

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Florestas  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

---

# Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica

---

*Lucilia Maria Parron  
Junior Ruiz Garcia  
Edilson Batista de Oliveira  
George Gardner Brown  
Rachel Bardy Prado  
Editores Técnicos*

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2015

# Estimativa de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais por meio da produção e decomposição de serapilheira

Márcia Toffani Simão Soares, Luis Claudio Maranhão Froufe

**Resumo:** A ciclagem de nutrientes está categorizada pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM) como um serviço ecossistêmico de suporte, ou seja, relacionado aos mecanismos naturais necessários para que os outros serviços (de provisão, reguladores e culturais) existam. Em sistemas naturais, em florestas manejadas e em sistemas agrícolas e pecuários conservacionistas, a serapilheira representa um elo importante no ciclo orgânico de produção-decomposição, atuando na superfície do solo como um regulador dos processos de entradas e saídas, recebendo carbono e nutrientes via vegetação (entrada), e suprindo o solo e as raízes com nutrientes e matéria orgânica (saída). Esta última via assume vital importância por estar associada ao uso racional de nutrientes no sistema solo-planta, à economia no uso de insumos e à redução de perdas por emissões atmosféricas, à lixiviação e a outras formas de contaminação hídrica. O estudo da dinâmica da serapilheira pode ser um importante indicador do estabelecimento e da manutenção da ciclagem biogeoquímica de nutrientes, ao possibilitar a inferência sobre o grau de degradação ou reconstituição de funções ecossistêmicas de ambientes em reabilitação, bem como acompanhar os processos responsáveis pela manutenção dos estoques de carbono e de nutrientes minerais no solo. Neste capítulo são apresentados conceitos, métodos utilizados e exemplos de estudos da serapilheira para a avaliação da ciclagem de nutrientes em sistemas florestais.

**Palavras-chave:** indicadores ambientais, serviços ecossistêmicos, deposição de serapilheira, sistemas florestais.

## *Nutrient cycling estimation in forest ecosystems through production and decomposition of litter*

**Abstract:** Nutrient cycling is categorized by the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) as a supporting ecosystem service, related to the natural processes required for other services (provisioning, regulating and cultural). In natural environments, managed forest as well as conservation agriculture and livestock systems, litter is an important link in the organic cycle of production-decomposition, acting on the soil surface as a regulator of input and output process, receiving carbon and nutrients through vegetation (input) and supplying soil and roots with nutrients and organic matter (output). This latter process is of vital importance, as it is related to optimal nutrient use in the plant-soil system, the reduction in external input use and lower gas emission, leaching and other forms of water contamination. The study of the litter dynamics can be an important indicator of the establishment and maintenance of biogeochemical nutrient cycles, allowing inferences regarding the degree of degradation or restoration of ecosystem functions in rehabilitating ecosystems, as well as the monitoring of the processes that maintain carbon stocks and mineral nutrients in the soil. In this chapter, we present concepts, methods used and examples of litter studies for evaluation of nutrient cycling in forest ecosystems.

**Keywords:** environmental indicators, ecosystem services, litterfall, forest ecosystems.

## 1. Introdução

A ciclagem de nutrientes, bem como a produção primária, a formação de solos, a polinização e a dispersão de sementes são classificados, segundo a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM), como um serviço ecossistêmico de suporte (HASSAN et al., 2005; LAVELLE et al., 2005), ou seja, estão relacionados aos processos naturais necessários para que os outros serviços (de provisão, reguladores e culturais) possam existir.

São muitos os aspectos estruturais e funcionais dos ecossistemas que facilitam a ciclagem de nutrientes em escala local e global (DE GROOT et al., 2002). Em sistemas naturais ou sistemas florestais manejados, a serapilheira representa uma ligação importante no ciclo orgânico de produção-decomposição, sendo considerada como o principal compartimento de transferência de nutrientes da vegetação para o solo (MONTAGNINI; JORDAN, 2002; VITOUSEK; SANFORD JUNIOR, 1986). No tocante à quantidade de resíduos que caem da parte aérea das plantas, os principais fatores formadores da serapilheira são o clima, o solo, as características genéticas da planta, a idade, a densidade (CORREIA; ANDRADE, 1999) e a diversidade das plantas. Em condições naturais, Vitousek e Stanford (1986) acrescentam a estes fatores o estágio sucessional de uma floresta, ou seja, o estágio de regeneração da vegetação secundária após supressão parcial ou total da floresta primária, seja por ações naturais ou antrópicas. Já a decomposição dessa camada é regulada ainda pelas características do material orgânico, ou seja, a qualidade do material (BERG et al., 2000; BERG; MEENTEMEYER, 2002), pela natureza da comunidade decompositora (HEAL et al., 1997; WARDLE, 1992) e pelas condições físico-químicas do ambiente (GONZÁLEZ; SEASTEDT, 2001; SWIFT et al., 1979).

As florestas tropicais, por estarem em grande parte estabelecidas em solos de baixa fertilidade natural, alto potencial de lixiviação de nutrientes e elevada capacidade de fixação de fósforo, têm sua produtividade primária suportada pelo processo de ciclagem biogeoquímica de nutrientes (GAMA-RODRIGUES et al., 2008). Em plantios comerciais como árvores de rápido crescimento, os riscos de desequilíbrio entre as entradas e saídas de nutrientes do sítio florestal são maiores. Neste contexto, a serapilheira pode atuar como indicador ambiental (ARATO et al., 2003; GAMA-RODRIGUES et al., 2008; MACHADO et al., 2008; MOREIRA; SILVA, 2004; POGGIANI et al., 1998), auxiliando no estabelecimento de relações de causa/efeito entre a produção de fitomassa e os fatores físicos, químicos e bióticos do ambiente circundante, na inferência sobre o grau de degradação ou reconstituição de funções ecossistêmicas de ambientes em reabilitação, bem

como no acompanhamento dos processos responsáveis pela manutenção dos estoques de nutrientes minerais no solo e a produtividade florestal.

