

# DINÂMICA DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DA REGENERAÇÃO NATURAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS E ARBUSTIVAS NO SUB-BOSQUE DE POVOAMENTO PURO DE *Mimosa scabrella* Bentham, EM ÁREA MINERADA, EM POÇOS DE CALDAS, MG<sup>1</sup>

Mauro Eloi Nappo<sup>2</sup>, James Jackson Griffith<sup>3</sup>, Sebastião Venâncio Martins<sup>3</sup>, Paulo De Marco Júnior<sup>4</sup>, Agostinho Lopes de Souza<sup>3</sup> e Ary Teixeira de Oliveira Filho<sup>5</sup>

**RESUMO** – A área do Retiro-Branco, de propriedade da Companhia Geral de Minas, subsidiária da ALCOA Alumínio S.A., foi minerada para a extração de bauxita de 1978 até 1981. Em 1982/1983, essa área teve seu processo de reabilitação implementado mediante a hidrossemeadura de gramíneas e leguminosas e o plantio puro de *Mimosa scabrella* Bentham. Em 1997 foi realizado o primeiro inventário da regeneração natural do Retiro-Branco, através da implantação de 19 parcelas permanentes para caracterização inicial do processo de sucessão natural. E em 2000 foi realizado o segundo inventário dessas parcelas para caracterizar o processo de dinâmica da regeneração, o objeto deste trabalho. O processo de dinâmica da regeneração natural foi caracterizado mediante análises quantitativas e qualitativas da distribuição diamétrica. Os estudos indicaram que o monitoramento mediante inventário florestal contínuo, com parcelas permanentes setorizadas, é uma ferramenta viável para avaliações da dinâmica da regeneração natural, rumo à compreensão dos caminhos da sucessão. Foi caracterizado o processo de estratificação da regeneração natural, em que as espécies pioneiras e clímax foram as principais componentes do estrato inferior e as secundárias, as principais componentes do estrato superior. O povoamento florestal do Retiro-Branco está sobre intensa atividade de estruturação, caracterizando o estágio inicial do processo de sucessão. As espécies secundárias são as de maior dominância nas maiores classes de altura e de diâmetro, sendo as principais responsáveis pela edificação do estrato superior. A prognose da distribuição diamétrica, realizada mediante o emprego da Cadeia de Markov, foi uma ferramenta de fácil implementação e que permitiu prever o caminho do processo de sucessão para o povoamento todo e para os grupos ecológicos de espécies, ampliando o entendimento dos mecanismos que regem o comportamento interno da sucessão.

Palavras-chave: Dinâmica da regeneração natural, distribuição diamétrica e prognose.

## ***DIAMETRIC STRUCTURE DYNAMICS FOR TREE AND SHRUB NATURAL REGENERATION UNDERSTORY WITHIN PURE STANDS OF *Mimosa scabrella* Bentham PLANTED ON A MINED-OUT SITE AT POÇOS DE CALDAS, MINAS GERAIS STATE***

**ABSTRACT** – Retiro-Branco mine, a property of Companhia Geral de Minas, subsidiary of ALCOA Alumínio S.A., underwent bauxite extraction from 1978 to 1981. In 1982/1983 as part of its mine rehabilitation strategy, herbaceous species were hydroseeded and tree seedlings of *Mimosa scabrella* Bentham planted in the mining

---

<sup>1</sup> Recebido em 07.05.2003 e aceito para publicação em 25.11.2004.

<sup>2</sup> Departamento de Fitotecnia CCA/UFES, CEP 29.500-000, Alegre (ES).

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Florestal - UFV, CEP: 36570-000, Viçosa (MG).

<sup>4</sup> Departamento de Biologia Geral – UFV, CEP: 36570-000, Viçosa (MG).

<sup>5</sup> Departamento de Ciências Florestais - UFLA, CP. 37 - CEP 37.200-000 Lavras (MG).

site. In 1997, 19 sample plots (50m<sup>2</sup>) were established in this area for the initial characterization of the natural regeneration process. In 2000, a second inventory was performed in the same plots to characterize natural regeneration dynamics. The process of natural regeneration dynamics was characterized through quantitative and qualitative analyses of diameter distribution. These studies demonstrated that using continuous forest inventory with a sample plot grid is a viable tool for evaluating natural regeneration dynamics. The stratification process for natural regeneration was characterized. Pioneer and climax species are the main components of the inferior stratum and the secondary ones the main component of the superior stratum. Retiro-Branco forest was found to be undergoing intense structuring activity, characterizing initial stage of succession. Secondary species are the most dominant in classes with greatest height and diameter, being the most responsible for the superior stratum construction. Diameter distribution prediction using Markov Matrix proved to be a simple way for foreseeing both the succession process of natural regeneration and future ecological groupings of species, increasing the understanding of mechanisms that rule internal succession behavior.

*Key words: Natural regeneration dynamics, diameter distribution and prediction.*

## 1. INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica dos processos que ocorrem ao longo do tempo em florestas ineqüiâneas é um grande desafio. Visualizar as mudanças, determinar suas principais causas e avaliá-las qualitativa e quantitativamente são o caminho para compreender os fenômenos que ocorrem na natureza, permitindo estabelecer relações para prever conseqüências futuras, dando ao manejador condições de realizar um manejo mais refinado.

