



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

FLUXOS DE CÁTIONS EM ECOSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA NA  
REGIÃO DO MÉDIO APEÚ, NORDESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL

AMANDA MARIA DE SOUSA DIOGENES FERREIRA

BELÉM  
2010



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

FLUXOS DE CÁTIOS EM ECOSSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA NA  
REGIÃO DO MÉDIO APEÚ, NORDESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL

AMANDA MARIA DE SOUSA DIOGENES FERREIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, com área de concentração em Manejo de ecossistemas florestais, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Francisco de Assis Oliveira

BELÉM  
2010

FLUXOS DE CÁTIONS EM ECOSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA NA  
REGIÃO DO MÉDIO APEU, NORDESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL

AMANDA MARIA DE SOUSA DIÓGENES FERREIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
do Pará para obtenção do título de Mestre em  
Ciências, área de concentração em Ciências  
Exatas, sob a orientação do Prof. Dr. Diógenes  
Ferreira.

2010

1000000000

AMANDA MARIA DE SOUSA DIÓGENES FERREIRA

Fluxos de cations em ecossistema

sucessional

Ferreira, Amanda Maria de Sousa Diógenes

Fluxos de cations em ecossistema sucessional de floresta na  
Região do Médio Apeú, Nordeste do Pará, Amazônia Oriental. /  
Amanda Maria de Sousa Diógenes Ferreira. - Belém, 2010.

66 f.:il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas) – Universidade  
Federal Rural da Amazônia, 2010.

1. Ecossistema - dinâmica 2. Littera - análise  
química 3. Cálcio 4. Magnésio 5. Floresta secundária. I. Título.

CDD = 63.41



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

FLUXOS DE CÁTIONS EM ECOSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA NA  
REGIÃO DO MÉDIO APEÚ, NORDESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL

AMANDA MARIA DE SOUSA DIOGENES FERREIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, com área de concentração em Manejo de ecossistemas florestais, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Julgado em \_\_\_\_\_ de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Francisco de Assis Oliveira  
Orientador

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Fluxos de cátions em ecossistema sucessional de floresta na região do médio Apeú, nordeste do Pará, Amazônia Oriental  
Steel Silva Vasconcelos (1º examinador)  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Heraclito Eugenio Oliveira da Conceição (2º examinador)

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Oswaldo Rychey Kato (3º examinador)  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

UFRA - UFRPA

**À DEUS**, pela vida.

Aos meus pais, **ARLINDA FERREIRA** e **SOLICIO FERREIRA** (in memorian).

À meus irmãos, **ANTONIETA FERREIRA** e **ANDRÉ SOUZA**.

À meus familiares.

Que dispensaram os momentos de convívio para a elaboração  
dessa obra.

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por essa oportunidade;

Ao Projeto Manipulação de Água e Nutrientes em Ecossistema de Floresta Secundária na Amazônia Oriental (MANFLORA), pelo financiamento deste trabalho, a CAPES-REUNI, pela concessão da bolsa de estudos, a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), através da Coordenadoria do curso de Mestrado em Ciências Florestais, pela oportunidade de me desenvolver como pessoa e como profissional;

Ao meu orientador e professor Francisco de Assis Oliveira e co-orientador Steel Silva Vasconcelos que me conduziram de forma competente e paciente para a elaboração deste trabalho, sobretudo num clima de muita amizade;

Meus agradecimentos também a todos que trabalharam e participaram diretamente ou indiretamente para a elaboração deste trabalho, como: Raimundo Nonato da Silva, representando todos da Estação Experimental de Castanhal (EEC), aos técnicos de laboratório da EMBRAPA e da UFRA, a secretária do Mestrado Mylena Rodrigues;

Aos meus amigos Adiel Miranda, Nataly Fumigare, Valéria Vale, Angela Lobato, Stephan Almeida, Adriana Melo, Oberdan Flores, João Guimarães, Ana Paula Baldez, Ariana Gemaque;

A minha família que sempre me apoiou em todos os sentidos minha mãe Arlinda Ferreira, meu pai Solício Ferreira (in memoriam), meus irmãos Antonieta Ferreira e André Souza, meus tios em especial Maria de Lourdes Cruz e José Marques Cruz e meus primos e primas, amo todos vocês.

Meu muito OBRIGADA a todos sem a colaboração de vocês não seria possível a elaboração deste trabalho.

“A natureza não faz nada em vão.”

Aristóteles

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                              | p. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| LISTA DE FIGURAS                                                                                                                             | 09 |
| LISTA DE TABELAS                                                                                                                             | 10 |
| RESUMO                                                                                                                                       | 11 |
| ABSTRACT                                                                                                                                     | 12 |
| <b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO</b>                                                                                                                   | 13 |
| <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                                                                           | 16 |
| <b>CAPÍTULO 1 DINÂMICA DO CÁLCIO E MAGNÉSIO NA LITEIRA EM UM ECOSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA, EM REGIME DE MANIPULAÇÃO HIDROPERIÓDICA</b> | 20 |
| 2.1 RESUMO                                                                                                                                   | 20 |
| 2.2 ABSTRACT                                                                                                                                 | 21 |
| 2.3 INTRODUÇÃO                                                                                                                               | 22 |
| 2.4 MATERIAL E MÉTODOS                                                                                                                       | 23 |
| 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO                                                                                                                   | 28 |
| 2.6 CONCLUSÃO                                                                                                                                | 34 |
| <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                                                                           | 35 |
| <b>CAPÍTULO 2 DINÂMICA DO CÁLCIO E MAGNÉSIO NA LITEIRA EM ECOSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA NA AMAZÔNIA ORIENTAL</b>                        | 40 |
| 3.1 RESUMO                                                                                                                                   | 40 |
| 3.2 ABSTRACT                                                                                                                                 | 41 |
| 3.3 INTRODUÇÃO                                                                                                                               | 42 |
| 3.4 MATERIAL E MÉTODOS                                                                                                                       | 43 |
| 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO                                                                                                                   | 47 |
| 3.6 CONCLUSÃO                                                                                                                                | 54 |
| <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                                                                           | 55 |
| <b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                                                                                               | 60 |
| <b>ANEXOS</b>                                                                                                                                | 61 |

