

Projeção da distribuição diamétrica de fragmentos de florestas semidecíduas com matriz de transição

Carlos R. Sanquetta

Departamento de Ciências Florestais da UFPR
Rua Lothário Meissner, 3400
UFPR, Campus III - Jardim Botânico
80210-170 Curitiba, PR
sanqueta@floresta.ufpr.br

Ulisses Silva da Cunha

Universidade Federal do Amazonas
ucunha@fua.br

Luciano Farinha Watzlawick

Universidade Federal do Paraná
80210-170 Curitiba, PR
luciano_farinha@uol.com.br

Milton Luiz Breno Campos

Universidade Federal do Paraná
80210-170 Curitiba, PR
mcampos@bsi.com.br

(Recebido: 2 de maio de 2001)

Resumo: O presente trabalho trata de um modelo matricial para prognosticar a distribuição diamétrica de fragmentos florestais em diferentes estágios sucessionais. Os dados para a realização da presente pesquisa provieram de parcelas permanentes estabelecidas em fragmentos de florestas semidecíduas localizados nas margens e ilhas formadas pelo reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, localizada no sudoeste do Estado do Paraná. O objetivo foi construir matrizes e vetores para prognose da distribuição diamétrica usando

matriz de transição para os seguintes fragmentos florestais: Capoeira, Capoeirão e Floresta Secundária. Os diferentes valores contidos nos vetores de recrutamento e nas probabilidades de mudança de classes diamétricas permitiram indicar uma forte relação entre o estágio sucessional e as mudanças temporais na estrutura da vegetação. Quanto mais precoce o estágio sucessional mais intensos são os processos dinâmicos. Concluiu-se que o modelo matricial de transição, para a obtenção de estimativas das frequências das classes diamétricas em tipologias sucessionais, é de fácil construção e com bom potencial para aplicação em estudos de ecologia e manejo de fragmentos florestais.

Palavras-chave: floresta estacional semidecidual, estágios sucessionais, dinâmica florestal, modelo matricial, parcelas permanentes

Abstract: This paper approaches a matrix model developed to predict the diameter distribution of forest fragments under different successional stages. Data used in the research came from permanent sample plot established in semideciduous forest tracts located along the reservoir side and the islands created by the dam of the Hydroelectric Plant of Salto Caxias, in southwestern Paraná State, Brazil. The study was carried out to build matrices and vectors to predict the diameter distribution of the following forest types: initial (Capoeira), intermediate succesional (Capoeirão), and advanced succesional stage of the forest. The different values of recruitment and diameter class change noticed in the model for the forest types indicate a strong correlation between the succesional stage of the vegetation and its structural changes with time. The earlier the succesional stage the most intense the dynamic processes. It was concluded that a transition matrix model to predict the diameter distribution of forest fragments in different succesional stages is easy to build and a useful tool to apply in ecological and management studies of forest fragments.

Key Words: semideciduous seasonal forest, succesional stages, forest dynamics, matrix model, permanent plots

1 Introdução

A Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia) caracteriza-se pela dupla estacionalidade climática: uma tropical, com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada e outra subtropical, sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C. A porcentagem das árvores caducifólias, no conjunto florestal e não das espécies que perdem as folhas individualmente, situa-se entre 20 e 50% (IBGE, 1992).

De acordo com SANQUETTA *et al.* (1995), a complexidade de florestas naturais em termos de composição de espécies, idades e tamanhos e a escassez de metodologias e dados científicos sobre dinâmica de florestas naturais dificultam sobremaneira a atuação do profissional envolvido com o manejo desses ecossistemas. Ainda segundo os mesmos autores, a projeção da estrutura diamétrica no tempo é de real importância para o manejo e a economia das florestas nativas, pois, a partir dos diâmetros futuros, pode-se estimar as produções e definir as intervenções no povoa-

mento que assegurem a sustentabilidade econômica e ecológica das florestas.

WADSWORTH (1977) descreveu a dinâmica sucessional de povoamentos multi-
anos em solos abertos. No início do processo, surgem os primeiros indivíduos com
características de espécies pioneiras heliófilas, os quais desenvolvem-se com o passar
do tempo formando estratos verticais através da dominância de uns indivíduos sobre
outros. O estágio em que existe permuta contínua entre o estrato superior e infe-
rior é raramente alcançado em muitas florestas por causa de distúrbios. O efeito de
distúrbios conduz o desenvolvimento do povoamento para estágios anteriores. Exis-
te, no entanto, áreas nas quais distúrbios de maior impacto não são freqüentes e as
florestas desenvolvem-se até um ponto que pode ser considerado clímax.