Muitos dos fenômenos do processo de sucessão podem ser estudados como se cada um passasse por uma seqüência de estados a partir de um estado inicial e que a transição de determinado estado para o seguinte ocorresse segundo certa probabilidade (BOLDRINI et al., 1978). No caso em que essa probabilidade de transição dependa apenas do estado em que o fenômeno se encontra e do estado seguinte, o processo é chamado de *Processo de Markov*, e uma seqüência de estados seguindo esse processo é denominada *Cadeia de Markov*. A cadeia de Markov é um processo estocástico que possui um número finito de estados; atende à propriedade markoviana, ou seja, a probabilidade de transição depende apenas do estado em que o fenômeno se encontra e do estado seguinte; possui uma matriz estacionária; e tem uma probabilidade inicial associada a cada estado (HILLER e LIEBERMAN, 1980).

Entre os modelos de matrizes de transição, a matriz de Markov, ou cadeia de Markov, é utilizada na prognose

e desenvolvimento de povoamentos ineqüiâneos. Esse modelo utiliza o conceito de estado, que é a situação em que uma árvore pode ser encontrada, como: ingresso, classe de diâmetro, emigração, mortalidade, colheita etc. O ingresso representa o número de árvores que surgem, pela primeira vez, em classes de diâmetro, em dado intervalo de tempo. Uma vez que uma árvore esteja em um estado, ela pode permanecer nele ou emigrar para outro. Os movimentos de um estado para outro são calculados pelas probabilidades de transição. O modelo assume que a probabilidade de movimentos de árvores de um estado para outro depende somente do estado inicial e é constante em todo o período de projeção (AZEVEDO et al., 1995).

Em especial para estudos de regeneração natural e áreas sobre intensa dinâmica em virtude de perturbações, o acompanhamento da dinâmica da estrutura diamétrica e a prognose devem ser feitos com cautela, sendo pequeno o intervalo de tempo entre os levantamentos e a prognose feita também para pequenos intervalos de tempo futuros. O monitoramento por períodos de tempo prolongados é a maneira mais confiável para o melhor ajuste dos modelos.

Os objetivos deste estudo foram analisar a dinâmica da estrutura diamétrica da regeneração natural sob povoamento de *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga) na mina exaurida de bauxita, "Retiro-Branco", visando conhecê-la e inferir sobre os caminhos do processo de sucessão através do uso da cadeia de Markov, como ferramenta de prognose.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. O local de estudo

O local de estudo, denominado “Retiro-Branco”, de propriedade da Companhia Geral de Minas, subsidiária da ALCOA Alumínio S.A., tem área de 6,44 ha, está a 1.500 m de altitude na porção superior da vertente voltada para a face NE, no Planalto de Poços de Caldas, MG. Essa área foi minerada para extração de bauxita entre 1978 e 1981, tendo sido desmatada e removida a camada superficial de solo (de 30 a 40 cm), e minerada à profundidade média de 4,5 m. Posteriormente, em 1982/1983 foi feita a reconstrução topográfica do terreno, tendendo à topografia original, com adoção de práticas de conservação de solos e recolocação da camada de solo superficial de aproximadamente 30 cm; em seguida foi feita a revegetação compondo dois estratos, um herbáceo mediante hidrossemeadura em área total com *Lolium multiflorum* Lam. (azevém), *Glycine wightii* Willd. (soja-perene) e *Melinis minutiflora* Beauv. (capim-gordura) e outro arbóreo com *Mimosa scabrella* Bentham em espaçamento de 5 m×5 m.

Nas circunvizinhanças do Retiro-Branco são encontrados diversos fragmentos de vegetação, constituída predominantemente por contatos transicionais entre floresta estacional semidecidual e floresta ombrófila mista e savana gramíneo-lenhosa, estando estes sob ação antrópica variada, e um grande mosaico formado por povoamentos puros de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. e povoamentos mistos, com espécies arbóreas e arbustivas, originários de práticas de reabilitação de áreas degradadas.

A posição topográfica do Retiro-Branco faz com que haja forte exposição a ventos fortes, provocando o tombamento das árvores adultas de *Mimosa scabrella* originais do plantio de reabilitação, em proporções muito significativas. No entanto, é um importante fator no processo de dispersão de propágulos para a colonização da área.

### 2.2. Procedimentos de campo

Foram identificados e medidos o diâmetro à altura do solo (DAS) e de altura total (H) dos indivíduos de espécies arbóreas e arbustivas com altura igual ou superior a 0,30 m e que não tenham sido provenientes do plantio inicial, mediante inventário florestal contínuo, sendo o primeiro em 1997 (t) e o segundo

em 2000 (t + 1). Para tanto foram empregadas parcelas permanentes, setorizadas, nos dois inventários. A intensidade amostral foi de 19 parcelas permanentes de 50 m<sup>2</sup>, tendo sido testadas pelo procedimento de curva espécie-área apresentado por Nappo (1999).

### 2.3. Distribuição diamétrica

Os dados da vegetação foram arquivados por área de estudo, por parcela e setor em cada ocasião de inventário. Essa estrutura de coleta e armazenamento de dados permitiu a utilização de qualquer critério de estratificação no estudo da regeneração natural das áreas em estudo.

As classes de diâmetro foram definidas adotando-se amplitude de 2,0 cm. Dessa forma foi feita a distribuição diamétrica para a regeneração natural total, nos dois momentos de monitoramento, 1997 e 2000, e em separado para cada grupo ecológico, permitindo visualizar as alterações ocorridas na distribuição de diâmetros de forma mais pormenorizada.