## LISTA DE FIGURAS

|           |                                                                                                                                                                                                                                                       | p. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | Área experimental na região do médio Apeú, nordeste do Pará, Amazônia Oriental (1°19'S, 47°57'W).                                                                                                                                                     | 23 |
| Figura 2  | Parcelas experimentais dos tratamentos controle e irrigado em floresta secundária.                                                                                                                                                                    | 26 |
| Figura 3  | Sistema de irrigação implantado no tratamento irrigado na floresta sucessional na Estação da UFRA, Castanhal/PA.                                                                                                                                      | 26 |
| Figura 4  | Coletor de liteira no tratamento controle, instalado 30 cm acima da superfície do solo, em floresta sucessional, Castanhal/PA.                                                                                                                        | 27 |
| Figura 5  | Dinâmica da massa do Ca e Mg na liteira nos tratamentos controle e irrigado, em floresta sucessional em Castanhal/PA. Precipitação mensal (a), massa de liteira não lenhosa (b), dinâmica da massa do Ca (c) e dinâmica da massa do Mg (d).           | 33 |
| Figura 6  | Dinâmica da concentração do Ca e Mg na liteira nos tratamentos controle e irrigado, em floresta sucessional em Castanhal/PA. Concentração do Ca (a) e concentração do Mg (b).                                                                         | 34 |
| Figura 7  | Parcelas experimentais dos tratamentos controle e remoção de liteira em floresta secundária.                                                                                                                                                          | 46 |
| Figura 8  | Procedimento de remoção da liteira deposicional, na parcela remoção da liteira em floresta secundária, Castanhal/PA.                                                                                                                                  | 46 |
| Figura 9  | Dinâmica da massa do Ca e Mg na liteira nos tratamentos controle e remoção da liteira, em floresta sucessional em Castanhal/PA. Precipitação mensal (a), massa de liteira não lenhosa (b), dinâmica da massa do Ca (c) e dinâmica da massa do Mg (d). | 53 |
| Figura 10 | Dinâmica da concentração do Ca e Mg nos tratamentos controle e remoção da liteira, em floresta sucessional em Castanhal/PA. Concentração do Ca (a) e do Mg (b).                                                                                       | 54 |

## LISTA DE TABELAS

|          | p.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | Distribuição da precipitação e intensidade durante o período experimental no local. Os meses secos foram considerados quando a precipitação foi inferior a 100 mm. O período seco incluiu a precipitação de agosto a dezembro.                                                                                                                                            | 24 |
| Tabela 2 | Lista de espécies dominantes identificadas na área experimental da Estação de Piscicultura de Água Doce (EPAD), no município de Castanhal, através de levantamento florístico.                                                                                                                                                                                            | 29 |
| Tabela 3 | Análises de variância com níveis de significância associados para os efeitos dos tratamentos (controle e irrigado), tempo de amostragem, e sua interação sobre a massa não-lenhosa e nutrientes em uma floresta tropical secundária no leste da Amazônia, Brasil. O nível de significância é indicado (*: $P < 0,05$ , **: $P < 0,01$ , ns: não significativo).           | 31 |
| Tabela 4 | Produção anual dos nutrientes Ca e Mg, via liteira, sob os tratamentos controle e irrigado, nos anos de 2000 e 2006 em $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .                                                                                                                                                                                                               | 31 |
| Tabela 5 | Análises de variância com níveis de significância associados para os efeitos dos tratamentos (controle e remoção da liteira), tempo de amostragem, e sua interação sobre a massa não-lenhosa e nutrientes em uma floresta tropical secundária no leste da Amazônia, Brasil. O nível de significância é indicado (*: $P < 0,05$ , **: $P < 0,01$ , ns: não significativo). | 50 |
| Tabela 6 | Produção anual dos nutrientes Ca e Mg, via liteira, sob os tratamentos controle e remoção da liteira, nos anos de 2000 e 2006 em $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .                                                                                                                                                                                                     | 51 |

# FLUXOS DE CÁTIONS EM ECOSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA NA REGIÃO DO MÉDIO APEÚ, NORDESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL

## RESUMO

A avaliação da influência da irrigação e remoção da liteira sobre a variação na produção de liteira foi realizada na Estação de Piscicultura de Água Doce (EPAD), no município de Castanhal (1°19' S, 47°57' W), durante o período de janeiro a dezembro de 2000 e 2006, com o objetivo de entender o comportamento dos nutrientes Ca e Mg na liteira em um ecossistema de floresta sucessional. Este estudo foi parte do Projeto de Manipulação de Água e Nutrientes em Ecossistema de Floresta Secundária na Amazônia Oriental (MANFLORA). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo 4 blocos, com 3 repetições cada e 3 tratamentos, sendo eles: controle, irrigado (acrescentado 5 mm de água/dia, por cerca de 30 min., durante a estação seca) e remoção da liteira (realizado a cada 15 dias a remoção total da liteira da superfície do solo). A sazonalidade na produção de liteira foi bem estabelecida, devido a ocorrência da maior produção de liteira nos meses com menor precipitação. A produção total mensal de liteira variou durante o período experimental de 316,10 a 997,90 kg ha<sup>-1</sup>mês<sup>-1</sup>, com um valor médio de 610,20 kg ha<sup>-1</sup>mês<sup>-1</sup>, em função da estrutura florística, representada pelas espécies dominantes, *Myrcia sylvatica* (G. meyer) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, e *Cupania scrobiculata* Rich. e *Ocotea guianensis* Aubl, que se constituíram nos fatores determinantes, associado ao fenômeno hidroperiódico. Os resultados analíticos obtidos de massa mensal média do Ca variou de 0,02 a 0,08 g m<sup>-2</sup>mês<sup>-1</sup>, e Mg de 0,006 a 0,03 g m<sup>-2</sup>mês<sup>-1</sup>, sendo significativamente (P <0,05) diferentes, de forma que os valores de Ca foram maiores que de Mg. A dinâmica do Ca e Mg no ecossistema com remoção da liteira, foram significativamente (P <0,05) menores em relação aos tratamentos controle e irrigado.

