

Produção de serapilheira e retorno de nutrientes ao solo em arboreto de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) em Mogi-Guaçu, São Paulo, Brasil

Sabrina Randazzo Gomes¹, Daniel Maurenza¹, Márcia Inês Martin Silveira Lopes^{1,3} e Marcos Mecca Pinto²

Recebido: 16.08.2005; aceito: 08.06.2006

ABSTRACT - (Litterfall and nutrient return to the soil in an arboretum of pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) at Mogi-Guaçu, São Paulo, Brazil). This study aimed to quantify the litterfall on a 23 years-old arboretum of *Caesalpinia echinata* Lam. located at Reserva Biológica de Mogi-Guaçu, in São Paulo, from 2001 to 2003. For the experiment, separated fractions of leaflets, twigs, flowers, fruits and seeds were collected twice a month, oven dried, weighed, ground and chemically analyzed for nutrients. The litterfall was estimated in $5,681 \pm 1,739 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, being 63% leaflets, 15% fruits, 14% branches + petioles, 5% flowers and 3% seeds. The production was continuous all year long, presenting a clear seasonal pattern with a higher amount leaflets falling at the end of the dry season and the beginning of the rainy season, and the reproductive organs falling in spring. The annual return of nutrients to the soil (kg ha^{-1}) was: N (71.9) > K (54.9) > Ca (30.9) > Mg (20.2) > S (5.5) > P (1.6). Compared to other native trees, "pau-brasil" (Brazil wood) returns considerable amounts of nutrients to the soil, especially nitrogen and potassium.

Key words: forest management, native tree, nutrient cycling, phenology

RESUMO - (Produção de serapilheira e retorno de nutrientes ao solo em arboreto de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) em Mogi-Guaçu, São Paulo, Brasil). O objetivo do trabalho foi quantificar a produção de serapilheira durante três anos (2001-2003) em um arboreto de *Caesalpinia echinata* Lam., implantado há 23 anos e situado na Reserva Biológica de Mogi-Guaçu, em São Paulo. As amostras foram coletadas quinzenalmente, separadas nas frações de folíolos, partes lenhosas, flores, frutos e sementes, e a seguir secas, pesadas, moídas e analisadas quimicamente quanto aos teores de nutrientes. A produção estimada de serapilheira foi de $5.681 \pm 1.739 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo composta por 63% de folíolos, 15% de frutos, 14% de partes lenhosas, 5% de flores e 3% de sementes. A produção de serapilheira ocorreu durante o ano todo, apresentando um padrão sazonal nítido com maior deposição de folíolos no final da estação seca e início da estação chuvosa e de órgãos reprodutivos na primavera. O retorno anual de nutrientes ao solo foi (kg ha^{-1}): N (71,9) > K (54,9) > Ca (30,9) > Mg (20,2) > S (5,5) > P (1,6). Comparado com outras arbóreas nativas, o pau-brasil retorna ao solo quantidades consideráveis de nutrientes, especialmente nitrogênio e potássio.

Palavras-chave: arbórea nativa, ciclagem de nutrientes, fenologia, manejo florestal

Introdução

A produção de serapilheira, além de refletir a produtividade e as características fenológicas da comunidade vegetal, é considerada a principal via de transferência de nutrientes da vegetação para a superfície do solo, sendo, portanto, sua mensuração de fundamental importância para estimar a ciclagem dos nutrientes na interface solo-vegetação.

A serapilheira, composta por todo material orgânico depositado na superfície do solo, inclui folhas, caules, cascas, ramos, frutos, flores, além de restos e excrementos de animais em diferentes graus

de decomposição. Exerce importante papel no retorno de nutrientes ao solo, propiciando o restabelecimento de suas condições físicas e químicas e, ainda, pode representar a fenologia da espécie.

Estudos sobre a produção de serapilheira têm sido realizados por diversos autores na tentativa de identificar padrões na queda de material orgânico no decorrer do tempo e espaço, correlacionando-os com a latitude e variáveis climáticas, como precipitação, temperatura, disponibilidade de luz e umidade no solo (Dias & Oliveira Filho 1997). No Brasil, os estudos do padrão de deposição da serapilheira estão concentrados principalmente em florestas pluviais tropicais, em

1. Instituto de Botânica, Caixa Postal 4005, 01061-970 São Paulo, SP, Brasil

2. Instituto de Botânica, Reserva Biológica e Estação Experimental de Mogi-Guaçu, Rua Joaquim Cipriano de Carvalho, s/n, Bairro Martinho Prado Junior, 13855-000 Mogi-Guaçu, São Paulo, SP, Brasil

3. Autor para correspondência: mlopes@ibot.sp.gov.br

vegetação de cerrado e, em nível mais específico, nos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, não existindo praticamente dados quanto ao comportamento das espécies nativas em plantios homogêneos (Garrido 1980, Garrido & Poggiani 1982).

Pesquisas sobre espécies ameaçadas de extinção, em especial aquelas ocorrentes em áreas de alto risco ambiental, são prioritárias para definir estratégias de conservação. *Caesalpinia echinata* Lam., o pau-brasil, é considerado uma das árvores mais raras da Mata Atlântica devido à exploração excessiva e ao desmatamento em grande escala que ocorreram nos últimos 500 anos. Esta árvore, conhecida mundialmente pela qualidade e pelo elevado valor comercial de sua madeira, encontra-se atualmente restrita a pequenas populações naturais e, por isso, tornou-se uma espécie em perigo de extinção (Lima 1992).