### 2.4. Prognose da estrutura diamétrica

O modelo usado para a predição da estrutura diamétrica da regeneração natural da área do Retiro-Branco foi o de matriz de transição. Esse é um modelo de classificação por tamanho, ou uma forma do modelo matricial de *Leslie*. Segundo Enright e Ogden (1979), o único requisito desse modelo é que as populações possam ser divisíveis em grupos de estados e que existam possibilidades de movimentação de um estado para o outro ao longo do tempo. As probabilidades de transição de um estado para outro foram feitas empregando-se a seguinte fórmula, segundo Azevedo (1993):

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}$$

em que:  $P_{ij}$  = probabilidade de transição;  $n_{ij}$  = número de indivíduos na classe j, no tempo t+1, uma vez que estavam, na classe i, no tempo t; e  $n_i$  = número total de indivíduos na classe i, no tempo t.

O número de árvore por classe de diâmetro após decorrido um período de tempo foi obtido aplicando-se as equações de Chapman-Kolmogorov (PARZEN, 1962), por:

$$Y_{10} = GY_0 + CL$$

em que:  $Y_{1q}$  = vetor-coluna do número de árvores por classe de diâmetro, após decorrido um período de tempo;  $G$  = matriz de probabilidade de transição;  $Y_0$  = vetor-coluna do número de árvores por classe de diâmetro, no tempo  $t$ ; e  $CL$  = vetor-coluna de árvores que ingressaram durante um período de tempo.

O vetor-coluna que representa o ingresso do número de árvores por hectare para a regeneração natural total e separadamente para os grupos ecológicos, para um intervalo de tempo futuro, foi obtido empregando-se a seguinte equação:

$$CL_{t+1} = e^{b_0 - b_1 AB_t}$$

em que:  $CL_{t+1}$  = ingresso do número de árvores no tempo  $t + 1$ ; e  $AB_t$  = área basal no tempo  $t$ .

As áreas basais para a regeneração natural total e para os grupos ecológicos das espécies, observadas no tempo 2000 ( $t+1$ ) e utilizadas para compor os vetores ingressos, foram obtidas segundo a expressão:

$$AB_{t+1} = \sum_{i=1}^j \frac{\pi CD_i^2}{40000} \times N_i$$

em que:  $AB_t$  = área basal no tempo “ $t + 1$ ”;  $CD$  = centro de classe de diâmetro;  $N_i$  = número de indivíduos no  $i$ -ésimo centro de classe de diâmetro; e  $j$  = número de centros de classe de diâmetro.

Para melhor caracterizar o caminho do processo de sucessão do povoamento estudado, o processo de prognose foi realizado para a regeneração natural como um todo e em separado para os grupos ecológicos (pioneiras, secundárias e clímax) por classe de diâmetro. Para realizar as prognoses dos grupos ecológicos foram utilizadas as matrizes de probabilidade, obtidas para cada grupo ecológico de espécies ( $G_p$ ,  $G_s$  e  $G_c$ ) em relação ao total de indivíduos do povoamento, o vetor de número de indivíduos total da regeneração natural e os vetores ingressos do número de indivíduos por grupo ecológico ( $C_{P2003}$ ,  $C_{S2003}$  e  $C_{C2003}$ ) obtido pelo ajuste das equações de ingresso para cada um dos grupos ecológicos. Em seguida, foi aplicada a equação de Chapman-Kolmogorov, para a estimativa dos vetores resultantes do número de indivíduos por grupo ecológico ( $\hat{Y}_{P2003}$ ,  $\hat{Y}_{S2003}$  e  $\hat{Y}_{C2003}$ ), por classe de diâmetro, para um intervalo de tempo futuro, 2003 ( $t+2$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Distribuição de diâmetros e prognose do número de indivíduos

Os diâmetros apresentam amplitude de 0,2 a 17,0 cm. Esses foram agrupados em classes de diâmetro com amplitude de 2,0 cm, visando caracterizar a distribuição diamétrica em “J” invertido, característica de povoamentos inequidistantes (Quadro 1).

É observada uma dinâmica muito grande de estados devido às alterações na distribuição do número de indivíduos ocorridas no período de medição 1997( $t$ ) e 2000 ( $t+1$ ), como: indivíduos que emigram de classe de diâmetro (diagonais secundárias); indivíduos mortos; indivíduos que ingressaram e indivíduos que permaneceram na mesma classe de diâmetro (diagonal principal); e aumento do número de classes de diâmetro (Quadro 2).

A matriz de probabilidade de transição expressa o comportamento da distribuição do número de indivíduos pelas classes de diâmetro, permitindo visualizar com maior clareza o declínio das probabilidades de ingresso e mortalidade no sentido de aumento das classes de diâmetro e a grande emigração observada a partir da classe 2 de diâmetro - 2,0 a 3,9 cm (Quadro 3).

