

## 2

## Revisão bibliográfica

### 2.1

#### A circulação de nutrientes em ecossistemas florestais

De um modo geral, a expressão ecossistema refere-se a “toda e qualquer unidade” (área) que envolva todos os organismos vivos (bióticos), que se encontram interagindo com o ambiente físico (abióticos) em que estes vivem, de tal forma que um fluxo de energia produza estruturas bióticas bem definidas e uma ciclagem de materiais entre as partes vivas e não vivas. (Manahan, 1999)

A ciclagem de nutrientes é um conjunto de processos integrados que envolvem a transferência de energia e nutrientes entre as partes integrantes de um determinado ecossistema (Vilela, 1997). Acredita-se que este fenômeno tem relação muito estreita com a sustentabilidade de ecossistemas florestais. Como resultado, este assunto tem, ultimamente, despertado o interesse dos ecologistas devida à grande importância das florestas no ciclo biogeoquímico global. Alguns tópicos têm recebido recentemente, grande atenção:

- ✓ Efeitos da chuva ácida em ecossistemas florestais
- ✓ Manutenção da produtividade primária nos ecossistemas florestais
- ✓ Uso de floresta para sequestrar carbono e atenuar a emissão antropogênica de CO<sub>2</sub>
- ✓ Efeitos desses ecossistemas na qualidade da água e do ar
- ✓ Perda da biodiversidade em processos de desmatamento
- ✓ Gerenciamento de práticas agro florestais

Uma vez estabelecidas às fronteiras de um ecossistema podem ser reconhecidas fontes externas de entrada de nutrientes e também fontes de saída. Esta classificação deve ser criteriosamente analisada, pois em estudos envolvendo

processos de balanço de nutrientes, é peça fundamental dos modelos adotados para o entendimento da rota de nutrientes pelas partes de um ecossistema.

O assunto ciclagem de nutrientes se torna complexo porque as variáveis que potencialmente se relacionam com os processos de entrada e saídas de nutrientes são múltiplas e de natureza absolutamente diversa. A motivação para realização de um estudo que busca o entendimento sobre o evento ciclagem de nutrientes reside, entre outros fatores, na seguinte situação peculiar: Se um ecossistema florestal mantém inalterada a produtividade primária, então há disponibilidade irrestrita de nutrientes na solução do solo durante todo período em que a planta necessite. Esta situação somente é possível se houver um equilíbrio entre as taxas de entrada e saída de nutrientes, considerando todas suas formas. O modo principal de nutrição vegetal é pela absorção de nutrientes ocorrentes na solução do solo pelo sistema radicular (Parker, 1999). No entanto é com frequência descrita a inabilidade do solo para manter nutrientes em estoque e disponibiliza-los para a absorção pelas raízes na medida exata em que a planta solicite. Qualquer evento que interfira direta ou indiretamente nas fontes de entrada e saída de nutrientes afetará a quantidade de nutrientes prontamente assimiláveis pela vegetação e afetará também processos de ciclagem internos ao ecossistema.

São consideradas como fontes muito importantes de introdução de nutrientes a um ecossistema florestal a precipitação, o intemperismo da rocha matriz, e as deposições provenientes da atmosfera e processos biológicos (fixação). Como fontes significativas de perdas são reconhecidas os processos de lixiviação, erosão, biológicos (denitrificação) e eventos isolados como queimadas e colheitas (Johnson et al, 1975). Neste capítulo serão brevemente descritos os processos relacionados às fontes de entrada e saída de nutrientes, em última instância, para a solução do solo. Na Figura 1 é mostrada uma representação do ciclo hidrológico em uma floresta, podendo ser visualizados processos envolvidos com o balanço de nutrientes no ecossistema em questão.

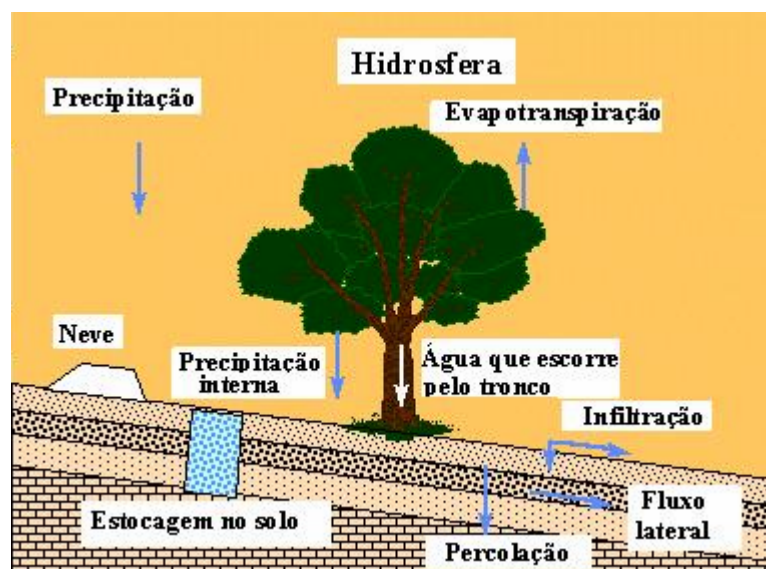


Figura 1- - Representação esquemática do ciclo da água em um ecossistema florestal.  
Adaptada de Dahlgren e Turner, 2004.

