

CICLAGEM DE NUTRIENTES EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS

NUTRIENT CYCLING IN FOREST ECOSYSTEMS

Gerson Luiz SELLE

Engenheiro Florestal, Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. hs@ccr.ufsm.br

RESUMO: O objetivo principal do presente estudo é demonstrar a importância da serapilheira no contexto da floresta, haja visto que ela é responsável pela principal fonte de nutrientes para as plantas, e dependendo, do ecossistema em questão, ocorre uma maior ou menor disponibilização desses. Nos três ecossistemas aqui analisados, sendo dois nativos e um artificial, entre todos os compartimentos da planta, o que forneceu a maior quantidade de biomassa para a serapilheira foi o folheto, sendo essa deposição ocorrida em maior quantidade nas estações mais secas e de temperaturas mais elevadas. Já a decomposição ocorreu mais rapidamente em épocas onde ocorreram as maiores precipitações. O elemento químico que apresentou a maior transferência através da serapilheira, foi o nitrogênio. No estudo, do ecossistema artificial de *Eucalyptus*, a produção de biomassa, entre todos os compartimentos estudados, foi maior no tronco (casca + lenho).

PALAVRAS-CHAVE: Ecossistemas florestais. Ciclagem de nutrientes. Serapilheira.

INTRODUÇÃO

As florestas, em grande parte, estão estabelecidas em solos pobres em nutrientes minerais, o que torna sua manutenção dependente dos ciclos geoquímico, bioquímico e biogeoquímico. Desse modo, os nutrientes no processo de ciclagem passam do meio biótico para o abiótico e vice-versa, sendo esse processo denominado de equilíbrio dinâmico. Com a remoção da floresta esse ciclo é quebrado, alterando a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo. Com isso ocorre uma diminuição da atividade da biomassa microbiana, principal responsável pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo, e que exerce influência tanto na transformação da matéria orgânica na estocagem do carbono e minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes. Em solos tropicais e subtropicais, a matéria orgânica apresenta uma estreita relação com as demais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Por isso o manejo sustentável da matéria orgânica do solo é fundamental à manutenção da capacidade produtiva do solo em longo prazo (SWITZER; NELSON, 1972).

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, plantados ou naturais, tem sido amplamente estudada com o intuito de se obter maior conhecimento da dinâmica dos nutrientes nestes ambientes, não só para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas, mas também buscando informações para o estabelecimento de práticas de manejo florestal para recuperação de áreas degradadas e manutenção da produtividade de

sítios degradados em recuperação (SOUZA; DAVIDE, 2001).

A matéria orgânica

A matéria orgânica do solo é resultante, em grande parte, da decomposição de resíduos de origem animal e, principalmente vegetal, não tendo, portanto, relação com o material de origem do solo. Esses resíduos sofrem inicialmente decomposição parcial pela mesofauna e, posteriormente, pela microbiota decompositora. Parte do carbono existente nos resíduos é liberado para a atmosfera como CO₂ e o restante passa a fazer parte da matéria orgânica como um componente do solo (SANTOS; CAMARGO, 1999).

O horizonte orgânico é definido pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA, 1988) como sendo aquele que possui, pelo menos, 12% ou mais de carbono (base de peso), se a fração mineral possuir 60% ou mais de argila (após eliminação da fração orgânica). Se, por outro lado, a fração mineral não possuir partículas do tamanho da fração argila, apenas um teor de 8% de carbono já é suficiente para que o material seja considerado orgânico. Para valores intermediários entre 0 e 60% de argila, a quantidade de carbono necessária para que o material seja considerado orgânico deve satisfazer a seguinte fórmula: $C \geq 8 + (0,067 \times \text{argila})$.

No solo, o termo material orgânico se refere a todo tipo de material de origem orgânica, reconhecível ou não. O termo matéria orgânica ou húmus, refere-se às substâncias de natureza orgânica em avançado estado de alteração, não sendo possível reconhecer a sua origem. Segundo Tan

(1994), a matéria orgânica pode ainda ser dividida em compostos humificados e compostos não humificados. Os compostos não humificados são os carboidratos, aminoácidos, proteínas, lipídios e lignina, produzidos ou adicionados quando os tecidos animais e vegetais são decompostos no solo. Estes compostos participam na síntese de outras substâncias, chamadas de compostos humificados, através do processo de humificação. Os compostos humificados são, por exemplo, os ácidos húmicos, fúlvicos e húmicos.