**Quadro 1** – Classes diamétricas utilizadas na análise de distribuição de diâmetros e prognose do número de indivíduos da regeneração natural do Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG

**Table 1** – Diameter classes used for analysing distribution of diameters and prediction of the number of individuals for natural regeneration at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil

Centro de Classe de Diâmetro (CD)	Amplitude de Classe (cm)*
1	0,0 – 1,9
3	2,0 – 3,9
5	4,0 – 5,9
7	6,0 – 7,9
9	8,0 – 9,9
11	10,0 – 11,9
13	12,0 – 13,9
15	14,0 – 15,9
17	16,0 – 18,0

**Quadro 2** – Matriz de progressão do número de indivíduos por hectare, por centro de classe de diâmetro, no período de 1997 a 2000, da regeneração natural no Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG. CD = centro de classe de diâmetro

**Table 2** – Matrix of progression of number of individuals per hectare for center of diameter class, during 1997 to 2000, for natural regeneration at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil. CD = center of diameter class

CD 2000	CD 1997									Ingresso	Total 2000
	1	3	5	7	9	11	13	15	17		
1	6.810,53									15.947,37	22.757,89
3	2.357,89	1.178,95								484,21	4.021,05
5	284,21	1.252,63	252,63							21,05	1.810,53
7	73,68	357,89	494,74	94,74						10,53	1.031,58
9		10,53	168,42	168,42	10,53						357,89
11		10,53	63,16	84,21	42,11	21,05					221,05
13				42,11	21,05	10,53	21,05				94,74
15			10,53	10,53	10,53	21,05	10,53	0			63,16
17					10,53	21,05	21,05	0,00	0,00		
Mortalidade	6.136,84	347,37	126,32	31,58	10,53						
Total 1997	15.547,37	3.157,89	1.115,79	431,58	105,26	73,68	52,63	0,00	0,00	16.463,16	

**Quadro 3** – Matriz de probabilidade de transição (G), por centro de classe de diâmetro, no período de 1997 a 2000, para a regeneração natural no Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG. CD = centro de classe de diâmetro

**Table 3** – Matrix of transition probability (G), for center of diameter class, during 1997 to 2000, for the natural regeneration at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil. CD = center of diameter class

CD 2000	CD 1997									Ingresso
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	
1	0,4320									0,9687
3	0,1503	0,3733								0,0294
5	0,0183	0,3967	0,2264							0,0013
7	0,0047	0,1133	0,4434	0,2195						0,0006
9		0,0033	0,1509	0,3902	0,1000					
11		0,0033	0,0566	0,1951	0,4000	0,2857				
13				0,0976	0,2000	0,1429	0,4000			
15			0,0094	0,0244	0,1000	0,2857	0,2000	0,0000		
17					0,1000	0,2857	0,4000		0,0000	
Mortalidade	0,3947	0,1100	0,1132	0,0732	0,1000					

Com base nos resultados, observou-se que a regeneração natural no Retiro-Branco passa por um período de grande atividade de estruturação, modificando a arquitetura do povoamento.

O comportamento da distribuição do número de indivíduos por classe de diâmetro da regeneração natural e por grupo ecológico indica que as espécies pioneiras e clímax foram as que mais contribuíram para o aumento do número de indivíduos no povoamento. As espécies secundárias apresentam os maiores percentuais de emigração, refletindo o aumento de estoque total de indivíduos a partir da segunda classe de diâmetro em

diante (Quadros 4 e 5).

Verificou-se que no primeiro inventário (1997) as espécies secundárias dominavam a estrutura do povoamento. No segundo inventário (2000), foi observado que as espécies pioneiras e clímax, impulsionadas pelo grande número de indivíduos ingressantes nas primeiras classes de diâmetro, estabelecem uma relação de equilíbrio em relação ao número total de indivíduos. As espécies secundárias apresentam redução do número de indivíduos na primeira classe de diâmetro e aumento do estoque de indivíduos a partir da segunda classe (Quadro 6).

**Quadro 4** – Matrizes de progressão do número de indivíduos por hectare, por centro de classe de diâmetro, por grupo ecológico de espécies, no período de 1997 a 2000, da regeneração natural no Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG.  
CD = centro de classe de diâmetro

**Table 4** – Matrix of progression of the number of individuals for hectare, for center of diameter class, for ecological group of species, during 1997 to 2000, for natural regeneration at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil. CD = center of diameter class

PIONEIRAS											
CD 2000	CD 1997									Ingresso	Total 2000
	1	3	5	7	9	11	13	15	17		
1	1.768,42									5.989,47	7.757,89
3	410,53	526,32								115,79	1.052,63
5	42,11	431,58	73,68								547,37
7	42,11	94,74	221,05								357,89
9			52,63	31,58							84,21
11			10,53	21,05	21,05						52,63
13				10,53	0,00						10,53
15			10,53		10,53	10,53	10,53	0,00			42,11
17						10,53	21,05		0,00		31,58
Mortalidade	1.842,113	105,26	52,63								2.000,00
Total 1997	4.105,26	1.157,89	421,05	63,16	31,58	21,05	31,58	0,00	0,00	6.105,26	
SECUNDÁRIAS											
CD 2000	CD 1997									Ingresso	Total 2000
	1	3	5	7	9	11	13	15	17		
1	2.642,11									4.242,11	6.884,21
3	1.326,32	336,84								221,05	1.884,21
5	178,95	536,84	63,16								778,95
7	31,58	231,58	210,53	31,58							505,26
9		10,53	115,79	63,16							189,47
11		10,53	42,11	42,11	10,53	10,53					115,79
13				21,05	10,53	10,53	10,53				52,63
15				10,53		10,53		0,00			21,05
17					10,53	10,53			0,00		21,05
Mortalidade	2.957,89	189,47	42,11	10,53	10,53	0,00	0,00	0,00	0,00		3.210,53
Total 1997	7.136,84	1.315,79	473,68	178,95	42,11	42,11	10,53	0,00	0,00	4.463,16	
CÍMAX											
CD 2000	CD 1997									Ingresso	Total 2000
	1	3	5	7	9	11	13	15	17		
1	2.400,00									5.715,79	8.115,79
3	621,05	315,79								147,37	1.084,21
5	63,16	284,21	115,79							21,05	484,21
7		31,58	63,16	63,16						10,53	168,42
9				73,68	10,53					0,00	84,21
11			10,53	21,05	10,53	10,53				0,00	52,63
13				10,53	10,53		10,53			0,00	31,58
15								0,00		0,00	0,00
17									0,00	0,00	0,00
Mortalidade	1.442,11	52,63	31,58	21,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		1.547,37
Total 1997	4.526,32	684,21	221,05	189,47	31,58	10,53	10,53	0,00	0,00	5.894,74	