A culminação desse processo é uma comunidade onde o ingresso, crescimento
e mortalidade constituem-se nos fatores básicos ao desenvolvimento da estrutura
diamétrica, os quais dependem do meio ambiente, fatores bióticos, composição de
espécies e densidade. Assim, os fatores diretamente relacionados com o desenvolvi-
mento de distribuições diamétricas são as taxas de ingresso, crescimento e mortali-
dade, isto é, as mudanças em números de novos indivíduos do povoamento, incre-
mento do diâmetro e perdas por mortalidade.

Os fragmentos florestais constituem-se nos mais importantes remanescentes de
florestas naturais, distribuem-se em grandes áreas ou regiões e na maioria das vezes
estão confinados em porções descontínuas de vegetação. A preservação de muitas
dessas áreas deve ser uma estratégia a ser seguida pelos pesquisadores que estudam a
dinâmica de floresta e seus remanescentes. Para se entender a estrutura e a dinâmica
atuais de um fragmento, é importante reconstituir a história da vegetação local,
pois conhecer o tamanho de um fragmento é o primeiro passo para o seu manejo.
Certamente que, através do conhecimento da dinâmica de fragmentos florestais,
pode-se estabelecer bases alternativas para o manejo das florestas nativas ainda
existentes. Combinando-se os vários estágios sucessionais dos fragmentos florestais,
pode-se obter conclusões importantes sobre a estrutura das florestas que permitam
projetar o seu comportamento futuro.

Segundo HIGUCHI (1987), o uso da cadeia de Markov é uma alternativa para os
estudos de crescimento de florestas naturais, uma vez que, ao contrário dos modelos
clássicos usados em plantações florestais, não se apóia em variáveis de difícil acesso
em florestas naturais tais como a idade e o índice de sítio.

O presente trabalho tem como objetivo fazer a prognose da distribuição diamétrica
usando matriz de transição, sem o envolvimento da idade como variável indepen-
dente, considerando apenas o tempo de passagem.

2 Material e métodos

A área de estudo localiza-se nas margens e ilhas formadas pelo reservatório da
Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, no baixo curso do rio Iguaçu, no Terceiro Planalto
do Paraná, entre os municípios de Capitão Leônidas Marques e Nova Prata do
Iguaçu, no sudoeste do Estado do Paraná, entre as coordenadas geográficas 25°32'35"

de latitude sul e 53°29'43" de longitude oeste de Greenwich (figura 1).

A vegetação da área de estudo é caracterizada pela predominância da Floresta Estacional Semidecidual, sendo uma região de contato entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual. No entanto, o principal fator que determina a ocorrência de uma ou outra tipologia é a altitude do local considerado (VELOSO, 1991).

Na composição florística, destacam-se espécies emergentes como: *Aspidosperma polyneuron* (peroba-rosa), *Ficus luschnatiana* (figueira-branca), *Galesia gorarema* (pau d'alho), *Alchornea glandulosa* e *Machaerium minutiflorum* (tapiá), *Tetrorchidium rubrivenium* (canemão), *Anadenanthera colubrina* (angico), *Syagrus romanzoffiana* (gerivá) e *Casearia gossyplosperma* (guaçatunga).

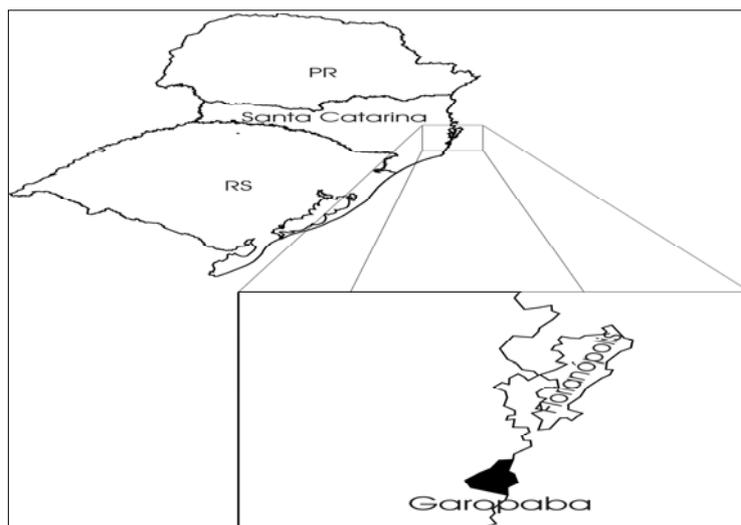


Figura 1. Mapa da América do Sul, destacando a localização da área de estudo no Estado do Paraná