Os tecidos vegetais incorporados ao solo se diferenciam bastante quanto à suscetibilidade à decomposição. Os microorganismos do solo decompõem estes materiais para obtenção de energia e nutrientes. Em geral, os teores de carbono no tecido vegetal são da ordem de 40 – 45%. A matéria orgânica não humificada é constituída pelos compostos produzidos durante a decomposição dos tecidos orgânicos incorporados ao solo. Apesar de existirem muitos compostos (tecidos orgânicos de origem vegetal e animal), apenas alguns tipos principais são detectados no solo em quantidades apreciáveis (carboidratos – 30 a 75%, celulose – 20 a 50%, hemicelulose – 10 a 30%, substâncias pécnicas – 1 a 10%, açúcares – 1 a 5%, lignina – 10 a 30%, compostos nitrogenados, fosfatados e sulfatados – 1 a 15%). Já as substâncias humificadas podem ser divididas em ácido flúvico, ácidos húmicos e húmicos. São substâncias amorfas, coloidais, de coloração variando do amarelo ao marrom escuro e com variada massa molar. Embora possam possuir alguns açúcares e proteínas em sua estrutura, estas substâncias são bastante estáveis e resistentes ao ataque dos microorganismos do solo. As substâncias húmicas são um componente essencial nos solos, apesar de geralmente estarem em quantidades muito menores que os colóides minerais (minerais de argila ou argilominerais) do solo. Estas substâncias podem afetar o desenvolvimento das plantas, direta ou indiretamente. Diretamente, podem melhorar a germinação, o crescimento, respiração e absorção das raízes, e, indiretamente, podem melhorar o ambiente, através da melhoria na estrutura do solo, capacidade de retenção de água e de troca de cátions (CTC). A velocidade com que estas substâncias são decompostas pelos microorganismos do solo depende de sua composição e das condições do ambiente. Materiais com altos teores de substâncias solúveis e simples são mais rápida e facilmente decompostas do que aquelas com grandes quantidades de lignina (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Para os mesmos autores, os componentes dos tecidos vegetais e animais, que são incorporados

ao solo, são decompostos por microorganismos heterotróficos, que decompõem macromoléculas em monômeros mais simples. Parte dos compostos simples e da energia liberada são utilizados pelos microorganismos para seu próprio metabolismo e para sua reprodução. A reprodução dos microorganismos provoca um aumento da biomassa do solo, imobilizando parte dos nutrientes que estavam contidos nos resíduos. Desta forma, este aumento de biomassa representa uma imobilização temporária dos nutrientes, do carbono e da energia que se encontravam originalmente nos tecidos vegetais e animais que compunham o resíduo, e que agora fazem parte dos tecidos micobianos. Os nutrientes imobilizados podem atingir grandes quantidades (até 100 kg de N, 70 kg de K, 80 kg de P e 11 kg de Ca por hectare), mas como a biomassa é reciclada mais rapidamente que os tecidos mortos, o fluxo de N e P pode atingir até 40 e 10 a 20 toneladas/ha/ano, respectivamente. Este retorno dos nutrientes, para sua forma solúvel disponível para o aproveitamento pelas plantas é chamado de mineralização.

O equilíbrio entre as taxas de mineralização e imobilização pode ser bastante complexo. Este equilíbrio depende bastante da quantidade de carbono no resíduo e da relação entre carbono e nitrogênio, fósforo e enxofre. Entre essas, a que é mais utilizada é a relação C/N. Quando o resíduo é adicionado ao solo, o aumento da população microbiana é estimulado pelo aporte de energia e nutrientes que o resíduo representa. Com este aumento da população microbiana, a demanda por oxigênio, nutrientes, energia e carbono aumenta. Os tecidos micobianos possuem em média uma concentração de 5% de N, o que resulta em uma relação C/N entre 20 e 30. Isto significa que os resíduos que possuem uma relação C/N entre 20 e 30, fornecerão o nitrogênio necessário para reprodução microbiana, não havendo imobilização nem mineralização significativa no início do processo. Se a relação C/N for maior, significa que os microorganismos buscarão outras fontes de N para satisfazer a demanda, consumindo formas de nitrogênio que estão disponíveis para a planta, o que resulta em uma imobilização líquida e pode causar uma deficiência temporária de nitrogênio para as plantas. Se, por outro lado, a relação C/N for menor que 20 a 30, haverá um excesso de N no resíduo, que será mineralizado pelos microorganismos, permanecendo disponíveis para as plantas já num primeiro momento (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Ciclagem de nutrientes

As relações quantitativas de ciclagem de nutrientes minerais nos ecossistemas, como parte integrante do ciclo biogeoquímico geral, são, na atualidade, objetos de numerosos estudos. Na América tropical e subtropical, as pesquisas a respeito são, na maioria, bastante recentes e abordam aspectos parciais de comportamento nutricional de ecossistemas florestais (SWITZER; NELSON, 1972).

No Brasil, destacam-se os trabalhos de Klinge e Rodrigues (1968a,b) e Luizão e Schubart (1987) estudando a ciclagem de nutrientes via serapilheira, na Amazônia. Em Floresta de Terra Firme, há um destaque para os estudos de Stark (1971) e Andrae e Krapfenbauer (1983), que realizaram inventários de nutrientes em Floresta Tropical Úmida e povoamento de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul, respectivamente e Meguro, Vinueza e Delitti (1979), Carpanezzi (1980) e Poggiani e Monteiro Júnior (1990), que estudaram a deposição de serapilheira e nutrientes em florestas semi-decíduas de São Paulo.

Pritchett (1986) admite dois ciclos de nutrientes no ecossistema florestal. O ciclo geoquímico ou aberto, que envolve a transferência de elementos dentro e/ou fora do ecossistema. As entradas no ecossistema são devidas aos nutrientes oriundos do ar, às precipitações, à intemperização das rochas, à fixação biológica do nitrogênio e também à fertilização artificial. As saídas, por outro lado, são representadas pelas perdas por erosão, lavagens, volatilização e pela remoção de nutrientes pela colheita florestal. A vegetação devolve nutrientes ao solo por meio da circulação de matéria, que é representada pela deposição de serapilheira, galhos grossos e troncos e pela morte de raízes, principalmente as finas (VOGT; GRIER; VOGT, 1986). Outro modo de transferência de nutrientes da vegetação para o solo é pelas águas de precipitação interna da floresta e de escoamento pelos troncos (ARCOVA; CICCIO, 1987).