**Quadro 5** – Matrizes de probabilidade de transição (G), por centro de classe de diâmetro, por grupo ecológico de espécies, no período de 1997 a 2000, para a regeneração natural no Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG. CD = centro de classe de diâmetro

**Table 5** – Matrix of transition probability (G), for center of diameter class, for ecological group of species, during 1997 to 2000, for natural regeneration at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil. CD = center of class diameter

PIONEIRAS											
CD 2000	CD 1997									Ingresso	
	1	3	5	7	9	11	13	15	17		
1	0,1137										0,3664
3	0,0264	0,1667									0,0071
5	0,0027	0,1367	0,0660								
7	0,0027	0,0300	0,1981	0,0000							
9	0,0000	0,0000	0,0472	0,0732	0,0000						
11	0,0000	0,0000	0,0094	0,0488	0,2000	0,0000					
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0244	0,0000	0,0000	0,0000				
15	0,0000	0,0000	0,0094	0,0000	0,1000	0,1429	0,2000	0,0000			
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1429	0,4000	0,0000	0,0000		
Mortalidade	0,1185	0,0333	0,0472								
SECUNDÁRIAS											
CD 2000	CD 1997									Ingresso	
	1	3	5	7	9	11	13	15	17		
1	0,1699										0,2595
3	0,0853	0,1067									0,0135
5	0,0115	0,1700	0,0566								
7	0,0020	0,0733	0,1887	0,0732							
9	0,0000	0,0033	0,1038	0,1463	0,0000						
11	0,0000	0,0033	0,0377	0,0976	0,1000	0,1429					
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0488	0,1000	0,1429	0,2000				
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0244	0,0000	0,1429	0,0000	0,0000			
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1000	0,1429	0,0000	0,0000	0,0000		
Mortalidade	0,1903	0,0600	0,0377	0,0244	0,1000						
CLÍMAX											
CD 2000	CD 1997									Ingresso	
	1	3	5	7	9	11	13	15	17		
1	0,1544										0,3496
3	0,0399	0,1000									0,0090
5	0,0041	0,0900	0,1038								0,0013
7	0,0000	0,0100	0,0566	0,1463							0,0006
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,1707	0,1000						
11	0,0000	0,0000	0,0094	0,0488	0,1000	0,1429					
13	0,0000	0,0000	0,0000	0,0244	0,1000	0,0000	0,2000				
15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000			
17	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Mortalidade	0,0928	0,0167	0,0283	0,0488	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

**Quadro 6** – Vetores-coluna do número de indivíduos observados em 1997, por classe de diâmetro e por grupo ecológico, da regeneração natural do Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG. P = pioneiras; S = secundárias; C = clímax; e CD = centro de classe de diâmetro

**Table 6** – Vectorial column of number of individuals observed in 1997, for diameter class and ecological group for natural regeneration at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil. P = pioneers; S = secondary; C = climax, and CD = center of diameter class

INVENTÁRIO 1997				
CD	Y <sub>1997</sub>	Y <sub>P1997</sub>	Y <sub>S1997</sub>	Y <sub>C1997</sub>
1	15.547,37	4.047,71	7.036,79	4.462,86
3	3.157,89	1.157,89	1.315,79	684,21
5	1.115,79	421,05	473,68	221,05
7	431,58	63,16	178,95	189,47
9	105,26	31,58	42,11	31,58
11	73,68	21,05	42,11	10,53
13	52,63	31,58	10,53	10,53
15	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	20.484,21	5.774,03	9.099,95	5.610,23
INVENTÁRIO 2000				
CD	Y <sub>2000</sub>	Y <sub>P2000</sub>	Y <sub>S2000</sub>	Y <sub>C2000</sub>
1	22.757,8947	7.757,8947	2.973,6806	3.505,6694
3	4.021,0526	1.052,6316	1.738,1676	1.624,6130
5	1.810,5263	547,3684	1.049,6144	688,0618
7	1.031,5789	357,8947	702,4642	413,0082
9	357,8947	84,2105	339,9809	150,8488
11	221,0526	52,6316	257,8322	112,6066
13	94,7368	10,5263	124,7827	53,4238
15	63,1579	42,1053	82,2284	38,4503
17	52,6316	31,5789	73,0827	36,0902
Total	30.410,53	9.936,84	10.452,63	10.021,05

Mediante análise de regressão foram ajustadas equações de ingresso, em função do número de indivíduos total e por grupo ecológico e das respectivas áreas basais em 1997 (Quadro 7).

As estimativas dos ingressos do número de indivíduos para um intervalo de tempo futuro, 2003 (t+2), foram: de 14.745,0789 indivíduos/ha para a regeneração natural total; 6.217,3136 indivíduos/ha para o grupo das pioneiras; 73,4923 indivíduos/ha para

o grupo das secundárias; e de 5.988,4162 indivíduos/ha para clímax. Esses valores compõem os respectivos vetores ingressos estimados para 2003, para a regeneração natural total e, em separado, para os grupos ecológicos.