Apesar de seu valor histórico e econômico, pouco se sabe sobre as formas de conservação do pau-brasil, considerado a árvore símbolo nacional. No Estado de São Paulo, uma de suas poucas populações existentes consiste de um arboreto experimental homogêneo instalado em 1980 em Mogi-Guaçu, sob a responsabilidade do Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Este arboreto apresenta-se atualmente adensado, podendo constituir-se em modelo para o desenvolvimento de técnicas de manejo que possibilitem, entre outros, melhor arejamento e aproveitamento da luz e, conseqüentemente, maior desenvolvimento e produtividade da espécie. Em povoamentos homogêneos, sabe-se que *C. echinata* contribui para o aumento de carbono, nitrogênio e potássio no solo, exercendo influência positiva na fertilidade do mesmo (Montagnini *et al.* 1995).

Desta forma, o presente estudo teve por objetivos: quantificar, durante três anos, a variação temporal da produção de serapilheira total e de suas frações (folhas, ramos, flores, frutos e sementes) no arboreto de pau-brasil de Mogi-Guaçu; investigar a existência de correlações entre as condições climáticas e o processo de produção de serapilheira; comparar com outras espécies arbóreas e contribuir com informações que possibilitem o manejo adequado do pau-brasil.

Material e métodos

Área de estudo – O arboreto experimental homogêneo de pau-brasil estudado situa-se nas dependências da Reserva Biológica e Estação Experimental de Mogi-Guaçu (22°15'02,4''S e 47°09'28,9''W) a uma

altitude de 660 m, no município de Mogi-Guaçu, no Estado de São Paulo. Este arboreto, implantado em aproximadamente 3.000 m² sob espaçamento 2×2 m, 2,5×2,5 m e 3×3 m, possui, atualmente com 23 anos de idade, 269 árvores e nove arbustos de pau-brasil, cuja densidade varia de uma árvore a cada 9 m² até uma árvore a cada 14 m². Os indivíduos alcançam, em média, 12 m de altura e 17 cm de diâmetro. O mapeamento da distribuição dos indivíduos no interior do arboreto, realizado em outubro de 2003, é apresentado na figura 1. A análise do sombreamento do dossel, realizada na mesma época e em dias sem nuvens, com um radiômetro portátil Licor modelo Li - 185 B, indicou que os valores de irradiância (PAR-Radiação fotossinteticamente ativa) sob o dossel variam em torno de 43,3 ± 5,2 μmol m⁻² s⁻¹, caracterizando a entrada de 2,7% a 3,7% de luminosidade no interior do arboreto.

O solo, originalmente sob vegetação de cerrado, é um “Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado textura argilosa e média relevo suave ondulado e plano” (Oliveira *et al.* 1999). É um solo ácido, com alto teor de alumínio, altamente intemperizado, profundo, bastante poroso, com granulometria composta principalmente por argila (38%) e areia fina (40%), conforme Batista (1982). O levantamento das características químicas, realizado em outubro de 2003, revelou que o solo do arboreto, de acordo com os critérios de Tome Júnior 1997, apresenta baixa disponibilidade de fósforo e cátions trocáveis (K, Ca e Mg) e elevada acidez, com valores de pH ao redor de 4,5 na superfície e de 4,1 no subsolo (20-40 cm). Apresenta, ainda, valores médios de matéria orgânica e de micronutrientes, provavelmente em função da própria serapilheira e de fertilizações realizadas.

O clima é do tipo Cwa, isto é, mesotérmico de inverno seco, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C, com mínima de 14,6 °C, máxima de 28,8 °C e umidade relativa do ar em torno de 76%. De acordo com dados obtidos no período de estudo (janeiro de 2001 a dezembro de 2003) na estação meteorológica situada a três km do arboreto, a precipitação média anual foi de 1.112 mm, a temperatura média 21 °C, a umidade relativa do ar 75% e a velocidade do vento, cerca de 3,2 km h⁻¹.

Caracterização da espécie – *Caesalpinia echinata* apresenta porte médio, podendo alcançar até 20 metros de altura, copa arredondada, com galhos ascendentes de coloração cinza claro nas partes mais velhas e verde escuro no ápice;

