

INDICADORES DE FUNCIONALIDADE ECOSISTÊMICA: INTEGRANDO OS PROCESSOS DE PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA

Rodrigo Penna-Firme¹
Rogério Ribeiro de Oliveira²

Recebido em 03.04.2017; Aceito 09.05.2017

Abstract

Studies on the functional aspects of ecosystems, such as analyzes that integrate litter production and decomposition, especially in tropical forests, such as the Atlantic Rainforest, are still relatively scarce. In this article, we present results of a research that sought to measure aspects of the ecological functionality of an Atlantic Forest through two methods. The first method is based on the decomposition coefficient k , which assumes that the ecosystem under analysis is on a steady state. The second method, proposed in this article, seeks to contribute to the diagnosis of ecosystem functioning by integrating the litter production-decomposition system, without assuming that the system under analysis is on a steady state. We argue that the use of these two methods combined may foster a broader and nuanced understanding of the dynamics of complex ecosystems.

Key words: ecosystem functioning, litter dynamics, tropical forests.

Resumo

Ainda são relativamente exíguos os estudos sobre os aspectos funcionais dos ecossistemas, tais como análises que integrem o sistema produtor e decompositor de serapilheira, especialmente das florestas tropicais, como a Mata Atlântica. Neste artigo apresentamos resultados de uma pesquisa que avaliou aspectos da funcionalidade ecológica de um trecho de Mata Atlântica por meio de dois métodos. O primeiro método é baseado no coeficiente de decomposição k , que pressupõem que o ecossistema em análise esteja em estado de equilíbrio (*steady state*). O segundo método, proposto nesse artigo, busca contribuir para a diagnose da funcionalidade ecossistêmica ao integrar o sistema produtor-decompositor de serapilheira, sem que seja necessário assumir que o sistema em questão esteja em estado de equilíbrio. Argumentamos que a utilização combinada desses dois métodos pode contribuir para um entendimento mais amplo e complexo do funcionamento dos ecossistemas.

Palavras-chave: funcionamento de ecossistemas, dinâmica da serapilheira, florestas tropicais.

Introdução

De maneira geral, pode-se considerar que os ecossistemas sejam divididos em dois compartimentos, o biótico e o abiótico. O biótico consiste na comunidade de espécies

1 Doutor em Antropologia Ambiental. Departamento de Geografia e Meio Ambiente - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). rodrigopennafirme@gmail.com

2 Doutor em Geografia. Departamento de Geografia e Meio Ambiente - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e pesquisador do Núcleo de Ciência da Conservação e Sustentabilidade Rio, da PUC-Rio; email: rro@puc-rio.br. Bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq.

que, funcionalmente, pode ser dividida em organismos produtores (plantas), consumidores (animais que se alimentam das plantas ou um do outro) e finalmente os decompositores. O compartimento abiótico consiste em materiais orgânicos e inorgânicos (a matéria orgânica em decomposição, o solo, as rochas etc.). A energia e os materiais movem-se através destes compartimentos, assim como de fora para dentro e de dentro para fora dos ecossistemas (Odum, 1988). Tais compartimentos possuem três atributos principais, que são: a estrutura, a composição e a funcionalidade (Putz *et al.*, 2001). A funcionalidade pode ser entendida como o conjunto de processos e mecanismos pelos quais o ecossistema se mantém em equilíbrio dinâmico (Putz *et al.*, 2001; Naeem *et al.*, 1999).

Os processos no ecossistema são quantificados por meio das taxas de transferências de energia e materiais, tais como a incorporação de biomassa, decomposição, lixiviação e ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico (Oliveira & Neto, 2000). O funcionamento dos ecossistemas, em suma, pode ser quantificado por medidas de magnitude e dinâmica dos processos mencionados (Montezuma, 2005; Barbosa & Faria, 2006).

De acordo com Clark *et al.* (2001a), o principal aspecto ligado à funcionalidade de um ecossistema é a sua produtividade primária líquida (PPL), que é a diferença entre a fotossíntese total e a respiração em um ecossistema. Alternativamente, é definida como a matéria orgânica “nova” produzida em um determinado período de tempo. Contudo, na prática, poucos componentes da PPL têm sido mensurados em campo. Geralmente, as medidas estão restritas à produção de serapilheira e incorporação de biomassa viva acima do solo (BVAS). Em geral, a soma destes componentes tem sido considerada como a produção primária líquida acima do solo (PPLAS). Os componentes da PPL abaixo do solo, como o crescimento de raízes, têm sido frequentemente ignorados, ou são estimados a partir dos primeiros. Enfim, medições confiáveis de PPL requerem a quantificação de todos os componentes, que contribuem acima e abaixo do solo.