## 2. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais: aspectos conceituais

Ciclos biogeoquímicos e ciclagem de nutrientes correspondem às vias de circulação de elementos e de nutrientes entre o ambiente e os organismos (ODUM, 1985). Considerando as relações entre nutrientes dentro de um ecossistema florestal, alguns autores distinguem os ciclos entre os compartimentos geoquímicos e biológicos (POGGIANI; SCHUMACHER, 2000; RAMEZOV, 1959; REIS; BARROS, 1990; SWITZER; NELSON, 1972). A ciclagem geoquímica se refere às entradas e saídas de nutrientes do ecossistema, por meio de processos como precipitações atmosféricas, intemperismo geológico, aplicação de fertilizantes, erosão, lixiviação e volatilização, enquanto que a ciclagem biológica envolve a circulação de nutrientes entre o solo e as comunidades de plantas e animais, incluindo os fenômenos de absorção/retenção pela biomassa e disponibilização via decomposição da matéria orgânica. O ciclo biológico pode ser ainda dividido em ciclo bioquímico (referente à movimentação de nutrientes entre tecidos da própria árvore - translocação interna) e em ciclo biogeoquímico (que contempla, adicionalmente, a ciclagem de nutrientes entre o solo e a biomassa, via absorção dos nutrientes pelas plantas, retenção na biomassa, queda de resíduos da parte aérea e a decomposição desse material).

Tais resíduos (massa morta) podem ser definidos como *necromassa* (BARBOSA et al., 2009; BROWN, 1997; WOLDENDORP et al., 2004) que, para fins de estudo e comparação, pode ser classificada entre as árvores mortas em pé e o material vegetal morto depositado sobre o solo (HARMON et al., 1986). Esta última categoria ainda pode ser dividida em *liteira grossa*, que corresponde a galhos e troncos com diâmetro ( $\emptyset$ )  $\geq 2$  cm (BARBOSA et al., 2009), e *liteira fina*, também denominada *serapilheira*, que corresponde ao material que recobre o solo (formações florestais, incluindo folhas, frutos, sementes, gravetos e galhos finos) com  $\emptyset < 2$  cm (ANDERSON; INGRAN, 1993; BARBOSA et al., 2009). Ainda que a *liteira grossa* seja responsável por grandes estoques de biomassa em sistemas florestais (CARDOSO et al., 2012), verifica-se maior disponibilidade de informações em literatura no tocante à dinâmica da serapilheira (material fino). Embora sejam complementares, estas categorias são,

geralmente, utilizadas em abordagens diferentes e com pouca coincidência de materiais (CARDOSO et al., 2012; CORREIA; ANDRADE, 1999).

### 3. Principais métodos de estudo da ciclagem de nutrientes via serapilheira

Estudos envolvendo o componente serapilheira muitas vezes são incompletos ou não comparáveis, devido à variação nos procedimentos metodológicos adotados nas diversas publicações sobre o assunto. Anderson e Ingran (1993) e Clark et al. (2001) citam como exemplo problemas relacionados à inadequação da amostragem em relação à heterogeneidade do sítio, à amostragem insuficiente, por períodos inferiores a um ano e à falta de padronização de definição da fração leve da serapilheira (folhas, galhos, estruturas reprodutivas e demais resíduos). Neste sentido, é importante salientar o esforço de alguns autores (ANDERSON; INGRAN, 1993, SCORIZA et al., 2012), em padronizar os métodos de coleta e análise da serapilheira, para minimizar erros e ampliar a possibilidade de comparação dos resultados obtidos em diferentes ecossistemas. Os procedimentos descritos, a seguir, contemplam as metodologias mais utilizadas para mensurar o aporte, o estoque, a decomposição da serapilheira e a quantificação dos teores, dos conteúdos e das transferências de carbono e de nutrientes nestes processos.

#### 3.1. Aporte de serapilheira (produção)

O aporte de serapilheira ocorre pelo material vegetal, em diferentes estágios de senescência, que cai das árvores. A sua mensuração é realizada por meio de coletores fixados sobre o solo, de estrutura de madeira, arame ou plástico e revestidos por tela de *nylon* (MASON, 1980) ou tecido helanca (ARAÚJO et al., 2006). Verifica-se na literatura considerável variação no formato, na dimensão dos coletores, bem como na altura de posicionamento do coletor em relação ao solo (SCORIZA et al., 2012), em função das condições ambientais do local a ser estudado. Estes autores também indicam alguns cuidados ao manejar os coletores, tais como dispor a abertura dos coletores sempre na posição horizontal e descartar o material contido em coletores danificados (devido à inexatidão quanto à perda de massa coletada).

O número de coletores a ser utilizado deverá se ajustar ao tamanho da área, à exigência do estudo e ao delineamento experimental (FINOTTI et al., 2003; SCORIZA et al., 2012). A periodicidade sugerida por Anderson e Ingran (1993) é quinzenal ou mais frequente, para o caso de serapilheiras de rápida decomposição, sendo que Scoriza et al. (2012) também consideram uma amostragem mensal. Após a coleta,

o material acumulado pode ainda ser fracionado em: folheto, que corresponde a folhas com diferentes graus de senescência (incluindo-se pecíolos e raques), galhos com diâmetro menor que 2 cm, cascas, estruturas reprodutivas e fragmentos menores que 5 mm (ANDERSON; INGRAN, 1993).

#### 3.2. Serapilheira acumulada sobre o solo (estoque)

A mensuração da serapilheira acumulada sobre o solo é geralmente realizada por meio de um gabarito de madeira, PVC ou metálico, de dimensões variáveis. Tal como para o aporte, o número de repetições nas amostragens do estoque de serapilheira depende dos objetivos de estudo, do tamanho da área e do rigor estatístico/científico requerido (SCORIZA et al., 2012). No ato da amostragem, o gabarito é lançado ou disposto aleatoriamente sobre o solo, sendo o material constante na sua parte interior coletado com auxílio de espátulas e facas. Anderson e Ingran (1993) recomendam amostragens entre intervalos de poucas semanas e Scoriza et al. (2012) consideram que as amostragens sejam adequadas às estações e/ou ao regime climático da região de estudo.