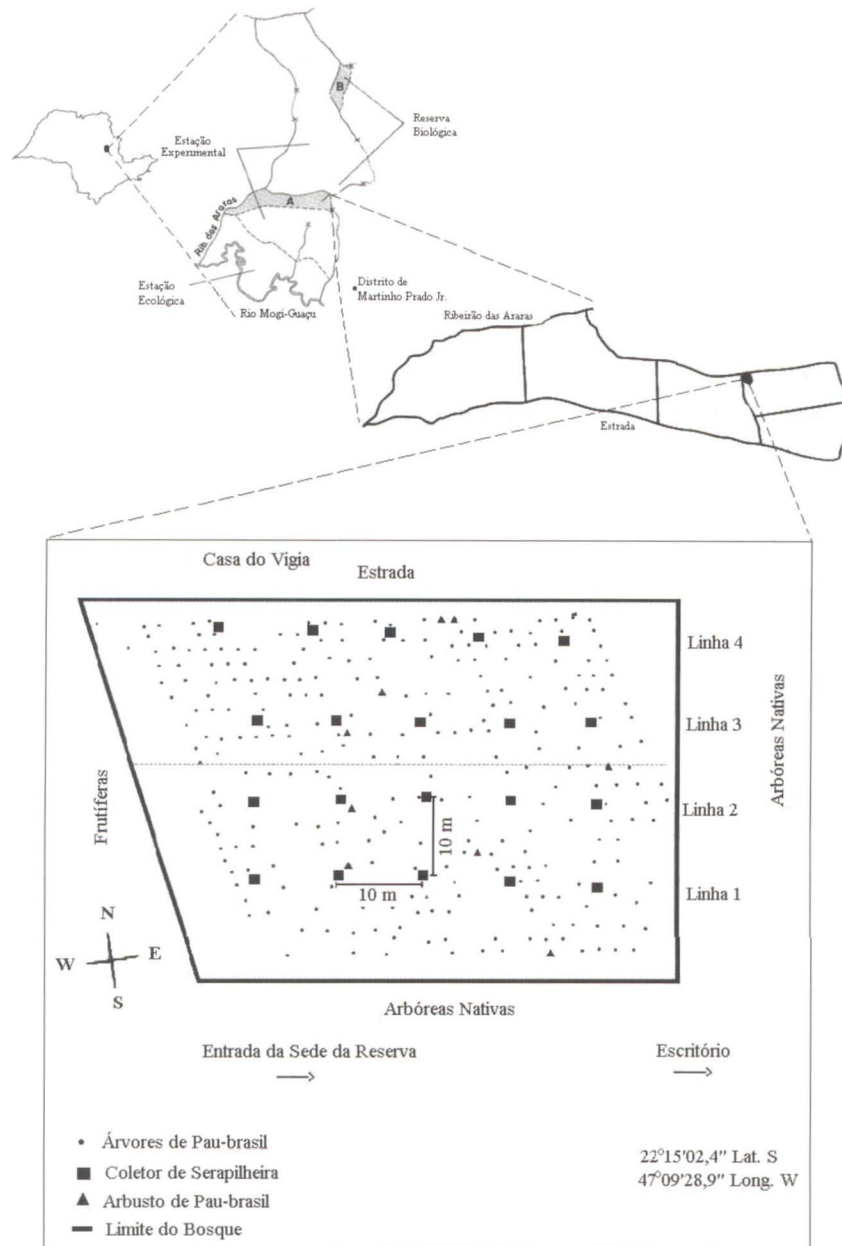


Figura 1. Mapa da localização das árvores e dos coletores de serapilheira no arboreto de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) em Mogi-Guaçu, São Paulo.

apresenta folhas compostas bipinadas verdes brilhantes e flores reunidas em pequenos racemos ou panículas que exalam aroma adocicado; o cálice possui coloração verde amarelada e a corola com pétalas amarelas, sendo que, a pétala mediana apresenta uma mancha vermelho-escuro (Lima 1992). Ocorre na Mata Atlântica desde o Rio de Janeiro até o Rio Grande do Norte (Rocha 2004). No arboreto estudado a floração ocorre na primavera e a maturação dos frutos no verão, com produção de sementes viáveis (Aguiar 2000, 2001).

Amostragem da serapilheira – Para a coleta da serapilheira produzida, foram utilizados 20 coletores com fundo de tela de náilon de 0,25 m² de área, dispostos em 4 linhas paralelas (figura 1). O material coletado quinzenalmente durante o período de três anos (janeiro de 2001 a dezembro de 2003) foi triado nas frações folíolos, partes lenhosas (ramos + pecíolos), flores, frutos e sementes e posteriormente permaneceu em estufa até atingir peso constante e, então, foi pesado em balança analítica.

Análises químicas – Para a quantificação dos nutrientes no material, antes da moagem, as amostras das frações folíolos e partes lenhosas foram reunidas mensalmente, e as demais frações (flores, frutos e sementes), anualmente. Para as análises químicas, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica para determinação do nitrogênio pelo método do microkjeldhal e à digestão nítrico-perclórica, para a determinação de fósforo, pelo método de colorimetria do metavanadato; enxofre, por turbidimetria do sulfato de bário; potássio, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta *et al.* 1997).

Análise estatística – Para testar a ocorrência de diferenças entre as quantidades produzidas anualmente, os valores foram comparados pelo teste t (Botter *et al.* 1996). Para avaliar a influência de fatores climáticos no processo de produção de serapilheira ao longo do ano, foi calculada a matriz de correlação de Pearson (Botter *et al.* 1996), entre a produção quinzenal de serapilheira

e as variáveis climáticas: temperaturas médias, máximas e mínimas, precipitação pluviométrica, umidade relativa, insolação e velocidade do vento, registradas quinzenalmente no posto meteorológico da Estação Experimental do Instituto Florestal, localizada a três km do arboreto.

Resultados e Discussão

A serapilheira produzida pelo arboreto de Mogi-Guaçu foi estimada em $5.681 \pm 1.739 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (tabela 1). Os maiores valores anuais foram obtidos em 2003 e 2002 (6.795 kg ha^{-1} e 6.242 kg ha^{-1} , respectivamente), devido à elevada produção de frutos em dezembro de 2003 e à queda pronunciada de folíolos e partes lenhosas em decorrência de uma tempestade ocorrida em outubro de 2002 e, ainda, devido provavelmente ao manejo do arboreto com a incorporação de calcáreo em maio de 2002 e adubações realizadas em setembro de 2002 e novembro de 2003. No ano de 2001, a serapilheira derrubada pelo

Tabela 1. Estimativa da produção de serapilheira (peso seco em $\text{kg ha}^{-1} \pm$ desvio padrão) obtida no arboreto de pau-brasil de Mogi-Guaçu, nos anos de 2001, 2002 e 2003.