De acordo com a teoria da ecologia de sistemas proposta por Odum (1988), as variáveis supramencionadas servem como ponto de partida para uma análise do comportamento ou funcionamento global dos ecossistemas, uma vez que as mesmas representam os fluxos internos, assim como as entradas e saídas de matéria e energia dos ecossistemas. Por sua vez, Moulton (1998) ressalva que a abordagem sistêmica ou *top-down* (análise do funcionamento dos ecossistemas sem a necessidade de se conhecer a sua composição de espécies) provou ser viável em muitos casos e representa o mais rápido e mais prático caminho para o monitoramento e manejo dos ecossistemas. Na abordagem *bottom-up* (análise dos componentes do ecossistema como sua composição de espécies como premissa para compreensão de sua funcionalidade) é necessário que se conheçam os elementos biológicos do sistema para compreender sua funcionalidade e manejá-lo. O mesmo autor afirma que existem evidências suficientes para sugerir que cientistas e planejadores reconheçam que estudos completos de ecossistemas (seus subcomponentes até o nível de espécies) sejam caros e demorados. Nesse sentido, percebe-se a grande vantagem na construção de indicadores globais da funcionalidade desses ambientes.

Ott (1978 *apud* Tolmasquim, 2001) explica que um indicador é um meio encontrado para reduzir a necessidade de uma ampla quantidade de dados e análises para a compreensão de um fenômeno. Para Moulton (1998) as variáveis funcionais interessantes para avaliação de estresse ambiental devem servir de “termômetro”, indicando que alguma coisa está errada, mesmo que não se conheçam os mecanismos que o causou (estresse).

Doran & Parkin (1996 *apud* Chada, 2001) definem como um bom indicador de funcionalidade aquele que está associado aos grandes processos do ecossistema, agregando propriedades físicas, químicas e biológicas do sistema, além de serem

sensíveis às variações no manejo e nas condições ambientais. Contudo, ressaltam que o indicador deve ser acessível a muitos usuários e aplicável em condições de campo.

Um bom indicador é necessário, sobretudo, para se estabelecer que tipo de manejo e grau de impacto pode ocorrer sem que haja comprometimento da funcionalidade do ecossistema em questão. Oliveira (1999), por exemplo, demonstrou - através da análise do sistema produtor/decompositor de serapilheira e da ciclagem de nutrientes - que a agricultura itinerante, praticada por caiçaras na Ilha Grande, não altera significativamente a funcionalidade da floresta. Neste sentido, confirmou a hipótese de que as florestas secundárias de diferentes idades (com 5, 25 e 50 anos de pousio) são funcionalmente similares, corroborando os argumentos de Brown & Lugo (1990) sobre as formações secundárias.

O fluxo de energia e a reciclagem de nutrientes são dois dos principais processos funcionais de um ecossistema (Schumacher *et al.*, 2004). A estimativa destes processos complexos tem sido feita através da mensuração de variáveis como a produção de serapilheira e da velocidade de decomposição - uma vez que estas variáveis são passíveis de análises a partir de estudos de campo, e vêm sendo utilizadas para a diagnose da integridade funcional dos ecossistemas (Garay & Kindel, 2001). De maneira geral, acoplados a esses estudos, aspectos relevantes, como a ciclagem de nutrientes minerais, a composição florística e estrutura da vegetação têm sido avaliadas (Pagano & Durigan, 2000; Clark *et al.*, 2001b). No entanto, tais conhecimentos ainda são incipientes em florestas tropicais, especialmente na Mata Atlântica.

Produção de serapilheira - A serapilheira desempenha diversos papéis no ecossistema, por contribuir para melhorar as características químicas e físicas do solo, criar condições microclimáticas que influenciam a germinação de sementes, no recrutamento de plântulas, cria nichos e fornece energia para as comunidades edáficas (Oliveira & Lacerda, 1993; Burnham, 1997; Sanches *et al.*, 2009). Merece destaque seu papel hidrológico, auxiliando no impedimento do escoamento superficial em áreas florestadas, distribuindo, regulando a infiltração de água no solo e, portanto, reduzindo a erosão superficial do mesmo. Ainda assim, seu aspecto mais importante parece ser o de reservatório de nutrientes minerais, constituindo-se na principal via de transferência destes, da vegetação para o solo (Oliveira & Neto, 2000). Deste modo, diversos autores têm demonstrado que a produção de serapilheira e a taxa de decomposição são processos críticos, uma vez que controlam a ciclagem de nutrientes em florestas, que por sua vez determinam a sustentabilidade e a funcionalidade ecológica das mesmas (Caldeira *et al.*, 2008; Sanches *et al.*, 2009).

A renovação do estoque de serapilheira sobre o solo é uma função da taxa em que esta é produzida e depositada sobre o solo, assim como da taxa em que esta desaparece do solo, por meio da decomposição ou do seu transporte para outros locais. Assim, a dinâmica de renovação dessa camada pode ser resumida por meio de dois modelos: em períodos onde haja maior deposição do que decomposição, a serapilheira tenderá ao acúmulo gradativo sobre o solo; em outros, onde a taxa de decomposição seja mais elevada do que a taxa de deposição, a serapilheira tenderá ao desaparecimento gradual e, finalmente, em uma situação hipotética, onde as taxas de deposição e decomposição se igualem, o resultado será a presença de uma camada de serapilheira sendo renovada, mas, apresentando quantidades semelhantes entre os anos (*steady state*). De maneira geral, a produção de serapilheira em florestas tropicais se enquadra melhor no primeiro modelo, em função da alta variabilidade de produção entre as épocas do ano (Garay & Kindel, 2001; Clark *et al.*, 2001b).