**Palavras-chave:** Dinâmica; Liteira; Cálcio; Magnésio; Floresta secundária.

## FLUX CATION IN ECOSYSTEMS OF FOREST SUCCESSION IN THE MIDDLE APEÚ, NORTHEASTERN PARÁ, EASTERN AMAZONIA

### ABSTRACT

The value of the influence of irrigation and removal of litter on the variation in litter was held at the Fish Culture in Freshwater (EPAD) in the municipality of Castanhal (1°19' S, 47°57' W) during the period from January to December 2000 and 2006, with the aim of understanding the behavior of Ca and Mg in litter in a forest ecosystem succession. This study was part of Project Handling of Water and Nutrients on Ecosystem of Secondary Forest in Eastern Amazonia (MANFLORA). The experimental design was randomized blocks with 4 blocks with 3 replicates and 3 treatments, which were: control, irrigated (added 5 mm of water per day, for about 30 min. During the dry season) and removal of litter (held every 15 days the total removal of litter from the soil surface). The seasonal production of litter was well established, with occurrence of greater production of litter in the months with lower precipitation. The total monthly litter varied during the experimental period from 316.10 to 997.90 kg ha<sup>-1</sup>mo<sup>-1</sup>, with an average of 610.20 kg ha<sup>-1</sup>mo<sup>-1</sup>, according to the floristic structure, represented by the species dominant *Myrcia sylvatica* (G. Mey) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, *Cupania scrobiculata* Rich. and *Ocotea guianensis* Aubl, which constituted the determining factors associated with the phenomenon hydroperiod. The analytical results obtained from monthly average mass of Ca ranging from 0.02 to 0.08 g m<sup>-2</sup>mo<sup>-1</sup>, and Mg 0.006 to 0.03 g m<sup>-2</sup>mo<sup>-1</sup>, was significantly (P < 0.05) different, so that the values of Ca were higher than Mg. The dynamics of Ca and Mg in the ecosystem with removal of the litter were significantly (P < 0.05) lower than those of control and irrigated treatments.

**Keywords:** Dynamic; Litter, Calcium, Magnesium, Secondary forest.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Entre os serviços ambientais que as florestas fornecem ao homem, está a ciclagem de nutrientes, que Odum (1980) denomina ciclo biogeoquímico e define como sendo a trajetória mais ou menos recorrente dos elementos químicos entre os organismos e o meio ambiente, em ambos os sentidos. Os ecossistemas de florestas tropicais úmidas geralmente situam-se sobre solos muito pobres em nutrientes e o equilíbrio nutricional desses ecossistemas é mantido pela alta diversidade biológica e pela rápida e eficiente ciclagem de nutrientes (HERRERA et al., 1978; SCHUBART et al., 1984).

Para Golley (1996), as florestas tropicais desenvolveram mecanismos para utilizar, de forma bastante eficiente, os nutrientes da solução do solo, assim como os nutrientes que chegam via atmosférica e os nutrientes reciclados. Vitousek (1984) considera que a ciclagem de nutrientes dentro de um ecossistema é eficiente quando a maior parte dos nutrientes liberados das árvores é rapidamente absorvida pelas raízes, micorrizas e decompositores, e retida dentro do sistema, independentemente da quantidade de nutrientes ciclados entre planta e solo.

A taxa de ciclagem de nutrientes depende de vários fatores: (a) origem química do elemento, ou seja, solo ou atmosfera; (b) eficiência do processo biológico e do meio, com relação à disponibilidade de água; (c) velocidade da atividade biológica, estrutura e população das comunidades dos diversos organismos. Borem e Ramos (2002) citam o fator climático como o primeiro a influenciar o fluxo do material orgânico ao solo. Dentro da dinâmica dos ciclos biológicos da floresta, a ciclagem de nutrientes assume papel essencial na manutenção da produtividade do ecossistema, principalmente em solos de baixa fertilidade e fortemente lixiviados (HAAG, 1985). Para Delitti (1984), o aumento na quantidade de liteira com baixa precipitação é comum em regiões tropicais e reflete uma estratégia de minimização dos efeitos da escassez de água.

Alguns estudos sobre liteira foram desenvolvidos na Floresta Amazônica (KLINGE et al., 1983; KLINGE, 1985; THOMPSON et al., 1992; MAGALHÃES e BLUM, 1999; NEVES et al., 1999; JOHNSON et al., 2001; PAROLIN et al., 2002), Floresta de Mata Atlântica (GOLLEY et al., 1978; MORAES; DOMINGOS, 1997; MORAES et al., 1999) e Floresta com Araucária (REISSMANN et al., 1983; BRITZ et al., 1992). Mais atenção tem-se dado aos estudos de ciclagem de nutrientes, enfocando a produção de liteira em diversas formações florestais brasileiras (MEGURO et al., 1979; MEGURO e DELITTI, 1985;

DOMINGOS et al., 1997; MELLO e PORTO, 1997; MORAES et al., 1999; VILLELA; PROCTOR, 1999; MARTINS; RODRIGUES, 1999).

A liteira, também conhecida por serapilheira, manta, folheda ou *litter*, é constituída pela matéria orgânica morta, predominantemente vegetal, que se acumula sobre a superfície do solo, formada por folhas, flores, frutos, cascas, gravetos, galhos, restos animais e etc. (FERRI, 1974; VIEIRA, 1975; REISSMANN et al., 1983). O estudo da ciclagem de nutrientes minerais, via liteira, é fundamental para o conhecimento da estrutura e funcionamento de ecossistemas florestais.

A produção de liteira nos ecossistemas florestais constitui a via mais importante do ciclo biogeoquímico (dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta-solo). Este ciclo, juntamente com o bioquímico (circulação de nutrientes no interior da planta), permite que as árvores da floresta possam sintetizar a matéria orgânica através da fotossíntese, reciclando principalmente os nutrientes em solos altamente intemperizados.

A composição da liteira depositada anualmente em florestas é muito variável. Bray e Gorham (1964) estudaram a deposição de liteira em diferentes florestas do mundo e verificaram a seguinte composição: 60-80% são folhas, 12-15% são ramos, 1-15% são frutos e 1-15% cascas de árvores.

As folhas são, normalmente, a fração mais representativa na liteira e tendem a menores variações nas quantidades depositadas entre diferentes anos (MEENTEMEYER; BOX; THOMPSON, 1982). A liteira foliar apresenta ainda pequena variação em sua distribuição espacial, em seu conteúdo de nutrientes e é responsável pela maior parte da transferência anual de nutrientes ao solo. Por estas características, esta fração se torna mais adequada à comparação entre ecossistemas florestais, no tocante à eficiência de seus componentes vegetais na utilização de nutrientes (CUNHA et al., 1993).

Os nutrientes que circulam no sistema florestal estão sujeitos a perdas ocasionadas pelos processos de erosão, lixiviação, desnitrificação, fogo e colheita florestal, sendo a reposição de nutrientes compensada pelo material formador do solo, pela atmosfera e pela chuva (GOLLEY et al., 1978).