Período	Produção de serapilheira ($\text{kg ha}^{-1} \pm$ desvio padrão)			
	2001	2002	2003	Média
15-jan.	139 ± 50	104 ± 37	358 ± 123	200 ± 70
30-jan.	148 ± 74	205 ± 81	113 ± 35	155 ± 63
14-fev.	139 ± 49	214 ± 67	191 ± 115	181 ± 77
1-mar.	108 ± 36	121 ± 38	154 ± 66	128 ± 46
16-mar.	123 ± 41	179 ± 58	232 ± 94	178 ± 64
31-mar.	126 ± 40	221 ± 98	64 ± 23	137 ± 54
15-abr.	60 ± 23	111 ± 32	166 ± 166	112 ± 74
30-abr.	57 ± 16	98 ± 38	87 ± 58	81 ± 37
15-mai.	143 ± 83	147 ± 48	66 ± 31	119 ± 54
30-mai.	76 ± 15	122 ± 51	282 ± 64	160 ± 43
14-jun.	53 ± 11	60 ± 17	71 ± 11	61 ± 13
29-jun.	88 ± 42	107 ± 12	119 ± 70	105 ± 41
14-jul.	57 ± 14	118 ± 7	118 ± 39	98 ± 20
29-jul.	144 ± 45	130 ± 16	75 ± 18	116 ± 27
13-ago.	104 ± 22	397 ± 92	172 ± 58	224 ± 57
30-ago.	361 ± 95	591 ± 189	206 ± 43	386 ± 109
15-set.	344 ± 52	302 ± 136	372 ± 116	339 ± 101
30-set.	245 ± 58	134 ± 28	663 ± 51	347 ± 46
15-out.	226 ± 90	408 ± 88	415 ± 163	350 ± 113
30-out.	171 ± 55	1.326 ± 321	730 ± 147	742 ± 174
15-nov.	378 ± 119	270 ± 14	351 ± 100	333 ± 78
30-nov.	394 ± 176	213 ± 98	200 ± 46	269 ± 107
15-dez.	210 ± 88	367 ± 160	392 ± 89	323 ± 112
30-dez.	113 ± 53	297 ± 117	1.198 ± 300	536 ± 156
Total anual (kg ha^{-1})	4.006 ± 1.347 (b)	6.242 ± 1.843 (a b)	6.795 ± 2.026 (a)	5.681 ± 1.739

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste t ($p > 0,05$).

povoamento de pau-brasil foi significativamente inferior (4.006 kg ha^{-1}).

A fração folíolos foi predominante (figura 2) e determinou a curva de produção anual com uma participação em 63% do total, seguida das frações frutos (15%), partes lenhosas (14%), flores (5%) e sementes (3%). Essas porcentagens estão de acordo com os valores encontrados para outras espécies

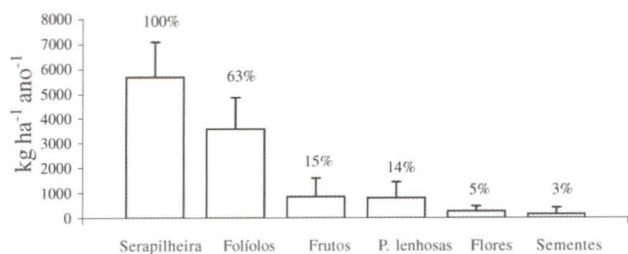


Figura 2. Produção anual média (2001-2003) de serapilheira total e das frações folíolos, partes lenhosas (ramos + pecíolos), flores, frutos e sementes; e contribuição percentual de cada fração. Fonte: Oliveira, dados não publicados.

arbóreas (Garrido 1980, Garrido & Poggiani 1982, Froufe *et al.* 1997, Aidar & Joly 2003).

A produção de serapilheira ocorreu durante o ano todo (figura 3). Entretanto, as frações flores e sementes apresentaram padrões claramente sazonais com maior deposição na primavera, coincidindo com o início do período de maior temperatura e precipitação. Estes resultados coincidem com os obtidos no estudo fenológico realizado por Aguiar (2000, 2001) no mesmo arboreto. Observações deste autor indicam maior deposição de folheto durante os meses mais frios e secos do ano (julho/agosto) porém, conforme figura 3, a maior deposição de folíolos ocorreu no final da estação seca e início da chuvosa (agosto a outubro). A quantificação da produção de serapilheira total, entretanto, indicou a ocorrência de dois picos de deposição, um em outubro e outro em dezembro, pelo acréscimo da fração de frutos. Estes dados indicam a importância de estudos quantitativos para o detalhamento de informações fenológicas.

