

Juliana Lopes Vendrami

Produção e decomposição de serrapilheira em fragmentos do Planalto  
Atlântico Paulista

Projeto de Iniciação Científica apresentado  
ao Instituto de Biociências da Universidade  
de São Paulo, para a obtenção de Título de  
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Adalardo  
de Oliveira

São Paulo  
2010

## ÍNDICE

1. RESUMO .....	02
2. INTRODUÇÃO.....	02
2.1. Fragmentação Florestal.....	05
3. JUSTIFICATIVA.....	08
4. OBJETIVO.....	08
5. HIPÓTESE.....	08
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	08
6.1. Área de estudo.....	08
6.2. Fragmentos florestais.....	09
6.3. Coleta de serrapilheira.....	12
6.4. Experimento de decomposição.....	12
6.5. Análise dos dados.....	14
6.5.1. Produção de serrapilheira.....	14
6.5.2. Experimento de decomposição.....	15
7. RESULTADOS .....	15
7.1. Produção de serrapilheira.....	16
7.2. Experimento de decomposição.....	18
8. DISCUSSÃO.....	21
8.1. Produção de serrapilheira.....	21
8.2. Experimento de decomposição.....	23
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
10. AGRADECIMENTOS.....	25
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

## 1. RESUMO

A queda e a conseqüente decomposição da serrapilheira são processos vitais para a manutenção dos ecossistemas florestais, uma vez que é através desses processos que ocorre a transferência dos nutrientes da vegetação para o solo. Assim sendo, quaisquer perturbações na produção e no processo de decomposição podem culminar em mudanças na dinâmica dos ecossistemas florestais. Nos ambientes tropicais e, em especial na Floresta Atlântica, perturbações resultaram em fragmentos florestais secundários de estádios sucessionais distintos. Neste contexto, foi proposto o presente estudo com o objetivo de testar a hipótese de que as florestas de estádios sucessionais avançados apresentam maior produção de serrapilheira e maior taxa de decomposição em comparação às florestas de estádios iniciais. O estudo foi realizado em seis fragmentos de Floresta Atlântica de Planalto (municípios de Piedade e Tapiraí) de diferentes estádios sucessionais e em uma área de floresta contínua (controle) no Parque Estadual de Jurupará (município de Ibiúna). A produção de serrapilheira foi estimada através de coletas mensais durante um ano (novembro de 2008 a outubro de 2009). Utilizou-se a análise de Monte Carlo para testar as diferenças de produção de serrapilheira entre as áreas. Foi encontrada maior produção na área de estágio sucessional inicial. Os padrões verificados evidenciam uma relação da composição florística das áreas estudadas na determinação da produção de serrapilheira, especialmente na área com maior abundância de espécies pioneiras. O experimento de decomposição foi realizado através do método de confinamento em bolsas de decomposição, preenchidas com folhas de uma espécie exótica, *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze, Fabaceae. Utilizou-se Monte Carlo para testar as diferenças entre as taxas de decomposição das áreas. Não foi encontrada diferença significativa entre as áreas estudadas.

## 2. INTRODUÇÃO

A produção de serrapilheira e sua conseqüente decomposição são processos essenciais para a manutenção dos ecossistemas terrestres, visto que a serrapilheira é a principal fonte de nutrientes nesses ambientes (Vitousek, 1984), fundamental para a fertilização do solo (Ewel, 1976, Facelli & Picket, 1991), e, conseqüentemente, para o crescimento e desenvolvimento das comunidades vegetais (Facelli & Picket, 1991). A produção e decomposição da serrapilheira são, particularmente, importantes em florestas tropicais, onde os solos são oligotróficos (escassos de recursos minerais) (Lavelle *et al*, 1993) e a produtividade da vegetação depende de mecanismos eficientes de ciclagem de nutrientes para que haja um retorno rápido dos nutrientes minerais contidos na serrapilheira (Montagnini & Jordan, 2002).

O termo "serrapilheira" aqui utilizado corresponde a camada de materiais orgânicos provenientes da vegetação depositada sobre os solos das florestas (Bray & Gorham, 1964), representando uma forma de entrada e posterior incremento de matéria orgânica no solo. Além disso, controla muitas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Dentre as alterações físicas, podemos citar a redução da amplitude térmica próxima ao solo (Facelli & Picket, 1991) e ao mesmo tempo criar uma barreira física à difusão do vapor d'água, proporcionando assim um habitat com um microclima favorável para a fauna do solo, (artrópodes e minhocas) (Facelli & Picket, 1991) e as comunidades de detritívoros (fungos e microorganismos) (Olson, 1963). Além disso, diminui o impacto das gotas de chuvas sobre o solo, evitando assim a lixiviação e a compactação do mesmo (Facelli & Picket, 1991). Pode atuar também como uma barreira física para o estabelecimento de sementes por dificultar a penetração ou impedir que as plântulas consigam emergir após a germinação (Facelli & Picket, 1991). O acúmulo de serrapilheira afeta também os vertebrados (Facelli & Picket, 1991) por dificultar a localização de sementes no ambiente (Facelli & Picket, 1991). Com relação aos efeitos químicos, a serrapilheira, ao ser decomposta, pode liberar substâncias no solo que modificam o meio, interferindo ou facilitando a germinação de sementes de outras espécies (Facelli & Picket, 1991).

Dessa forma, o acúmulo de serrapilheira influencia profundamente o estabelecimento das espécies e pode ser, portanto, considerado um fator determinante das comunidades vegetais (Santos & Válio, 2002). Sendo assim, quaisquer distúrbios na produção de serrapilheira podem influenciar as propriedades químicas, físicas e biológicas do ambiente e, conseqüentemente, na dinâmica de todo o sistema florestal.

A heterogeneidade da produção de serrapilheira, assim como sua qualidade são produtos da interação entre a vegetação (fenologia das espécies, Sanchez & Alvarez-Sanchez,

1995), o solo (fertilidade, Wardle *et al*, 2004); o clima (temperatura e precipitação) (Bray & Gorham, 1964, Facelli & Pickett, 1991, Veneklaas, 1991); altitude (Bray & Gorham 1964); latitude (Bray & Gorham, 1964); estágio sucessional e o grau de distúrbio das florestas (Schlittler *et al*, 1993, Werneck *et al*, 2001). Em uma escala global, observa-se que as regiões de latitudes e altitudes baixas e de climas de temperaturas e umidades elevadas possuem maior produção de serrapilheira (Bray & Gorham, 1964; Martins, 2010), no entanto, em uma escala regional, o histórico de uso do solo parece ter um efeito maior na produção de serrapilheira do que os demais fatores (Lawrence, 2005).

O processo de decomposição é responsável pela liberação de nutrientes minerais a partir de materiais orgânicos, como folhas, galhos, raízes e detritos animais (Swift *et al*, 1979). para o solo, que serão reabsorvidos pelas plantas e por outros organismos do sistema (Toledo & Pereira, 2004).

O termo "decomposição" engloba três processos: lixiviação, isto é, a retirada dos componentes hidrossolúveis, sendo essa fase bem rápida; a desintegração gradual do material pelos detritívoros; e a mineralização pelos microorganismos (Aerts, 1997), sendo as duas últimas mais lentas. Esses processos são controlados por fatores abióticos e bióticos, tais como as condições climáticas (Aerts, 1997, Barlow *et al*, 2007), a qualidade do substrato (Sayer, 2006, Barlow *et al*, 2007), condições edáficas (Vitousek, 1984) e a atividade da comunidade decompositora (Castanho, 2005). Esses fatores atuam de forma hierárquica, seguindo a seguinte ordem de importância: clima > composição do substrato > organismos decompositores, salientando que todos esses níveis interagem entre si (Swift *et al*, 1979, Lavelle *et al*, 1993).

Os parâmetros ambientais, como a temperatura e precipitação, influenciam nas taxas de decomposição por atuarem diretamente no metabolismo dos organismos decompositores (Aerts, 1997). Condições do solo, como o pH e a concentração de nutrientes, também são importantes para esses organismos e, conseqüentemente, para o processo de decomposição nas florestas (Moura, 1997). Quando as concentrações de nutrientes do solo (solos menos férteis) não são adequadas para o metabolismo dos organismos, o processo de decomposição é inibido ou retardado (Vitousek & Sanford, 1986).

A composição e as concentrações dos nutrientes nas folhas também influenciam as taxas de decomposição. Conforme a decomposição procede, a qualidade do recurso muda rapidamente, visto que alguns compostos, como os açúcares, são rapidamente metabolizado e os componentes resistentes, como a lignina, tendem a acumular (Lavelle *et al*, 1993). No caso

das concentrações de nutrientes essenciais para o crescimento da fauna do solo serem baixas nas folhas, os organismos utilizam os nutrientes disponíveis no solo (processo denominado imobilização), competindo por nutrientes com as próprias plantas. Assim sendo, a velocidade do processo de decomposição vai depender da concentração e da qualidade dos compostos. Além dos parâmetros químicos das folhas, suas características físicas como a textura, espessura da epiderme e presença de cutícula cerosa, também afetam a taxa de decomposição (Gallardo & Merino, 1993).