Os estudos da produção de liteira e do fluxo de nutrientes minerais associados são de fundamental importância para a compreensão dos aspectos dinâmicos dos ecossistemas, motivo pelo qual sua quantificação vem sendo realizada em diversas partes do mundo (PROCTOR, 1983), utilizando-se de uma metodologia simples, de baixo custo e relativamente padronizada. Tais estudos têm como objetivos fornecer índices de produção e noções acerca das taxas de decomposição da liteira (PROCTOR, 1983), caracterizando-se

como uma ferramenta indicadora do grau de fragilidade e do nível de perturbação dos ecossistemas florestais, em face da crescente ocupação destes ambientes naturais pelo homem.

Portanto, essa pesquisa é uma tentativa de esclarecer o seguinte problema científico: Quais as causas e diferenças na dinâmica dos cátions Ca e Mg, na liteira em um ecossistema de floresta sucessional? E a hipótese testada: se a quantidade dos elementos químicos possuem natureza diferencial determinada pela matriz biogeoquímica, logo, torna-se possível quantificá-los, assim como os fatores que controlam as funções de acúmulo, considerando um ecossistema de floresta sucessional. Pois, através do estudo da ciclagem pode-se obter informações sobre a distribuição de elementos químicos no sistema e inferir sobre a dinâmica entre os diferentes compartimentos do vegetal (GOLLEY, 1996; JORDAN, 1985), para tanto os objetivos deste estudo são: (a) medir o fluxo de liteira em floresta sucessional; (b) avaliar o fluxo de nutrientes em liteira; (c) avaliar a influência da sazonalidade no fluxo de liteira e nutrientes.

## REFERÊNCIAS

- BOREM, R. A. T. ; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. **Cerne**, Lavras, v.8, n.2, p.42-59, 2002.
- BRAY, J. R. ; GORHAM, E. Litter production in forest of the world. **Advances Ecology of Research**, v.2, p.101-157, 1964.
- BRITZ, R. M. ; REISSMANN, C. B. ; SILVA, S. M. ; SANTOS FILHO, A. Deposição estacional de serapilheira e macronutrientes em uma floresta de Araucaria em São Mateus do Sul-Paraná. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, v.4, n.1, p.766-772. 1992.
- CUNHA, G. C. DA; GRENDENE, L. A. ; DURLO, M. A. ; et al. **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. 1993.
- DELITTI, W. B. C. **Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na mata ciliar, no campo cerrado e na floresta implantada de *Pinus elliottii* var. *elliottii***. 248f. Tese (Doutorado em Ecologia Vegetal) – Instituto de Botânica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1984.
- DOMINGOS, M. ; MORAES, R. M. ; DE VUONO, Y. S. ; ANSELMO, C. E . Produção de serapilheira retorno de nutrientes em um trecho de Mata Atlântica secundária na Reserva Biológica de Paranapiacaba, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v.20, n.1, p.91-96. 1997.
- FERRI, M. G. **Ecologia: temas e problemas brasileiros**. São Paulo: EDUSP, 1974.
- GOLLEY, F. B. ; MCGINNIS, J. T. ; CLEMENTS, R. G. ; CHILD, G. I. ; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo, EPU/EDUSP. 1978.
- GOLLEY, F. B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: GOLLEY, F. B. **Tropical Rainforest Ecosystem: structure and function**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Science B. V., 1996. p. 137-156.
- HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 144 p. 1985.

- HERRERA, R. ; JORDAN, C. F. ; KLINGE, H. ; MEDINA, E. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. **Interciencia**, v.3, p.223-232. 1978.
- JOHNSON, C. M. ; VIEIRA, I. C. G.; ZARIN, D. J. ; FRIZANO, J. ; JOHNSON, A. H. Carbon and nutrient storage in primary and secondary forests in eastern Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v.147, n.2-3, p.245-252. 2001.
- JORDAN, C.F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems**. New York: John Wile. 1985.
- KLINGE, H. ; FURCH, K. ; HARMS, E. ; REVILLA, J. Foliar nutrient levels of native tree species from Central Amazonia. I. Inundation forests. **Amazoniana** v.8, n.1, p.19-45. 1983.
- KLINGE, H. Foliar nutrient levels of native tree species from Central Amazônia. 2. Campina. **Amazoniana**, v.9, n.3, p.281-295. 1985.
- MAGALHÃES, L. M. S. ; BLUM, W. E. H. Concentration and distribution of nutrients in leaves of forest species, in eastern Amazonia. **Floresta e Ambiente**, v.6, n.1, p.127-137. 1999.
- MARTINS, C. C. ; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, n.3, p.405-412. 1999.
- MEGURO, M.; DELITTI, W.B.C. O papel da precipitação na ciclagem de nutrientes minerais no campo cerrado de Mogi-Guaçu, SP. **Ciência e Cultura**, v.37 (suplemento), p.501-504. 1985.
- MEGURO, M. ; VINUEZA, G. N. ; DELITTI, W. B. C. **Ciclagem de nutrientes na mata mesófila secundária, São Paulo**. I. Produção e conteúdo de nutrientes minerais no folheto. **Boletim de Botânica**, v.7, p.11-31. 1979.
- MELLO, R. S. P. ; PORTO, M. L. **Produção de serapilheira em duas florestas subtropicais no Sul do Brasil**. Iheringia, ser. Botânica, v.49, p. 63-85. 1997.
- MEENTMEYER, V. ; BOX, E. O. ; THOMPSON, R. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. **BioScience**, v. 32, p.125-128, 1982.