Decomposição de serapilheira - A serapilheira acumulada sobre o solo florestal passa por um complexo processo de decomposição (Mason, 1980). Neste, a matéria orgânica é submetida à ação de uma série de organismos que a levam à degradação total ou semi total, tendo, no primeiro caso a liberação de água, CO₂ e nutrientes como produto

final e, no segundo os ácidos húmicos e fúlvicos, ambas caracterizando uma sucessão catabólica ou invertida (Rebello, 1994; Tian *et al.*, 1998). A decomposição da matéria orgânica é um processo caracterizado pela intensa dinâmica e natureza multivariada. Essa dinâmica é determinada pela interação de três componentes principais: fauna edáfica, o ambiente físico-químico e a qualidade do recurso em decomposição (Anderson & Swift, 1983; Lavelle, 1992 *apud* Rebello, 1994).

Para Garay & Kindel (2001), o que define a importância do subsistema decompositor de serapilheira é o fato de que em florestas tropicais, como a Mata Atlântica, a maior parte da biomassa produzida no ecossistema não é consumida pelos herbívoros, mas sim, transformada em necromassa, substrato ou recurso primeiro deste subsistema. Esta matéria orgânica, cujo destino final é a oxidação completa, constitui o reservatório dos nutrientes que deverão ser reciclados para assegurar a continuidade dos ciclos produtivos da vegetação.

Através de experimentos de decomposição, com serapilheira confinada em sacos de malha de náilon, tem sido demonstrado que a exclusão de grupos ecológicos da fauna de solo pode alterar profundamente as taxas de decomposição (Wieder & Lang, 1982; Res *et al.*, 2006; Tang *et al.*, 2010). Esses experimentos apontam para a limitação dos métodos de “confinamento” da serapilheira para a os estudos de decomposição, uma vez que, necessariamente excluem alguns grupos da fauna, dependendo do tamanho da malha utilizada, assim como alteram as condições microclimáticas do material confinado, alterando suas taxas de decomposição. Também são relevantes as perdas de material dos sacos, por meio de sua fragmentação mecânica, que não significa que tenha havido decomposição. Da mesma maneira, o oposto pode ocorrer, o aumento do peso do material em análise devido à entrada de partículas minerais e resíduos da fauna, o que, sobremaneira, pode confundir os resultados do experimento (Wieder & Lang, 1982).

Alternativamente, algumas pesquisas que buscam compreender o funcionamento ecossistêmico têm se baseado na utilização do coeficiente de decomposição (k) proposto por Olson (1963). K é tempo de renovação da serapilheira, obtido pela razão entre as taxas de serapilheira depositada e o seu estoque no solo. No entanto, apesar de sua ampla utilidade, esse método também vem recebendo críticas uma vez pressupõem que o ecossistema em questão esteja em equilíbrio dinâmico (*steady state*) (Wieder & Lang, 1982). Finalmente é necessário destacar que, em uma época de transformações ambientais sem precedentes, o uso de indicadores ecológicos pode auxiliar, por exemplo, na detecção de mudanças ambientais em estágios iniciais ou avaliar a eficiência de medidas tomadas para melhorar a qualidade ambiental (Moraes *et al.*, 2010).

O objetivo desse artigo é apresentar os resultados da avaliação da funcionalidade de um trecho de floresta de Mata Atlântica de encosta em bom estado de conservação, por meio da utilização de dois indicadores. Com base na coleta de dados primários sobre a produção de serapilheira e do seu estoque sobre o piso florestal, testamos de forma comparativa dois métodos que avaliam a funcionalidade ecossistêmica com base na integração do sistema produtor-decompositor de serapilheira. O primeiro método é conhecido como coeficiente de decomposição k, tendo sido proposto por Olson (1963). O segundo método (ou indicador) foi desenvolvido pelos autores desse estudo. Nesse sentido, apresentamos a metodologia de coleta dos dados que alimentam os dois modelos, assim como as fórmulas matemáticas simplificadas utilizadas para gerar os resultados dos dois índices. Analisamos algumas das vantagens comparativas entre os dois métodos.

Procedimentos metodológicos

Caracterização da área de estudo - A floresta estudada encontra-se nos limites do Parque Estadual da Pedra Branca, sob administração do Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Esta unidade de conservação de proteção integral está situada na Região

Metropolitana do Rio de Janeiro, em sua parte setentrional e engloba as terras localizadas acima da cota de 100 m de altitude do Maciço da Pedra Branca, entre as coordenadas 22° 53' e 23° latitude sul, 43° 23' e 43° 32' longitude oeste, ocupando uma área de cerca de 7.000 ha. Em seu interior encontra-se o ponto culminante do município, o Pico da Pedra Branca, com 1.024 m de altitude.