Outro fator que influencia no processo de decomposição é a comunidade decompositora, formada pela fauna do solo (invertebrados do solo) e por microorganismos (bactérias e fungos) (Seastedt, 1984). A fauna do solo é responsável pela fragmentação e mistura da matéria orgânica vegetal com o solo mineral, além de ser importante na aeração do mesmo (Facelli & Pickett, 1991). Esses invertebrados catalizam a ação decompositora dos microorganismos, por aumentarem a área superficial disponível à atuação de bactérias e fungos, que reduzem ainda mais os fragmentos vegetais e os mineraliza, tornando-os disponíveis para a vegetação (Aerts, 1997), sendo dessa forma, importantes para a fertilização do solo. Em contrapartida, a atividade desses organismos é controlada pelo clima (Aerts, 1997) e pela qualidade do substrato (Wardle *et al*, 2004), pois estes parâmetros irão determinar quem colonizará e se desenvolverá num determinado ambiente.

Segundo Meentemeyer (1978), as condições climáticas têm um papel decisivo quando se trata de escalas globais. Entretanto, ao se avaliar localmente, a qualidade do substrato (Aerts, 1997, Xuluc-Tolosa *et al*, 2003) ou a regulação biótica pela macrofauna (Aerts, 1997, Lavelle *et al* 1993) podem assumir maior importância. Isso implica que a hierarquia postulada tem alguma plasticidade e pode alterar local ou regionalmente quando os fatores correspondentes a um particular nível não são importantes ou não existem (Lavelle *et al*, 1993). Além da escala, distúrbios no ambiente podem alterar a importância relativa dos fatores determinantes da decomposição, criando novos fatores no processo de decomposição (Lavelle *et al*, 1993).

## **2.1. Fragmentação Florestal**

A fragmentação de habitats pode ser resultado de causas naturais ou da ação antrópica. A conversão de florestas contínuas em fragmentos pequenos e desconectados resulta em modificações bióticas e abióticas (Murcia, 1995), como a produção de bordas abruptas nos fragmentos (Murcia, 1995) promovendo alterações nas condições microclimáticas

nas bordas (aumento da temperatura e diminuição da umidade), na qual afetam o crescimento e a sobrevivência das plantas nas florestas (Laurance *et al*, 2002), podendo refletir até centenas de metros dentro das florestas (Laurance *et al*, 2002). Esse ambiente novo pode ser inóspito para diversas espécies de organismos, ao mesmo tempo em que pode favorecer o estabelecimento de espécies características de áreas abertas, como as plantas pioneiras (Schlittler *et al*, 1993) e as lianas (Schlittler *et al*, 1993), ao invés de espécies de florestas maduras (Tabarelli *et al*, 2004).

Nos fragmentos, não somente a composição das espécies, mas também a dinâmica das florestas se alteram em relação a das florestas primárias (Nascimento *et al*, 2005), visto que há modificações nas interações entre animais e plantas (Saunders *et al*, 1991), e modificações nos diversos processos ecológicos, como a ciclagem dos nutrientes (Laurance, 2008) e a produção de serrapilheira (Werneck *et al*, 2001).

Os gradientes antropogênicos podem potencialmente alterar a dinâmica temporal e espacial da serrapilheira. Com a simplificação da estrutura da vegetação em fragmentos florestais, ou seja, áreas basais menores e dossel mais aberto, tende a haver uma menor produção de serrapilheira em comparação aos fragmentos de estágio sucessional mais avançado (Schlittler *et al*, 1993, Vidal *et al*, 2005). De acordo com a hipótese de Vitousek & Reiner (1975), há um incremento da biomassa ao longo da sucessão ecológica, refletido dessa forma, no aumento da produção de serrapilheira (Ewel, 1976). Para esses autores, uma melhor estrutura de floresta é o fator mais importante para a produção de serrapilheira e, neste caso, fragmentos florestais com estágio sucessional tardio, com árvores mais altas e maior volume médio de madeira teriam uma maior produção de biomassa foliar do que fragmentos de estágio sucessional inicial.

Como consequência das modificações microclimáticas nos fragmentos assim como na qualidade da serrapilheira ao longo da sucessão, a fragmentação também pode afetar o processo de decomposição, visto que esses fatores influenciam diretamente a atividade das comunidades decompositoras (Didham, 1998, Mayer, 2008). Essas alterações na biota do solo alteram a ciclagem dos nutrientes e, conseqüentemente, a disponibilidade de recursos no solo, o que pode acarretar em mudanças na composição florística dos fragmentos (Guariguata & Ostertag, 2001, Wardle *et al*, 2004), que por sua vez podem alterar a produtividade de matéria orgânica, modificando o ambiente florestal, fechando-se assim um ciclo de retroalimentação, que pode ser positivo, negativo ou neutro.

Dessa forma, o processo de decomposição dependeria da idade das florestas, mais especificamente da estrutura e composição das mesmas. Apesar das plantas pioneiras terem uma maior taxa de decomposição, devido a uma menor relação entre carbono e nitrogênio nas folhas (Xuluc – Tolosa *et al*, 2003), fator correlacionado com uma maior atividade microbiana (Zhang & Zark, 1995), é esperado que as florestas secundárias tardias tenham uma taxa de decomposição maior do que florestas em estágio sucessional inicial, visto que as florestas em estágio de desenvolvimento tardio são mais eficientes na reciclagem dos seus nutrientes (Brown & Lugo, 1990), por terem um microclima mais adequado para a atividade da fauna decompositora.

Nas florestas tropicais, grandes áreas estão sendo convertidas em monoculturas agrícolas e pastagens. Devido a baixa fertilidade dos solos nas regiões onde crescem as florestas tropicais, é que se tem importância a presença das florestas, visto que as florestas tropicais conseguem crescer em substratos pobres em nutrientes somente a partir da manutenção dos mesmos sob altos níveis de biomassa, através de mecanismos de conservação, produzindo um ciclo de nutrientes fechado com pequenas quantidades de nutrientes (Jordan & Herrera, 1981).

No Brasil, a mata atlântica encontra-se bastante ameaçada pela perda e fragmentação florestal (Tabarelli *et al*, 2005) sendo considerada como uma das áreas mundiais prioritárias para conservação (Myers *et al*, 2000). A sua exploração remete da época da colonização europeia, com a comercialização dos recursos florestais, sendo seguida pelas pressões dos ciclos econômicos (produção de cana de açúcar, busca pelo ouro, cultivo de café e as atividades pecuárias), os quais impulsionaram a ocupação da região da mata atlântica. Além disso, a atração populacional gerada pelo desenvolvimento de atividades econômicas acentuou a devastação da mata atlântica.

No Estado de São Paulo, por se tratar de um polo de desenvolvimento econômico, as florestas foram bastante devastadas. Neste contexto, a Floresta Atlântica está distribuída em pontos esparsos no interior e em alguns trechos contínuos ao longo do litoral. A grande parte dos fragmentos são florestas secundárias em regeneração após práticas de cortes e queimadas ao longo dos dois últimos séculos e alguns pontos com matas primárias (IF, 2005).

Pelos dados expostos acima, entender as respostas da produção de serrapilheira e do processo de decomposição à fragmentação dos habitats são fundamentais para a compreensão da dinâmica e funcionamento dos fragmentos.

### **3. JUSTIFICATIVA DO PROJETO**

Estudos sobre a produção de serrapilheira e o processo de decomposição são fundamentais para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas. Estudos com esse enfoque são importantes ao avaliar as condições e a dinâmica dos processos internos dos ecossistemas, visando auxiliar no entendimento das rápidas mudanças provocadas pela ação antrópica no ambiente.

### **4. OBJETIVO**

O presente estudo teve como objetivo responder à seguinte questão: existe diferença na produção e nas taxas de decomposição da serrapilheira entre florestas de estádios sucessionais distintos?

### **5. HIPÓTESES**

Para responder a pergunta da seção anterior, foram formuladas as seguintes hipóteses:

1. Florestas de estádios sucessionais avançados apresentam maior produção de serrapilheira em comparação a florestas de estádios iniciais.
2. Para a decomposição, a mesma relação é esperada, isto é, maior decomposição em estádios sucessionais mais avançados em comparação a florestas de estádios mais iniciais.

### **6. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **6.1. Área de estudo**

O estudo foi conduzido no Planalto Paulista, nos municípios de Ibiúna, Piedade e Tapiraí, nas coordenadas geográficas O 47° 20' e S 23° 50', no sudeste do Estado de São Paulo (figura 1). No município de Ibiúna, encontra-se o Parque Estadual de Jurupará que compreende uma área de, aproximadamente, 26.000 ha, composto por mata secundária em estágio avançado de sucessão e trechos de mata primária com pouca perturbação. Nos demais municípios, a paisagem estudada compreendia uma área de 10.000 ha com cerca de 45% de cobertura vegetal, constituída por fragmentos de Floresta Atlântica em diversos estádios sucessionais.