O sub-bosque é constituído por elementos bastante característicos quanto à forma e tamanho, na maioria de pequenas alturas, não chegando a 8 metros, sendo composto pelas seguintes espécies: *Trichilia elegans* (pau-de-ervilha), *Actinostemon concolor* (laranjinha-do-mato), *Solanum argenteum* (joá-manso), *Sorocea bonplandii* (xinxo), *Mollinedia clavigera*, *Picramnia ramiflora*, *Cestrum intermedium* (coerana), *Justicia brasilliana* (junta-de-cobra-vermelha) e *Prockia crucis*.

O trabalho de coleta de dados na primeira amostragem iniciou-se em novembro de 1998 e terminou em fevereiro de 1999. A segunda coleta de dados referente à vegetação foi realizada em janeiro de 2000. Nesses trabalhos, foram efetuadas as implantações das parcelas, a medição e identificação dos indivíduos, com a coleta adicional de material botânico para identificação em laboratório.

Para a coleta de dados da vegetação e do meio físico, foram utilizadas as mesmas unidades amostrais. Essas unidades foram distribuídas ao acaso ao longo do

reservatório, em três porções distintas, variando conforme a distância da barragem: *i*) próxima à barragem; *ii*) média distância à barragem; e *iii*) longe da barragem.

Para cada transecto perpendicular à margem do reservatório, foram agrupadas 4 parcelas justapostas S_1 , S_2 , S_3 e S_4 , conforme a figura 2. No total foram instaladas 40 parcelas do tipo S_1 , S_2 , \dots , S_{40} , de formato retangular, medindo $10\text{m} \times 25\text{m}$ (figura 2), distribuídas entre as diferentes formações vegetais em sucessão, visualmente classificadas como Campo, Capoeira, Capoeirão e Floresta Secundária, perfazendo um total de 10 transectos. A disposição paralela entre as parcelas do mesmo transecto teve por finalidade permitir analisar o comportamento da vegetação e do solo nos diferentes gradientes em relação à margem do reservatório.

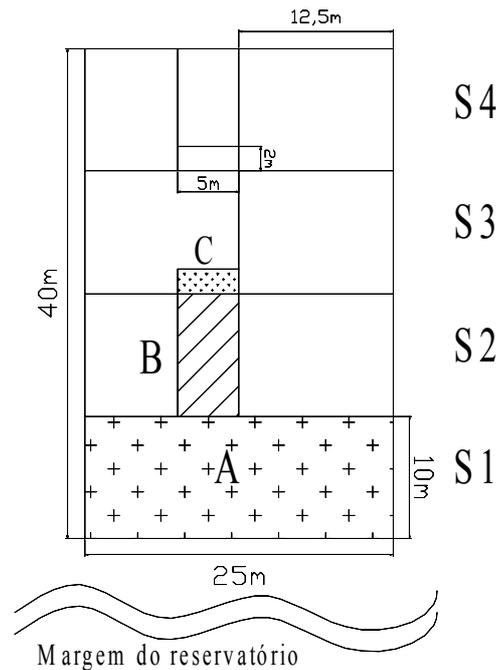


Figura 2. Modelo de transecto mostrando o arrajo espacial das parcelas S_1 , S_2 , S_3 e S_4 e compartimentos (A, B, C)

Os compartimentos B ($5\text{m} \times 10\text{m}$) e C ($2\text{m} \times 5\text{m}$), foram instalados sistematicamente, a partir da metade esquerda de cada parcela (figura 2). Nos compartimentos A ($25\text{m} \times 40\text{m}$), foram medidos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) superior a 10 cm, nos compartimentos B , foram medidos os indivíduos com DAP entre 3,8 cm e 10 cm e nos compartimentos C , foram medidos os indivíduos que compõem a regeneração natural, com DAP inferior a 3,8 cm e altura superior a 3 m.