O presente estudo foi conduzido em um local de encostas íngremes, com declividade média de 40°, na vertente sudeste do Pico do Itaiaci, uma elevação estruturo-denudativa de 588 metros de altitude, dentro de uma área em forma de anfiteatro que constitui uma das cabeceiras do Rio Caçambê. Esta floresta fica localizada a montante do bairro do Camorim (Fig.1).

Produção de serapilheira- A produção de serapilheira foi monitorada por dois anos (de agosto de 2000 a julho de 2002) pelo método dos coletores de resíduos florestais (*litter traps*) descrito por Proctor (1983). Cada coletor foi construído a partir de um caixote de madeira com fundo de tela de polietileno, com malha de 1 mm² e 0,5 m de lado (0,25 m²). Os coletores foram afixados a uma distância de cerca de 70 cm do solo, de modo a evitar contaminação por salpicos de chuva.

Dentro da floresta, 32 coletores foram distribuídos de forma aleatória, evitando-se proximidades maiores do que 2 m destes entre si. Todos os coletores estavam posicionados para a face leste da encosta, de forma a padronizar a influência da radiação solar. A distribuição dos mesmos cobriu uma área de cerca de 1.000 m².

As coletas do material decíduo recolhido pelos coletores foram realizadas simultaneamente em intervalos mensais, totalizando 24 meses. Após a retirada do material dos coletores, este foi acondicionado em bolsas de papel ou de plástico, dependendo do teor de umidade do mesmo, etiquetado e transportado para o Laboratório de Ecologia do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio, onde foi submetido à secagem em temperatura ambiente, sendo posteriormente transferido para estufas a 60°C onde permaneceu até atingir peso constante. Seguindo-se a esse procedimento, pesaram-se cada uma das frações da serapilheira em balança digital com precisão centesimal. O material decíduo foi triado nas seguintes frações: folhas (folhas, folíolos e pecíolos); galhos (ramos com diâmetro inferior a 2 cm); elementos reprodutivos (flores, frutos e sementes) e resíduos (material de origem animal como excrementos, ecdises de insetos, material de origem vegetal não identificado e fragmentos de cascas de árvores). No entanto, para finalidade de apresentar e discutir dois indicadores de funcionalidade ecosistêmica, utilizamos a média da fração total da serapilheira.

Com os dados obtidos, calcularam-se a média mensal e anual de cada fração da serapilheira e a serapilheira total (soma das frações), em g/0,25 m². Esses valores foram transformados em kg/ha/mês, que somados, forneceram a produção anual (kg/ha/ano) das frações e da serapilheira total (Moraes, 1993). A obtenção dos dados e análise da produção de serapilheira seguiu um desenho experimental inteiramente ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas (Vieira, 1999).

Serapilheira acumulada - A biomassa de serapilheira acumulada sobre o solo foi coletada cinco vezes ao longo dos dois anos de monitoramento, sendo que as coletas foram feitas com intervalos de cinco meses (novembro de 2000, abril e setembro de 2001 e fevereiro e julho de 2002). Portanto, foram feitas duas coletas ao longo do primeiro ano de monitoramento e três no segundo ano de monitoramento.

Em cada coleta foi utilizada uma moldura quadrada de 50 cm de lado (Moraes, 1993), sendo retiradas aleatoriamente de 8 a 15 amostras de 0,25 m² de serapilheira sobre o solo. Fixada a moldura no solo coletou-se o horizonte L (composto pela serapilheira mais superficial e menos decomposta). Esta metodologia é adequada a situações onde o horizonte F (material mais degradado) é espesso e mistura-se com o solo mineral (Oliveira, 1999; Kindel & Garay, 2002). Todo o material coletado foi acondicionado em sacolas de papel etiquetado, identificado e transportado para o

Laboratório de Ecologia do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio, onde foi submetido à secagem em temperatura ambiente e posteriormente transferido para estufas a 60° C até que fosse atingido peso constante. Após a triagem do material, feita manualmente para retirada de partículas de solo e pequenos fragmentos de rocha (raros), o processo de pesagem foi similar àquele realizado para as amostras de produção de serapilheira. Com os dados obtidos procedeu-se ao cálculo da serapilheira acumulada sobre o piso florestal por época de coleta. Este valor, expresso em g/0,25 m² (valor de cada amostra) foi transformado em kg/ha para cada época de coleta. Esses valores foram utilizados nas estimativas de tempo de renovação da serapilheira.

Análise da funcionalidade ecológica - Com os resultados da produtividade anual e mensal de serapilheira, assim como dos valores de serapilheira estocada sob o solo, foi possível estimar o coeficiente de decomposição (*k*) proposto por Olson (1963):

$$k = \frac{P}{A}$$

Onde: *P* = produção anual de serapilheira e
A = serapilheira acumulada sobre o solo no mesmo período.