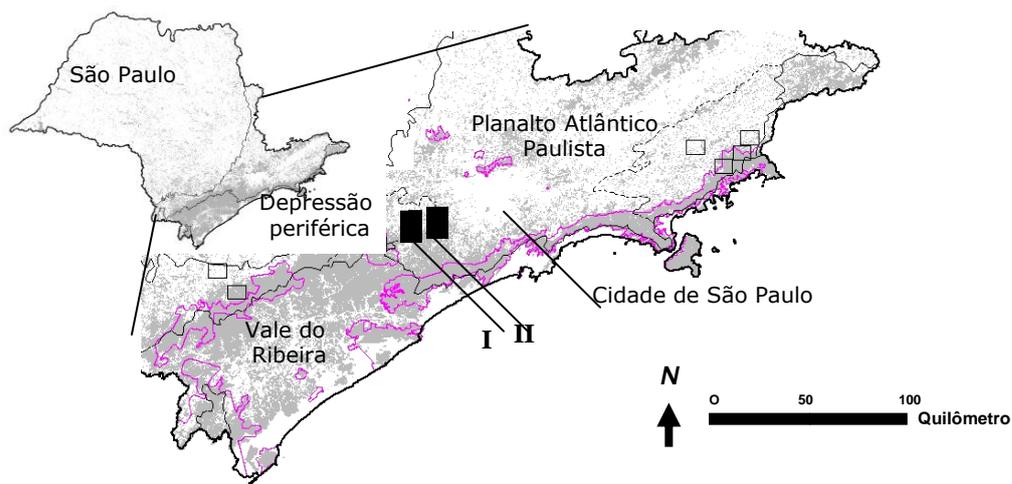


Figura 1. Área de estudo. Os algarismos romanos indicam a localização duas áreas de estudo, sendo I a paisagem fragmentada, nos municípios de Piedade e Tapiraí; e II o Parque Estadual de Jurupará, no município de Ibiúna, SP.

A região localiza-se a uma altura de, aproximadamente, 870 metros acima do nível do mar, na qual se desenvolveu originalmente a Floresta Ombrófila Densa Montana (*sensu* Veloso *et al*, 1991), que o considera como uma floresta de transição entre a Floresta Atlântica de Encosta e a Floresta Mesófila Semidecídua do interior de São Paulo (Aragaki & Mantovani, 1998). O clima da região pode ser considerado temperado quente e úmido, *Cfa* segundo a classificação de Köppen (1948), com temperatura média anual de 20°C, e precipitação média anual de 1.300 mm (Sabesp, 1997). A estação chuvosa é de outubro a março, sem estação seca bem definida (CIIAGRO).

## 6.2. Fragmentos florestais

A análise da paisagem da região de Piedade e Tapiraí foi feita através de imagens de satélite e fotografias aéreas do ano de 2.000 (escala 1/10.000), realizadas pelo Laboratório de Ecologia da Paisagem - LEPaC (Departamento de Ecologia, IB-USP), na qual foram mapeados diversos fragmentos de diferentes tamanhos e com classes de vegetação em estádios intermediários e avançados. Destes fragmentos, foram escolhidos seis em estádios sucessionais e tamanhos distintos, denominados: Theomar, Bicudo, Odorico, Médico, Osasco e Jeanzão; e uma área dentro do Parque Estadual de Jurupará, considerada como controle e denominada Piramba, a pelo menos 500 metros da borda do parque.

O levantamento sobre a estrutura da vegetação dos seis fragmentos foi feito pelo Laboratório de Ecologia Tropical-LabTrop (Departamento de Ecologia, IB-USP), durante o período de abril a novembro de 2008, baseado na amostragem de 0,1 ha para indivíduos com

perímetro à altura do peito (PAP) igual ou superior a 15 cm (tabela 1). Para a área controle (Piramba), o levantamento foi realizado pela bióloga Claudia Guimarães, baseado na amostragem de 0,07 ha com PAP similar ao descrito anteriormente, sendo os dados ajustados para uma amostragem de 0,1ha (tabela 1).

A evolução do histórico de perturbação dos fragmentos foi analisada através de imagens de satélite dos anos 1962, 1978 e 2005 pelo Laboratório de Ecologia da Paisagem-LEPaC, Departamento de Ecologia, IB-USP (Metzger *et al*, dados não publicados). Ao longo desses 65 anos, os fragmentos sofreram diversas alterações devido às ações antrópicas, como instalações rurais e urbana (Metzger *et al*, dados não publicados), extração de palmito (*Euterpe edulis*) e corte raso para produção de lenha. Devido às diferentes intensidades de perturbação que cada fragmento sofreu ao longo do tempo, atualmente os mesmos apresentam várias classes de vegetação em estádios sucessionais distintos. Para o cálculo da idade dos fragmentos, foi delineado uma área com raio de, aproximadamente, 200m a partir do centro da área de amostragem do projeto coordenado pelo Prof. Dr. Alexandre Adalardo de Oliveira nesses fragmentos. A idade dos fragmentos corresponde à classe de vegetação que representa a maior porcentagem dentro dessa área delimitada (tabela 1). O controle (Piramba) não foi analisado, porém pode ser considerado como uma floresta em estado tardio (clímax), à vista dos dados de área basal e densidade de indivíduos apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Características da estrutura da vegetação (área, densidade total de indivíduos e área basal total) das áreas de estudo. C = controle; ST = floresta secundária tardia; SI = floresta secundária intermediária e IN = floresta inicial; representam o estágio sucessional das áreas.

Área de estudo	Siglas das áreas de estudo	Área (ha)	Densidade total (indivíduos/ 0.1 ha)*	Área basal total (cm <sup>2</sup> /0.1ha)*	Idade (anos)*
Piramba	C	>26.000	186,7	7.949.178,4	-
Theomar	ST-1	97,6	195	479.371,1	≥65
Bicudo	ST-2	26,7	178	610.684,0	≥65
Odorico	SI-1	167,1	249	384.823,9	25
Médico	SI-2	85,3	294	402.073,4	≥65
Osasco	SI-3	39,9	251	468.235,2	25
Jeanzão	IN	41,3	275	280.812,2	25

\* Metzger *et al*, dados não publicados – idade dos fragmentos; Guimarães, dados não publicados – dados da estrutura do controle (Piramba); Jurinitz *et al*, dados não publicados – dados da estrutura das demais áreas.

Os fragmentos Theomar e Bicudo possuem mais de 60% de área com idade mínima de 65 anos (Metzger *et al*, dados não publicados) e áreas basais totais maiores do que os demais, além de baixa densidade de indivíduos, sendo classificados em secundários tardios (Clark, 1996). Já o fragmento Jeanzão apresentou mais de 90% de sua área com uma vegetação de idade 25 anos (Metzger *et al*, dados não publicados) e por possuir a menor área basal total e uma densidade de indivíduos total consideravelmente alta, foi caracterizado como floresta inicial (Clark, 1996). Os demais fragmentos (Odorico, Médico e Osasco) apresentaram valores intermediários de área basal total entre os dois grupos citados acima, e maiores densidades de indivíduos que o Theomar e Bicudo, sendo classificados como secundários intermediários. Os fragmentos Odorico e Osasco possuem a mesma idade que o Jeanzão, e o Médico possui idade semelhante ao Theomar e Bicudo, no entanto esses fragmentos apresentam classificações de vegetação distintas. Tal fato se deve à menor porcentagem de área que possui a idade especificada nos fragmentos Odorico, Osasco e Médico em relação aos fragmentos Jeanzão, Theomar e Bicudo (Metzger *et al*, dados não publicados). Tanto por apresentarem menores porcentagens quanto pelas diferenças nas intensidades de perturbação nos fragmentos houve conseqüentemente uma distinção nas estruturas da vegetação.

### 6.3. Coleta de serrapilheira

A serrapilheira coletada neste trabalho corresponde ao material fino, isto é, folhas, frutos, flores e galhos caídos com até 0,5cm de diâmetro. Esse limite para os galhos foi adotado a fim de padronizar a metodologia utilizada com outros estudos realizados no Planalto Paulista. O procedimento experimental adotado foi o de coletores ou "litter-trap", em vista o seu relativo baixo custo e simplicidade. Esses coletores estavam instalados em campo, desde 2006, pois faziam parte do projeto da bióloga Cláudia Guimarães sobre produtividade de frutos zoocóricos, sendo utilizados após o término deste estudo para o presente projeto. Em cada área amostrada foram instaladas três linhas paralelas de 80 metros, distantes 50 ou 100 m entre si (dependendo do tamanho do fragmento). Em cada uma destas linhas foram distribuídos três coletores quadrados (50 x 50 cm), confeccionados com tela de náilon (malha = 4mm<sup>2</sup>, para permitir a drenagem de água), instalados a 1,50m do chão (para evitar a decomposição da matéria), e distantes entre si 40 metros (figura 2). Ao total 73 coletores foram utilizados, sendo nove em cada área de estudo.

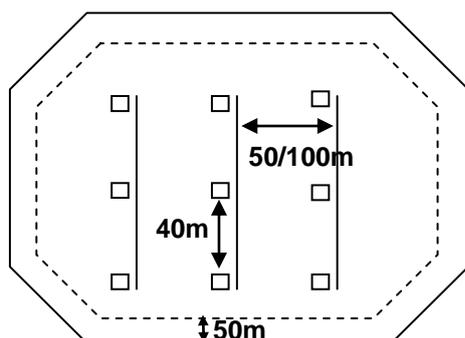


Figura 2. Delineamento amostral para a coleta de serrapilheira. Os quadrados representam os coletores de 0,25m<sup>2</sup>.

A coleta foi realizada mensalmente, no começo de cada mês de novembro de 2008 a outubro de 2009. Todo o material interceptado pelos coletores foi recolhido em sacos plásticos de 24 cm X 10 cm no momento da coleta, e em seguida armazenado em sacos de papel 18 cm x 13 cm, sendo submetidos à estufa (T=60°C) durante três dias. Após esse período, todo o material foi pesado em uma balança digital com precisão de 0,001g.