A serapilheira

O conjunto serapilheira-solo não representa somente fonte de carbono e energia para os organismos do solo, mas também o habitat onde todas as ações do organismo ocorrem, garantindo a sua sobrevivência e reprodução. A serapilheira é a porção mais dinâmica desse conjunto e, possivelmente, a mais variável não só entre ecossistemas, mas também dentro de um mesmo ecossistema (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A serapilheira é a principal via de transferência de carbono, nitrogênio, fósforo e cálcio; o potássio é devolvido principalmente por meio da precipitação interna, e o magnésio, é variável entre diferentes florestas (COLE; RAPP, 1980).

Três métodos têm sido utilizados para estudar a decomposição da serapilheira no campo. O primeiro é aplicado em florestas decíduas típicas onde o período de queda total da serapilheira é restrito; a decomposição pode então ser facilmente estudada em intervalos regulares após a queda da serapilheira (REMEZOV, 1961). O segundo método engloba a compartimentalização de quantidades definidas de serapilheira, normalmente em saquinhos de tela de "nylon", que são deixados no campo por determinado período de tempo (ATTIWILL, 1968). O terceiro método é aplicado onde o peso das camadas da manta e a queda anual de serapilheira são conhecidas e uma "constante anual de decomposição" pode então ser calculada (OLSON, 1963).

De acordo com Cuevas e Medina (1986), a quantidade e qualidade de nutrientes fornecidos ao solo, pela deposição da serapilheira, é variável, sendo dependente, principalmente, das espécies que compõem a formação florestal e da disponibilidade de nutrientes no solo. Segundo estes autores, a vegetação que ocorre naturalmente em um local é adaptada aos suprimentos nutricionais existentes no solo, apresentando, dessa maneira, uma eficiência específica de uso, para cada nutriente. Conforme Vitousek (1982), a eficiência com que uma floresta utiliza nutrientes é definida como a quantidade de matéria orgânica perdida das plantas ou permanentemente estocada dentro das mesmas, por unidade de nutriente perdido ou permanentemente estocado. A serapilheira, por ser a principal via de transferência de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e cálcio, é utilizada para comparar a eficiência de utilização de nutrientes, em diferentes florestas. A fração folhas da serapilheira, por apresentar pequena variação em sua distribuição espacial, em seu conteúdo de nutrientes, e por ser a responsável pela maior parte da transferência anual de nutrientes ao solo, torna-se a fração mais adequada para comparação entre ecossistemas florestais, no tocante à eficiência de seus componentes vegetais na utilização de nutrientes. Os nutrientes menos disponíveis apresentam uma alta eficiência de uso pela vegetação, e vice-versa.

Segundo Fassbender e Grimm (1981), os aspectos mais importantes do ciclo biológico dos resíduos, do ponto de vista do modelo do ecossistema, são: quantidades de resíduos

produzidos no tempo por unidade de área, composição química dos resíduos e velocidade de decomposição e liberação de nutrientes.

Os ecossistemas florestais

Considerando que a serapilheira é a principal fonte de nutrientes para as florestas e como a disponibilização destes nutrientes está intimamente relacionada com o ecossistema considerado, são apresentados, a seguir alguns resultados de estudos realizados em diferentes ecossistemas.

É importante ressaltar também que na avaliação de estudos desse tipo existem alguns conceitos já estabelecidos. Sarruge e Haag (1974) observaram alguns padrões para as concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio em plantas: de 0,1 a 0,3% da matéria seca para o fósforo, de 0,2 a 11% para o potássio, de 0,02 a 5% para o cálcio, de 0,02 a 2,5% de magnésio e de 1 a 5% para o nitrogênio.

Outros valores a considerar são: a taxa de decomposição (K), o tempo médio de renovação da

quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo (1/K) e o tempo necessário para o desaparecimento de 50 e 95% da serapilheira ($T_{0,5}$ e $T_{0,05}$), que, segundo a metodologia de Shanks e Olson (1961), são de 1,71, 0,5, 0,41 e 1,75, respectivamente, nada informando sobre a que ecossistema e clima são praticados.

Estudo realizado por Vital *et al.* (2004), em Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária (mata ciliar no centro-sul/SP), constatou que a deposição de biomassa alcançou seu valor máximo em setembro, no fim do período seco, seguido de um valor bem próximo em agosto, respectivamente de 1.272 kg.ha⁻¹ e 1.236 kg.ha⁻¹ e a menor deposição em junho, demonstrando características sazonais. A queda de folhas em florestas tropicais é, de modo geral, contínua, porém apresenta um pico máximo na estação seca (GOLLEY, 1983; MEGURO; VINUEZA; DELITTI, 1979). A ausência de extremos climáticos (períodos prolongados de frio intenso e seca), aliada à diversidade florística nessa região, permitem que a floresta produza serapilheira durante todo o ano (Figura 1).