Obtido o valor *k*, foi calculado o tempo de renovação da serapilheira (*tr* = 1/*k*), convertido em número de dias (Mazurec, 1998). Conforme propomos nesse estudo, a dinâmica de renovação da serapilheira também pode ser representada por um sistema que combine as seguintes situações: (1) em períodos onde haja maior deposição do que decomposição, a serapilheira tenderá ao acúmulo gradativo sobre o solo e (2) em períodos onde a taxa de decomposição seja mais elevada do que a de deposição, a serapilheira tenderá à redução gradual. Deste modo, de forma complementar ao coeficiente de decomposição *k* de Olson (1963), considerou-se o seguinte modelo matemático da dinâmica do sistema produtor-decompositor de serapilheira:

$$\%Dp = \frac{(Ei + Pp - Ef)}{(Ei + Pp)} \times 100$$

Onde: %*Dp* = percentual de decomposição no período;
Ei = estoque de serapilheira no início do período;
Ef = estoque de serapilheira no final do período;
Pp = produção de serapilheira acumulada no período.

Por fim, o coeficiente de correlação de Spearman foi testado entre as variáveis utilizadas no modelo descrito acima. Esse coeficiente foi escolhido por se tratarem de dados não paramétricos (Vieira, 1999).

Resultados e Discussão

A produção média mensal de serapilheira ao longo dos dois anos de monitoramento foi de 613 kg/ha. A produção total de serapilheira foi de 7.533 kg/ha/ano no primeiro e de 7.200 kg/ha/ano no segundo ano de monitoramento, o que representou uma queda de 4,4% entre os dois períodos. Na tabela 1 podem ser vistos os valores da produção de serapilheira ao longo dos dois anos de monitoramento.

A média mensal do estoque de serapilheira sobre o solo foi de 5.439 kg/ha, sendo seu coeficiente de variação de 35,8%. Analisando-se cada ano separadamente, foi encontrado um valor médio de serapilheira acumulada sobre o solo de 7.017 kg/ha e de 4.388 kg/ha, no primeiro e segundo ano, respectivamente, o que representa uma redução de 37,5% de um ano para outro (Tab. 2 e 3).

Tabela 1 – Produção de serapilheira de julho de 2000 a julho de 2002. Floresta do Camorim, Jacarepaguá, Rio de Janeiro. * em kg/ha/ano; ** Média de produção dos dois anos;

Ano	Folhas	Galhos	Elem. reprod.	Resíduos	Total
Primeiro ano*	4.791	1.770	799	173	7.533
Contribuição I	63,6%	23,5%	10,6%	2,3%	100%
Coef. de variação	49,6	51,0	51,7	142,3	38,4
Segundo ano*	4.166	2.482	346	206	7.200
Contribuição I	57,9%	34,5%	4,8%	2,9%	100%
Coef. de variação	39,4	1290	74,8	94,1	54,4
Média**	4.478	2.126	572	189	7.366
Contribuição II	60,8%	28,9%	7,8%	2,6%	100%

Tabela 2 - Valores de estoque de serapilheira sobre o solo no período de julho de 2000 a julho de 2002, Floresta do Camorim, Jacarepaguá, RJ. Entre parênteses o desvio padrão relativo aos meses amostrados.

Período	kg/ha
Novembro	7.831 (2.129)
Abril	6.205 (1.249)
Setembro	2.820 (1.195)
Fevereiro	6.153 (1.373)
Julho	4.189 (1.623)
Primeiro ano	7.017
Segundo ano	4.388

Tabela 3 – Valores médios de estoque inicial (Ei) e final (Ef) em cada período, produção acumulada no período (Pp) e percentual de serapilheira decomposta entre cada período (Dp%).

Período	Ei (kg/ha)	Ef (kg/ha)	Pp (kg/ha)	Dp (%)
novembro-abril	7.831	6.205	2.857	42
abril-setembro	6.202	2.821	3.307	70,3
setembro-fevereiro	2.821	6.153	3.812	7,2
fevereiro-julho	6.153	4.189	2.687	52,2
Média	5.752	4.841	3.166	43
CV (%)	36,6	33,9	15,9	61,8

Foi detectada baixa correlação entre a produção acumulada no período (Pp) e o estoque final (Ef) ($r = -0,13$; $\alpha = 0,05$), indicando que o estoque de serapilheira sobre o solo não foi diretamente afetado por mudanças nos valores de produção acumulada no período. A baixa correlação entre o percentual de decomposição e a produção acumulada ($r = -0,22$) sugere que a velocidade de decomposição seja pouco afetada pelo total de serapilheira depositado em cada período.