#### 3.3. Decomposição

##### 3.3.1. Avaliação indireta: razão aporte/estoque

Por este método, estima-se o coeficiente de decomposição da serapilheira pela Equação 1 (OLSON, 1963), em que  $k$  é a constante de decomposição,  $L$  é a massa seca de serapilheira aportada ao solo (item 3.1) e  $X$  é a massa seca estocada na superfície em um dado período de tempo (item 3.2). Esta medida permite avaliar a decomposição da serapilheira como um todo (e não somente de uma fração), respeitando desta forma as interações entre seus diferentes componentes.

$$k = \frac{L}{X}$$

(Equação 1)

##### 3.3.2. Medida direta: perda de massa por *litterbags*

Consiste no uso de sacolas de decomposição (*litterbags*) confeccionadas com polímero sintético, de malha com diâmetro variável (2 ou 4 mm) para permitir a circulação de água, nutrientes e da comunidade decompositora no sistema solo-serapilheira (SCORIZA et al., 2012). Uma quantidade determinada de material vegetal (geralmente a fração foliar) é previamente seca ao ar e acondicionada nos *litterbags*, sendo estes posteriormente colocados em contato com o solo/

serapilheira presentes no local de avaliação. A decomposição é quantificada pela perda de massa do material remanescente em cada período de coleta, a partir do tempo zero (instalação). Em relação ao tempo de avaliação, Anderson e Ingran (1993) recomendam que seja correspondente a 50% de perda da massa inicial ( $t_{50}$ ), e Scoriza et al. (2012) sugerem um período de coleta de 120 dias, com intervalos de 30 dias entre coletas. Quando possível, é desejável a avaliação de um ciclo climático completo (12 meses), possibilitando melhores ajustes de modelos matemáticos aos dados obtidos. A constante de decomposição  $k$  pode ser quantificada pelo modelo exponencial da equação 1 (OLSON, 1963):

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

(Equação 2)

Onde:  $X_t$  é o peso do material remanescente no momento  $t$ ,  $X_0$  é o peso do material seco inicial,  $e$  é a base do logaritmo natural,  $k$  é a constante de decomposição e  $t$  é o tempo.

Embora este método leve em consideração, geralmente, apenas a fração foliar, é uma medida que possibilita comparar a taxa de decomposição em diferentes ambientes, bem como avaliar a liberação de nutrientes no sistema solo/planta ao longo do tempo, medida esta fundamental quando associada ao crescimento das árvores em sistemas de plantio, visto que essa fração foliar pode representar até 70% da serapilheira total (HEAL et al., 1997).

### 3.4. Intensidade do processo de ciclagem bioquímica nas folhas

A intensidade do processo de ciclagem bioquímica pode ser avaliada pelas variações percentuais nas concentrações de nutrientes entre folhas da parte aérea (Nutri.F) e o folheto apartado das árvores (Nutri.Fo) (item 3.1) (GAMA-RODRIGUES et al., 2008), conforme a Equação 3. Valores negativos indicam que houve a retranslocação de nutrientes. Para a obtenção dos parâmetros abaixo descritos, é necessário coletar folhas vivas da parte aérea das plantas.

$$\% \text{ ciclagem bioquímica (folheto vs. folhas)} = \left[ \frac{(\text{Nutri.Fo} - \text{Nutri.F})}{\text{Nutri.F}} \right] \times 100$$

(Equação 3)

A retranslocação de nutrientes (ciclagem interna) também pode ser estimada conforme a Equação 4 (BALIEIRO et al., 2004; NEGI; SHARMA, 1996):

$$\% \text{ Nutr. Re} = \{1 - [(\text{Nutr./Ca})_{\text{senesc.}} / (\text{Nutr./Ca})_{\text{verde}}]\} \times 100$$

(Equação 4)

Onde:

$\% \text{ Nutr. Re}$  = percentagem do nutriente retranslocado;  $\text{Nutr./Ca}$  = relação entre os teores foliares do nutriente em avaliação e o teor de Cálcio nas folhas, sendo os subscritos senescente (senesc.) e verde, representantes dos teores desses nutrientes em tecidos foliares senescentes e verdes respectivamente.

### 3.5. Intensidade do processo de ciclagem biogeoquímica nas folhas

A intensidade do processo de ciclagem biogeoquímica dos nutrientes contidos na serapilheira é avaliada pelas variações percentuais nas concentrações de nutrientes entre o folheto apartado (Nutri.<sub>fo</sub>) e a serapilheira foliar (Nutri.<sub>s</sub>), conforme Equação 5 (GAMA-RODRIGUES et al., 2008). Valores negativos indicam o predomínio da mineralização sobre a imobilização.

$$\% \text{ ciclagem biogeoquímica (serapilheira x folheto)} = \left[ \frac{(\text{Nutri.s} - \text{Nutri.fo})}{\text{Nutri.F}} \right] \times 100$$

(Equação 5)

## 4. Avaliação da ciclagem de nutrientes via dinâmica da serapilheira no domínio da Mata Atlântica: exemplos e potencialidades

A ciclagem de nutrientes é um dos processos primordiais à manutenção da produtividade dos sistemas naturais e também em todos os ambientes rurais manejados, sejam pecuários, agrícolas e florestais, em suas diversas composições e arranjos na paisagem. Sua funcionalidade em sistemas florestais, sobretudo em regiões tropicais, está fortemente associada a estratégias de disponibilização dos nutrientes estocados na serapilheira, que pode representar até metade da reserva de nutrientes nestas regiões (ODUM, 1985), nos solos de baixa fertilidade natural. Entretanto, a dinâmica da serapilheira também pode contribuir para aspectos ecológicos, como a restauração de ambientes ou ecossistemas degradados e/ou o suporte à regulação do clima. A diversidade de aporte de matéria seca e de nutrientes na serapilheira em diferentes tipologias florestais no domínio da Mata Atlântica, bem como suas abordagens funcionais, estão exemplificadas na Tabela 1. A grande variabilidade dos resultados expressa a resposta de ambientes, tipologias, idades, graus de perturbação e condições de manejo a que tais florestas foram submetidas.