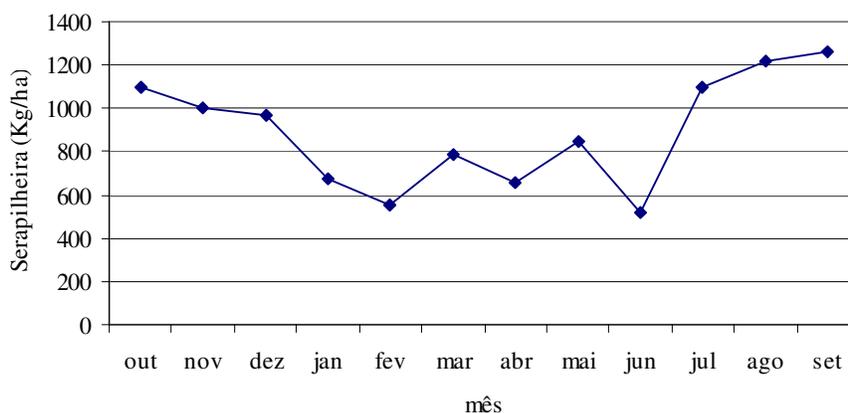


Figura 1. Produção média mensal de serapilheira em Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária (Fonte: VITAL *et al.*, 2004).

Também se observa que o potássio e o magnésio são os nutrientes que apresentaram maiores variações temporais em suas concentrações na serapilheira (Tabela 1). Já as variações mensais dos conteúdos de N, P e Ca são relativamente pequenas. Os meses com maior concentração de potássio na serapilheira foram aqueles em que a

precipitação pluviométrica é mais baixa, sendo as menores concentrações encontradas nos períodos de maior precipitação. É possível ter havido deposição de fuligem de queimadas, ricas em potássio, oriundas da extensa área de cultivo de cana-de-açúcar da região (VITAL *et al.*, 2004).

Tabela 1. Concentração de macronutrientes na serapilheira, em um ano, em Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária.

| Mês | N | P | K | Ca | Mg |
|------------------------------------|------|-----|------|------|-----|
| Serapilheira (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Outubro/2000 | 21,0 | 1,2 | 11,0 | 20,0 | 6,0 |
| Novembro/2000 | 23,0 | 1,3 | 4,0 | 21,0 | 2,4 |

| | | | | | |
|----------------|------|-----|-----|------|-----|
| Dezembro/2000 | 23,2 | 1,4 | 4,7 | 21,0 | 3,5 |
| Janeiro/2001 | 23,2 | 1,2 | 3,2 | 20,0 | 3,1 |
| Fevereiro/2001 | 21,7 | 1,4 | 7,2 | 21,2 | 3,8 |
| Março/2001 | 22,2 | 1,6 | 9,0 | 22,7 | 5,5 |
| Abril/2001 | 21,5 | 1,7 | 9,5 | 21,7 | 5,5 |
| Mai/2001 | 20,5 | 1,3 | 3,2 | 23,7 | 3,9 |
| Junho/2001 | 20,5 | 1,5 | 6,5 | 23,5 | 5,1 |
| Julho/2001 | 20,5 | 1,4 | 5,2 | 25,7 | 4,6 |
| Agosto/2001 | 24,0 | 1,2 | 5,0 | 28,0 | 4,9 |
| Setembro/2001 | 17,5 | 1,2 | 6,0 | 25,5 | 4,1 |
| Média | 21,6 | 1,4 | 6,2 | 22,8 | 4,4 |

Fonte: Vital et al. (2004).

O retorno total estimado de macronutrientes foi de 520,6 kg ha⁻¹. O nitrogênio é o elemento que apresenta a maior transferência dentro da vegetação (217,8 kg ha⁻¹), seguido do Ca (199,8 kg ha⁻¹) (Tabela 2). Segundo Vitousek (1984), o retorno do cálcio é alto na maioria das florestas tropicais estudadas. Os demais macronutrientes são

constituídos de 52,79 kg ha⁻¹ de potássio, 38,70 kg ha⁻¹ de magnésio e 11,76 kg ha⁻¹ de fósforo, o qual se apresenta como elemento limitante no ecossistema. O retorno desses nutrientes, através da serapilheira, segue a seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > P.

Tabela 2. Transferência de N, P, K, Ca e Mg pela serapilheira, em Floresta Estacional Semidecidual em zona riparia.

| Mês | N | P | K | Ca | Mg |
|------------------------------------|-------|------|------|-------|------|
| Serapilheira (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Outubro/2000 | 25,4 | 1,4 | 13,3 | 24,2 | 7,3 |
| Novembro/2000 | 22,3 | 1,3 | 3,9 | 20,4 | 2,3 |
| Dezembro/2000 | 20,1 | 1,2 | 4,1 | 18,2 | 3,1 |
| Janeiro/2001 | 10,2 | 0,5 | 1,5 | 9,1 | 1,4 |
| Fevereiro/2001 | 5,7 | 0,4 | 1,9 | 5,6 | 1,0 |
| Março/2001 | 14,2 | 1,0 | 5,7 | 14,5 | 3,5 |
| Abril/2001 | 9,4 | 0,7 | 4,2 | 9,6 | 2,4 |
| Mai/2001 | 14,9 | 0,9 | 2,4 | 17,4 | 2,9 |
| Junho/2001 | 5,2 | 0,4 | 1,6 | 5,9 | 1,3 |
| Julho/2001 | 25,1 | 1,7 | 6,5 | 31,9 | 5,8 |
| Agosto/2001 | 36,7 | 1,9 | 7,6 | 42,8 | 7,6 |
| Setembro/2001 | 28,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 |
| Total | 217,8 | 11,5 | 52,8 | 199,8 | 38,7 |

Fonte: Vital et al. (2004).