Também foi constatada uma fraca correlação entre o estoque inicial de serapilheira (Ei) e a produção acumulada (Pp) ($r = -0,13$, $\alpha = 0,05$). Desta forma, o que indica que a produção de serapilheira acumulada sobre o solo, que é uma função do quanto é depositado e do quanto é decomposto, seja mais influenciada pela velocidade de decomposição. A correlação entre a precipitação mensal e o estoque final ao longo do período de amostragem foi alta e positiva ($r = 0,89$; $\alpha = 0,05$). A correlação entre a precipitação mensal e o percentual de decomposição seguiu a tendência contrária, sendo alta e negativa ($r = -0,88$; $\alpha = 0,05$). Analisando esses dados tem-se a impressão de que a maior precipitação diminua a taxa de decomposição, o que não corresponde com o que se conhece sobre a dinâmica de decomposição da matéria orgânica (Mason, 1980).

Com base nos valores de biomassa de serapilheira estocada sobre o solo e dos valores de produção de serapilheira foi possível estimar o coeficiente de decomposição (k), assim como o tempo de renovação da serapilheira (1/k). No primeiro ano o coeficiente de decomposição (k) foi de 1,1 e, a taxa de renovação (1/k) igual a 0,93 ano, o que corresponde a 340 dias. No segundo ano, o resultado aponta para uma decomposição

um tanto mais veloz, sendo o valor de k igual a 1,6 e a taxa de renovação ($1/k$) de 0,61 ano, que corresponde a 222 dias (Tab. 4).

Tabela 4 - Estimativa do coeficiente de decomposição (k) e do tempo de renovação do estoque (em anos e dias) ao longo dos dois anos de monitoramento.

Ano	Coeficiente de decomposição (k)	Tempo de renovação($1/k$)	Tempo de renovação (dias)
Ano 1	1,1	0,93	340
Ano 2	1,6	0,61	222

Conforme mencionado anteriormente, apesar de enorme contribuição aos estudos ecológicos, críticas à utilização do tempo de renovação da serapilheira com base no método proposto por Olson (1963) continuam válidas, visto que esse modelo pressupõe que o sistema ecológico em análise opere em estado de equilíbrio (*steady state*), desprezando-se assim as flutuações das diversas variáveis ligadas à funcionalidade (Wieder & Lang, 1982). Ou seja, a obtenção da estimativa de tempo de renovação pressupõe que as taxas de deposição da serapilheira sobre o solo sejam constantes entre os meses de um ano, o mesmo se aplicando às taxas de decomposição. A metodologia do uso das sacolas de decomposição, apesar de suas limitações, permite a avaliação da constância ou não das taxas de decomposição, uma vez que são coletadas em períodos consecutivos e permitem verificar em qual mês a decomposição se processou mais rápida ou lentamente (curvas de regressão) (Scoriza *et al.*, 2012).

Conclusão

Com base nos resultados dessa pesquisa, sugerimos a utilização do coeficiente de decomposição (k) e do de tempo de renovação da serapilheira (derivado desse cálculo) em conjunto com o método proposto nesse artigo. Acreditamos que sua utilização combinada pode contribuir para a ampliação do conhecimento sobre o funcionamento de ecossistemas complexos e dinâmicos como a Mata Atlântica.

Argumentamos que a interação dos referidos métodos pode ampliar e permitir, por exemplo: a) a precisão na avaliação da dinâmica de renovação da serapilheira nos ecossistemas terrestres; b) a estimativa do percentual de serapilheira decomposta (%Dp) para qualquer intervalo entre duas coletas de dados sobre estoque de serapilheira; e c) testes de correlação estatística entre variáveis bióticas e abióticas ao longo de períodos mais curtos do que um ano. Porém, deve-se cuidar para que estes intervalos não sejam muito curtos, para não tornar os resultados inconsistentes. No entanto, entendemos que mesmo se utilizado sozinho, o método proposto adequa-se aos objetivos de estudar a dinâmica integrada do sistema produtor-decompositor de serapilheira, constituindo-se, portanto, em uma ferramenta alternativa e/ou complemento para a diagnose da funcionalidade ecossistêmica em ecossistemas florestais.