Aplicando a equação de Chapman-Kolmogorov, foi estimado o número de indivíduos por hectare, por classe de diâmetro, no tempo t + 1 (2003), para a regeneração natural total ( $\hat{Y}_{2003}$ ), conforme apresentado no Quadro 8.

Os resultados prognosticados indicam que deverá haver aumento do estoque do número de indivíduos em todas as classes de diâmetro da regeneração natural. Essa tendência reforça a caracterização do processo inicial de estruturação do povoamento.

A classe 1 de diâmetro (de 0,0 a 1,9 cm), em função da elevada probabilidade de morte (39,47%) e da probabilidade de emigração para as classes de diâmetros superiores (17,33%), apresentou indicação de compensação da probabilidade de ingresso, refletindo o discreto aumento do número de indivíduos prognosticados para essa classe de diâmetro. Dessa forma, para estudos de regeneração natural que englobam os estágios de banco de imaturos é importante fazer inventários contínuos com menor intervalo de tempo entre um e outro pelo menos para esse estrato.

Os resultados obtidos nas prognoses, por grupos ecológicos de espécies, demonstram que as espécies secundárias vão continuar reduzindo significativamente as taxas de ingresso, mas reforçando a emigração para as classes de diâmetro maior. As espécies pioneiras e clímax apresentam taxas crescentes de ingresso, mas pequena emigração para as classes de diâmetros superiores. Essas informações reforçam as indicações de uma estratificação, em que as espécies pioneiras e clímax dominam os estratos menores e as secundárias, os maiores estratos (Quadro 9).

As distribuições diamétricas observadas em 1997 e 2000 e prognosticadas para 2003 são o prenúncio de autodesbaste na primeira classe de diâmetro, como consequência da estruturação do povoamento, afetando a disponibilidade de recursos.



O comportamento da distribuição do número de indivíduos por hectare, por classe de diâmetro da regeneração natural, por grupos ecológicos, observados no período de monitoramento entre 1997 e 2000 e prognosticados para 2003, é apresentado nas Figuras 1 e 2.

O processo de sucessão na área do Retiro-Branco pode ser entendido conforme a teoria de sucessão de Connell e Slatyer (1977) quanto à “facilitação”, em que o povoamento puro de *Mimosa scabrella*, num

primeiro momento do processo de reabilitação cumprindo seu papel de agente facilitador do processo, tendo formado condições de dossel que favoreceram as espécies secundárias e, num segundo momento, com o declínio do povoamento e conseqüente abertura de dossel, a facilitação se desenvolveu favoravelmente para a ocupação do sítio por espécies pioneiras. Um terceiro momento, concomitante com os dois primeiros, a dominância das espécies secundárias e a estruturação de um novo dossel superior, favorece a colonização das espécies clímax.

**Quadro 7** – Equações de ingresso, da regeneração natural total, para os respectivos grupos ecológicos e estimativas dos parâmetros para o Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG.  $CL_{t+1}$  = ingresso do número de indivíduos por hectare  
**Table 7** – *Ingrowth equations for natural regeneration for ecological groups, and estimates of parameters for Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil.  $CL_{t+1}$  = ingrowth of number of individuals per hectare*

Regeneração Natural	$b_0$	$b_1$	R <sup>2</sup>	Equação Ajustada
Grupo - Pioneiras	8,74532	0,003269	0,7632	$CL_{t+1} = e^{8,74512 - 0,0032687 AB}$
Grupo - Secundárias	4,30876	0,002956	0,7087	$CL_{t+1} = e^{4,30876 - 0,0029562 AB}$
Grupo - Clímax	8,75786	0,013522	0,7348	$CL_{t+1} = e^{8,69672 - 0,0035821 AB}$
Total	9,86501	0,019418	0,8159	$CL_{t+1} = e^{9,865011 - 0,0194179 AB}$

**Quadro 8** – Prognose do número de indivíduos por centro de classe de diâmetro para a regeneração natural, no Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG, para 2003, utilizando-se equações de Chapman-Kolmogorov. G = matriz de probabilidade de transição; Y = vetor do número de indivíduos observado por classe de diâmetro; C = vetor ingresso do número de indivíduos;  $\hat{Y}$  = vetor resultante do número de indivíduos estimado por classe de diâmetro

**Table 8** – *Prediction of number of individuals for center of diameter class for natural regeneration, at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, MG, for 2003, using Chapman-Kolmogorov equations. G = matrix of transition probability; Y = vector of the number of individuals observed by diameter class; C = vector ingrowth of the number of individuals;  $\hat{Y}$  = vector resultant of the number of individuals for diameter class*