### 6.4. Experimento de decomposição

Para este experimento foi adotado o método de confinamento de serrapilheira em bolsas de decomposição ou "litter bags", método de baixo custo bastante utilizado em estudos

comparativos de decomposição (Aerts, 1997). Essas bolsas continham uma única espécie vegetal, com o objetivo de comparar as taxas de decaimento entre os diferentes fragmentos.

Para a confecção das bolsas de decomposição, foram utilizadas bolsas de náilon verde com malha de 2mm<sup>2</sup>, medindo 20 X 20 cm, grampeadas com grampos galvanizados. Para o confinamento escolheu-se a espécie *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze, família Fabaceae, subfamília Papilionidae, árvore originária da Argentina e bastante utilizada na arborização urbana no sudeste brasileiro (Lorenzi *et al*, 2003). A escolha de uma espécie exótica teve o objetivo de garantir que nenhuma das florestas teria sua taxa de decomposição diferenciada pelo fato de apresentar fauna decompositora adaptada à qualidade química do substrato (Castanho, 2005). As folhas dessa espécie foram coletadas, ainda verdes, das árvores no mês de setembro de 2008 e secas em estufa a 60°C até peso constante. O uso de folhas não senescentes podem superestimar a taxa real de decomposição (Barlow *et al*, 2007), no entanto, é apropriado ao objetivo desse trabalho de comparar os ambientes. Em cada bolsa foram colocadas 3g de folhas, e uma placa de alumínio grafada com número para identificação.

Foram utilizadas no total 420 bolsas de decomposição, sendo dispostas 60 bolsas em cada área de estudo, distribuídas em 10 blocos contendo seis bolsas em cada. Os blocos foram colocados dentro de uma parcela de 0,5ha, de 50x100m, que se encontra, aproximadamente, no meio das áreas de estudo, a uma distância mínima de 20m da borda. Essas parcelas já estão demarcadas em seis áreas, pertencentes ao projeto coordenado pelo Prof. Dr. Alexandre Adalardo de Oliveira. Dentro da parcela, os blocos foram acondicionados em pontos aleatórios, com uma distância de 20m, no mínimo, um do outro (figura 3a). No P.E. de Jurupará, os blocos foram colocados ao longo de duas linhas de coleta de serrapilheira, sendo cinco blocos em cada linha, respeitando uma distância de 20m entre blocos adjacentes. As bolsas foram colocadas na superfície do solo, após a remoção prévia da serrapilheira presente, e foram presas no solo com grampos metálicos galvanizados, para evitar a sua remoção pela chuva ou por animais.

Esse experimento foi demarcado na mesma área correspondente ao estudo de produção de serrapilheira, sendo que ao menos um coletor está inserido na parcela, com exceção de um fragmento (Médico), na qual a parcela está a uma distância de 30 m do coletor mais próximo.

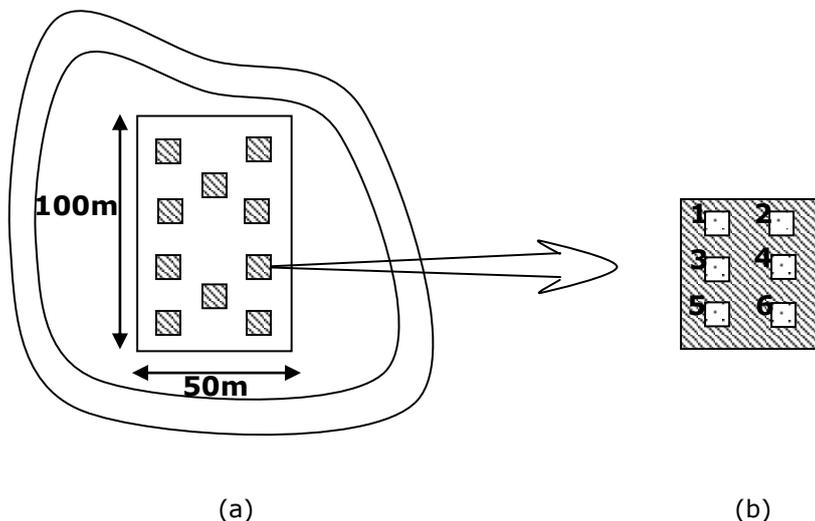


Figura 3. (a) Esquema da disposição do experimento de decomposição em cada uma das áreas de estudo; (b) esquema de cada bloco contendo as seis bolsas de decomposição. Retângulo em (a) representa a parcela de 0,5ha; quadrados hachurados representam os blocos de bolsas de decomposição na área de estudo. Em (b) quadrados preenchidos por números representam as bolsas de decomposição e a seqüência de retirada ao longo do tempo.

O experimento foi instalado no mês de Outubro de 2008, início da estação chuvosa. As coletas foram feitas 30, 90, 150, 210, 300 e 390 dias após a instalação do experimento. Em cada coleta foi retirada uma bolsa de cada bloco, totalizando 10 bolsas por área de estudo ( $n=10$ ). Cada bolsa foi acondicionada em um saco plástico, fechado e, então transportado para o laboratório. No laboratório, cada amostra coletada foi lavada, para remoção de partículas do solo e raízes, e então o material foi colocado em estufa a 60°C até peso constante. Em seguida, o material foi pesado em uma balança digital de precisão 0,001g.

## 6.5. Análise dos dados

### 6.5.1. Produção de serrapilheira

Para verificar as diferenças na produção de serrapilheira entre os fragmentos foi utilizado o método de Monte Carlo. Esta análise consiste na reamostragem dos dados, isto é, as observações são rearranjadas aleatoriamente em diferentes tratamentos ou grupos (Gotelli & Ellison, 2004), sendo geradas múltiplas amostras a partir da amostra original. Esse método não utiliza uma distribuição de probabilidades assumida, mas ao invés disso, calcula uma distribuição empírica de uma estatística de interesse (Manly, 1997). A estatística de interesse utilizada foi a somatória das diferenças entre a média anual da produção de serrapilheira de todos os fragmentos ( $X_{\text{GERAL}}$ ) e a média anual de cada fragmento ( $X_j$ ), em módulo:  $\sum |X_{\text{GERAL}} - X_j|$ . Para o cálculo da mesma, os dados mensais de produção de serrapilheira foram alocados em posições aleatórias, desconsiderando a identidade do fragmento. Foram feitas 1000 permutações dos dados sem reposição. A partir da distribuição dos valores simulados foi

estimado o nível de significância ( $p$ ), que consiste na proporção de valores simulados que são iguais ou maiores aos valores observados (Manly, 1997). O efeito dos fragmentos foi considerado significativo quando  $p \leq 0,05$ .

Uma vez constatada diferenças entre as áreas de estudo, foi realizado uma análise comparativa de todos os pares de fragmentos, utilizando o Monte Carlo e a mesma estatística de interesse citada anteriormente. Além disso, foi construído os intervalos de confiança. Para o cálculo dos mesmos, utilizou-se o método de reamostragem bootstrap, usando como estatística de interesse a média anual de cada fragmento. Para calcular as médias, os dados anuais de produção de serrapilheira foram permutados 1000 vezes com reposição. A partir dos valores simulados foram calculados os intervalos de confiança para cada área de estudo (percentis de 2,5% e 97,5%). Essas análises foram realizadas utilizando o programa adicional do Excel 2003 (Microsoft Office), Resample (Resampling Stats, Inc.).

### 6.5.2. Experimento de decomposição

A porcentagem de massa remanescente foi quantificada a cada coleta. Para calcular o coeficiente de decaimento foi aplicado o modelo de decaimento exponencial simples, proposto por Jenny *et al* (1949) e discutido por Olson (1963).

$$\frac{X_t}{X_0} = e^{-kt}$$

Sendo:  $X_0$  = a massa seca inicial;

$X_t$  = a massa seca no tempo  $t$ ;

$k$  = o coeficiente de decaimento.

O modelo foi ajustado aos dados através de uma regressão linear do logaritmo neperiano da massa remanescente de cada bloco de decomposição ao longo do tempo. Os valores do coeficiente de decaimento ( $k$ ) foram obtidos através da equação das retas, representado pela inclinação desta. Visto que cada área de estudo possuía dez blocos de decomposição, foram gerados dez valores de coeficiente de decaimento ( $k$ ) por fragmento. No caso dos fragmentos Bicudo, Médico e Jeanzão foram gerados apenas nove valores, pois em virtude do elevado volume de precipitação nos meses subjacentes a junho de 2009, ocorreram quedas de árvores, o que resultou na perda de um bloco de decomposição em cada um dos fragmentos supramencionados no mês de agosto.

Para verificar o efeito da formação florestal sobre a taxa de decomposição foi utilizado o Monte Carlo, sendo a estatística de interesse a somatória das diferenças entre a média do coeficiente de decomposição de todos os fragmentos ( $X_{\text{GERAL}}$ ) e a média do coeficiente de decomposição de cada fragmento ( $X_j$ ), em módulo:  $\sum |X_{\text{GERAL}} - X_j|$ . Para o cálculo da mesma, os dados do coeficiente de decomposição foram alocados em posições aleatórias, desconsiderando a identidade do fragmento. Foram feitas 1000 permutações dos dados sem reposição. As análises realizadas nesse experimento foram feitas através do programa adicional do Excel (Microsoft Office), Resample.