Para Vital et al. (2004), a transferência de nutrientes para solo (N, P, K, Ca e Mg) acompanha a tendência de deposição da serapilheira. O nitrogênio e o cálcio apresentam valores de transferência mais elevado no final da estação seca (mês de agosto), com uma tendência de diminuição

nos meses mais chuvosos. Para o fósforo e potássio, as maiores taxas de transferência ocorreram no mês de outubro, com a chegada das primeiras chuvas. À exceção do Ca, os demais nutrientes apresentaram queda brusca com a chegada das primeiras chuvas, no mês de setembro (Figura 2).

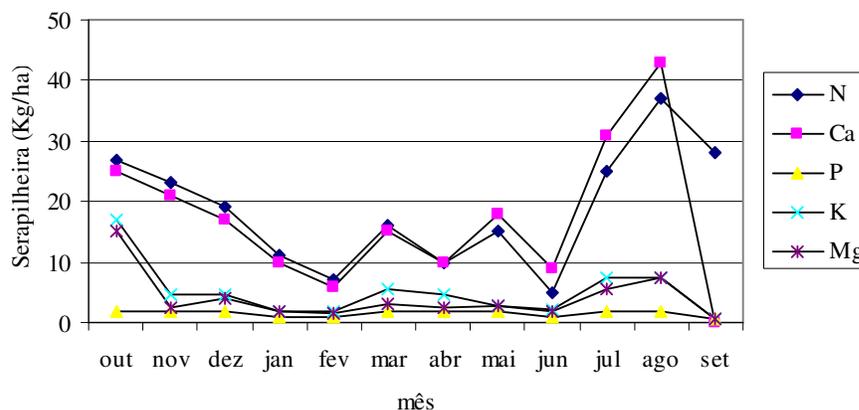


Figura 2. Transferência de N, P, K, Ca e Mg pela serapilheira em Floresta Estacional Semidecidual em zona riparia (Fonte: VITAL et al., 2004).

A média anual de serapilheira acumulada foi de $6.227,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e a taxa instantânea de decomposição da serapilheira (k), que indiretamente representa a velocidade com que os nutrientes, ligados a ela, tornam-se disponíveis, foi de 1,71. Esse valor é considerado alto, segundo o critério de Olson (1963). Já o tempo necessário para o desaparecimento de 50 e 95% da serapilheira foi, respectivamente, de 150 e 639 dias, confirmando uma taxa de decomposição muito rápida na área

estudada, o que indica um rápido reaproveitamento de nutrientes por parte da vegetação (VITAL et al., 2004).

Outro tipo de formação florestal é a Floresta Estacional Decidual (encosta da Serra Geral de Santa Maria/RS), estudada por Cunha et al. (1993), onde foi observado, durante um ano, o comportamento da queda de serapilheira em função da precipitação e da temperatura média mensal (Figuras 3 e 4).

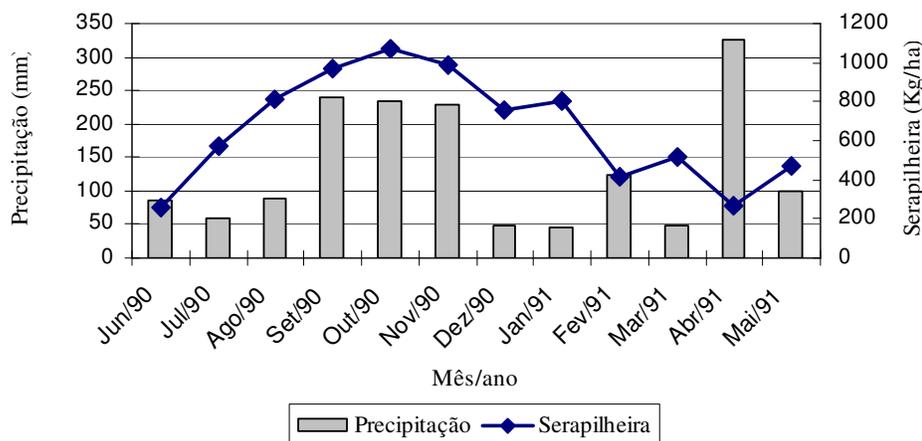


Figura 3. Comportamento da queda de serapilheira em função da precipitação pluviométrica no período de julho de 1990 a maio de 1991 (Fonte: CUNHA et al., 1993).

Observa-se que as menores deposições de serapilheira foram verificadas no outono, ao passo que as maiores ocorreram entre agosto e novembro,

na primavera, quando as precipitações foram elevadas (Figura 3) e a temperatura média mensal estava em elevação (Figura 4).