Referências bibliográficas

- ANDERSON, J.M. & SWIFT, M.J. 1983. Decomposition in tropical forests. In: SUTTON, S.L.; WHITMORE, T.C. & CHADWICK, A.C. (Ed.) Tropical rain forest: ecology and management. Oxford, Blackwell Sci. Publ., p. 267-274.
- BARBOSA, J.H.C & FARIA, S.M. 2006. Aporte de serapilheira ao solo em estágios sucessionais florestais na Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista. Rodriguésia* 57: 461-467.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6: 1-32.
- BURNHAM, R. 1997. Stand characteristics and leaf litter composition of a dry forest hectare in Santa Rosa national park, Costa Rica. *Biotropica* 29: 384-395.
- CALDEIRA, M.V.W; VITORINO; M.D; SCHAADT; S.S; MORAES; E. & BALBINOT; R. 2008. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. *Semina Ciências Agrárias* 29: 101-116.
- CHADA, S.S. 2001. Sucessão secundária em uma encosta florestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis – RJ. 112 f. Dissertação (Mestrado) Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ.
- CLARK, D.A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.W.; CHAMBERS, J.K.; THOMLIMSOM, J.R. & NI, J. 2001a. Measuring net primary production in forest: concepts and field methods. *Ecological Applications* 11: 356-370.
- CLARK, D.A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.W.; CHAMBERS, J.K.; THOMLIMSOM, J.R.; NI, J. & HOLLAND, E.A. 2001b. Net primary production in tropical forest: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications* 11: 371-384.
- GARAY, I. & KINDEL, A. 2001. Diversidade funcional em fragmentos de Floresta Atlântica: Valor indicador das formas de húmus florestais. In: GARAY, I.; DIAS, B.S. (Eds.) Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento. Petrópolis, Livraria Vozes, p. 350-368.
- KINDEL, A & GARAY, I. 2002. Humus form in ecosystems of the Atlantic Forest, Brazil. *Geoderma* 108: 101-118.
- MASON, C.F. 1980. Decomposição. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo.
- MAZUREC, A.P. 1998. Ciclagem de nutrientes em Mata Atlântica de encosta na Serra do Imbé, Norte fluminense em duas altitudes. 88f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos.
- MONTEZUMA, R.C.M. 2005. Produção e reabilitação funcional do piso florestal em clareiras de deslizamentos – Parque Nacional da Tijuca/RJ. Tese (doutorado em Geografia), 279 p., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- MORAES, L.F.D.; FRANCO, A.A. & CAMPELLO, E. F. C. 2010. Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações. *Oecologia Australis* 14: 437-451.
- MORAES, R.M. 1993. Ciclagem de nutrientes minerais em Mata Atlântica de encosta e mata sobre restinga, na Ilha do Cardoso, Cananéia, SP: produção de serapilheira e transferência de nutrientes. 151f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, SP.
- MOULTON, T. 1998. Saúde e integridade do ecossistema e o papel dos insetos aquáticos. In: ESSIMIAN, J & CARVALHO, E (Ed.) Ecologia de insetos de ambientes lóticos. *Oecologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, Brasil, p. 23-31.
- NAEEM, C.S.; CHAPIN, F.S.; COSTANZA, R.; EHRLICH, P.R.; GOLLEY, F.B.; HOOPER, D.U., LAWTON, J.H.; O'NEILL, R.V.; MOONEY, H.A.; SALA, O.E.; SYMSTAD, A.J. & TILMAN, D. 1999. Biodiversity and ecosystem functioning: maintaining natural life support processes. (online). Disponível em: <http://esa.sdsc.edu/>. Acesso em 5 mar. 2017.
- ODUM, E.P. 1988. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Ed. 1988. 434p.
- OLIVEIRA, R.R. 1999. O rastro do Homem na floresta: sustentabilidade e funcionalidade da Mata Atlântica sob o manejo caçara. 150f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, R.R & LACERDA, D. 1993. Produção e composição química da serapilheira da floresta da Tijuca, RJ. *Revista Brasileira de Botânica* 16: 93-99.

- OLIVEIRA, R.R & NETO, A.L.C. 2000. Processos interativos homem-floresta na evolução da paisagem da Ilha Grande, RJ. *GeoUERJ*: 29-32.
- OLSON, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44: 322-331.
- PAGANO, S.N. & DURIGAN, G. 2000. Aspectos da ciclagem de nutrientes em matas ciliares do oeste do Estado de São Paulo, Brasil. In: R. R. RODRIGUES & H. LEITÃO FILHO (Ed.). *Matas ciliares conservação e recuperação*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 2000.
- PROCTOR, J. 1983. Tropical forest litterfall. I: Problems of data comparison. In S.L. SUTTON; T.C. WHITMORE & A.C. CHADWICK (Ed.) *Tropical rain forest: ecology and management*. Oxford, Blackwell, Sci. Publ. p. 267-274.
- PUTZ, F.E.; REDFORD. K.H.; FIMBEL, R. & ROBINSON, J. 2001. Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. *Conservation Biology* 15: 7-20.
- REBELO, C. F. 1994. Ciclagem de nutrientes minerais em floresta pluvial tropical de encosta e em floresta sobre restinga na Ilha do Cardoso, Cananéia, São Paulo: decomposição da serapilheira. 133f. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RES, L.A; BRITTEZ, R.M; MARTEL, G. & PAGANO, S.N. 2006. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 20: 173- 184.
- SANCHES. L; VALENTINI, C.M.A; BIUDES, M.S. & NOGUEIRA, J.S. 2009. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serapilheira em floresta tropical de transição. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13:183–189.
- SCHUMACHER, M.V; HERNANDES, J.J. & KÖNIG, F.G. 2004. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze no município de Pinhal Grande, RS. *Revista Árvore* 28: 29-37.
- SCORIZA, R.N.; PEREIRA, M.G.; PEREIRA, G.H.; MACHADO, D.L. & SILVA, E.M. R. 2012. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. *Floresta e Ambiente*. v.2, n.2, p. 01-18.
- TANG, J; CAO, M; ZHANG, J.H & LI, M. H. 2010. Litterfall production, decomposition and nutrient use efficiency varies with tropical forest types in Xishuanbanna, SW China: a 10-year study. *Plant and Soil* 1: 271-288.
- TIAN, G.; ADEJUYIGBE, C.O.; ADEOYE, G. & KANG, B. T. 1998. Role of microarthropods in decomposition and N release under various land -use practices in the humid tropics. *Pedobiologia* 42: 33-42.
- TOLMASQUIM, M.T. 2001. Estrutura conceitual para a elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental para o Brasil. In: I. GARAY & B. F. S. DIAS (Ed.) *Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: Avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento*. Petrópolis, Ed. Vozes, p. 68-75.
- VIEIRA, S. 1999. *Estatística experimental*. 2a Ed. São Paulo: Atlas.
- WIEDER, R.K & LANG, G.E. 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litterbags. *Ecology* 63 (6): 1636-1642.