## **7. RESULTADOS**

### **7.1. Produção de serrapilheira**

A figura 4 mostra a produção de serrapilheira ao longo de 12 meses para cada área de estudo. Observa-se que houve variação temporal e que todos os fragmentos apresentaram um padrão semelhante de produção de serrapilheira. A máxima produção de serrapilheira ocorreu no meio da estação chuvosa, nos meses de novembro (2008) e janeiro (2009), excedendo os valores mínimos de abril e maio (2009) pelo fator de, aproximadamente, 4 para as áreas Piramba (controle), Theomar (ST-1), Médico (SI-2) e Jeanzão (IN); de 3 para os fragmentos Bicudo (ST-2) e Osasco (SI-3); e de 6 para o Odorico (SI-1). Observa-se também que em setembro, o fragmento Jeanzão apresentou o maior pico de produção. Vale ressaltar que uma parte da serrapilheira é decomposta nos coletores e outra parte acaba nem caindo no chão, sendo interceptada pelas árvores ou arbustos mais baixos. Sendo assim, os valores apresentados nesse trabalho são subestimados.

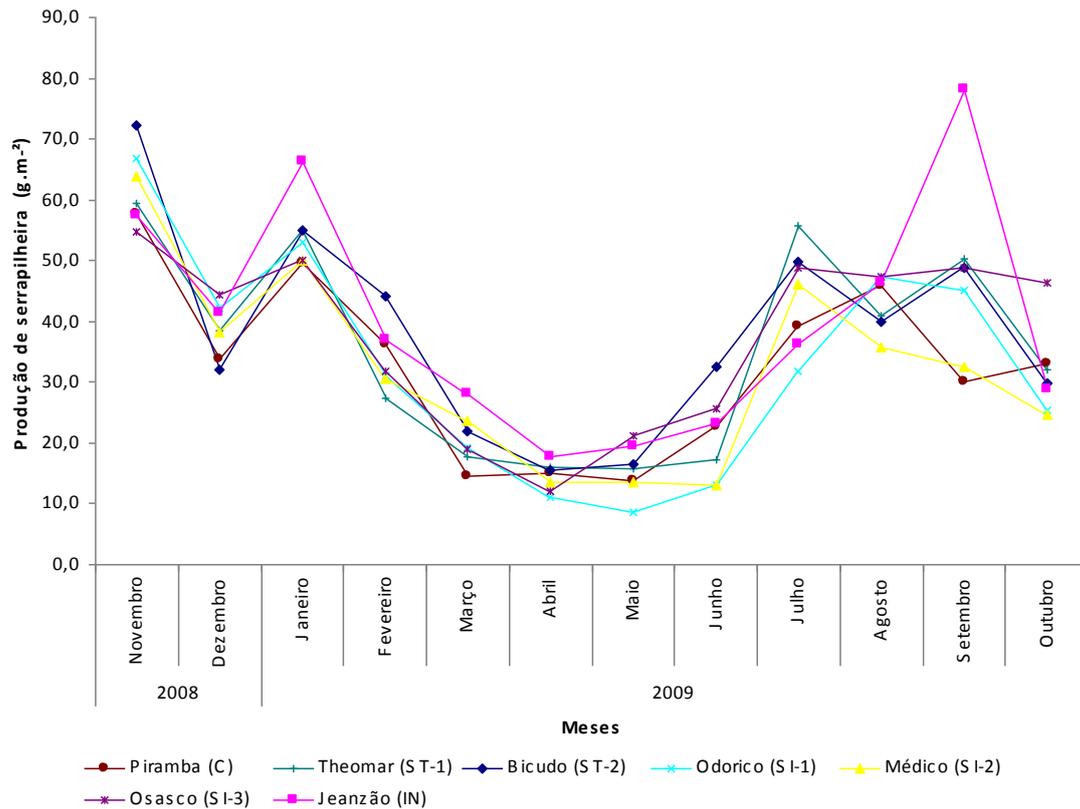


Figura 4. Média da massa de serrapilheira produzida ao longo do tempo ( $\text{g.m}^{-2}$ ) para cada área de estudo. C = controle; ST = floresta secundária tardia; SI = floresta secundária intermediária e IN = floresta inicial; representam o estágio sucessional das áreas de estudo.

Comparando-se a produção de serrapilheira entre as áreas estudadas, foi encontrada uma diferença significativa entre os fragmentos ( $p=0,043$ ). A figura 5 mostra as médias anuais da produção de serrapilheira de cada fragmento, seus respectivos intervalos de confiança e as diferenças encontradas entre cada área. Observa-se que o fragmento Jeanzão (correspondente com o estágio inicial de sucessão) apresentou a maior produção de serrapilheira que as demais áreas com exceção do fragmento Osasco (figura 5).

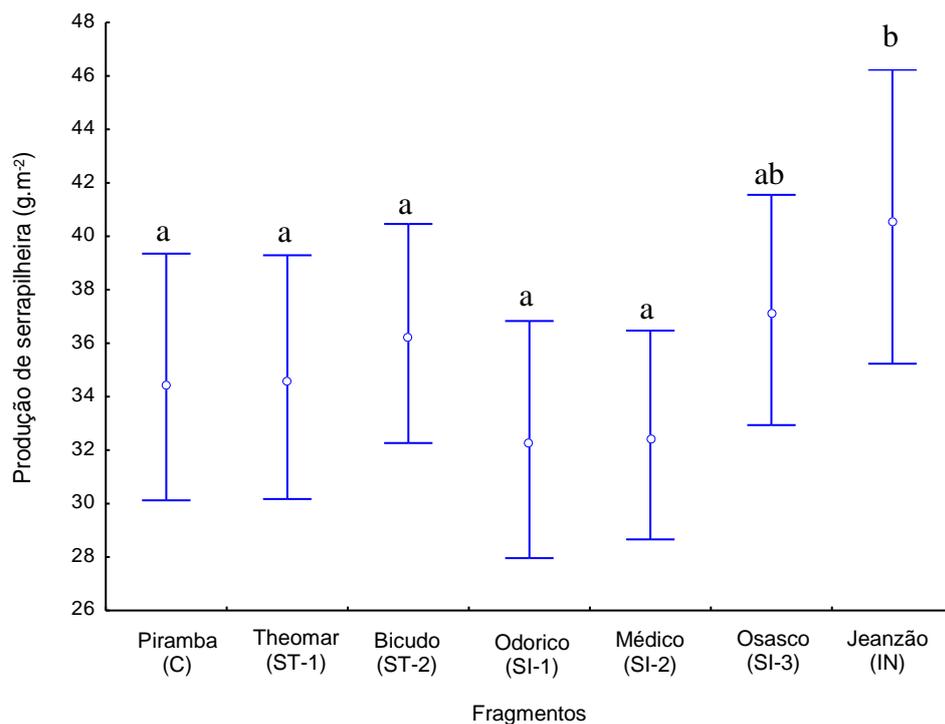


Figura 5. Produção média anual de serrapilheira em fragmentos florestais em diferentes estágios sucessionais, com intervalo de confiança de 95%. C = controle; ST = floresta secundária tardia; SI = floresta secundária intermediária e IN = floresta inicial; representam o estágio sucessional das áreas de estudo. Letras distintas representam diferenças significativas.

## 7.2. Decomposição

A figura 6 mostra a porcentagem de massa remanescente ao longo do tempo para cada fragmento e para o controle (Piramba). A perda de massa de serrapilheira seguiu um padrão semelhante em todas as áreas, com uma fase inicial de rápida perda de massa, seguida de uma fase com um decaimento mais lento,

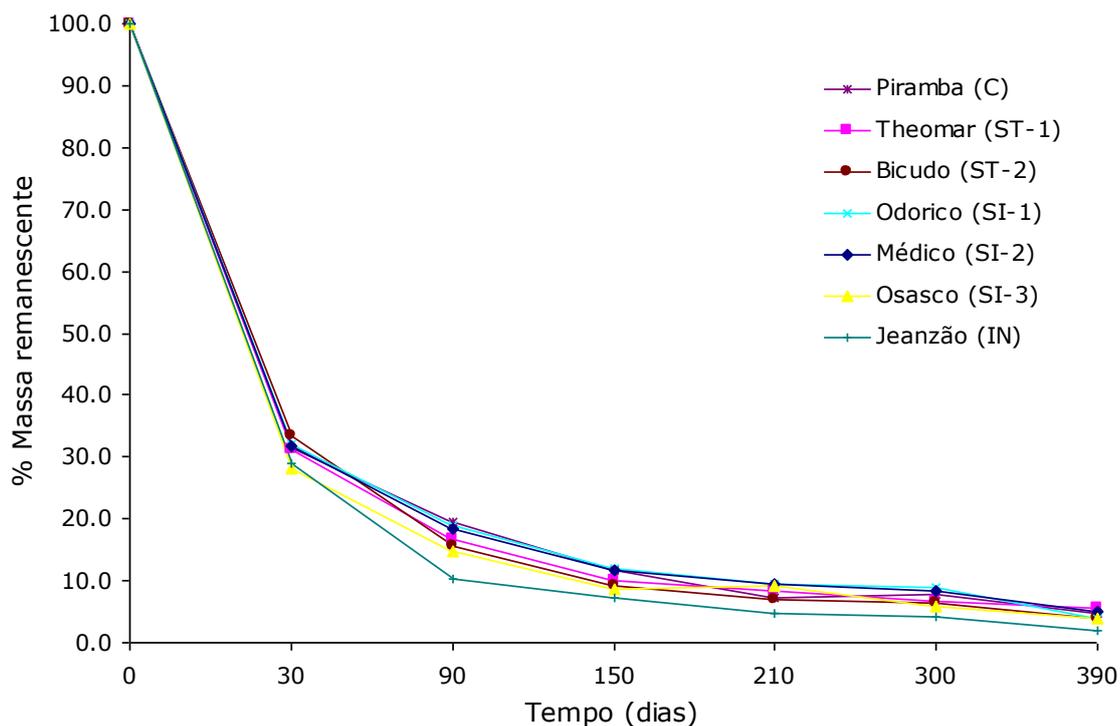


Figura 6. Porcentagem de massa remanescente em áreas de diferentes estádios sucessionais ao longo do tempo. C = controle; ST = floresta secundária tardia; SI = floresta secundária intermediária e IN = floresta inicial; representam o estágio sucessionais das áreas de estudo.