- MORAES, R. M. ; DOMINGOS, M. Elementos minerais em folhas de espécies arbóreas de Mata Atlântica e Mata de Restinga, na Ilha do Cardoso, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v.20, n.2, p.133-138. 1997.
- MORAES, R. M. ; DELITTI, W. B. C.; DE VUONO, Y. S. Litterfall and litter nutrient content in two brazilian tropical forests. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, n.1, p.9-16. 1999.
- NEVES, E. J. M. ; REISSMANN, C. B. ; FERREIRA, C. A. ; BELLOTE, A. F. J.; DÜNISCH, O. Nutricional status of *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn and *Virola surinamensis* (Rol.) Warb growing no poor soils in the Brazilian Amazon Region. p.71-77. In: J. BAUCH; O. DÜNISCH; L. GASPARATTO (eds.). **Investigations on tree species suitable for the recultivation of degraded land areas in central Amazonia**. Hamburg, Mitteilungen der Dbundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. 1999.
- ODUM, E. P. **Ecología: el vínculo entre las ciencias naturales y las sociales**. México: Compañía Editorial Continental. 295p. 1980.
- PAROLIN, P. ; ARMBRÜSTER, N. ; JUNK, W. J. Seasonal changes of leaf nitrogen content in trees of Amazonian floodplains. **Acta Amazônica**, v.32, n.2, p.231-240. 2002.
- PROCTOR, J. Tropical Forest Litterfall I: Problems of data comparison. IN: SUTTON, A. ; CHADWICK, C. **Tropical Rain Forest: the leeds symposium**. Leeds. Leeds Philos. Nat. Hist Soc. p.83-113. 1983.
- REISSMANN, C. B. ; ROCHA, H. O. ; KOEHLER, C. W. ; CALDAS, R. L. S. ; HILDEBRAND, E. E. Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) sobre cambissolos na região de Mandirituba-PR. **Revista Floresta**, v.14, n.2, p.49-54. 1983.
- SCHUBART, H. O. R.; FRANKEN, W. ; LUIZÃO, F. J. Uma floresta sobre solos pobres. **Ciência Hoje**, v.2, n.10, p.26-32. 1984.
- THOMPSON, J. ; PROCTOR, J. ; VIANA, V. ; MILLIKEN, W. ; RATTER, J. A. ; SCOTT, D. A. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. I. Physical environment, forest structure and leaf chemistry. **Journal of Ecology**, v.80, p.689-703. 1992.
- VASCONCELOS, S. S. ; ZARIN, D. J. ; CAPANU, M. ; LITTELL, R. ; DAVIDSON, E. A. ; ISHIDA, F.Y.; SANTOS, E.B.; ARAUJO, M.M.; ARAGAO, D.V.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. ; OLIVEIRA, F. DE A. ; MCDOWELL, W. H. ; DE

CARVALHO, C. J. R. Moisture and substrate availability constrain soil trace gas fluxes in an eastern Amazonian regrowth forest. **Global Biogeochemical Cycles**, 18: GB2009, 2004.

VIEIRA, L. C. **Manual de ciência do solo**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1975.

VILLELA, D. M. ; PROCTOR, J. Litterfall mass, chemistry, and nutrient retranslocation in a monodominant forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. **Biotropica**, v.31, n.2, p.198-211. 1999.

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

## CAPÍTULO 1

### DINÂMICA DO CÁLCIO E MAGNÉSIO NA LITEIRA EM UM ECOSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA, EM REGIME DE MANIPULAÇÃO HIDROPERIÓDICA

#### 2.1 RESUMO

A dinâmica do Ca e Mg foi avaliada através da produção de liteira em um ecossistema sucessional florestal, no planalto do médio rio Apeú, Castanhal, NE, Pará (1°19' S, 47°57' W), durante o período de janeiro a dezembro de 2000 e 2006. Este estudo fez parte do Projeto de Manipulação de Água e Nutrientes em Ecossistema de Floresta Secundária na Amazônia Oriental (MANFLORA). O experimento foi delineado em blocos inteiramente casualizados, contendo tratamentos controle e irrigado durante o período seco (5 mm de água/dia), com quatro repetições cada. Os valores médios mensais de liteira variaram de 316,10 a 997,90 kg ha<sup>-1</sup>mês<sup>-1</sup>. A magnitude desse fenômeno pode ser explicada pelo papel funcional da estrutura florística, representado pelas espécies, *Myrcia sylvatica* (G. mey) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, e *Cupania scrobiculata* Rich. e *Ocotea guianensis* Aubl, que se constituíram nos fatores determinantes, associado ao efeito hidroperiódico e a manipulação do ecossistema. Os resultados analíticos médios mensais de massa dos tratamentos foram significativos (P <0,05), contudo quando comparados anualmente não houve significância, indicando influência sazonal, pois a época de maior deposição é no período seco, independente da manipulação de água ao longo do período estudado. Os valores de massa de Ca e Mg não foram significativos em tratamento somente em tempo (P <0,05). A quantidade de Ca foi significativamente (P <0,05) maior em relação ao do Mg.

**Palavras-chave:** Biogeoquímica; Serapilheira; Floresta secundária; Irrigação; Amazônia Oriental.

## DYNAMICS OF CALCIUM AND MAGNESIUM THE LITTER IN A FOREST ECOSYSTEM SUCCESSIONAL, UNDER THE MANIPULATION HYDROPERIOD

### 2.2 ABSTRACT

The dynamics of Ca and Mg were measured by the production of litter in an ecosystem successional forest on the plateau of average river APEU, Castanhal, NE, Pará (1 ° 19 'S, 47 ° 57' W) during the period January-December 2000 and 2006. This study was part of Project Handling of Water and Nutrients in Secondary Forest Ecosystem in the Eastern Amazon (MANFLORA). The experiment was designed in randomized blocks containing control and irrigated treatments during the dry season (5 mm water/day) with four replicates. The monthly average values of litter ranged from 316.10 to 997.90 kg ha<sup>-1</sup>mo<sup>-1</sup>. The magnitude of this phenomenon can be explained by the functional role of floristic structure, represented by the species, *Myrcia sylvatica* (G. Mey) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, and *Cupania scrobiculata* Rich. and *Ocotea guianensis* Aubl, which constituted the factors associated with the effect of hydroperiod and manipulation of the ecosystem. The analytical results monthly average mass of the treatments were significant (P <0.05), yet when compared year was not significant, indicating seasonal influence, since the time of deposition is greater in the dry season, regardless of water handling along the study period. Mass values of Ca and Mg were not significant only in treatment time (P <0.05). The amount of Ca was significantly (P <0.05) higher compared to that of Mg.

**Keywords:** Biogeochemistry; Litter; Secondary forest; Irrigation; Eastern Amazon.

### 2.3 INTRODUÇÃO

As regiões tropicais são caracterizadas como locais de grande intensidade luminosa, precipitação pluviométrica abundante e predominância de solos com minerais de argila de baixa atividade. Mas, é justamente nessas regiões que se observam o alto índice de biodiversidade vegetal. Dentre essas características a pobreza do solo em nutrientes fez com que a maioria dos estudos de ciclagem de nutrientes se concentrasse nos compartimentos bióticos, principalmente na liteira, de mais fácil mensuração (SUMMERS, 1998; CLEVELÁRIO JÚNIOR, 1988; KLINGE; RODRIGUES, 1968). Logo, a produção de liteira é considerada o meio mais importante de transferência de elementos essenciais da vegetação para o solo. Além disso, é fundamental para o conhecimento da estrutura e funcionamento de ecossistemas florestais.