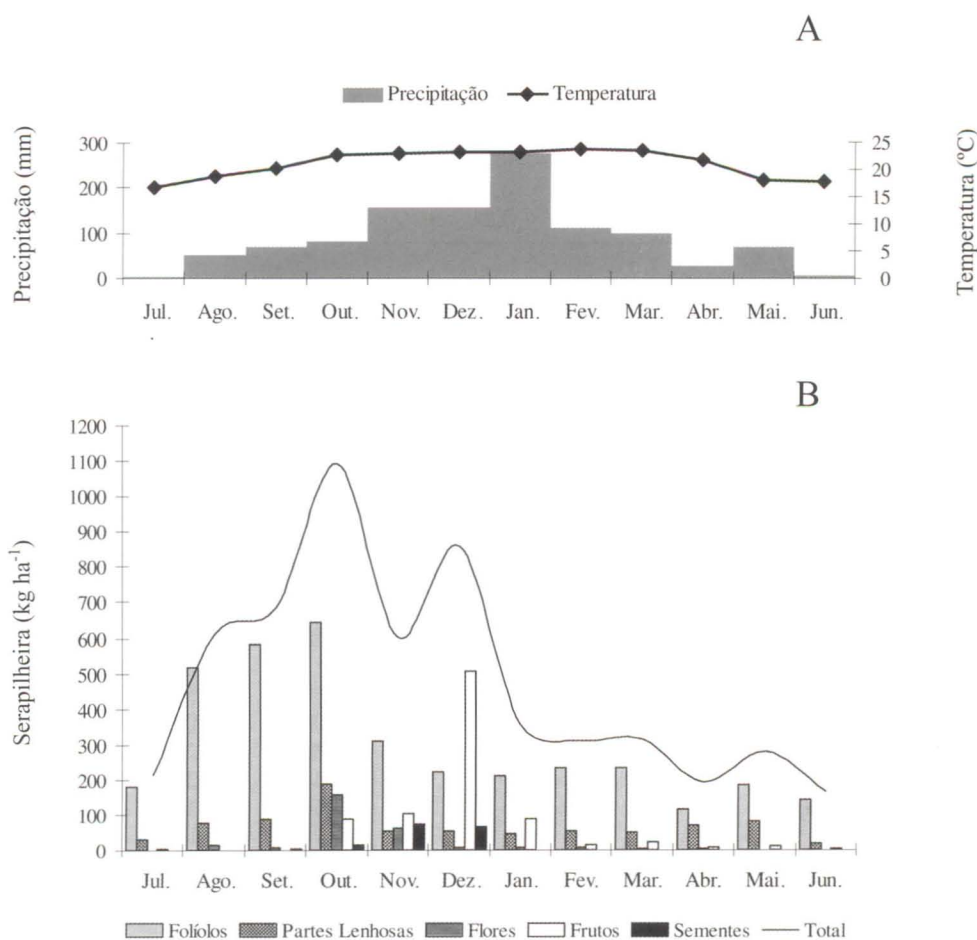


Figura 3. Valores da precipitação pluviométrica e temperatura ao longo do ano (A) e perfil da produção de folíolos, partes lenhosas, flores, frutos e sementes (B), no período de 2001 a 2003, no arboreto de pau-brasil em Mogi-Guaçu, São Paulo.

Os picos de produção de cada fração variaram entre os meses de outubro e dezembro de cada ano (tabela 1, figura 3). As frações folíolos, partes lenhosas e flores apresentaram maior queda no mês de outubro ($644 \pm 140 \text{ kg ha}^{-1}$, $188 \pm 65 \text{ kg ha}^{-1}$ e $156 \pm 74 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente), enquanto que a maior queda de frutos ocorreu em dezembro ($507 \pm 232 \text{ kg ha}^{-1}$) e, a de sementes, entre novembro e dezembro ($71 \pm 50 \text{ kg ha}^{-1}$).

A quantidade de serapilheira produzida pareceu não estar relacionada com a precipitação, temperatura e insolação (tabela 2), entretanto, a queda de serapilheira correlacionou-se positivamente com a velocidade do vento ($r = 0,52$), e a de folíolos, correlacionou-se negativamente com a umidade relativa do ar ($r = -0,61$). Estes resultados sugerem,

portanto, um efeito físico do vento sobre o aumento da derrubada de folhas quando o ar está mais seco. Como de fato observado, na época de maior ocorrência de ventos há maior queda de folíolos e partes lenhosas, principalmente na fase de abscisão foliar, quando se dá a queda de folhas mais velhas, e que coincide com os menores valores de umidade relativa do ar.

Embora não existam informações semelhantes sobre outros povoamentos homogêneos de *C. echinata* e os estudos com espécies nativas sejam escassos, verifica-se que os valores anuais de produção de serapilheira obtidos no arboreto de pau-brasil de Mogi-Guaçu são comparáveis aos apresentados por outras arbóreas, conforme tabela 3. A amplitude de variação desses valores é naturalmente elevada, pois reflete características

Tabela 2. Valores do coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis climáticas e a quantidade de serapilheira produzida quinzenalmente durante três anos (2001-2003) pelo arboreto de pau-brasil em Mogi-Guaçu, São Paulo.