O ajuste dos dados dos blocos de cada área ao modelo exponencial simples foi bom. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi igual ou maior do que 0,70 em 73% dos casos, variando desde 0,21 a 0,99. Como o modelo exponencial explica grande parte da variação encontrada entre os blocos, optou-se por utilizar o  $k$  para fazer comparações entre as taxas de decomposição.

A figura 7 mostra as variações dos blocos de decomposição ao longo do tempo com suas respectivas retas de ajuste ao modelo exponencial simples e coeficientes de decomposição médios para cada área de estudo. Observa-se que as inclinações das retas, isto é, as taxas de decomposição, foram bastante similares entre os fragmentos (figura 7h). Entretanto, o Jeanzão apresentou uma reta mais inclinada que os demais fragmentos (figura 7h), o que indica maior taxa de decomposição média. No entanto, ao se comparar as taxas de decomposição entre as áreas através da análise de variância, não foi encontrada diferença significativa ( $p=0,24$ ), devido à grande variação encontrada entre os blocos.

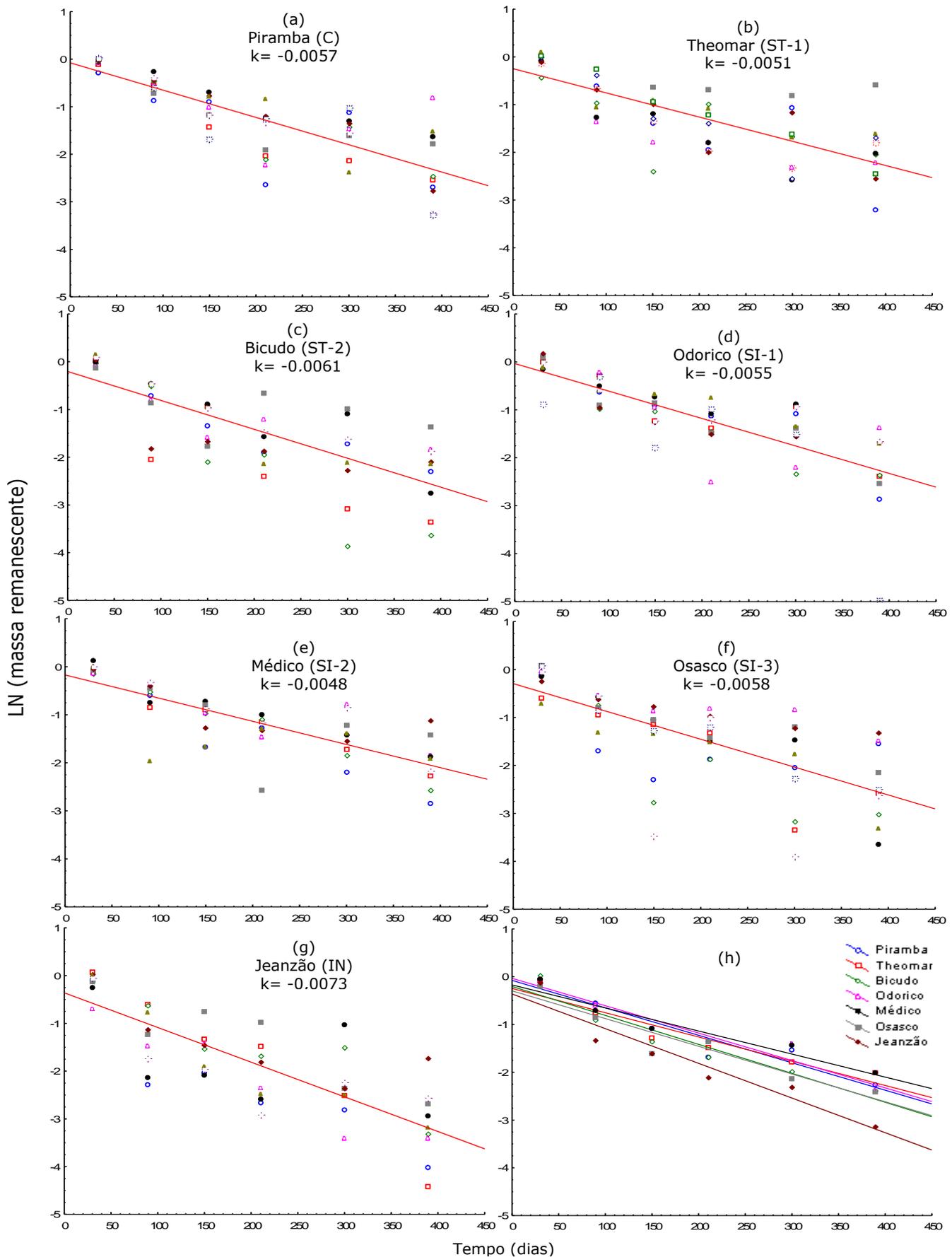


Figura 7. Massa remanescente ao longo do tempo. (a-g) Dados dos blocos de decomposição ao longo do tempo com suas respectivas retas e taxas de decomposição ( $k$ ) médias para cada área de estudo; h) comparação entre as retas médias de cada fragmento. Em cada área (a-g), blocos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Nos fragmentos Bicudo, Médico e Jeanzão há somente nove blocos. Na figura h, são apresentadas as taxas de decomposição médias de cada período de coleta de cada área de estudo. C = controle; ST = floresta secundária tardia; SI = floresta secundária intermediária e IN = floresta inicial representam o estágio sucessional das áreas de estudo.

## **8. DISCUSSÃO**

### **8.1. Produção de serrapilheira**

O padrão de maior deposição de serrapilheira no período úmido também foi observado em vários estudos na floresta Atlântica (Proctor *et al*, 1983, Moraes, 1993, Leitão-Filho, 1993, Moraes *et al*, 1999, Vidal *et al*, 2007, Martins, 2010). Outros estudos em florestas tropicais, no entanto, mostraram um padrão oposto, isto é, de maior produção na época seca (Bray & Gorham, 1964, Luizão, 1982, Dantas & Phillipson, 1989, Sanchez & Alvarez-Sanchez, 1995, Wieder & Wright, 1995, Barlow *et al*, 2007, Delitti, 1984). Segundo Jackson (1978), a abscisão foliar em florestas tropicais, onde não há uma estação seca bem definida, ocorre com maior intensidade quando há aumento no comprimento de luz, na radiação solar, na umidade relativa e na precipitação, sendo estas condições ambientais mais favoráveis à renovação foliar. Nossos dados mostraram um segundo pico de produção de serrapilheira, correspondente ao fragmento Jeanzão no período de setembro, que pode ser atribuído à alta pluviosidade ocorrida durante nesse mês no município de Piedade, quando comparado aos cinco anos pregressos (CIIAGRO), uma vez que a ação mecânica das chuvas (Xiong & Nilsson, 1997) pode ter contribuído para o aumento da queda do material vegetal, uma vez que quantidades significativas de folhas verdes e galhos foram encontrados nos coletores desse fragmento nesse período. Nas outras áreas, apesar de ter um aumento na produção de serrapilheira, esta pode não ter sido muito expressiva devido a estrutura das mesmas, na qual por possuírem um dossel mais fechado que o Jeanzão, teve o efeito de diminuir o impacto das chuvas sobre os demais estratos. A sazonalidade da serrapilheira é importante por aumentar a heterogeneidade espacial e temporal (Vidal *et al*, 2007) podendo afetar a dinâmica das comunidades, como a germinação de sementes e assim influenciar toda a diversidade florestal (Facelli & Pickett, 1991).

A produção de serrapilheira decresceu com o aumento do gradiente sucessional, sendo que a maior produção no fragmento de estágio sucessional inicial, Jeanzão, pode decorrer de um efeito da composição florística do fragmento, ao invés da estrutura. Assim como nesse estudo, Leitão Filho *et al* (1993) e Luizão (1982) também encontraram uma maior produção de serrapilheira em fragmento de estágio sucessional mais jovem, visto que nesse estágio de desenvolvimento florestal há uma maior abundância de espécies pioneiras (Guariguata & Ostertag, 2001) que se caracterizam por possuírem um rápido crescimento (Martins & Rodrigues, 1999), investindo mais na produção de folhas e raízes do que em madeira (Guariguata & Ostertag, 2001). Outro fator que pode ter influenciado numa maior produção de serrapilheira é a maior abundância de lianas em áreas mais perturbadas pela ação antrópica

(Schlittler *et al*, 1993), como é o caso dos fragmentos deste estudo, em especial o Jeanzão e o Osasco. Dados de florestas em estádios sucessionais iniciais (Ewel, 1976), sugerem que depois de 15 anos, a produção de serrapilheira, em especial de folhas, pode ser tão alta quanto as florestas maduras ou até maiores, tendo seu pico por volta dos 20 anos e declinando ao nível das florestas maduras por volta de 30 anos. Bray & Gorham (1964) também encontraram essa relação ao analisar vários estudos em que verificaram a inexistência de uma tendência ao aumento ou diminuição da produção de serrapilheira conforme se aumenta a idade das florestas a partir dos 30 anos. Uma vez que o fragmento Jeanzão possui 25 anos, este estaria ainda na faixa etária de maior produção. No entanto, Lawrence (2005) não encontrou diferenças na produção de serrapilheira entre florestas de 25 anos e maduras. Já Köhler *et al* (2008), ao analisarem uma floresta tropical montanhosa, encontraram maior produção de serrapilheira em uma floresta de 40 anos, enquanto que a produção da floresta mais jovem foi semelhante a floresta madura. Esses resultados tão divergentes podem estar relacionados as diferentes estruturas dos ambientes, que apesar da idade relatada, podem refletir estádios sucessionais distintos, uma vez que durante a sucessão ecológica vários fatores podem intervir ao longo do processo.