Para a análise foram utilizados apenas os dados das tipologias Capoeira, Capoeirão e Floresta Secundária, adotando-se como critério dessa escolha, o maior agrupamento de cada tipologia por transecto, o que resultou na escolha de 10 parcelas de Capoeira, 3 parcelas de Capoeirão e 6 parcelas de Floresta Secundária.

Em um modelo de matriz de transição para a projeção da distribuição diamétrica dos fragmentos florestais, tem-se que, no momento inicial t (presente), se conhece o vetor de frequência das classes de diâmetros com casca e pretende-se fazer a prognose desse vetor num certo momento $t + p$ (futuro). Esse resultado foi obtido a partir do seguinte modelo

$$N_{t+p} = T_p \cdot N_t + R_p \quad (6)$$

onde

- N_{t+p} é o vetor do número de árvores em classes diamétricas no ano $t + p$
- N_t é o vetor do número de árvores em classes diamétricas no ano t
- T_p é a transposta da matriz probabilística de transição da floresta para o período p
- R_p é o vetor de recrutamento (ingresso) na floresta durante o período p

Para BRUNER e MOSER (1973), predições do desenvolvimento e da dinâmica de florestas com cadeias de Markov têm aspectos positivos e negativos. Esse tipo de representação assume probabilidades que dependem somente do estado presente da floresta e cujas transições são mantidas constantes ao longo do tempo. Isso mostra alguma inflexibilidade do método, uma vez que possíveis diferenças no padrão do crescimento das árvores, devidas à competição por exemplo, não podem ser expressas por valores fixos. Da mesma forma, os agentes causadores do recrutamento e mortalidade não podem ser incorporados ao modelo. Outra limitação refere-se ao período de projeção, que só pode ser múltiplo do período em que a matriz T_p^n foi construída.

3 Resultados

Aplicando-se as equações de (1) a (6), obteve-se a matriz inicial de probabilidades de transição por classe diamétrica para cada tipologia para o período 1999-2000. Multiplicando-se cada matriz inicial transposta T_p pelos vetores N_t e somando-se os resultados aos vetores R_p (recrutamento), obtiveram-se os vetores N_{t+p} , que expressam os valores preditos do número de árvores por classe diamétrica para o ano 2001.

A matriz (a) refere-se à Capoeira e resultou da combinação dos seguintes números de compartimentos: $A = 10$, $B = 10$ e $C = 8$, totalizando uma área de $10 \times 250 = 2500 \text{ m}^2$ para A , $10 \times 50 = 500 \text{ m}^2$ para B e $8 \times 10 = 80 \text{ m}^2$ para C . O vetor R_p , mostra que na classe [3,8-9,9] ocorreu o maior recrutamento, influenciado pela contribuição do recrutamento de C para B (R_{CB}) com 10 indivíduos e em função do próprio recrutamento de B com 20 indivíduos. O recrutamento de 21 indivíduos em A resultou da combinação de 12 indivíduos recrutados em A e 9 indivíduos advindos de B .

$$\begin{array}{ccc}
 N_{t+p} & & T_p \text{ (Capoeira)} & & N_t \\
 \left(\begin{array}{c} 19 \\ 107 \\ 60 \\ 26 \\ 5 \\ 8 \\ 4 \end{array} \right) & = & \left(\begin{array}{cccccc} 0,857 & & & & & \\ & 0,963 & & & & \\ & & 0,736 & & & \\ & & 0,245 & 0,929 & & \\ & & & & 0,625 & \\ & & & & 0,250 & 0,857 \\ & & & & & 0,143 & 1,000 \end{array} \right) & \left(\begin{array}{c} 21 \\ 80 \\ 53 \\ 14 \\ 8 \\ 7 \\ 3 \end{array} \right)
 \end{array}$$

a

$$\begin{array}{ccc}
 & N_p & R_p & CD \text{ (cm)} \\
 = & \left(\begin{array}{c} 18 \\ 77 \\ 39 \\ 26 \\ 5 \\ 8 \\ 4 \end{array} \right) & + & \left(\begin{array}{c} 1 \\ 30 \\ 21 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right) & \begin{array}{l} 0 - 3,8 \\ 3,8 - 9,9 \\ 10 - 14,9 \\ 15 - 19,9 \\ 20 - 24,9 \\ 25 - 29,9 \\ \geq 30 \end{array} & (7)
 \end{array}$$

Observa-se, pelos números mostrados na matriz (**a**), que essa formação apresentou, em apenas um ano, um recrutamento bastante significativo e probabilidades de mudança de classes também expressivas. O modelo matricial exprime, de maneira bastante evidente e simples, os principais processos da dinâmica da comunidade.