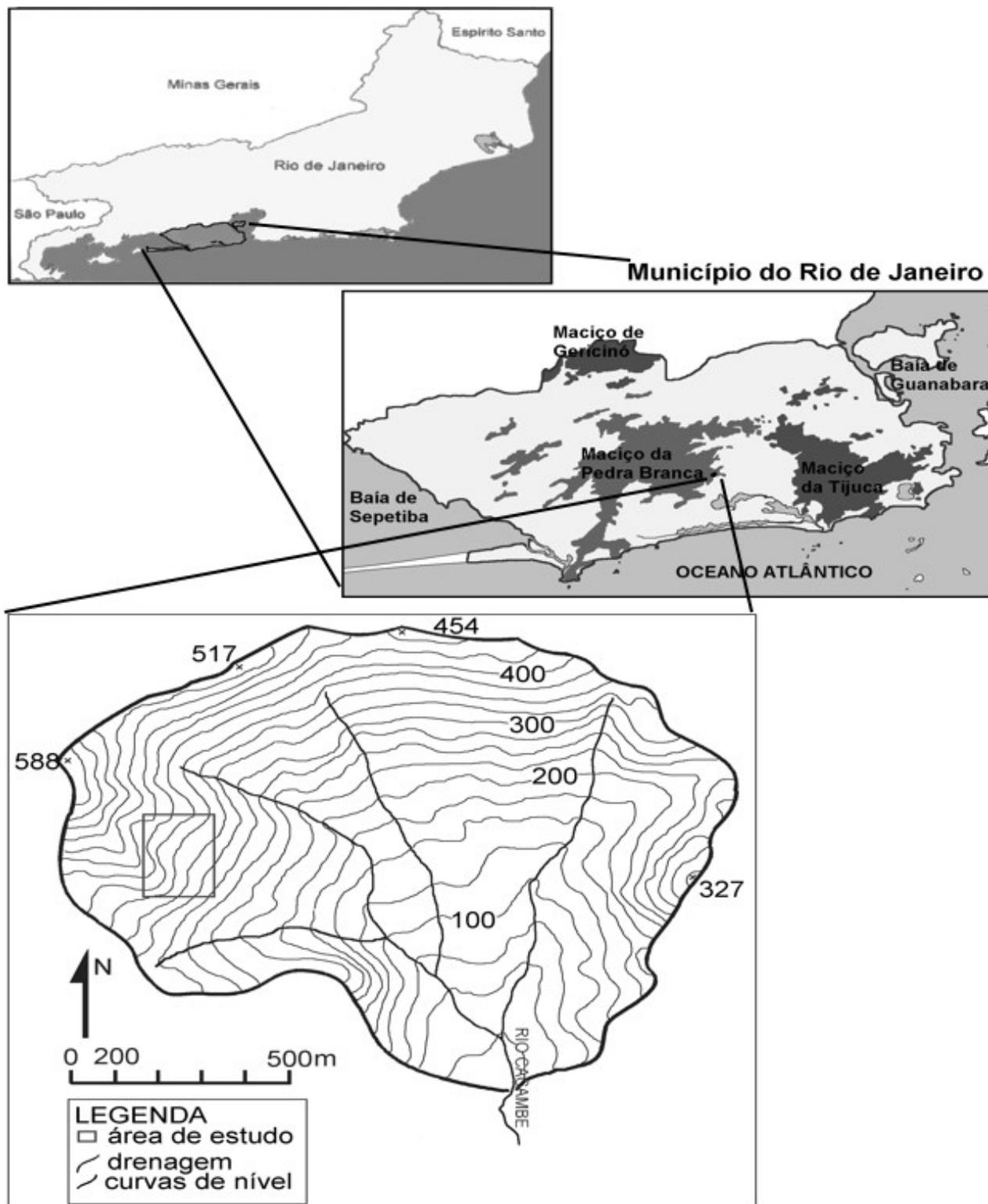


Figura 1 - localização da área de estudo, bacia do rio Caçambê, Rio de Janeiro.