**Tabela 1.** Produção e acúmulo de matéria seca e de nutrientes na serapilheira em diferentes tipologias florestais no domínio da Mata Atlântica.

| Tipologia vegetal<br>(Domínio Mata Atlântica, IBGE, 1992)   | Local   | Coord.                            | Clima<br>Koeppen | Solos                        | Tempo Aval.<br>anos | Prod. Serap. <sup>(1)</sup>                   |     | Acúm. Serap. <sup>(2)</sup><br>--t ha <sup>-1</sup> -- | Nutrientes Aportados |       |      |    |    | Fonte                |
|---|---|-----------------------------------|------------------|------------------------------|---------------------|---|-----|--|----------------------|-------|------|----|----|----------------------|
|   |   |                                   |                  |                              |                     | Total<br>t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> | FL  |  | N                    | P     | K    | Ca | Mg |                      |
| Floresta Ombrófila Densa  |   |                                   |                  |                              |                     |   |     |  |                      |       |      |    |    |                      |
| Formação secundária espontânea, em processo de sucessão ecológica há 50 anos  | Santa Maria de Jequitibá, ES                    | não info.                         | Cwb              | Cambissolo Háplico           | 2                   | 2,9   | 2,1 | -  | 40,1                 | 2,4   | 10,8 | -  | -  | Calvi et al. (2009)  |
| Formação secundária espontânea, floresta que foi submetida apenas à extração seletiva de madeira para utilização da própria fazenda | "   | "                                 | "                | "                            | "                   | 2,9   | 2,0 | -  | 38,2                 | 2,4   | 7,4  | -  | -  | Calvi et al. (2009)  |
| Formação secundária espontânea, em processo de sucessão há 26-27 anos   | Res. Biológica Poço das Antas, Silva Jardim, RJ | 22°30'22" 33'S;<br>42°15'42" 19'W | As               | Latossolos Vermelho-Amarelos | 1                   | 12,2  | 7,7 | -  | 148,0                | 13-16 | 4-5  | -  | -  | Araújo et al. (2006) |
| Reflorestamento com espécies nativas - adensado (espaçamento 0,5 m x 0,5 m) (4-5 anos de idade)                                     | "   | "                                 | "                | "                            | "                   | 9,7   | 7,4 | -  | 99,5                 | 13-16 | 4-5  | -  | -  | Araújo et al. (2006) |

Tabela 1. Continuação.

| Tipologia vegetal<br>(Domínio Mata Atlântica, IBGE, 1992)   | Local  | Coord.                    | Clima<br>Koeppen | Solos                      | Tempo Aval.<br>anos | Prod. Serap. <sup>(1)</sup>                   |     | Acúm. Serap. <sup>(2)</sup><br>--t ha <sup>-1</sup> -- | Nutrientes Aportados |       |      |      |      | Fonte                          |
|---|--|---------------------------|------------------|----------------------------|---------------------|---|-----|--|----------------------|-------|------|------|------|--------------------------------|
|   |  |                           |                  |                            |                     | Total<br>t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> | FL  |  | N                    | P     | K    | Ca   | Mg   |                                |
| Reflorestamento com espécies nativas - semi-adensado (espaçamento 1 m x 1 m) (4-5 anos de idade)    | "  | "                         | "                | "                          | "                   | 10,4  | 7,2 | -  | 117,0                | 13-16 | 4-5  | -    | -    | Araújo et al. (2006)           |
| Reflorestamento com espécies nativas - tradicional (espaçamento 2 m x 2 m) (4-5 anos de idade)      | "  | "                         | "                | "                          | "                   | 10,0  | 7,6 | -  | 112,0                | 13-16 | 4-5  | -    | -    | Araújo et al. (2006)           |
| Formação secundária espontânea, idade não discriminada  | Res. Biológica de Paranapiacaba, Santo André, SP | 23°46'S;<br>48°18'W       | Cfb              | Latossolo Vermelho-Amarelo | 1                   | 7,0   | 5,1 | -  | 158,7                | 7,0   | 11,7 | 89,9 | 11,0 | Domingos et al. (1997)         |
| Formação secundária espontânea, em processo de sucessão há 9-10 anos                                | Res. Natural Salto Morato, Guaraqueçaba, PR      | 25°10'45"S;<br>48°17'48"W | -                | Neossolos e Cambissolos    | 2                   | 6,4   | -   | -  | 92,7                 | 5,71  | 24,0 | 79,2 | 14,8 | Bergamini Scheer et al. (2011) |
| Formação secundária espontânea, em processo de sucessão há 9-10 anos, com maior número de clareiras | "  | "                         | "                | "                          | "                   | 3,0   | -   | -  | 42,0                 | 2,6   | 12,3 | 39,9 | 6,8  | Bergamini Scheer et al. (2011) |

**Tabela 1.** Continuação.

| Tipologia vegetal<br>(Domínio Mata Atlântica, IBGE, 1992)  | Local                                       | Coord.                    | Clima<br>Koeppen | Solos       | Tempo Aval.<br>anos | Prod. Serap. <sup>(1)</sup>          |     | Acúm. Serap. <sup>(2)</sup><br>--t ha <sup>-1</sup> -- | Nutrientes Aportados                              |   |   |    |    | Fonte                  |
|--|---|---------------------------|------------------|-------------|---------------------|--------------------------------------|-----|--|---|---|---|----|----|------------------------|
|  |   |                           |                  |             |                     | Total                                | FL  |  | N   | P | K | Ca | Mg |                        |
|  |   |                           |                  |             |                     | t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> |     |  | ----- kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ----- |   |   |    |    |                        |
| Formação secundária espontânea em fase inicial de sucessão ecológica (18 anos)                                       | Floresta Estadual do Palmito, Paranaguá, PR | 25°35'S;<br>48°32'W       | Af               | Espodossolo | 2                   | 5,4                                  | -   | -  | -   | - | - | -  | -  | Pinto e Marques (2003) |
| Formação secundária espontânea em fase intermediária de sucessão ecológica (31 anos)                                 | "   | "                         | "                | "           | "                   | 7,6                                  | -   | -  | -   | - | - | -  | -  | Pinto e Marques (2003) |
| Formação secundária espontânea em fase avançada de sucessão ecológica (56 anos)                                      | "   | "                         | "                | "           | "                   | 6,4                                  | -   | -  | -   | - | - | -  | -  | Pinto e Marques (2003) |
| Formação secundária espontânea, fase inicial de sucessão (20 anos), com 1.890 indiv. arbóreos ha <sup>-1</sup>       | Reserva Natural Rio Cachoeira, Antonina, PR | 25°18'51"S;<br>48°41'45"W | Cfa              | Cambissolo  | 3                   | 5,2                                  | 4,0 | -  | -   | - | - | -  | -  | Dickow et al. (2012)   |
| Formação secundária espontânea, fase intermediária de sucessão (80 anos), com 3.006 indiv. arbóreos ha <sup>-1</sup> | "   | "                         | "                | Argissolo   | "                   | 5,4                                  | 4,0 | -  | -   | - | - | -  | -  | Dickow et al. (2012)   |