A matriz (**b**) refere-se ao Capoeirão e resultou da combinação dos seguintes números de compartimentos: $A = 3$, $B = 3$ e $C = 2$, totalizando uma área de $3 \times 250 = 750 \text{ m}^2$ para A , $3 \times 50 = 150 \text{ m}^2$ para B e $2 \times 10 = 20 \text{ m}^2$ para C . O vetor R_p mostra que não houve recrutamento na classe $[0-3,8]$ e que o maior recrutamento ocorreu na classe $[3,8-9,9]$ com 100% de contribuição originada de C . O recrutamento de A resultou da combinação de 1 indivíduo de B para A (R_{BA}) e de 2 indivíduos recrutados no próprio A .

Como é observado na matriz (**b**), essa formação apresentou um recrutamento bem inferior ao da Capoeira, assim como valores mais baixos de probabilidades de mudança de classes. Novamente, o modelo matricial exprime, de forma clara, o comportamento da comunidade florestal em apuro.

$$\begin{matrix} N_{t+p} & & T_p \text{ (Capoeirão)} & & N_t \\ \begin{pmatrix} 4 \\ 22 \\ 24 \\ 15 \\ 7 \\ 6 \\ 4 \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} 1,000 & & & & & & \\ & 0,947 & & & & & \\ & & 0,840 & & & & \\ & & 0,080 & 0,765 & & & \\ & & 0,040 & 0,118 & 1,000 & & \\ & & & 0,059 & & 1,000 & \\ & & & & & & 1,000 \end{pmatrix} & & \begin{pmatrix} 4 \\ 19 \\ 25 \\ 17 \\ 4 \\ 5 \\ 4 \end{pmatrix} \\ & & \mathbf{b} & & & & \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & N_p & R_p & CD \text{ (cm)} \\ & \begin{pmatrix} 4 \\ 18 \\ 21 \\ 15 \\ 7 \\ 6 \\ 4 \end{pmatrix} & + \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} & \begin{matrix} 0 - 3,8 \\ 3,8 - 9,9 \\ 10 - 14,9 \\ 15 - 19,9 \\ 20 - 24,9 \\ 25 - 29,9 \\ \geq 30 \end{matrix} \\ = & & & \end{matrix} \quad (8)$$

$$\begin{matrix} N_{t+p} & & T_p \text{ (Floresta Secundária)} & & N_t \\ \begin{pmatrix} 12 \\ 30 \\ 39 \\ 21 \\ 5 \\ 5 \\ 8 \\ 7 \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} 1,000 & & & & & & \\ & 1,000 & & & & & \\ & & 1,000 & & & & \\ & & & 1,000 & & & \\ & & & & 0,833 & & \\ & & & & 0,167 & 1,000 & \\ & & & & & & 0,889 \\ & & & & & & 0,111 & 1,000 \end{pmatrix} & & \begin{pmatrix} 12 \\ 29 \\ 37 \\ 21 \\ 6 \\ 4 \\ 9 \\ 6 \end{pmatrix} \\ & & \mathbf{c} & & & & \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} & N_p & R_p & CD \text{ (cm)} \\ & \begin{pmatrix} 12 \\ 29 \\ 37 \\ 21 \\ 5 \\ 5 \\ 8 \\ 7 \end{pmatrix} & + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} & \begin{matrix} 0 - 3,8 \\ 3,8 - 9,9 \\ 10 - 14,9 \\ 15 - 19,9 \\ 20 - 24,9 \\ 25 - 29,9 \\ 30 - 34,9 \\ \geq 35 \end{matrix} \\ = & & & \end{matrix} \quad (9)$$

A matriz (**c**) refere-se à Floresta Secundária e resultou da combinação dos seguintes números de compartimentos: $A = 6$, $B = 6$ e $C = 4$, totalizando uma área de $6 \times 250 = 1500 \text{ m}^2$ para A , $6 \times 50 = 300 \text{ m}^2$ para B e $4 \times 10 = 40 \text{ m}^2$ para C .

Percebe-se, a partir dos números reportados no modelo matricial (**c**), que os processos dinâmicos são bem menos intensos nessa formação, comparando-se com os previamente mencionados, ou seja, o recrutamento é inferior e as taxas de mudança de classes são também pouco significativas.