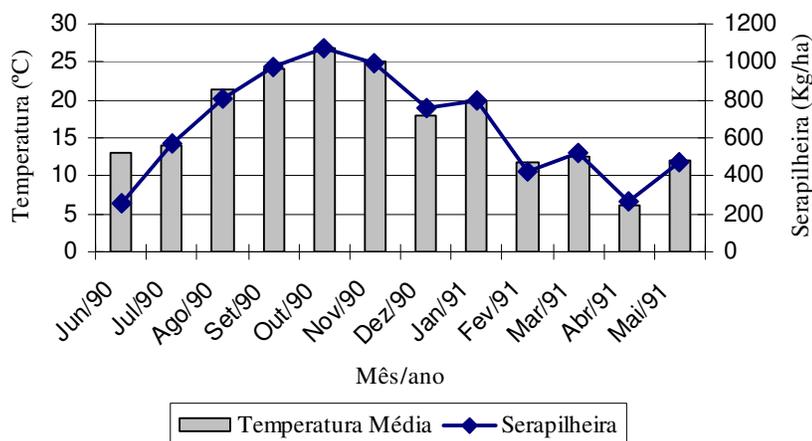


Figura 4. Comportamento da queda de serapilheira e da temperatura média mensal no período do junho de 1990 a maio de 1991 (Fonte: CUNHA et al., 1993).

Tabela 3. Transferência anual de nutrientes pela serapilheira (kg/ha.ano^{-1}) e participação em porcentagem das frações nos totais dos elementos.

| Partes da Planta | N | | P | | K | | Ca | | Mg | |
|------------------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | kg/ha/ano | % |
| Folhas | 148,5 | 71,9 | 7,6 | 67,5 | 27,2 | 72,2 | 200,7 | 74,5 | 22,0 | 73,9 |
| Galhos | 28,4 | 13,8 | 1,6 | 14,0 | 5,7 | 15,0 | 43,9 | 16,3 | 4,2 | 14,0 |
| Detritos | 24,2 | 11,7 | 1,6 | 14,5 | 3,3 | 8,7 | 21,5 | 8,0 | 2,9 | 9,8 |
| FFS | 5,6 | 2,7 | 0,4 | 3,9 | 1,5 | 4,1 | 3,1 | 1,2 | 0,7 | 2,3 |

FFS = folhas + frutos + sementes. Fonte: Cunha et al. (1993).

Conforme podemos observar na Tabela 3, a maior contribuição para ciclagem de nutrientes é oferecida pela fração folhas, sendo responsável por cerca de 67,5 a 75% dos totais de nutrientes transferidos. Outro dado fornecido é de que os galhos finos, mesmo representando quase 22% da massa da serapilheira, têm pouca importância no fornecimento de nutrientes, transferindo aproximadamente 15% da quantidade dos diferentes elementos estudados. Também observa-se que embora sua contribuição seja pequena na ciclagem, os detritos apresentam uma quantidade aproximada de 8%, ao passo que o fósforo é de 14,5%. A fração flores, frutos e sementes (FFS), devido à sua pequena massa, tem uma contribuição modesta na ciclagem de nutrientes, no ecossistema estudado.

Neste tipo de formação florestal, a taxa instantânea de decomposição (k) encontrada foi de

1,16, valor considerado médio, segundo Olson (1963).

Schumacher e Poggiani (1993) encontraram, em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana*, no município de Anhembi (São Paulo), que o *E. grandis*, além de apresentar a maior produção de biomassa também extrai e acumula as maiores quantidades dos nutrientes analisados, com exceção do cálcio, que é encontrado em maior quantidade no *Eucalyptus torelliana* (Tabela 4). As três espécies apresentam comportamentos semelhantes a respeito da distribuição dos nutrientes nos diferentes compartimentos, em que, nas folhas encontram-se as maiores concentrações de N, P e K e na casca as de Ca e Mg.

Tabela 4. Biomassa arbórea e nutrientes acumulados nos diferentes componentes para os talhões de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana* com suas respectivas porcentagens.

| Partes da Planta | Espécie | Biomassa (%) | Nutrientes (%) | | | | |
|------------------|---------|--------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | N | P | K | Ca | Mg |
| Folhas | Ec | 1,75 | 16,49 | 24,86 | 15,56 | 5,47 | 9,70 |
| | Eg | 3,12 | 16,52 | 28,62 | 22,48 | 13,18 | 16,98 |
| | Et | 1,07 | 8,70 | 6,85 | 7,30 | 1,97 | 3,93 |
| | Ec | 0,74 | 1,23 | 1,85 | 1,68 | 0,85 | 0,87 |