Tabela 1. Continuação.

| Tipologia vegetal<br>(Domínio Mata Atlântica, IBGE, 1992)  | Local                   | Coord.                    | Clima<br>Koeppen | Solos   | Tempo Aval.<br>anos | Prod. Serap. <sup>(1)</sup>                   |     | Acúm. Serap. <sup>(2)</sup><br>--t ha <sup>-1</sup> -- | Nutrientes Aportados |      |      |       |      | Fonte               |                                |
|--|-------------------------|---------------------------|------------------|---|---------------------|---|-----|--|----------------------|------|------|-------|------|---------------------|--------------------------------|
|  |                         |                           |                  |   |                     | Total<br>t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> | FL  |  | N                    | P    | K    | Ca    | Mg   |                     |                                |
| Formação secundária espontânea, fase avançada de sucessão (120 anos), com 1.600 indiv. arbóreos ha <sup>-1</sup> | "                       | "                         | "                | Cambissolo  | "                   | 5,3   | 3,6 | -  | -                    | -    | -    | -     | -    | -                   | Dickow et al. (2012)           |
| Floresta Ombrófila Mista Montana   |                         |                           |                  |   |                     |   |     |  |                      |      |      |       |      |                     |                                |
| Formação primária bastante alterada (ou formação secundária desenvolvida)  | São João do Triunfo, PR | 25°34'18"S;<br>50°05'56"W | Cfb              | Cambissolos,<br>Neossolos,<br>Latosolos e<br>Argissolos | 2                   | 7,7   | 4,4 | -  | -                    | -    | -    | -     | -    | -                   | Figueiredo Filho et al. (2003) |
| Floresta Estacional Semidecidual   |                         |                           |                  |   |                     |   |     |  |                      |      |      |       |      |                     |                                |
| Reflorestamento com espécies arbóreas, em grande parte nativa (6 anos de idade)                                  | Limeira/SP              | 22°33'51"S;<br>47°24'17"W | Cwa              | Argissolos<br>Vermelho-<br>Amarelos<br>Distróficos      | 1                   | 6,6   | 5,2 | -  | -                    | -    | -    | -     | -    | -                   | Moreira e Silva (2004)         |
| Zona ripária, com 7.676 árvores ha <sup>-1</sup> com DAP maior que 5 cm  | Botucatu, SP            | 22°48'51"S;<br>48°24'15"W | -                | Neossolo<br>Litólico<br>(próx.<br>Neossolo<br>Flúvico)  | 1                   | 10,6  | -   | 6,2  | 217,8                | 11,8 | 52,8 | 199,8 | 38,7 | Vital et al. (2004) |                                |

Tabela 1. Continuação.

| Tipologia vegetal<br>(Domínio Mata Atlântica, IBGE, 1992)                     | Local           | Coord.  | Clima<br>Koeppen | Solos                          | Tempo Aval.<br>anos | Prod. Serap. <sup>(1)</sup>          |     | Acúm. Serap. <sup>(2)</sup><br>--t ha <sup>-1</sup> -- | Nutrientes Aportados                            |      |      |       |    | Fonte               |
|---|-----------------|---|------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----|--|---|------|------|-------|----|---------------------|
|   |                 |   |                  |                                |                     | Total                                | FL  |  | N   | P    | K    | Ca    | Mg |                     |
|   |                 |   |                  |                                |                     | t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> |     |  | ---- kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ---- |      |      |       |    |                     |
| Floresta Estacional Decidual  |                 |   |                  |                                |                     |                                      |     |  |   |      |      |       |    |                     |
| Floresta densa, com 925 árvores ha <sup>-1</sup> com CAP ≥ 30 cm              | Santa Maria, RS | 53°45'W;<br>29°40'S                                   | Cfa              | Neossolos Litólicos Eutróficos | 1                   | 7,8                                  | 5,1 | 6,7  | 206,7   | 11,2 | 37,8 | 269,2 | 30 | Cunha et al. (1993) |
| Formação secundária espontânea com aproximadamente 70 anos de idade           | Itaara, RS      | 29°31'3.45"S;<br>53°45'16.43"W                        | Cfa              | Neossolo Litólico Eutrófico    | 2                   | 7,4                                  | 5,3 | -  | -   | -    | -    | -     | -  | Vogel et al. (2007) |
| Formação secundária espontânea entre 30 e 35 anos, em processo de recuperação | Santa Maria, RS | 29°43'57"e<br>29°55'30"S;<br>53°42'13"e<br>53°48'02"W | Cfa              | Neossolos Litólicos Eutróficos | 1                   | 9,2                                  | 6,2 | -  | -   | -    | -    | -     | -  | Konig et al. (2002) |

Tabela 1. Continuação.

| Tipologia vegetal<br><br>(Domínio Mata Atlântica, IBGE, 1992)  | Local                                    | Coord.              | Clima<br><br>Koeppen | Solos        | Tempo Aval.<br><br>anos | Prod. Serap. <sup>(1)</sup>          |     | Acúm. Serap. <sup>(2)</sup><br><br>--t ha <sup>-1</sup> -- | Nutrientes Aportados                              |      |      |    |    | Fonte               |
|--|--|---------------------|----------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------------|-----|--|---|------|------|----|----|---------------------|
|  |  |                     |                      |              |                         | Total                                | FL  |  | N   | P    | K    | Ca | Mg |                     |
|  |  |                     |                      |              |                         | t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> |     |  | ----- kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ----- |      |      |    |    |                     |
| Floresta de Restinga Periodicamente Inundadas  |  |                     |                      |              |                         |                                      |     |  |   |      |      |    |    |                     |
| Formação florestal 1 (nos meses mais secos, é observada a presença de poças d'água esparsas)                                   | Restinga de Marabaia, Rio de Janeiro, RJ | 23°03'S;<br>43°36'W | Aw                   | Organossolos | 1                       | 11,3                                 | 7,6 | -  | 128,5   | 11,7 | 28,6 | -  | -  | Paula et al. (2009) |
| Formação florestal 2 (nos meses mais secos com lâmina d'água de aproximadamente 4 cm em toda a extensão da superfície do solo) | "  | "                   | "                    | "            | "                       | 11,1                                 | 7,9 | -  | 129,7   | 10,9 | 32,7 | -  | -  | Paula et al. (2009) |
| Formação florestal 3 (saturado durante todo o ano)   | "  | "                   | "                    | "            | "                       | 10,8                                 | 6,9 | -  | 130,8   | 11,4 | 43,6 | -  | -  | Paula et al. (2009) |