A variação do número de compartimentos por tipologia deve-se à disponibilidade de dados nas parcelas por tipologia, razão pela qual o número total de compartimentos não é igual, variando dentro e entre tipologias. Portanto, o fato de o somatório dos compartimentos $A = 19$ e $B = 19$ ter resultado em valores iguais com $A = 10 + 3 + 6$ e $B = 10 + 3 + 6$, é mero efeito de casualidade, o que não significa que para $C = 8 + 2 + 4 = 14$ tenha havido alguma falha de dimensionamento.

Através do número e da área de cada compartimento, pôde-se estabelecer facilmente a projeção da distribuição diamétrica por hectare, para o ano 2001, conforme consta na tabela 1.

| Classe DAP (cm) | Capoeira (N/ha) | Capoeirão (N/ha) | Classe DAP (cm) | Floresta Secundária (N/ha) |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------|
| 0 – 3,8 | 2375 | 2000 | 0 – 3,8 | 3000 |
| 3,8 – 9,9 | 2140 | 1400 | 3,8 – 9,9 | 1000 |
| 10 – 14,9 | 237 | 320 | 10 – 14,9 | 260 |
| 15 – 19,9 | 103 | 200 | 15 – 19,9 | 140 |
| 20 – 24,9 | 20 | 93 | 20 – 24,9 | 33 |
| 25 – 29,9 | 35 | 80 | 25 – 29,9 | 33 |
| ≥ 30 | 17 | 53 | 30 – 34,9 | 53 |
| | | | ≥ 35 | 47 |

Tabela 1. Projeção da distribuição diamétrica por tipologia vegetal por hectare referente ao ano 2001

De um modo geral, observa-se que o modelo matricial é uma forma interessante de sintetizar o que ocorre na vegetação, usando apenas dados de diâmetro de duas amostragens sucessivas. Além disso, a capacidade de prognosticar a estrutura da floresta no futuro faz do modelo matricial uma ferramenta eficiente e de fácil construção, útil em estudos de ecologia e de manejo florestal.

Apesar dos resultados obtidos, o modelo apresenta várias limitações em virtude de sua simplicidade, como já reportado por SANQUETTA *et al.* (1995). Além disso, o período de apenas dois anos de observação é por demais curto para considerações mais contundentes sobre a evolução temporal da estrutura dos fragmentos florestais em investigação, constituindo-se em um ponto fraco do presente trabalho.

4 Conclusões

A pesquisa permite relatar as seguintes conclusões:

1. O modelo matricial de transição é interessante para analisar a dinâmica da distribuição diamétrica de fragmentos florestais, pois seus elementos quantitativos permitem interpretações numéricas objetivas dos resultados desse processo na mudança da estrutura da vegetação.

2. As mudanças na vegetação, apesar de aparentemente lentas, ocorrem de forma visível, mesmo em um período de apenas um ano. Diferenças marcantes nos indicadores numéricos de recrutamento e crescimento diamétrico foram percebidas entre as três classes tipológicas de vegetação.

3. O estágio sucessional mais precoce (Capoeira) foi o que apresentou mudanças mais relevantes e, no outro extremo, a Floresta Secundária mostrou-se praticamente estática em termos de mudanças dimensionais.

4. Aperfeiçoar o modelo matricial aqui apresentado e efetuar remedições em períodos mais longos para validar as projeções do modelo são metas a serem perseguidas, cujo escopo deverá ser alvo de outras publicações no futuro.

Referências bibliográficas

- BRUNER, H. D. ; MOSER Jr. , J. W. *A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands*. Can. J. For. Res., n. 3, p. 409-417. 1973.
- HIGUCHI, N. *Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the Brazilian Amazon*. Tese de doutorado. Michigan State University, 1987. 129p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Série Manuais Técnicos em Geociências. 1992. 92p. Rio de Janeiro, n. 1, 1992.
- SANQUETTA, C. R.; ANGELO, H.; BRENA, D. A.; MENDES, J. B. *Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento de floresta natural com matriz markoviana de potência*. Curitiba, 1995. Floresta. n. 24, v.1/2, p. 23-26.
- VELOSO, H. P.; FILHO, A. L. R. R.; LIMA, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.
- WADSWORTH, R. K. *A study of diameter distributions of an uneven aged tropical forest means of a transition matrix model*. Washington, 1977. Thesis (Doctor of Philosophy)-College of Forest Resources, University of Washington. 155p.