Dentre os meios de ganhos e perdas de nutrientes em um ecossistema florestal, destaca-se a precipitação por sua grande importância relativa (Dantas, 1994). A água da chuva atua segundo modos diversos e específicos nos processos de ganho de nutrientes: seja pela incidência direta sobre o solo sem interação com as copas, pela lavagem das copas ou escoamento pelo tronco. No primeiro caso, a entrada se dá como resultado direto da composição da precipitação em termos dos elementos necessários à nutrição vegetal, após procedimento de infiltração no solo, ou, em menor extensão, por processo de absorção foliar. Na lavagem das copas, a água ao atravessar o dossel, arrasta e carrega material particulado depositado sobre a superfície das folhas e tecidos vegetais durante os períodos de seca acarretando modificações na composição química da água da chuva (Almeida et al, 2000; Oliveira & Coelho Netto, 2001).

Esta atuação da precipitação (agente carreador) está fortemente relacionada aos eventos atmosféricos, podendo deste modo levar à superfície do solo nutrientes e poluentes (Oliveira et al, 2004). Geralmente, ocorre aumento da concentração também dos nutrientes, havendo segundo estes autores um enriquecimento em termos de concentração para alguns elementos ou ainda uma eventual diminuição para outros elementos. É interessante observar que a importância da precipitação como fonte de nutrientes está estreitamente ligada à

sua regularidade. A água da chuva é realmente importante para a nutrição vegetal, porém, a frequência é fundamental devido às limitações do solo na função de estocagem. Atribuí-se, entre outros fatores, a exuberância de florestas de clima tropical úmido (como por exemplo, a floresta amazônica, localizada sobre solo pobre em nutrientes) exatamente a esta regularidade na ocorrência de chuvas (Poggiani, 1992).

Infiltração é o processo (ilustrado na figura 1) é pelo qual a água entra no solo. A taxa de infiltração deve ser maior que a intensidade da precipitação para que não ocorram eventos indesejáveis como, por exemplo, a erosão. A serrapilheira ou a presença de cobertura vegetal atuam favoravelmente para a melhora nas taxas de infiltração. As reduções ocasionais da espessura da camada de serrapilheira e processos de compactação prejudicam a infiltração. A zona do solo mais fértil localiza-se no horizonte próximo à superfície, fato que agrava a perda de nutrientes por processos erosivos (Bayliss-Smith, 1982; Barbosa & Fearnside, 1996).

A percolação é o processo pelo qual a água se move através do solo por forças gravitacionais. A taxa de percolação é função do grau de saturação do solo e de sua condutividade hidráulica. Condutividade hidráulica pode ser entendida como a habilidade do solo para conduzir água em resposta a um gradiente de potencial hídrico. Durante a incidência das chuvas quando o solo ainda não tiver atingido a condição de saturação e quando a condutividade hidráulica supera a taxa de precipitação, a água se move em direção aos lençóis freáticos representando este processo de lixiviação uma fonte importante de perda de nutrientes. Os nutrientes perdidos, deste modo, pelo ecossistema florestal tendem a ser levados aos rios e lagos entrando assim em outro sistema (ciclo hidrológico).

Na atmosfera as fontes de entrada podem ser classificadas em deposição seca (aerossóis) e úmida (orvalho). (Almeida et al, 2000) Os aerossóis podem ter origem oceânica, terrestre, vulcânica, poluição e queima de combustível fóssil. Na deposição úmida a entrada se dá pelo contato de nuvens/orvalho com a vegetação.

Na Figura 2 é mostrada uma representação esquemática dos processos ligados a atmosfera que afetam a ciclagem de nutrientes no ecossistema florestal.