Tabela 1. Continuação.

| Tipologia vegetal<br>(Domínio Mata Atlântica, IBGE, 1992)        | Local                     | Coord.                     | Clima<br>Koeppen | Solos             | Tempo Aval.<br>anos | Prod. Serap. <sup>(1)</sup>          |     | Acúm. Serap. <sup>(2)</sup><br>--t ha <sup>-1</sup> -- | Nutrientes Aportados |      |      |      |      | Fonte                        |
|--|---------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------------|-----|--|----------------------|------|------|------|------|------------------------------|
|  |                           |                            |                  |                   |                     | Total                                | FL  |  | N                    | P    | K    | Ca   | Mg   |                              |
|  |                           |                            |                  |                   |                     | t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> |     | ---- kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ----        |                      |      |      |      |      |                              |
| Povoamentos Homogêneos   |                           |                            |                  |                   |                     |                                      |     |  |                      |      |      |      |      |                              |
| Eucalyptus grandis, espaçamento 3 m x 2 m, 6 anos de idade       | Campos dos Goytacazes, RJ | 21° 44'47"S;<br>41°18'24"W | Am               | Argissolo Amarelo | 1                   | 4,8                                  | 3,1 | 4,8  | 32,2                 | 1,3  | 14,4 | 41,6 | 8,3  | Zaia e Gama-Rodrigues (2004) |
| E. camaldulensis, espaçamento 3 m x 2 m, 6 anos de idade         | "                         | "                          | "                | Latossolo Amarelo | "                   | 4,5                                  | 3,0 | 7,7  | 24,0                 | 0,9  | 10,4 | 31,8 | 7,0  | Zaia e Gama-Rodrigues (2004) |
| E. pellita, espaçamento 3 m x 2 m, 6 anos de idade               | "                         | "                          | "                | Latossolo Amarelo | "                   | 5,0                                  | 3,3 | 9,7  | 26,2                 | 0,9  | 11,0 | 36,9 | 8,2  | Zaia e Gama-Rodrigues (2004) |
| Mimosa caesalpinifolia, espaçamento 2 m x 2 m, 4-5 anos de idade | Seropédica, RJ            | 22°49'S;<br>43°38'W        | Aw               | Planossolo        | 1                   | 10,2                                 | 6,5 | 8,3  | 211,0                | 11,4 | 28,0 | 80,0 | 24,0 | Andrade et al. (2000)        |
| Acacia mangium, espaçamento 2 m x 2 m, 4-5 anos de idade         | "                         | "                          | "                | "                 | "                   | 9,1                                  | 6,4 | 13,6   | 147,0                | 4,4  | 21,0 | 60,0 | 11,0 | Andrade et al. (2000)        |
| A. holosericea, espaçamento 2 m x 2 m, 4-5 anos de idade         | "                         | "                          | "                | "                 | "                   | 9,1                                  | 5,8 | 8,7  | 149,0                | 6,3  | 20,0 | 83,0 | 17,0 | Andrade et al. (2000)        |

(1) "Prod. Serap.": produção (aporte) de serapilheira, que corresponde ao material vegetal total ou foliar (FL) em diferentes estágios de senescência que cai das árvores;

(2) "Acúm. Serap.": acúmulo de serapilheira (estoque), que corresponde à serapilheira depositada sobre o solo.

#### 4.1. Sustentabilidade da produção florestal para fins comerciais

A definição de técnicas de cultivo que melhorem a utilização dos nutrientes nos sítios sob florestas manejadas podem ser também subsidiada por estudos envolvendo a dinâmica da serapilheira. Garay et al. (2003), ao compararem a reconstituição das camadas orgânicas do solo sob plantios de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis* com sete anos de idade, no norte do Estado do Espírito Santo, observaram maior estoque de folheto em área sob *A. mangium* do que em *E. grandis* (em média 10 t ha<sup>-1</sup> contra 5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente), tanto na camada *L*, de folhas inteiras, como na camada *F*, de folhas fragmentadas. O material foliar em acácia apresentou, em função de sua associação com bactérias diazotróficas fixadoras de nitrogênio atmosférico, quase metade da relação C/N que o apresentado no sítio sob eucalipto. Foram observadas também, de modo geral, maiores quantidades de nutrientes no solo sob *A. mangium* em relação ao solo sob *E. grandis*. Estes resultados evidenciam que os aportes orgânicos sob *A. mangium* em relação a *E. grandis* foram responsáveis pela maior incorporação de matéria orgânica e nutrientes ao solo, desejáveis para a manutenção da qualidade do sítio e da produção florestal.

#### 4.2. Restauração de ambientes e ecossistemas degradados

A restauração ecológica de um ambiente degradado tem como objetivo o retorno do ecossistema a uma situação mais próxima possível de seu estado original ou anterior à degradação (ENGEL; PARROTA, 2008). Para tanto, é desejável que as técnicas de restauração propiciem, ao longo do tempo, rápido restabelecimento da ciclagem biogeoquímica de nutrientes no sistema solo-planta, e que estratégias de manejo sejam voltadas a este propósito. Além disso, uma serapilheira mais diversificada pode apresentar uma relação direta com a uniformidade na produção de serapilheira ao longo do ano, evidenciando a importância do equilíbrio ecológico na funcionalidade dos sistemas florestais (vide capítulo 18). Dickow et al. (2012) estudaram a produção de serapilheira em áreas de floresta secundária, em diferentes fases de sucessão (inicial, média e avançada), em uma Floresta Ombrófila Densa Submontana. Verificaram que, embora a produção de serapilheira tenha sido similar nos três estágios sucessionais (Tabela 1), na fase inicial essa produção ficou restrita à contribuição de poucas espécies florestais, diferentemente dos demais estágios intermediário

e avançado, com maior contribuição para o aporte de serapilheira de um maior número de espécies. O trabalho evidenciou a importância das espécies pioneiras na fase inicial da sucessão ecológica, eficientes ao preparar o ambiente para as espécies subsequentes, por meio de uma maior produção e renovação da fitomassa.