A liteira pode ser definida como todos os tipos de material biogênico em vários estádios de decomposição, o qual representa uma fonte potencial de energia para as espécies consumidoras. Porém, diversos fatores, bióticos e abióticos, influenciam na deposição de liteira, tais como: tipo de vegetação, latitude, altitude, relevo, temperatura, precipitação, disponibilidade de luz durante a estação de crescimento, fotoperíodo, evapotranspiração; deciduidade, estágio sucessional, disponibilidade hídrica e estoque de nutrientes no solo. A deposição de liteira é o resultado da interação destes fatores e, conforme as peculiaridades de cada sistema, um fator pode prevalecer sobre os demais (SCHUMACHER et al., 2004; BRUN et al., 2001; ODUM, 1988; VITOUSEK; SANFORD, 1986; GOLLEY et al., 1978).

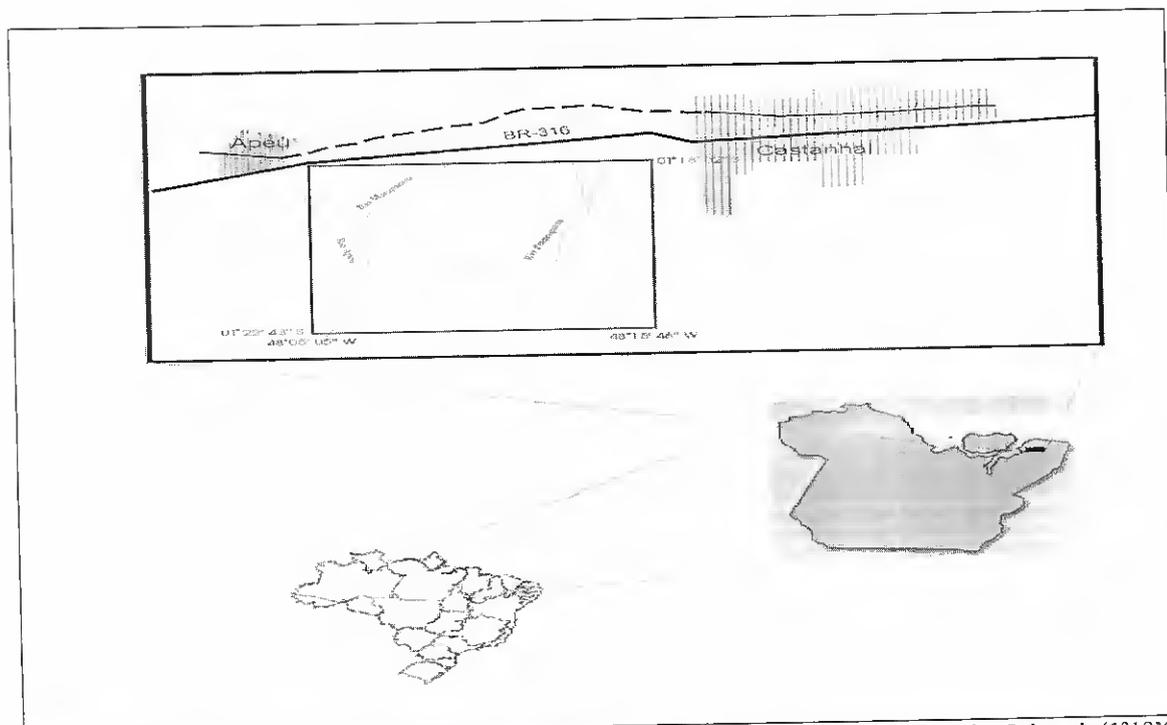
A baixa disponibilidade de água no solo é considerada uma das principais condições de estresse do ambiente (SANTOS, 1996) e de extrema importância para a atividade metabólica e sobrevivência foliar (SINCLAIR; LUDLOW, 1985), levando a habilidade de sobrevivência durante um estresse hídrico a ser determinante para a distribuição e produtividade das plantas (PIMENTEL et al., 1990). Por isso, a escassez de água é um fator preocupante para as florestas tropicais, podendo promover um colapso ambiental, onde várias espécies podem desaparecer se esses ecossistemas enfrentarem secas consecutivas (SANTOS; 1996; NEPSTAD et al., 1998).

Portanto, o objetivo desse estudo foi quantificar a produção de liteira acumulada mensalmente e a concentração dos nutrientes Ca e Mg em floresta sucessional, sob manipulação de água. Com a seguinte pergunta: A disponibilidade de água durante o período seco pode alterar os ciclos biogeoquímicos de Ca e Mg em um ecossistema sucessional? Se os

ciclos biogeoquímicos possuem variabilidade de acordo com o fenômeno hidroperiódico, logo possui uma dinâmica sazonal.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no âmbito do Projeto Manipulação de Água e Nutrientes em Ecossistema de Floresta Secundária na Amazônia Oriental (MANFLORA) iniciou em 1999, quando a regeneração da floresta tinha 12 anos de idade. O experimento foi realizado na Estação de Piscicultura de Água Doce (EPAD), pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), na região do médio rio Apeú, Castanhal, na bacia do Rio Praquiçara ( $1^{\circ}19' S$ ,  $47^{\circ}57' W$ ), distando de Belém 80 km (Figura 1).



**Figura 1** - Área experimental na região do médio Apeú, nordeste do Pará, Amazônia Oriental ( $1^{\circ}19'S$ ,  $47^{\circ}57'W$ ).

A paisagem circundante é marcada por florestas secundárias, agroecossistemas e pastagens. Segundo Falesi et al. (1980), na Zona Bragantina existia a floresta tropical úmida, que com a colonização e a prática da agricultura, através de sucessivos cortes e queimas, modificou a paisagem formando um mosaico de diferentes estádios sucessionais, com predominância de vários agroecossistemas, principalmente de pastagem. O povoamento em

estudo foi modificado devido a agricultura itinerante que inclui o ciclo do cultivo de milho, mandioca e feijão, por 1 a 2 anos seguido de pousio, e abandonado em 1987.