Variáveis climáticas	Folíolos	Partes lenhosas	Flores	Frutos	Sementes	Total
Temperatura média (°C)	-0,02	0,23	0,03	-0,09	-0,12	-0,02
Temperatura máxima (°C)	0,01	0,22	0,04	-0,13	-0,14	-0,02
Temperatura mínima (°C)	0,08	0,26	0,07	-0,13	-0,13	0,03
Precipitação (mm)	-0,05	-0,01	0,00	0,07	-0,03	0,00
Umidade relativa (%)	-0,61	-0,23	-0,30	0,10	-0,01	-0,39
Insolação (W m^{-2})	0,03	-0,19	0,00	-0,07	0,03	-0,04
Velocidade do vento (km h^{-1})	0,42	0,22	0,28	0,39	0,26	0,52

Fonte: Oliveira, dados não publicados

Tabela 3. Produção de serapilheira em plantios com espécies arbóreas, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Espécie/Idade/Local	Serapilheira		Fonte
	Total	Foliar	
Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>) – 10 anos, Seropédica, RJ	8.800	-	Costa <i>et al.</i> (2004)
Pinus (<i>Pinus elliottii</i>) – 16 anos, Mogi-Guaçu, SP	7.060	6.530	Delitti (1984)
Cambará (<i>Gochnatia polymorpha</i>) – 7 anos, Assis, SP	-	4.750	Garrido (1980)
Araucária (<i>Araucária angustifolia</i>), São Mateus do Sul, PR	6.520	4.050	Britez <i>et al.</i> (1992)
Acácia-negra (<i>Acacia mearnsii</i>) – 3 anos, Butiá, RS	5.850	4.500	Schumacher <i>et al.</i> (2003)
Angico (<i>Anadenanthera falcata</i>) – 7 anos, Assis, SP	-	4.380	Garrido (1980)
Eucalipto (<i>Eucalyptus pellita</i>) – 6 anos, Goytacazes, RJ	4.990	3.330	Zaia & Gama-Rodrigues (2004)
Eucalipto (<i>Eucalyptus grandis</i>) – 3 anos, Seropédica, RJ	4.800	4.100	Froufe <i>et al.</i> (1997)
Eucalipto (<i>Eucalyptus grandis</i>) – 6 anos, Goytacazes, RJ	4.780	3.120	Zaia & Gama-Rodrigues (2004)
Eucalipto (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>) – 6 anos, Goytacazes, RJ	4.530	3.020	Zaia & Gama-Rodrigues (2004)
Araribá (<i>Centrolobium tomentosum</i>) – Mata Ciliar, Rio Jacaré Pepira, Brotas, SP	4.200	3.440	Aidar & Joly (2003)
Albizia (<i>Albizia guachapele</i>) – 3 anos, Seropédica, RJ	3.770	-	Froufe <i>et al.</i> (1997)
Gliricídia (<i>Gliricídia sepium</i>) – 10 anos, Seropédica, RJ	3.300	-	Costa <i>et al.</i> (2004)
Acácia (<i>Acacia auriculiformis</i>) – 10 anos, Seropédica, RJ	3.300	-	Costa <i>et al.</i> (2004)
Aroeira (<i>Astronium urundeuva</i>) – 7 anos, Assis, SP	-	2.300	Garrido (1980)
Ipê-roxo (<i>Tabebuia impetiginosa</i>) – 7 anos, Assis, SP	-	980	Garrido (1980)
Pau-brasil (<i>Caesalpinia echinata</i>) – 23 anos, Mogi-Guaçu, SP	5.700	3.600	Este estudo

inerentes a cada espécie, somadas às de cada povoamento como idade, espaçamento, fertilidade do solo, clima, entre outras. Delitti (1984) quantificou a produção de serapilheira em povoamento de *Pinus elliottii*, em área de mata ciliar e em um cerrado *sensu strictu*, nas proximidades do arboreto de pau-brasil ora estudado, e obteve respectivamente 7.100, 7.400 e 3.900 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Pode-se concluir que a produção do arboreto de pau-brasil é mais próxima do povoamento de *Pinus* e da mata ciliar, formações arbóreas, do que do cerrado, vegetação original do sítio onde se encontra o arboreto.

Ao se considerar a produção média por indivíduo, tem-se que cada árvore de pau-brasil (aos 23 anos de idade com aproximadamente 12 m de altura e 17 cm de diâmetro) produziu 6 kg anuais de serapilheira, distribuídos em 4 kg de folíolos, 1 kg de partes lenhosas e frutos, 300 g de flores e 170 g de sementes. Os valores de serapilheira foliar foram superiores aos 3,4 kg ind⁻¹ ano⁻¹ (de folhas) apresentados pelo Araribá (*Centrolobium tomentosum*) segundo Aidar & Joly (2003), indicando o grande potencial do pau-brasil na circulação de matéria orgânica e de nutrientes minerais.

Com relação ao conteúdo e à transferência de nutrientes pela serapilheira produzida, observa-se que, (tabela 4), dentre todos os macronutrientes, o nitrogênio se apresenta com maior concentração em todas as frações da serapilheira depositada. Os maiores teores de nitrogênio (26,0 mg g⁻¹), magnésio (4,0 mg g⁻¹) e enxofre (1,3 mg g⁻¹) foram encontrados nas frações flores e sementes, os de fósforo (1,3 mg g⁻¹) e potássio (14,5 mg g⁻¹) nas frações sementes, enquanto que os de cálcio (6,0 mg g⁻¹) nas frações folíolos e partes lenhosas.

O pau-brasil, quando comparado a outras espécies nativas (tabela 5), apresenta valores

relativamente baixos de concentração foliar de alguns nutrientes, como o fósforo e cálcio, por outro lado, os teores de nitrogênio, potássio e magnésio situam-se dentro da faixa de variação das demais espécies.