Outra técnica de restauração fundamentada na multifuncionalidade da serapilheira em um sistema florestal é a transposição de solo mais serapilheira, simulando o horizonte superficial do solo de um ambiente não ou pouco alterado no local a ser restaurado. O componente solo mais serapilheira constitui o banco de sementes de um sistema florestal (SOUZA et al., 2006), estocando sementes não germinadas, mas potencialmente capazes de substituir plantas adultas anuais ou perenes que desaparecem por causas naturais ou antrópicas (BAKER, 1989; RODRIGUES et al., 2010). Vale salientar que a introdução da serapilheira em um ambiente em processo de restauração permite, não obstante, a entrada de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição no sistema a ser restaurado, maior retenção de água no sistema, concomitante à diminuição das perdas de água e de nutrientes do solo pelo controle da temperatura e do escoamento superficial da água no solo. A lenta decomposição da serapilheira introduzida poderá, adicionalmente, atender à demanda nutricional das espécies arbóreas plantadas ou germinadas *in situ*, em suas fases iniciais de desenvolvimento.

#### 4.3. Suporte da ciclagem de nutrientes à regulação do clima

Os serviços ambientais derivados da ciclagem de nutrientes são, principalmente, relacionados à manutenção da qualidade dos solos (DORAN; PARKIN, 1994). Por outro lado, estudos com uma abordagem integradora entre diversidade biológica, estabilidade funcional e a capacidade de estoque de carbono são essenciais para inferir sobre a potencialidade de diferentes sistemas florestais na mitigação dos efeitos associados às mudanças climáticas (JANTZ et al., 2014).

A relação entre produção de serapilheira e a emissão de gases de efeito estufa (GEE) pelo solo é abordada em alguns estudos recentes em diferentes tipologias florestais (SAYER et al., 2011; SOUSA NETO et al., 2011). SOUSA NETO et al., (2011) investigaram a relação entre a emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) e diversas variáveis ambientais, dentre elas a produção e acúmulo de serapilheira, em uma Floresta Ombrófila Densa. Eles sugerem

que o aumento na temperatura do ar e do solo pode resultar no aumento das taxas de decomposição e fluxos de nitrogênio inorgânico, com conseqüente aumento das emissões de  $N_2O$  e  $CO_2$ , e do consumo de  $CH_4$  pelo solo. Sayer et al. (2011), ao avaliarem a relação entre serapilheira e emissão de GEE em uma floresta tropical do Panamá, verificaram que o efluxo de  $CO_2$  do solo pode ser significativamente aumentado pela adição de serapilheira sobre o solo, em decorrência do efeito *priming* positivo. Conforme Kuzyakov et al. (2000) e Kuzyakov (2010), este processo pode ser desencadeado pela introdução de material orgânico de fácil decomposição ao solo, com conseqüente aumento da atividade de microrganismos decompositores e da taxa de mineralização da matéria orgânica nativa do solo. Os trabalhos evidenciam a necessidade de se considerar a interrelação entre os diferentes compartimentos do sistema nas previsões do potencial de sequestro de carbono das florestas tropicais.

## 5. Considerações finais

De modo geral, estudos voltados à compreensão da dinâmica da serapilheira em sistemas florestais apresentam bons resultados como indicadores de restabelecimento e/ou manutenção da ciclagem de nutrientes. A padronização dos métodos de coleta, incluindo-se o cronograma e os procedimentos de análise, possibilita melhor uso das ferramentas apresentadas, assegurando assim a possibilidade de comparação dos resultados obtidos em diferentes ambientes estudados. Adicionalmente, para a compreensão do funcionamento dos processos ambientais envolvendo a ciclagem de nutrientes, é desejável que haja também uma avaliação temporal dos estoques e das transferências existentes entre compartimentos (solo, planta, animal, água, ar), ampliando desta forma a possibilidade de compreender o funcionamento do ecossistema frente a possíveis interferências naturais e antrópicas.

## Referências

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 1993. 240 p.

ANDRADE, A. G.; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 777-785, 2000.

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 715-721, 2003.

ARAÚJO, R. S.; PIÑA RODRIGUES, F. C. M.; MACHADO, M. R.; PEREIRA, M. G.; FRAZÃO, F. J. Aporte de serrapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 15-21, 2006.

BALIEIRO, F. D. C.; DIAS, L. E.; FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F.; DE FARIA, S. M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2004.

BAKER, H. G. Some aspects of the natural history of seed banks. In: LECK, M. A.; PARKER, V. T.; SIMPSON, R. L. (Ed.). **Ecology of soil seed banks**. London: Academic, 1989. p. 5-19.

BARBOSA, R. I.; SILVA, L. F. S. G.; CAVALCANTE, C. O. **Protocolo necromassa: estoque e produção de liteira grossa**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, Programa de Pesquisa em Biodiversidade, 2009. 24 p. Disponível em: <[http://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Protocolo%20Necromassa\\_PPBio\\_Floresta\\_2009.12.21.pdf](http://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Protocolo%20Necromassa_PPBio_Floresta_2009.12.21.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2014.

BERGAMINI SCHEER, M.; GATTI, G.; WISNIEWSKI, C. Nutrient fluxes in litterfall of a secondary successional alluvial rain forest in Southern Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 59, n. 4, 2011.

BERG, B.; JOHANSSON, M. B.; MEENTEMEYER, V. Litter decomposition in a transect of Norway spruce forests: substrate quality and climate control. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 30, p. 1136-47, 2000.

BERG, B.; MEENTEMEYER, V. Litter quality in a north European transect versus carbon storage potential. **Plant and Soil**, The Hague, v. 242, p. 83-92, 2002.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Roma: FAO, 1997, 55 p. (FAO Forestry Paper, 134).