O relevo da região é suave ondulado a ondulado, sob vegetação de floresta, constituindo em sua maior parte por superfície aplainada, dissecada em colinas de topo plano, com pequena variação altimétrica (TENÓRIO et al., 1999). Apresenta Latossolo Amarelo distrófico de textura argilosa e concrecionários lateríticos (TENÓRIO et al., 1999), englobando tanto solos com horizonte B textural como B latossólico. Os perfis podem apresentar-se completamente argilosos ou argilo-arenosos no horizonte A e argilosos fortemente ácidos com baixa saturação de bases no B, possuindo boa distribuição de poros e uma estrutura em blocos subangulares ou maciça, mascaradas pelas concreções lateríticas (BRASIL, 1974).

A composição granulométrica nos primeiros 20 cm é de 40% de argila, 30% de areia e 30% silte. Concreções representam 16% do volume de solo superficial (0-10 cm), com pH de 5,0, C orgânico de 2,2%, estoque de C orgânico de 2,9 kg m<sup>-2</sup>, N total de 0,15%, C:N 14,4, e Mehlich-1 de fósforo extraíveis 1,58 kg mg<sup>-1</sup> (RANGEL-VASCONCELOS, 2002).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am3, com precipitação pluviométrica média anual de 2000-2500 mm; 70-90% da precipitação anual ocorrem entre janeiro a julho, enquanto que o período seco ocorre de agosto a dezembro, sendo os meses secos considerados quando a precipitação foi inferior a 100 mm (Tabela 1). A análise da climatologia sazonal da precipitação confirmou resultados anteriores (FIGUEROA; NOBRE, 1990; ROCHA, 2001, VIEIRA et al., 2004) onde grande parte da Amazônia apresenta dois períodos bem distintos: o de estiagem, com precipitações médias mensais inferiores a 100 mm, e o chuvoso, com precipitações médias acima de 200 mm/mês. A temperatura média diária do ar varia entre 24,7 a 27,3 °C, com máxima de 30,1 a 32,7 °C e mínima de 19,2 a 24,2 °C. A umidade relativa do ar apresenta valores médios anuais que variam de 78 a 90% (MARTORANO; PEREIRA, 1993).

**Tabela 1** - Distribuição da precipitação e intensidade durante o período experimental no local. Os meses secos foram considerados quando a precipitação foi inferior a 100 mm. O período seco incluiu a precipitação de agosto a dezembro.

|                                     | Ano  |      |
|-------------------------------------|------|------|
|                                     | 2000 | 2006 |
| Precipitação anual (mm)             | 2399 | 2756 |
| Precipitação mensal mínima (mm)     | 66   | 63   |
| Precipitação mensal máxima (mm)     | 291  | 434  |
| Total de chuva no período seco (mm) | 694  | 630  |

O ecossistema dominante apresentou vegetação secundária latifoliada, contendo as seguintes espécies: *Myrcia sylvatica* (G. meyer) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, *Cupania scrobiculata* Rich. e *Ocotea guianensis* Aubl, que representam 71% da área amostral (PANTOJA, 2002). Algumas espécies como, por exemplo, a *Annona paludosa* e *Rollinia exsucca*, ocorre deciduidade durante a estação seca.

Para tanto, foi realizado um levantamento florístico nas parcelas experimentais, logo no início do projeto, em 1999, isto é, quando a floresta tinha 12 anos e posteriormente outro em 2006. A vegetação arbórea foi inventariada em quatro parcelas de 10 x 10 m, onde foram medidos indivíduos de espécies arbóreas com diâmetro a 1,3 m de altura (DAP)  $\geq$  1 cm, cada árvore medida foi identificada com plaqueta metálica numerada e identificada até o nível de espécie. O material botânico foi coletado e herborizado no herbário da Embrapa Amazônia Oriental.

O procedimento de seleção de áreas para coleta das amostras do fluxo deposicional da matriz biogeoquímica foi realizado em locais com plena cobertura do dossel e homogeneidade das características do ecossistema para obtenção de uma amostragem de fluxo com maior exatidão. A coleta das amostras foi realizada seguindo a locação dos coletores, de acordo com o delineamento experimental blocos casualizados, com medidas repetidas no tempo.

O ecossistema foi dividido em quatro blocos casualizados, com dois tratamentos, sendo os tratamentos controle (testemunha) e irrigado (irrigação durante o período de seca). Cada parcela de tratamento mediu 20x20 m, com parcelas centrais de 10x10 m, que continham três coletores de matriz biogeoquímica (liteira deposicional) (Figura 2). O experimento foi avaliado durante os anos de 2000 e 2006, sendo que os tratamentos permaneceram durante o intervalo dos anos avaliados.

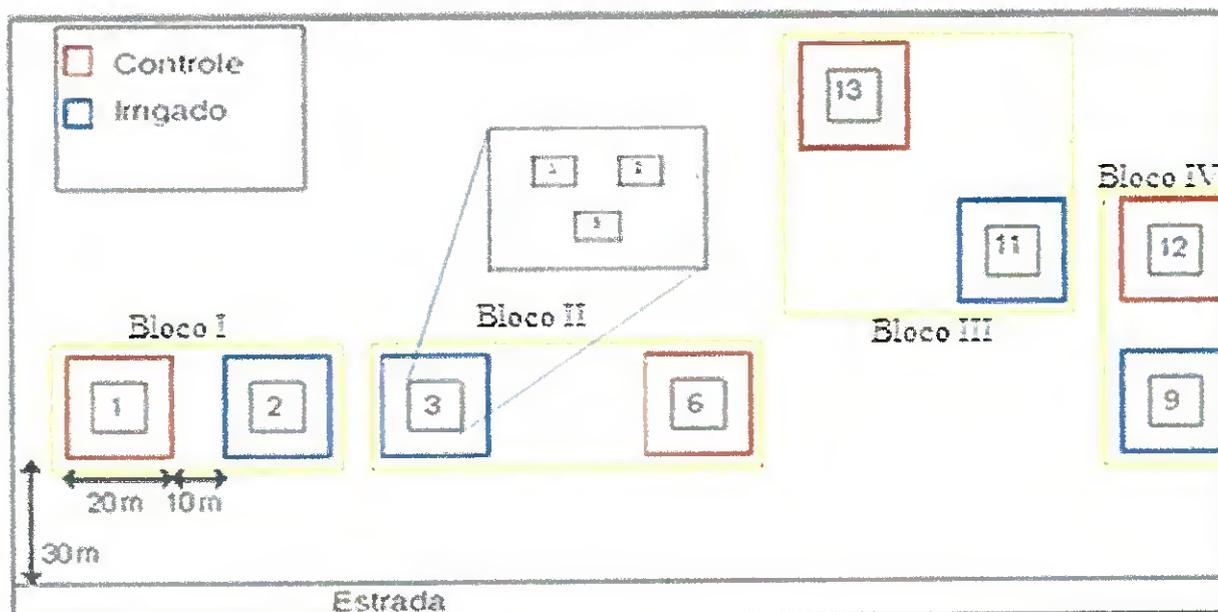


Figura 2 - Parcelas experimentais com os tratamentos controle e irrigado em floresta secundária.