A transferência anual média de nitrogênio foi de 71,9 kg ha⁻¹, sendo considerado o elemento que retorna ao solo em maior quantidade (tabela 6). O segundo nutriente mais devolvido ao solo foi o potássio, com 54,9 kg ha⁻¹, seguido pelo cálcio, com 30,9 kg ha⁻¹. O retorno anual dos nutrientes ao solo apresentou a seguinte ordem quantitativa: nitrogênio (N) > potássio (K) > cálcio (Ca) > magnésio (Mg) > enxofre (S) > fósforo (P).

A maior contribuição para a ciclagem e retorno de nutrientes ao solo é oferecida pelas folhas, em virtude de sua predominante fitomassa, vindo a seguir o material lenhoso, frutos, flores e sementes (figura 2). As frações flores e sementes, embora apresentem maiores concentrações de alguns nutrientes, devido a sua pequena fitomassa, pouco contribuem para o retorno de nutrientes ao solo.

Sendo assim, confirma-se que o teor de nutrientes nos componentes da fitomassa de uma plantação florestal é maior nas folhas e partes lenhosas e ainda que cerca de

Tabela 4. Concentração anual média de nutrientes, mg g⁻¹, nas frações de serapilheira depositadas no solo do arboreto de pau-brasil em Mogi-Guaçu, nos anos de 2001, 2002 e 2003.

Elementos	Folíolos	Partes lenhosas	Flores	Frutos	Sementes
Nitrogênio	13,49	9,55	26,13	6,35	26,79
Fósforo	0,26	0,20	0,70	0,17	1,29
Potássio	9,20	9,10	12,5	9,70	14,50
Cálcio	6,60	6,30	5,00	0,70	0,70
Magnésio	3,50	2,80	4,00	2,00	4,00
Enxofre	1,07	0,64	1,30	0,43	1,28

Tabela 5. Concentração de nutrientes na fração foliar da serapilheira de espécies arbóreas.

Espécie	N	P	K	Ca	Mg	S	Fonte
mg g ⁻¹							
<i>A. falcata</i>	20,6	0,7	3,1	6,7	1,5	-	Garrido & Poggiani (1982)
<i>A. urundeuva</i>	17,2	0,7	6,0	8,1	2,5	-	Garrido & Poggiani (1982)
<i>G. polymorpha</i>	12,0	0,5	13,4	6,2	3,0	-	Garrido & Poggiani (1982)
<i>T. impetiginosa</i>	15,7	0,8	9,4	18,9	3,0	-	Garrido & Poggiani (1982)
<i>M. caesalpinijifolia</i>	20,4	0,8	2,7	8,5	3,6	-	Costa <i>et al.</i> (1997)
<i>A. mearnsii</i>	18,6	0,6	6,8	10,6	1,6	-	Schumacher <i>et al.</i> (2003)
Arbóreas	0,8-9,3	0,7-4,8	2,9-18,0	11,9-39,5	1,0-6,1	-	Cunha (1997)
<i>C. echinata</i>	13,5	0,3	9,2	6,6	3,5	1,1	Este estudo

Tabela 6. Deposição anual, em kg ha⁻¹, de nutrientes pela serapilheira e suas frações no arboreto de pau-brasil em Mogi-Guaçu, São Paulo.

Elementos	Folíolos	Partes lenhosas	Flores	Frutos	Sementes	Serapilheira
Nitrogênio	46,7	8,0	7,4	5,6	4,2	71,9
Fósforo	0,9	0,1	0,2	0,2	0,2	1,6
Potássio	33,3	7,8	3,5	8,0	2,3	54,9
Cálcio	24,1	5,0	1,3	0,5	0,5	30,9
Magnésio	12,8	4,0	1,1	1,7	0,6	20,2
Enxofre	4,0	0,6	0,4	0,4	0,2	5,5

70% ou mais do total dos nutrientes contidos na fitomassa das árvores encontram-se nas frações folhas e partes lenhosas (Froufe *et al.* 1997).

A tabela 7 apresenta a contribuição da fração foliar de algumas espécies nativas na transferência de nutrientes ao solo. O pau-brasil, devido a sua alta produção de fitomassa (tabela 3), retorna ao solo quantidades consideráveis de todos os elementos, especialmente de nitrogênio e potássio (tabela 6). Os resultados encontrados na literatura sobre o retorno de nutrientes ao solo pela serapilheira em espécies nativas não permitem comparações mais abrangentes e generalizações.

Desta forma, pelos resultados obtidos no arboreto de Mogi-Guaçu, constata-se que em povoamentos homogêneos, *Caesalpinia echinata* contribui para o aumento da matéria orgânica e dos macronutrientes na superfície do solo, sobretudo das quantidades de nitrogênio e potássio, exercendo influência positiva na fertilidade do mesmo.

Os resultados encontrados contribuem para o conhecimento detalhado da fenologia e da ciclagem de nutrientes do pau-brasil e podem subsidiar o manejo adequado da espécie em condições de maciços homogêneos, como no arboreto experimental de Mogi-Guaçu.

Tabela 7. Produção da fração foliar da serapilheira de espécies arbóreas nativas e suas contribuições na transferência de nutrientes para o solo.