Os fragmentos Jeanzão e Osasco não apresentaram diferenças na produção de serrapilheira entre si, possivelmente, devido a similaridades florísticas. Observando-se os valores de desvios-padrão apresentados na tabela 2, nota-se que o fragmento Jeanzão apresentou a maior variância, possivelmente devido a uma maior heterogeneidade espacial quando comparado com as demais áreas. Por se tratar de um fragmento de estágio sucessional inicial, há uma maior porcentagem de aberturas no dossel, que interferem na quantidade luz que chega no solo, alterando dessa forma a temperatura e umidade próxima ao solo, já outras regiões podem ter características mais úmidas. Esses fatores influenciam a composição florística, que por sua vez, tem efeito na produção de serrapilheira.

Essa tendência de maior produção de serrapilheira nos fragmentos em estágio sucessional inicial revelou um padrão contrário ao esperado, de que as florestas de estágio sucessional avançado por possuírem uma maior área basal de árvores e um dossel mais desenvolvido, teriam uma produção maior de biomassa (Schlitter *et al*, 1993, Moraes *et al*, 1999, Werneck *et al*, 2001, Nascimento & Villela, 2003, Vidal *et al*, 2007). Tal fato pode ser devido ao histórico de ações antrópicas citadas anteriormente, assim como de suas intensidades.

## 8.2. Experimento de decomposição

Em relação ao padrão de perda de peso, em todas as áreas, distinguiu-se 2 fases: uma perda inicial rápida de massa, atribuída a lixiviação dos componentes solúveis da serrapilheira (Xu *et al*, 2004), e um período de perda mais lenta, atribuída a decomposição dos materiais mais recalcitrantes, como a celulose e a lignina (Xu *et al*, 2004). Segundo Delitti (1984), a primeira fase de decaimento é fortemente influenciada pelas condições climáticas.

Este processo, avaliado através da perda do peso da serrapilheira, não apresentou diferenças significativas entre as áreas de estudo ( $p >$ ) no período de 390 dias. Considerando-se que o macroclima é similar nas áreas, denotando-se a ausência de déficit hídrico, e que o substrato foi padronizado, pode-se atribuir a inexistência de uma relação entre as taxas de decomposição e os estádios sucessionais, as diferenças microclimáticas e/ou a atividade da comunidade decompositora entre as áreas, na qual não foram suficientemente grandes para afetar a decomposição.

As análises realizadas após 210 dias de experimento indicaram uma diferença significativa entre as áreas de estudo, sendo que o fragmento Jeanzão apresentou a maior taxa de decomposição. No entanto, as análises realizadas após 390 dias diferiram dos resultados encontrados anteriormente, e não corroboraram a hipótese inicial de que as taxas de decomposição seriam maiores quanto mais avançado o estágio sucessional, como um resultado das condições ambientais mais favoráveis às atividades da comunidade decompositora (Vasconcelos & Laurance, 2005, Mayer, 2008). A ausência de relação entre as taxas de decomposição no período subsequente aos seis primeiros meses de experimento pode ser atribuída ao aumento da variância das taxas de decomposição entre os blocos de cada fragmento. Dessa forma, as médias encontradas entre os fragmentos não apresentaram uma diferença significativa. Somado a isso, a fase posterior ao lixiviamento ( dias), isto é, após o esgotamento das substâncias solúveis, corresponde a degradação de estruturas mais resistentes e de compostos mais estáveis como a lignina (Melillo *et al* 1982) e outros compostos fenólicos (Palm & Sanchez 1990) no período subsequente aos seis meses, o material a ser decomposto consistia de componentes recalcitrantes e, portanto, corresponde a uma fase mais lenta da decomposição, o que pode também ter influenciado a não diferenciação entre as áreas. De acordo com Lavelle *et al* (1993), as variações dentro da área podem ser maiores do que as variações entre as áreas, enfatizando a importância dos fatores locais edáficos e biológicos.

Xuluc-Tolosa *et al* (2003) encontraram respostas fracas das taxas de decomposição ao estágio sucessional das florestas e às características do ambiente ao estudarem um gradiente sucessional no México. Ewel (1976) também não encontrou diferenças na taxa de decomposição entre florestas primárias e secundárias iniciais, e segundo o mesmo somente mudanças mais drásticas na estrutura das florestas, como a retirada total da vegetação, afetariam a decomposição.

As florestas tropicais são mosaicos dinâmicos (Portela & Santos, 2005) e apesar de tentarmos entender os processos, como a produção e a decomposição de serrapilheira, que ocorrem nas florestas secundárias, talvez seja difícil delinear um padrão de resposta desses processos a fragmentação devido a interação de diversos fatores.

## **9. Considerações Finais**

A estratégia da renovação foliar ocorre sob o ritmo perenifólio, seu aporte ao solo se dá de forma ininterrupta aos estágios de baixada estudados, sendo maiores na estação chuvosa. Com base nos nossos resultados, observa-se que o estágio sucessional do fragmento florestal parece ter um importante papel na produção de serrapilheira, sugerindo, assim, um princípio de mudanças nas funções dos ecossistemas ao longo do gradiente sucessional, sem, no entanto se observar o mesmo efeito em relação às taxas de decomposição.

## **10. AGRADECIMENTOS**

- Ao Prof. Dr. Alexandre Adalardo de Oliveira, pela confiança e ensinamentos ao me orientar neste projeto.
- À FAPESP, pela bolsa concedida para o presente projeto e para o projeto de Auxílio à Pesquisa Processo nº 2006/56054-8;
- Ao Ministério de Educação e Pesquisa da Alemanha (German BMBF) pelo apoio logístico coordenado pelo Dr. Christoph Knogge, através do financiamento do projeto ID 01 LB 0202, BioCAPSP (Biodiversity Conservation at the Atlantic Plateau of Sao Paulo);
- Ao Instituto Florestal de São Paulo, por permitir a realização do trabalho no P.E. Jurupará e por todo o apoio;
- Aos pesquisadores e técnicos do Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação (LEPaC-IB/USP), por terem selecionado as áreas florestais previamente e pela análise do histórico de perturbação das áreas;
- Aos amigos do laboratório, em especial à Cristiane F. Jurinitz, Camila Toleda e Leda Montero por me ajudarem nas análises dos dados e na escrita concisa e clara dos relatórios;
- Aos amigos Ana Gabriela Bieber, Mário Alexandre de Oliveira, Ana Carolina de Almeida e Renata Aoki pela amizade e conselhos sempre que precisei;
- Aos amigos Glauber, Erika, Gabriel, André e Kitaro pela ajuda em campo;
- À amiga, Claudia Guimarães, pelo apoio e por disponibilizar os dados da estrutura da vegetação do P.E. Jurupará;
- À minha família, pela paciência, incentivo e apoio incondicionais.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerts, R., 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79: 439-449.
- Aragaki, S. & Mantovani, W., 1998. Caracterização do clima e da vegetação de remanescente florestal no planalto paulistano (SP). *Anais do IV Simpósio de Ecossistemas Brasileiros*. Pub. Aciesp 104: 25-36.
- Barlow, J., Gardner, T.A., Ferreira, L.V. & Peres, C.A., 2007. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forest in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 247: 91-97.
- Bray, J.R. & Gorham, E., 1964. Litter Production in Forests of the World. *Advances in Ecological Research* 2: 101-157.
- Brown, S. & Lugo, A.E., 1990. Tropical secondary forest. *Journal of Tropical Ecology* 6: 1-32.
- Castanho, C.T., 2005. Fatores determinantes no processo de decomposição em florestas do Estado de São Paulo. Tese de Mestrado. *Biologia Comparada*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo. 100p.
- CIIAGRO/IAC - Centro integrado de informações agrometeorológicas, disponível no site [www.iac.sp.gov.br](http://www.iac.sp.gov.br).
- Clark, D.B., 1996. Abolishing virginity. *Journal of Tropical Ecology* 12: 735-739.
- Dantas, M. & Phillipson, J., 1989. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian "terra firme" rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 5: 27-36.
- 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. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 298p.
- Didham, R.K., 1998. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia* 116: 397-406.
- Ewel, J.J., 1976. Litterfall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. *Journal of Ecology* 64: 293-308.
- Facelli, J.M. & Pickett, S.T.A., 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review* 57: 1-32.
- Gallardo, A. & Merino, J., 1993. Leaf decomposition in two mediterranean ecosystems of southwest Spain: influence of substrate quality. *Ecology* 74: 152-161.
- Gotelli, N.J. & Ellison, A.M., 2004. *A primer of ecological statistics*. Sinauer Associates, Inc.
- Guariguata, M.R. & Ostertag, R., 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *Forest Ecology and Management* (148): 185-206.
- Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo: Secretária do Meio Ambiente/Instituto Florestal. Imprensa Oficial, 2005.
- Jackson, J.F., 1978. Seasonality of flowering and leaf fall in a Brazilian subtropical lower montane moist forest. *Biotropica* 10: 38-42.
- Jenny, H., Gessel, S. & Burham, F.T., 1949. Comparative study of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Science* 68: 417-432.
- Jordan, C.F. & Herrera, R., 1981. Tropical rain forests: Are nutrients really critical? *The American Naturalist* 117(2): 167-180.