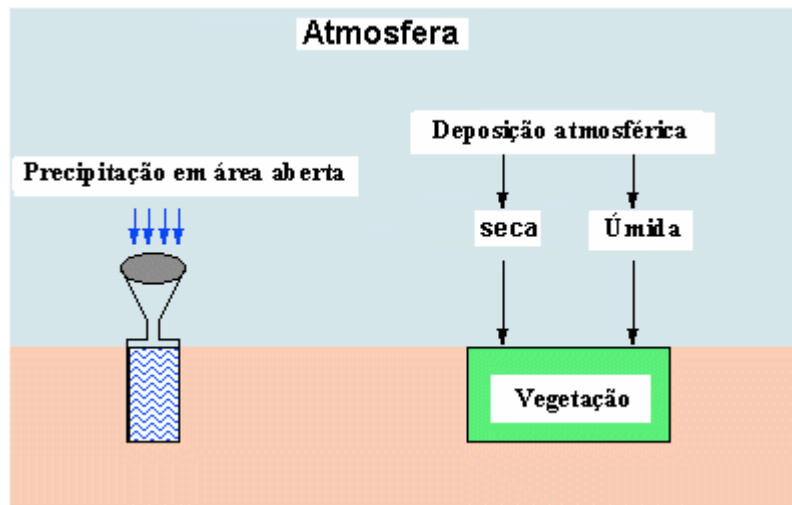


Figura 2- Representação esquemática das fontes atmosféricas de nutrientes e poluentes.

A entrada de nutrientes via deposição seca ou úmida é muito sensível à alterações antropogênicas da qualidade do ar. O crescimento da atividade industrial tem acarretado a ocorrência de metais pesados na atmosfera em nível traço (Al - Momani, 2003). Este fato traz consequências diretas para o processo de ciclagem. O contato do ar atmosférico com as copas das árvores pela ação dos ventos deposita sobre os tecidos vegetal, material particulado suspenso no ar atmosférico. Estes elementos quando atingem o solo, com a participação da precipitação, afetam preferencialmente a atividade dos microorganismos que tem ação determinante no ciclo biogeoquímico.

Um evento associado ao ciclo geoquímico tido como fonte importante de adição de nutrientes para o ecossistema florestal é o intemperismo da rocha matriz. Cerca de 16 elementos essenciais exigidos pelas plantas podem ter origem neste processo (Poggiani, 1992). A habilidade da geosfera para atuar como fonte de entrada é função da composição mineralógica e elementar da rocha, da taxa de liberação dos elementos pelos diferentes modos de intemperismo e da capacidade de troca iônica do solo. A situação “ideal” seria haver um equilíbrio entre taxas de intemperismo e a necessidade nutricional instantânea da vegetação.

Com frequência é mencionada que a liberação de nutrientes pela mineralização da rocha matriz é uma fonte de suprimento em longo prazo Adaptada de *Dahlgren e Turner, 2004*. Há casos onde os solos estão absolutamente intemperizados ou casos onde a decomposição da rocha matriz se dá em região distante da superfície do solo, ou distante da zona de atuação do sistema radicular. Nestes casos, a liberação de nutrientes por este processo geoquímico pode não funcionar exatamente como fonte de suprimento de nutrientes para o solo. Estes fatos sustentam ainda mais a importância dada a precipitação como fonte de nutrientes (Delliti, 1995). Assim como em outros processos que acontecem dentro de um ecossistema, inúmeros fatores podem interferir na taxa de intemperização da rocha matriz. Neste processo, geralmente na primeira etapa ocorre o intemperismo físico que reduz o tamanho das partículas sem alterar a composição do mineral. A importância desta primeira etapa reside no aumento da área superficial sobre a qual pode atuar o intemperismo químico. Neste segundo modo de intemperismo há mudanças na estrutura química e mineralógica dos minerais primários e secundários. Os parâmetros que regulam este processo são: área superficial, temperatura, intensidade de lixiviação, pH da solução e concentração de agentes complexantes. Processos relacionados à biosfera como produção biológica de ácidos orgânicos e dióxido de carbono afetam os processos de intemperização. Exudatos das raízes ou decomposição microbiana de matéria orgânica levam a produção de ácidos orgânicos que contribuem para aumentar a taxa de intemperismo devido a suas propriedades quelantes (Berner et al. 2004)

Dióxido de carbono origina ácido carbônico, que é a forma dominante de acidez em solos com pH maiores que cinco (Berner et al., 2004). Um processo da biosfera de grande importância nos processos de ciclagem é a decomposição e mineralização da serrapilheira. A serrapilheira consiste no material orgânico depositado sobre a superfície do solo resultante de processo de queda de folhas e galhos. Em um processo de circulação interna, através da atividade de microorganismos ocorre a decomposição e mineralização dos tecidos vegetais disponibilizando deste modo para o solo os nutrientes neles contidos. Qualquer ocorrência que altere as condições ótimas (de umidade, temperatura e pH) para a atividade dos microorganismos responsáveis pela decomposição afetará o

processo de recirculação. Adicionalmente, existem microorganismos que captam gases dissolvidos na atmosfera e o produto de seus processos metabólicos é nutriente assimilável pela planta ( $N_2 \rightarrow NO_3^-$ ). A situação hipotética ideal seria que a taxa de decomposição da matéria orgânica fosse compatível com a necessidade da vegetação. A presença da serrapilheira sobre o solo é considerada fundamental nos aspectos de retenção de nutrientes e de umidade, atuando de modo a reduzir a perda excessiva de nutrientes por processos de lixiviação (Keuten et al, 2000).