| | | | | | | | |
|---------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ramos finos | Eg | 0,93 | 0,93 | 1,23 | 1,87 | 1,62 | 2,26 |
| | Et | 0,66 | 1,78 | 1,09 | 1,65 | 1,43 | 2,07 |
| Ramos médios | Ec | 1,34 | 2,03 | 1,20 | 2,27 | 1,49 | 1,73 |
| | Eg | 1,59 | 1,36 | 1,90 | 1,84 | 2,25 | 3,38 |
| | Ec | 2,19 | 5,66 | 3,16 | 3,25 | 5,06 | 5,10 |
| Ramos grossos | Ec | 6,70 | 7,76 | 5,64 | 10,88 | 7,04 | 7,51 |
| | Eg | 2,61 | 1,95 | 3,43 | 2,45 | 3,27 | 4,47 |
| | Et | 6,34 | 13,50 | 6,46 | 9,42 | 5,42 | 10,15 |
| Copa | Ec | 10,53 | 27,51 | 33,55 | 31,39 | 14,85 | 19,81 |
| | Eg | 8,25 | 20,76 | 35,18 | 28,64 | 20,32 | 27,09 |
| | Et | 10,26 | 29,64 | 17,56 | 21,62 | 13,88 | 21,25 |
| Casca | Ec | 8,50 | 12,51 | 19,22 | 37,43 | 66,78 | 46,70 |
| | Eg | 7,13 | 9,53 | 30,34 | 36,54 | 58,72 | 52,91 |
| | Et | 6,57 | 12,99 | 16,99 | 20,02 | 59,17 | 44,09 |
| Lenho | Ec | 80,97 | 59,98 | 47,23 | 31,18 | 18,37 | 33,49 |
| | Eg | 84,62 | 69,71 | 34,48 | 34,82 | 20,96 | 20,00 |
| | Et | 83,17 | 57,37 | 65,45 | 58,36 | 26,95 | 34,66 |
| Tronco | Ec | 89,47 | 72,49 | 66,45 | 68,61 | 85,15 | 80,19 |
| | Eg | 91,75 | 79,24 | 64,82 | 71,36 | 79,68 | 72,91 |
| | Et | 89,74 | 70,36 | 82,44 | 78,38 | 86,12 | 78,75 |

Ec = *Eucalyptus camaldulensis*, Eg = *E. grandis*, Et = *E. torelliana* Fonte: Schumacher e Poggiani (1993).

Segundo este estudo, a copa armazena, em média, 24% do total dos nutrientes da árvore e é na casca que estão as maiores quantidades de cálcio, aproximadamente 60% do total. Já no tronco como um todo, o *E. grandis* é a espécie que apresenta a maior eficiência nutricional para o elemento cálcio, no entanto o *E. camaldulensis* evidencia as maiores eficiências para os elementos fósforo, potássio e

magnésio. Já considerando-se somente o lenho, que com o crescimento das árvores incorpora uma proporção cada vez maior de biomassa das árvores, a espécie *E. grandis* passa a apresentar maior eficiência para o fósforo, cálcio e o magnésio, o que evidencia a adaptação dessa espécie para o crescimento em solos de baixa fertilidade (Tabela 5).

Tabela 5. Eficiência da utilização dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em matéria seca produzida por *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana* (kg de biomassa/kg de nutrientes).

| Elemento | <i>Eucalyptus camaldulensis</i> | | | <i>E. grandis</i> | | | <i>E. torelliana</i> | | |
|----------|---------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|----------------------|----------|----------|
| | Casca | Lenho | Tronco | Casca | Lenho | Tronco | Casca | Lenho | Tronco |
| N | 322,87 | 641,04 | 586,15 | 282,44 | 458,73 | 437,52 | 408,65 | 746,35 | 675,40 |
| P | 5.180,08 | 20.261,52 | 15.870,73 | 2.403,92 | 24.945,21 | 14.433,73 | 3.907,75 | 9.424,19 | 8.109,07 |
| K | 156,35 | 1.786,84 | 897,48 | 126,52 | 1.785,51 | 884,63 | 229,44 | 746,35 | 600,11 |
| Ca | 53,62 | 1.841,95 | 441,38 | 68,31 | 2.273,76 | 648,29 | 47,96 | 1.000,30 | 337,70 |
| Mg | 551,50 | 7.181,29 | 3.352,37 | 318,63 | 9.997,49 | 2.976,18 | 414,06 | 5.162,82 | 2.377,05 |

Fonte: Schumacher e Poggiani (1993).

Já a maior porção da biomassa acumulada acima do solo, no ecossistema formado pela espécie *Eucalyptus*, é contribuição do tronco (casca e lenho) sendo, a espécie também responsável pelo acúmulo de uma considerável fração dos nutrientes e do retorno ao solo de uma pequena porção somente, através da deposição do folheto. Estudos como esses servem de alerta para as formas de exploração florestal praticadas, que, até pouco tempo extraíam, além dos troncos das árvores, os resíduos (usados para energia ou simplesmente queimados para limpeza), fazendo com que fossem exportados uma enorme parte dos nutrientes do solo. Esse fato poderia desencadear, num futuro breve, a

necessidade de investimentos vultuosos com fertilizantes para a reposição destes solos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos estudos abordados, a serapilheira comprova ser a principal fonte fornecedora da matéria orgânica para solo, sendo que a parte da planta que fornece as maiores porções da manta que compõe esta serapilheira são às folhas, em qualquer ecossistema.

Também observa-se que, em climas mais secos e com temperaturas mais elevadas, ocorre uma maior formação de serapilheira. Já a decomposição ocorre com maior rapidez e com uma

disponibilização mais imediata dos nutrientes para as plantas, nos locais onde ocorrem as maiores precipitações.