- Köhler, L., Hölscher, D. & Leuschner, C., 2008. High litterfall in old-growth and secondary upper montane forest of Costa Rica. *Plant Ecology*, 199: 163-173.
- Kotze, D.J. & Lawes, M.J., 2007. Viability of ecological processes in small Afromontane Forest patches in South Africa. *Austral Ecology* 37: 294- 304.
- Köppen, W., 1948. *Climatologia*. Ed. Fondo Cultura Economica, Mexico City.
- Laurance, W.F., 2008. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biological Conservation*, 141: 1731-1744.
- Laurance, W.F., Lovejoy, T.E., Vasconcelos, H.L., Bruna, E.M., Didham, R.K., Stouffer, P.C., Gascon, C., Bierregaard, R.O., Laurance, S.G. & Sampaio, E., 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments : a 22-year investigation. *Conservation Biology*, 13(3): 605-618.
- Lawrence, D., 2005. Regional-Scale Variation in Litter Production and Seasonality in Tropical Dry Forests of Southern Mexico. *Biotropica* 37(4): 561-570.
- Lavelle, P., Blachart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., Toutain, F., Barois, I. & Schafer, R., 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25 (2): 130-150.
- Leitão Filho, H.F., Pagano, S.N., Cesar, O. Timoni, J.L. & Rueda, J.J., 1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão, SP*. Editora EDUNESP/EDUNICAMP, 184 p.
- Lorenzi, H. & Souza, H.M., Torres, M.A.V. & Bacher, L.B., 2003. *Árvores Exóticas no Brasil: Madeiras, Ornamentais e Aromáticas*. Nova Odessa, SP, 384p.
- Manly, B.F.J., 1997. *Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology*. London, New York : Chapman & Hall.
- Martins, S.C., 2010. *Caracterização dos solos e serrapilheira ao longo do gradiente altitudinal da Mata Atlântica, estado de São Paulo*. Tese de Doutorado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). Universidade de São Paulo, 155p.
- Martins, S.V. & Rodrigues, R.R., 1999. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. *Revista Bras. Bot.* 22: 405-412.
- Mayer, P.M., 2008. Ecosystem and decomposer effects on litter dynamics along an old field to old-growth forest successional gradient. *Acta Oecologica* 33: 222-230.
- Meentemeyer, V., 1978. Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59: 465-472.
- Montagnini, F. & Jordan, C.F., 2002. Reciclagem de nutrientes. In: Guariguata, M. R. e Kattan, G. H. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Cartago: Ediciones LUR. Cap. 8, p.167-191.
- Moraes, R.M. de, 1993. *Ciclagem de nutrientes minerais em Mata Atlântica de Encosta e Mata sobre Restinga, na Ilha do Cardoso, Cananéia, SP: produção de serrapilheira e transferência de nutrientes*. Tese de Mestrado. *Ecologia Geral*. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 151p.
- Moraes, R.M, Delitti, W.B.C & Vuono, Y.S., 1999. Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian tropical forests. *Revista Brasileira de Botânica* 22: 9-16.
- Moura, D.O., 1997. *Decomposição de folhas em manguezais na região de Bertioga, São Paulo, Brasil*. Tese de Mestrado. Departamento de Ecologia. Universidade de São Paulo, 87p.
- Murcia, C., 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Tree Review* 10 (2): 58-62.

- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B. & Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nascimento, A.C.P. & Villela, D. M., 2003. Produção de serrapilheira em um fragmento de Mata Atlântica na Reserva Biológica União, RJ: Efeito de borda. VI Congresso de Ecologia do Brasil Anais de trabalhos completos. Capítulo IV Funcionamento de Ecossistema 495-497.
- Olson, J. S., 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44(2): 322-331.
- Portela, R.C.Q. & Santos, F.A.M., 2007. Produção e espessura da serapilheira na borda e interior de fragmentos florestais de Mata Atlântica de diferentes tamanhos. *Revista Brasileira de Botânica* 30(2): 271-280.
- Proctor, J., Anderson, J.M., Fodgen, S.C. & Vallack, H.W., 1983. Ecological studies in four contrasting lowland rain forest in Gunung Molo National Park, Sarawak. II Litterfall, standing crop and preliminary observations on herbivory. *Journal of Tropical Ecology* 71: 261-283.
- Rebelo, C.F., 1994. Ciclagem de nutrientes minerais em florestas pluvial tropical de encosta e em floresta sobre restinga na Ilha do Cardoso, Cananéia, São Paulo: Decomposição de serapilheira. Tese de Mestrado. Ecologia Geral. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 133p.
- Resampling Stats, Inc. Resample (Data Analysis Software System), [www.resample.com](http://www.resample.com).
- SABESP, 1997. Programa de Conservação do Sistema Cotia. Relatório Conclusivo: Avaliação Ambiental. São Paulo: SABESP/Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável.
- Sanchez, G. & Alvarez-Sanchez, J., 1995. Litterfall in primary and secondary tropical forests of Mexico. *Tropical Ecology* 36(2): 191-201.
- Santos, S.L. & Válio, I.F.M., 2002. Litter accumulation and its effect on seedling recruitment in Southeast Brazilian Tropical Forest. *Revista Brasileira de Botânica* 25: 89-92.
- Saunders, D.A., Hobbs, R.J. & Margules, C.R., 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 7: 18-32.
- Sayer, E.J., 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biol. Rev.* 81: 1-31.
- Seastedt, T.R., 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology*, 29: 25-46.
- Schlittler, F.H.M., De Marinis, G. & Cesar, O., 1993. Produção de serapilheira na Floresta do Morro do Diabo, Pontal do Parapanema-SP. *Naturalia* 18: 135-147.
- Swift, M.J., Heal O.W. & Anderson, J.M., 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Oxford, Blackwell.
- Tabarelli, M., Da Silva, J.M.C. & Gascon, C., 2004. Forest fragmentation synergisms and the impoverishment of neotropical forests. *Biodiversity Conservation*, 13: 1419-1425.
- Tabarelli, M., Pinto, L.P., Silva, J.M.C., Hirota, M.M. & Bedê, L.C., 2005. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. In: Conservation International. Megadiversidade. Belo Horizonte: Conservation International 1: 132-138.
- Toledo, L.O. & Pereira, M.G., 2004. Dinâmica da deposição de serrapilheira: um estudo prolongado em florestas secundárias em área de mata Atlântica. *Floresta e Ambiente, Seropédica* 11: 39-46.

- Vasconcelos, H.L. & Laurance, W.F., 2005. Influence of habitat, litter type, and soil invertebrates on leaf litter decomposition in a fragmented Amazonian landscape. *Oecologia* 144: 456-462.
- Veneklaas, E.J., 1991. Litterfall and nutrient fluxes in two montane tropical rain forests, Colombia. *Journal of Tropical Ecology* 7: 319-336.
- Veloso, H. P., Rangel Filho, A. L. R. & Lima, J. C. A., 1991. Classificação da vegetação Brasileira adaptada a um sistema universal. IBGE, Rio de Janeiro. BR.
- Vidal, M.M., Vânia, V.R., Meirelles, S.T. & Metzger, J.P., 2007. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Revista Brasil. Bot.* 30: 521-532.
- Vitousek, P.M., 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65(1): 285-298.
- Vitousek, P.M. & Reiners, W.A., 1975. Ecosystem succession and retention: a hypothesis. *BioScience* 25: 376-381
- Vitousek, P.M. & Sanford, R.L., 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 137-167.
- Wardle, D.A., Bardgett, R.D., Klironomos, J.N., Setälä, H., van der Putten, W.H. & Wall, D.H., 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304: 1629-1633.
- Werneck, M.S., Pedralli, G. & Gieseke, L.F., 2001. Produção de serrapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. *Revista Brasil. Bot.* 24: 195-198.
- Wieder, R.K. & Wright, S.J., 1995. Tropical forest litter dynamics and dry season irrigation on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology* 76: 1971-1979.
- Xiong, S. & Nilsson, C., 1997. Dynamics of leaf litter accumulation and its effects on riparian vegetation: a review. *The Botanical Review* 63: 240-264.
- Xu, X., Hirata, E., Enoki, T. & Tokashiki, Y., 2004. Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical forest after typhoon disturbance. *Plant Ecology* 173: 161-170.
- Xuluc-Tolosa, F.J., Vester, H.F.M., Ramirez-Marcial, N., Castellanos-Albores, J. & Lawrence, D., 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *Forest Ecology and Management* 174: 401-412.
- Zhang, Q. & Zak, J.C., 1995. Effects of gap size on litter decomposition and microbial activity in a subtropical forest. *Ecology* 76: 2196-2204.