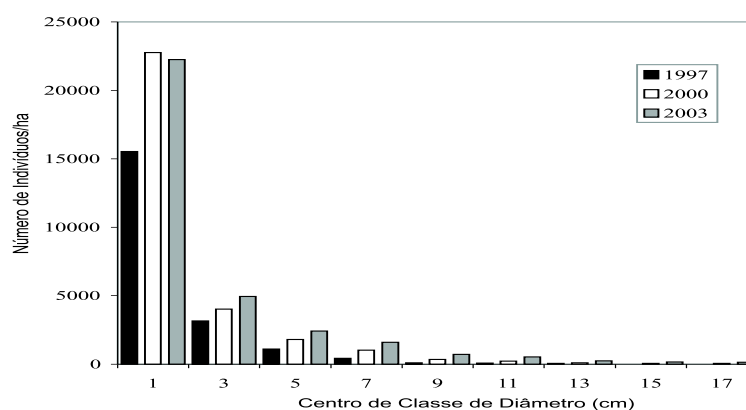
G Regeneração Natural Total					Y <sub>2000</sub>	C <sub>2003</sub>	$\hat{Y}_{2003}$
0,4320					22.757,8947	14.745,0789	24.575,5042
0,1503	0,3733				4.021,0526	0,00	4.921,8109
0,0183	0,3967	0,2264			1.810,5263	0,00	2.420,9691
0,0047	0,1133	0,4434	0,2195		*1.031,5789	+0,00	=1.592,8013
	0,0033	0,1509	0,3902	0,1000	357,8947	0,00	725,0474
	0,0033	0,0566	0,1951	0,4000	221,0526	0,00	523,4856
			0,0976	0,2000	94,7368	0,00	241,6945
			0,0094	0,1000	63,1579	0,00	160,1356
				0,2857	0,2000	0,0000	
				0,1000	0,4000	0,0000	
				0,2857	0,4000	0,0000	
					52,6316	0,00	136,8421



**Quadro 9** – Prognose do número de indivíduos por centro de classe de diâmetro, por grupo ecológico, para a regeneração natural, no Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG, para 2003, utilizando-se equações de Chapman-Kolmogorov.  $G$  = matriz de probabilidade de transição,  $Y$  = vetor do número de indivíduos observado por classe de diâmetro,  $C$  = vetor ingresso do número de indivíduos e  $\hat{Y}$  = vetor resultante do número de indivíduos estimado por classe de diâmetro

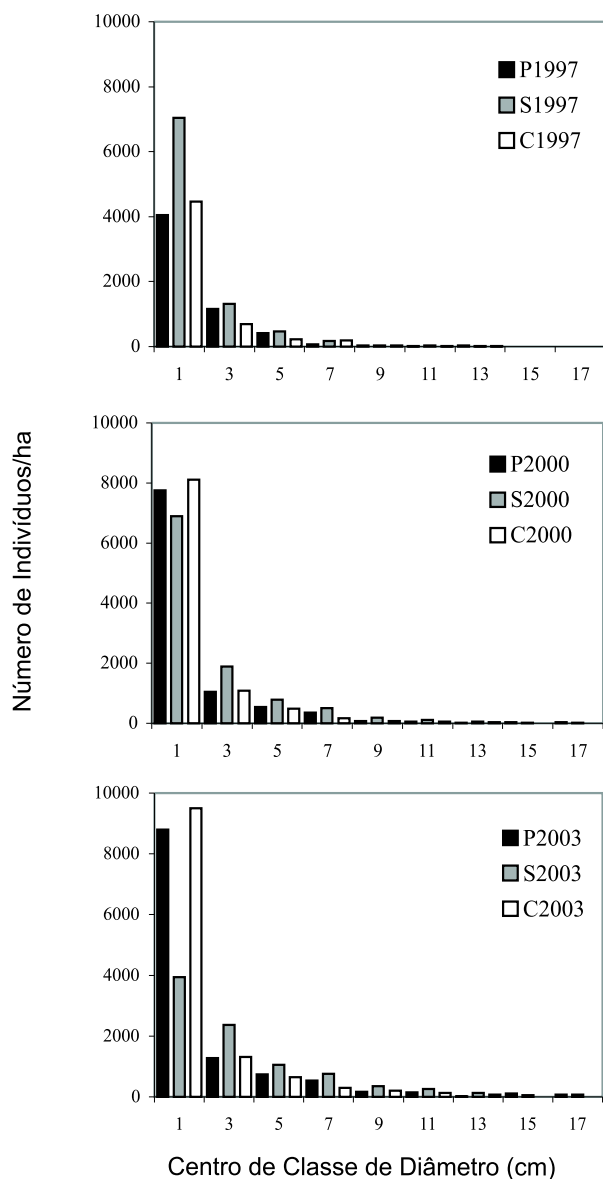
**Table 9** – Prediction of number of individuals for center of diameter class by ecological group for natural regeneration, for 2003, using Chapman-Kolmogorov equations, at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil.  $G$  = matrix of transition probability,  $Y$  = vector of number of individuals observed by diameter class,  $C$  = vector ingrowth of number of individuals and  $\hat{Y}$  = vector resultant of number of individuals for diameter class

