 p.
- JONKERS, W. B. J. Options for silvicultural and management of the mixed dipterocarp forest of Sarawak. (FAO Report) no. FO: FAO/MAL/76/008, **Working Paper 1**.
- LIMA, M. F.; RODRIGUES, S. R. S. & BUSSONS, N. L. Estudo da recuperação da caatinga submetida ao manejo visando produção sustentada de lenha. In: I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO e VII CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais...** Curitiba, 1993, S.B.S/S.B.E.F., v.1, p. 356-358.
- MEYER, H.A. Structural, growth and drain in balanced uneven-aged forest. **Journal of Forestry**, v.50, p. 85-92, 1952.
- NINOMIYA, I., TOMITA, E., TSUJITA, A. & OGINO, K. Diversity of species composition and stand structure in a natural secondary fir-hemlock forest. **The Bulletin of the Ehime University Forest** (em japonês, com resumo em inglês), v.23, p. 59-76, 1985..
- SANQUETTA, C.R. Stand structure and dynamics of a natural secondary fir-hemlock forest. III. Simulation of diameter distribution by a matrix model. In: CII CONGRESSO FLORESTAL DO JAPÃO, 1991, p.539-540.
- SANQUETTA, C.R. **A model of natural regeneration process of a fir-hemlock forest, southwestern Japan**. Universidade de Ehime, Japão, 1994. 136p. (Tese Doutorado)
- SANQUETTA, C.R., NINOMIYA, I., TSUJITA, A. & OGINO, K. Dynamics during a 6-year period in a natural secondary fir-hemlock forest. **The Bulletin of the Ehime University Forest**, v.29, p. 1-14, 1991.
- SANQUETTA, C.R., NINOMIYA, I. & OGINO, K. Age structural analysis of the natural regeneration process of a fir-hemlock secondary forest in southwest Japan. **Journal of the Japanese Forestry Society**, v.76, n.6, p. 506-515, 1994.
- SANQUETTA, C.R.; ANGELO H.; BRENA, D.A. & MENDES J.B.. Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento da floresta natural com matriz markoviana de potência.

Revista Floresta, v.24, n.1/2 , p. 23-37, 1995.

- SCOLFORO, J.R. & SILVA, S.T. O conceito de floresta balanceada de Meyer como opção para intervenção em cerrado sensu stricto. In: I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO e VII CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, **Anais...** Curitiba, 1993, S.B.S/S.B.E.F., v.1, p. 378-381.
- SILVA, J.N.M. **The behavior of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging.** Universidade de Oxford, 1989. 302 p. (Tese Doutorado).
- SOLOMON, D.S., HOSMER, R.A. & HYSLETT Jr., H.T. A two-stage matrix model for predicting growth of forest stands in the Northeast. **Canadian Journal of Forest Research**, v.16, p. 521-28, 1986.
- TOKUI, O. & SAKAUE, M. Notes on the trees and shrubs in the Komenono University Forest. **The Bulletin of the Ehime University Forest** (em japonês, com resumo em inglês), v2, p. 27-54, 1964.
- TSUJITA, A., NINOMIYA, I. & OGINO, K. Relation between the physical and chemical properties of forest soil and slope topography in a natural fir-hemlock forest of the Ehime University Forest. **The Bulletin of the Ehime University Forest** (em japonês, com resumo em inglês), v.24, p. 59-76, 1986.
- YAMANAKA, T. *Abies firma* and *Tsuga sieboldii* forest in Shikoku (Forest climaxes in Shikoku). **Research Reports of Kochi University, Nature Series**, v.10, p. 1-14, 1961.