- CALVI, G. P.; PEREIRA, M. G.; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de Floresta Atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 19, n. 2, p. 131-138, abr./jun., 2009.
- CARDOSO, D. J.; VIBRANS, A. C.; LINGNER, D. V. inventário da necromassa florestal caída no chão nos remanescentes florestais em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. **Inventário florístico florestal de Santa Catarina**. Blumenau: EDIFURB, 2012. p. 217-227. v. 1. Título do volume 1: Diversidade e conservação dos remanescentes florestais.
- CLARK, D. A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D. W.; CHAMBERS, J. Q.; THOMLINSON, J. R.; NI, J.; HOLLAND, E. A. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. **Ecological Applications**, Tempe, v. 11, n. 2, p. 371-384, 2001.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 197-225.
- CUNHA, G. C.; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 3, n. 1, 1993.
- DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.
- DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R. P.; BENGHI, C.; HOFER, H. Produção de serapilheira em diferentes fases sucessionais de uma floresta subtropical secundária, em Antonina, PR. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 75-86, 2012.
- DOMINGOS, M.; MORAES, R. M.; VUONO, Y. S.; ANSELMO, C. E. Produção de serapilheira e retorno de nutrientes em um trecho de Mata Atlântica secundária, na Reserva Biológica de Paranapiacaba, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 91-96, 1997.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. F.; BEZDICEK, D. F. S. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.
- ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (Org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2008. p. 3-26.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 1, 2003.
- FINOTTI, R.; FREITAS, S. M.; CERQUEIRA, R.; VIEIRA, M. V. A Method to determine the minimum number of litter traps in litterfall studies. **Biotropica**, Washington, DC, v. 35, n. 3, p. 419-421, 2003.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. Balanço de carbono e nutrientes em plantio puro e misto de espécies florestais nativas no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, 2008.
- GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 705-712, 2003.
- GONZÁLEZ, G.; SEASTEDT, T. R. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. **Ecology**, Tempe, v. 82, p. 955-964, 2001.
- HARMON, M. E.; FRANKLIN, J. F.; SWANSON, F. J.; SOLLINS, P.; GREGORY, S. V.; LATTIN, J. D.; ANDERSON, N. H.; CLINE, S. P.; AUMEN, N. G.; SEDELL, J. R.; LIENKAEMPER, G. W.; CROMACK, K.; CUMMINS, K. W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v. 15, p. 133-302, 1986.

HASSAN, R. M.; SCHOLES, R.; ASH, N. (Ed.) MA conceptual framework. In: MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the Condition and Trends Working Group.** Washington, D. C.: Island Press, 2005. v. 1. Disponível em: <<http://www.maweb.org/documents/document.765.aspx.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2014.

HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M.; SWIFT, M. J. Plant litter quality and decomposition: an historical review. In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. (Ed.). **Driven by nature: plant litter quality and decomposition.** Wallingford: CAB International, 1997. p. 3-30.

JANTZ, P.; GOETZ, S.; LAPORTE, N. Carbon stock corridors to mitigate climate change and promote biodiversity in the tropics. **Nature Climate Change**, New York, v. 4, p. 138-142, 2014.

KÖNIG, F. G.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; SELING, I. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decidual no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 429-435, 2002.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 1485-1498, 2000.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, p. 1363-1371, 2010.

LAVELLE, P.; DUGDALE, R.; SCHOLES, R.; BERHE, A. A.; CARPENTER, C.; CODISPOTI L.; IZAC, A.; LEMOALLE, J.; LUIZAO, F.; SCHOLES, M.; TREGUER, P.; WARD, B. Nutrient cycling. In: HASSAN, R. M.; SCHOLES, R.; ASH, N. (Ed.) **Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the Condition and Trends Working Group.** Washington, D. C.: Island Press, 2005. v. 1. Disponível em: <<http://www.maweb.org/documents/document.281.aspx.pdf>>. Acesso em: 29 mar.2014.

MACHADO, M. R.; RODRIGUES, F. C. M. P.; PEREIRA, M. G. Produção de serapilheira como bioindicador de recuperação em plantio adensado de revegetação. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, p. 143-151, 2008.

MASON, C. F. **Decomposição.** São Paulo: EPU/EDUSP, 1980. 63 p. (Temas de biologia, 18).

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. F. Reciclaje de nutrientes. In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. H. (Ed.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales.** Cartago: Ediciones LUR, 2002. p. 167-191.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 49-59, 2004.

NEGI, J. D. S.; SHARMA, S. C. Mineral nutrition and resource conservation in Eucalyptus plantation and other forest covers in India. In: ATTWILL, P. M.; ADAMS, M. A. (Ed.). **Nutrition of eucalyptus.** Austrália: CSIRO, 1996. p. 399-416.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1985. 434 p.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Tempe, v. 44, n. 2, p. 322-331, 1963.

PAULA, R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na Ilha da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 19, n. 2, p. 139-148, abr./jun., 2009.

PINTO, C. B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 257-264, 2003.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L.; BENEDETI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000. p. 287-308.

POGGIANI, F.; STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. **Série técnica IPEF**, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 33-44, 1998.

RAMEZOV, N. P. The method of studying the biological cycle of elements in forest. **Pochvovedenic**, v. 1, p. 71-79. 1959.



REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de Eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo**: Eucalipto. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.

RODRIGUES, B. D.; MARTINS, S. V.; HÉLIO GARCIA LEITE, H. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em áreas degradadas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 65-73, 2010.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, G. H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 01-18, 2012.

SAYER, E. J.; HEARD, M. S.; GRANT, H. K.; MARTHEWS, T. R.; TANNER, E. V. Soil carbon release enhanced by increased tropical forest litterfall. **Nature Climate Change**, New York, v. 1, n. 6, p. 304-307, 2011.

SOUSA NETO, E.; CARMO, J.B.; KELLER, M.; MARTINS, S. C.; ALVES, L. F.; VIEIRA, S. A.; PICCOLO, M. C.; CAMARGO, P.; COUTO, H. T. Z.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, methane and carbon dioxide in a gradient of elevation in the coastal Brazilian Atlantic Forest. **Biogeosciences**, Katlenburg-Lindau, v. 8, p. 733-742, 2011.

SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. Avaliação do banco de sementes contido na serapilheira de um fragmento florestal visando recuperação de áreas degradadas. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 56-67, 2006.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkeley : University of California Press, 1979. v. 5. 372 p.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, n. 143-147, 1972.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD JUNIOR, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, n. 1, p. 137-167, 1986.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P.; VUADEN, E. Avaliação da devolução de serapilheira em uma floresta estacional decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 17, n. 3, p. 187-196, 2007.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen in soil. **Biological Review**, v. 67, p. 321-358, 1992.

WOLDENDORP, G.; KEENAN, R. J.; BARRY, S.; SPENCER, R. D. Analysis of sampling methods for coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 198, p. 133-148, 2004.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de Eucalipto na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, 2004.