$G_{\text{Pioneiras}}$										$Y_{2000}$	$C_{2003}$	$\hat{Y}_{2003}$
0,1137										22.757,8947	6.217,3136	8.805,8893
0,0264	0,1667									4.021,0526	0,0000	1.271,0948
0,0027	0,1367	0,0660								1.810,5263	0,0000	730,7397
0,0027	0,0300	0,1981	0,0000							*1.031,5789	+0,0000	=540,9535
0,0000	0,0000	0,0472	0,0732	0,0000						357,8947	0,0000	160,8836
0,0000	0,0000	0,0094	0,0488	0,2000	0,0000					221,0526	0,0000	138,9803
0,0000	0,0000	0,0000	0,0244	0,0000	0,0000	0,0000				94,7368	0,0000	25,1605
0,0000	0,0000	0,0094	0,0000	0,1000	0,1429	0,2000	0,0000			63,1579	0,0000	103,3962
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1429	0,4000	0,0000	0,0000		52,6316	0,0000	69,4737
$G_{\text{Secundárias}}$										$Y_{2000}$	$C_{2003}$	$\hat{Y}_{2003}$
0,1699										22.757,8947	73,4923	3940,9476
0,0853	0,1067									4.021,0526	0,00	2370,3441
0,0115	0,1700	0,0566								1.810,5263	0,00	1048,0008
0,0020	0,0733	0,1887	0,0732							*1.031,5789	+0,00	=758,1919
0,0000	0,0033	0,1038	0,1463	0,0000						357,8947	0,00	352,2511
0,0000	0,0033	0,0377	0,0976	0,1000	0,1429					221,0526	0,00	249,7355
0,0000	0,0000	0,0000	0,0488	0,1000	0,1429	0,2000				94,7368	0,00	136,6367
0,0000	0,0000	0,0000	0,0244	0,0000	0,1429	0,0000	0,0000			63,1579	0,00	56,7394
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1000	0,1429	0,0000	0,0000	0,0000		52,6316	0,00	67,3684
$G_{\text{Secundárias}}$										$Y_{2000}$	$C_{2003}$	$\hat{Y}_{2003}$
0,1544										22.757,8947	5.988,4162	9501,4832
0,0399	0,1000									4.021,0526	0,00	1311,1884
0,0041	0,0900	0,1038								1.810,5263	0,00	642,2287
0,0000	0,0100	0,0566	0,1463							*1.031,5789	+0,00	=293,6559
0,0000	0,0000	0,0000	0,1707	0,1000						357,8947	0,00	211,9127
0,0000	0,0000	0,0094	0,0488	0,1000	0,1429					221,0526	0,00	134,7698
0,0000	0,0000	0,0000	0,0244	0,1000	0,0000	0,2000				94,7368	0,00	79,8973
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000			63,1579	0,00	0,0000
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		52,6316	0,00	0,0000



**Figura 1** – Número de indivíduos da regeneração natural, por classe de diâmetro, observado em 1997 (t) e 2000 (t+1) e projetado para 2003 (t+2), no Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG.

**Figure 1** – Number of individuals of natural regeneration, for diameter class, observed in 1997 (t) and 2000 (t+1) and projected for 2003 (t+2), at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil.



**Figura 2** – Número de indivíduos, por classe de diâmetro, por grupo ecológico, observados em 1997 (t) e 2000 (t+1) e projetados para 2003 (t+2), no Retiro-Branco, em Poços de Caldas, MG. P = pioneiras, S = secundárias e C = clímax.

**Figure 2** – Number of individuals, for diameter class, for ecological group, observed in 1997 (t) and 2000 (t+1) and projected for 2003 (t+2), at Retiro-Branco, in Poços de Caldas, Brazil. P = pioneers, S = secondary and C = clímax.

#### 4. CONCLUSÕES

O povoamento florestal do Retiro-Branco está sob intensa atividade de estruturação, caracterizando o estágio inicial do processo de sucessão. O declínio e morte do povoamento puro de *Mimosa escabrella* Bentham estão modificando a ordem do processo de sucessão na área, diversificando as condições de sítio e, assim, a habilidade de ocupação deste, regida pelos grupos ecológicos, sendo as espécies pioneiras as mais favorecidas por esse processo.

As espécies secundárias são as de maior dominância nas maiores classes de altura e de diâmetro, sendo as principais responsáveis pela edificação do estrato superior, que por sua vez favorece as espécies clímax.

O uso da prognose por meio da cadeia de Markov foi uma ferramenta de fácil implementação e permitiu inferir sobre o caminho do processo de sucessão, sendo muito útil para o manejo de áreas sob processo de reabilitação.

A prognose realizada por grupos de espécies amplia o entendimento dos mecanismos que regem o comportamento interno da sucessão, podendo ser realizada com maior refinamento dentro dos compartimentos da estrutura de povoamentos, até mesmo em nível de espécie.

Aparentemente em estudos de regeneração natural e em áreas sobre intensa dinâmica em virtude de perturbações, o acompanhamento da dinâmica da estrutura diamétrica e a prognose devem ser feitos com cautela, adotando-se pequenos intervalos de tempo entre os inventários, sendo a prognose feita também para pequenos intervalos de tempo futuros. As etapas sucessivas do inventário contínuo vão permitir aferir o grau de acerto da prognose e colaborar para os ajustes e o aprimoramento do uso dessa ferramenta em estudos dos processos de sucessão natural.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, C. P. **Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequidanos pelo emprego da matriz de transição.** 1993. 118f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

AZEVEDO, C. P.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Um modelo de matriz de transição para prognose do crescimento de um povoamento natural remanescente não manejado de mata atlântica. *Revista Árvore*, v. 19, n. 2, p. 187-199, 1995.

BOLDRINI, J. L. et al. **Álgebra linear**. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1978. 805 p.

CONNELL, J. H.; SLATYER, R. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist**, v. 111, p. 1119-1144, 1977.

ERIGHT, N.; OGDEM, J. Applications of transition matrix models in forest dynamics: *Araucaria* in Papua, New Guinea e *Nothofagus* in New Zealand. **Australian Journal of Ecology**, v. 4, p. 3-23, 1979.

HILLER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. 3.ed. San Francisco: Holden-Day, 1980. 829 p.

NAPPO, M. E.; FONTES, M. A. L.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Suficiência amostral e análise do tamanho de parcelas para o estudo da regeneração natural do sub-bosque de povoamentos homogêneos de *Mimosa scabrella* Bentham, em área minerada, em Poços de Caldas, MG. **Revista Árvore**, v. 23, n. 4, p. 443-453, 1999.

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