Dados originados de estudos como os aqui abordados deveriam servir como base quando são elaborados planos de manejo de determinadas formações florestais, haja visto que onde estão instaladas as florestas, sendo elas implantadas ou

nativas, os solos são geralmente ácidos e de baixa fertilidade, havendo a necessidade de se verificar o comportamento da ciclagem dos nutrientes nesses ambientes, já que, essas florestas devem ser, na maioria das vezes, de elevada produtividade, levando a uma considerável extração dos nutrientes do solo sem a respectiva reposição.

ABSTRACT: The objective principal of the present study is to demonstrate the importance of the burlap in answer him it of the forest, have seen that she is responsible for the main source of nutrients for the plants, and depending, of the ecosystem in subject, it happens an adult or smaller disposal of those. In the three ecosystems here analyzed, being two native and not natural one, among all the compartments of the plant, what supplied the largest amount of biomass for the burlap it was the leaves, being that deposition happened in larger amount in the driest stations and of higher temperatures. The decomposition already happened more quickly in times where happened the largest precipitations. The chemical element that presented the largest transfer through the burlap, was the nitrogen. In the study, of the not natural ecosystem of *Eucalyptus*, the biomass production, among all the studied compartments, was larger in the log (peel + log).

KEYWORDS: Forest ecosystems. Cycle of nutrients. Burlap.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. H.; KRAPPENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo-RS. Parte II: Inventário de nutrientes. In: **Pesquisas Austríaco-brasileiras**. Áustria: Única, 1983. p. 30 – 35.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha - SP. **Bol. Técn. IF**. São Paulo, v. 41, n. 1, p. 37 – 58, mar. 1987.

ATTIWILL, P. M. The loss of elements from decomposing litter. **Ecology**, v. 49, n. 1, p. 142 – 45, 1968.

CARPANEZZI, A. A. **Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de eucalipto no interior do Estado de São Paulo**. 1980. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Quiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

COLE, D. W.; RAPP, M. Elemental cycling in forested ecosystems. In: Reichle, D. E. Ed. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge: Cambridge University, 1980. p. 341 – 409.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within Amazonian forest ecosystems. In: nutrient flux in fine litter fall and efficiency of nutrient utilization. **Decologia**, v. 68, p. 446 –472, 1986.

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, v. 3, n. 1, p. 35-64, dez. 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Critério para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67 p.

- FASSBENDER, H. W.; GRIMM, U. Ciclos bioquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. II Producción y descomposición de los residuos vegetales. **Turrialba**, v. 31, n. 1, p. 39 – 47, 1981.
- GOLLEY, F. B. **Tropical rain forest ecosystems: structure and function**. Amsterdam: Elsevier, 1983. 392 p.
- KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A. Litter production in an area of Amazonian terra-firme forest. Part I. Litterfall, organic Carbon and total Nitrogen contents. **Amazoniana**, v. 1, n. 4, p. 287 – 302. 1968a.
- KLINGE, H.; RODRIGUES, W. A. Litter production in an area of Amazonian terra-firme forest. Part II. Mineral nutrient content of the litter. **Amazoniana**, v.1, n. 4, p. 303 – 310, 1968b.
- LUIZÃO, F. J.; SCHUBART, H. O. R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. **Experientia**, v. 43, n. 3, p. 259 – 64, 1987.
- MEGURO, M.; VINUEZA, G. N.; DELITTI, W. B. C. Ciclagem de nutrientes minerais na mata mesófila secundária - São Paulo. I Produção e conteúdo mineral do folheto. **Bol. Bot. USP**, São Paulo, v. 7, p. 11 – 31, 1979.
- OLSON, J. S. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems. **Ecology**, v. 44, p. 322 – 31, 1963.
- POGGIANI, F.; MONTEIRO JUNIOR, E. S. Deposição de folheto e retorno de nutrientes ao solo numa Floresta Estacional Semidecídua em Piracicaba, SP. In: X Congresso Florestal Brasileiro 6º, 1990, Campos do Jordão. **Anais ... Campos do Jordão**, 1990. p. 596 – 602.
- PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento**. México: Limusa, 1986. 634 p.
- REMEZOV, N. P. Decomposition of forest litter and the cycle of elements in an oak forest. **Soviet Soil Science**, v. 7, p. 703 – 11, 1961.
- SANTOS, G. A.; GAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. 491p.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21 – 34, dez. 1993.
- SHANKS, R.; OLSON, J. S. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachia. **Forest Science**, Grosvenor Lane, v. 134, p. 194 –195, 1961.
- SOUZA, J. A.; DAVIDE, A. C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Rev. Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 101-113. 2001.
- STARK, N. Nutrient cycling: nutrient distribution in Amazonian vegetation. **Int. J. Trop. Ecol.**, v. 12, p. 177 – 201, 1971.
- SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison., v. 36, p. 143 – 147, 1972.

TAN, K. H. **Environment soil science**. New York: Marcell Dekker, 1994. 255p.

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. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, ago. 2004.

VITOUSEK, P. M. Litterfall, nutrient cycling and nutrients in tropical forests. **Ecology**, v. 65, n. 1, p. 285 – 298, 1984.

VITOUSEK, P. Nutrient cycling, and use efficiency. **Amer. Nat.**, v. 119, p. 553 – 572, 1982.

VOGT, K. A.; GRIER, C. C. VOGT, D. J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forest. **Advances in Ecological Research**, v. 15, p. 303 – 77, 1986.