Espécie	Folhas kg ind ⁻¹ ano ⁻¹	g ind ⁻¹ ano ⁻¹						Fonte
		N	P	K	Ca	Mg	S	
<i>C. tomentosum</i>	3,4	54,3	2,9	14,2	67,0	23,0	-	Aidar & Joly (2003)
<i>A. falcata</i>	1,7	34,0	1,1	5,8	12,7	2,8	-	Garrido & Poggiani (1982)
<i>A. urundeuva</i>	0,9	13,0	1,0	5,3	9,6	2,4	-	Garrido & Poggiani (1982)
<i>T. impetiginosa</i>	0,4	4,5	0,3	4,2	7,8	1,2	-	Garrido & Poggiani (1982)
<i>C. echinata</i>	3,9	50,8	1,0	36,8	26,4	14,0	4,3	Este estudo

Agradecimentos

À FAPESP (processo 2000/06422-4), pelo auxílio concedido; ao CNPq, pela concessão das bolsas IC/PIBIC a Sabrina Randazzo Gomes e Daniel Maurenza de Oliveira; à Universidade Metodista de São Paulo, pelos reagentes químicos cedidos ao trabalho de monografia do aluno Daniel Maurenza de Oliveira. Agradecemos também ao Prof. Paulo César Costa, da Faculdade Cantareira, pelas análises químicas; à Marli Rodrigues Battaglia, pela pesagem inicial das amostras e ao pesquisador João Del Giudice Neto, pelos dados meteorológicos.

Literatura citada

- Aguiar, F.F.A.** 2000. Crescimento do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), em diferentes espaçamentos. *Ecosistema* 25: 105-107.
- Aguiar, F.F.A.** 2001. Fenologia do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) em Mogi-Guaçu, SP. *Ecosistema* 26: 107-112.
- Aidar, M.P.M. & Joly, C.A.** 2003. Dinâmica da produção e decomposição da serapilheira do araribá (*Centrolobium tomentosum* Guill. ex Benth. – Fabaceae) em uma mata ciliar, Rio Jacaré-Pepira, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 26: 193-202.

- Batista, E.A.** 1982. Levantamentos fitossociológicos aplicados à vegetação de cerrado, utilizando-se de fotografias aéreas verticais. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Botter, D.A., Paula, G.A., Leite, J.G. & Cordani, L.K.** 1996. Noções de estatística: com apoio computacional. Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Britez, R.M., Reissman, C.B., Silva, S.M. & Santos Filho, A.** 1992. Deposição estacional de serapilheira e macronutrientes em uma floresta de araucária, São Mateus, Paraná. *Revista do Instituto Florestal* 4: 766-772.
- Costa, G.S., Andrade, A.G. & Faria, S.M.** 1997. Aporte de nutrientes pela serapilheira de *Mimosa caesalpiniiifolia* (Sabiá) com seis anos de idade. *In: Anais do III Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*, Ouro Preto, p.344-349.
- Costa, G.S., Franco A.A., Damasceno R.N. & Faria, S.M.** 2004. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 919-927.
- Cunha, G.C.** 1997. Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma floresta estacional do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Delitti, W.B.C.** 1984. Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na mata ciliar, no campo cerrado e na floresta implantada de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* (Mogi-Guaçu, SP). Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Dias, H.C.T. & Oliveira Filho, A.T.** 1997. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de Floresta Estacional Semidecídua Montana em Lavras-MG. *Revista Árvore* 21: 11-26.
- Froufe, L.C.M., Franco, A.A., Faria, S.M. & Campello, E.F.C.** 1997. Produção de serapilheira e ciclagem de nitrogênio, fósforo e potássio em plantios puros e consorciados de *Eucalyptus grandis* e *Albizia guachapele*. *In: Anais do III Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas*, Ouro Preto, pp. 205-214.
- Garrido, M.A.O.** 1980. Caracteres silviculturais e conteúdo de nutrientes no folheto de alguns povoamentos puros e misto de espécies nativas. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Garrido, M.A.O. & Poggiani, F.** 1982. Avaliação da quantidade e do conteúdo de nutrientes do folheto de alguns povoamentos puros e mistos de espécies indígenas. *Silvicultura em São Paulo* 15/16: 1-22.
- Lima, H.C.** 1992. Aspectos botânicos do pau-brasil. *In: M.W. Cunha & H.C. Lima (eds.). Viagem à terra do pau-brasil*. Agência Brasileira de Cultura, Rio de Janeiro, pp. 23-38.
- Malavolta, E., Vitti, G.C. & Oliveira S.A.** 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2 ed. POTAFOS, Piracicaba.
- Montagnini, F., Fanzeres, A. & da Vinha, S.G.** 1995. The potentials of 20 indigenous tree species for soil rehabilitation in the Atlantic forest region of Bahia, Brazil. *Journal of Applied Ecology* 32: 841-856.
- Oliveira, J.B., Camargo, M.N., Rossi, M. & Calderano Filho, B.** 1999. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida. Instituto Agrônomo, Campinas. EMBRAPA – Solos, Rio de Janeiro.
- Rocha, Y.T.** 2004. Ibirapitanga: História, distribuição geográfica e conservação do pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam., Leguminosae) do descobrimento à atualidade. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Schumacher, M.V., Brun, E.J., Rodrigues, L.M. & Santos, E.M.** 2003. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de Acacia-Negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore* 22: 791-798.
- Tomé Júnior, J.B.** 1997. Manual para interpretação de análise de solo. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba.
- Zaia, F.C. & Gama-Rodrigues, A.C.** 2004. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 843-852.