Os nutrientes extraídos do solo pelas plantas são incorporados aos tecidos vegetais e retornam ao solo pela decomposição e mineralização da matéria orgânica. A quantidade de nutrientes translocados depende da mobilidade do elemento, da espécie vegetal, do status nutricional do solo e também do estágio sucessional no qual se encontra a vegetação.

Outro fator associado à biosfera que atua no processo de ciclagem são os hábitos das espécies de herbívoros que vivem no local. A retirada de nutrientes pela alimentação retorna pelos dejetos ou pela decomposição após a morte destes organismos. Estes nutrientes podem também ser transferidos a outros ecossistemas por fenômenos de migração (Singer e Schoenecker, 2003; Dahlgren e Turner, 2004).

Na Figura 3 é mostrada uma representação esquemática que tem por objetivo ilustrar a forte interligação entre fenômenos da biosfera, geosfera, atmosfera e hidrosfera e suas relações com o principal acontecimento que, em último caso determina a sustentabilidade da produtividade primária dos ecossistemas florestais: a disponibilidade de nutrientes na solução do solo.

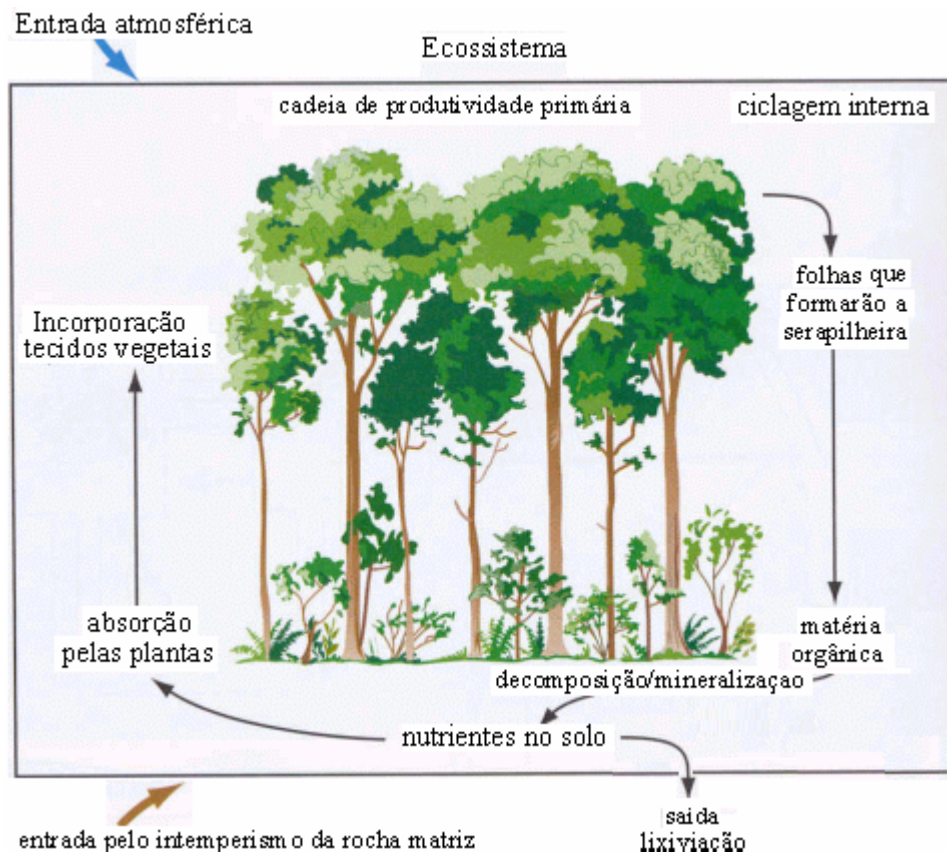


Figura 3- Representação dos processos relacionados à disponibilidade de nutrientes na solução do solo. Adaptada de *Dahlgren e Turner, 2004*.

Observa-se que a ocorrência de publicações envolvendo o assunto ciclagem de nutrientes é dominada por estudos sobre ciclagem em sistemas onde a prática de atividade agrícola é o enfoque. Nestes casos é muito crítica a manutenção da fertilidade após sucessivas rotações, em especial se a forma de exploração for a monocultura (Lodhiyal e Lodhiyal, 1997). A colheita realizada é a forma principal de retirada de nutrientes do ambiente e o balanço deste modo é muito prejudicado. Os estudos nestes casos visam fornecer subsídios para a contínua exploração sem perdas na produtividade. De modo diferente, o estudo em alvo nesta dissertação é focalizado na sustentabilidade de um ecossistema natural.