No tratamento irrigado foram acrescentados 5 mm de água/dia, por cerca de 30 minutos, durante a estação seca, no final da tarde, por meio de mangueiras de plástico (santeno), alocadas sistematicamente nas parcelas centrais (Figura 3). A quantidade de irrigação diária aplicada correspondeu à estimativa da evapotranspiração regional por dia, em floresta secundária na Amazônia (LEAN et al., 1996; JIPP et al., 1998; SOMMER et al., 2002).



Figura 3 - Sistema de irrigação implantado no tratamento irrigado na floresta sucessional na Estação da UFRA, Castanhal/PA.

Em 2001, fitas de irrigação foram espaçadas 4 m uma das outras. Nas irrigações posteriores, a distância entre as fitas foi reduzida para 2 m visando obter uma distribuição

mais uniforme da água. O total de irrigação aplicada variou de 630 a 790 mm por estação seca, o que representa um aumento de 100-200% da entrada de água na estação seca, e um aumento na precipitação anual de 21-34% da precipitação anual.

Os coletores mediam  $1 \text{ m}^2$  ( $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ) e profundidade de 0,10 m, suspensos do solo a 0,3 m. A frequência das coletas foi semanal para reduzir o processo de lixiviação dos nutrientes nas amostras ainda no coletor (PROCTOR, 1983) (Figura 4).



Figura 4 - Coletor de liteira no tratamento controle, instalado 30 cm acima da superfície do solo, em floresta sucessional, Castanhal/PA.

As amostras de frações da matriz biogeoquímica foram classificadas como: i) não-lenhosa (folha, flor, semente, fruto e miscelânea) e ii) lenhosa  $>3 \text{ cm}$  (ramos e galhos). Os materiais vegetais coletados em cada coletor de liteira foram secos em laboratório a  $60\text{-}70^\circ\text{C}$ , durante 48h, e pesados. Em intervalos de quatro semanas, os materiais a partir do mesmo coletor foram misturados e, em seguida, separados em frações lenhosas e não lenhosas. Os compostos de amostras não lenhosas foram moídos e armazenados em frascos de vidro de 60 ml.

Para as análises de Ca e Mg, foram retiradas subamostras de 0,5 g para análise química dos elementos, a partir de um extrato, houve leitura, através de espectrofotometria de absorção atômica (MIYAZAWA, 1999; ROTHERY, 1986). As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental. Os valores de massa dos nutrientes foram determinados pela multiplicação das concentrações médias (ppm) de Ca e Mg pelos valores de massa seca ( $\text{g m}^{-2}$ ) da matriz biogeoquímica da liteira coletada semanalmente.

Os resultados analíticos foram organizados em planilhas formato XLS. Foi utilizado o software MINITAB versão 15 para todas as análises estatísticas. Foram analisados os efeitos do tratamento, tempo e a interação tratamento e tempo. Quando necessário, foram realizadas transformações logarítmicas e raiz quadrada, para atender as exigências do modelo como os testes de normalidade e homogeneidade de variância, com os critérios de significância ( $P < 0,05$ ).

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ecossistema sucessional de floresta durante o período estudado foram encontrados 2.744 indivíduos pertencentes a 24 famílias e 29 espécies com DAP médio de 2,61 cm e altura média 4,86 m, no ano de 1999 e, em 2006, o DAP médio foi 3,31 cm e a altura média 6,82 m. O número de espécies encontradas nesse experimento foi considerado baixo, porém seguiu o padrão das florestas secundárias da Zona Bragantina, devido apresentar poucas espécies. A vegetação é a principal responsável pela variabilidade horizontal da liteira, ou seja, quanto mais diversa for a comunidade vegetal, mais heterogênea será a liteira (CORREIA; ANDRADE, 1999).

As famílias mais representativas foram Lacistemataceae e Myrtaceae, devido ao grande número de indivíduos de *Lacistema pubescens* (1.046) e *Myrcia sylvatica* (595), respectivamente, perfazendo mais de 60% da composição florística da área (Tabela 2). As espécies mais abundantes na área além das espécies supracitadas foram *Vismia guianensis* (134), *Cupania scrobiculata* (131) e *Inga* sp. (87), que também foram muito abundantes no estrato superior dessa floresta (PANTOJA, 2002; LIMA, 2003; TUCKER et al., 2003).

**Tabela 2** - Lista de espécies dominantes identificadas na área experimental da Estação de Piscicultura de Água Doce (EPAD), no município de Castanhal, através de levantamento florístico.

| N. | Espécie                             | Família         | Nome Vulgar             |
|----|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|
| 1  | <i>Lacistema pubescens</i>          | Lacistemataceae | Passarinheira-H         |
| 2  | <i>Myrcia sylvatica</i>             | Myrtaceae       | Murtinha                |
| 3  | <i>Vismia guianensis</i>            | Clusiaceae      | Lacre                   |
| 4  | <i>Cupania scrobiculata</i>         | Sapindaceae     | Pau de espeto/andorinha |
| 5  | <i>Inga rubiginosa</i>              | Mimosaceae      | Ingá chato/Ingá peludo  |
| 6  | <i>Myrcia bracteata</i>             | Myrtaceae       | Murta                   |
| 7  | <i>Banara guianensis</i>            | Flacourtiaceae  | Pau de picos/andorinha  |
| 8  | <i>Miconia ciliata</i>              | Melastomataceae | Chumbinho               |
| 9  | <i>Inga flagelliformis</i>          | Mimosaceae      | Ingá chato              |
| 10 | <i>Inga thibaudiana</i>             | Mimosaceae      | Ingá cipó               |
| 11 | <i>Chimarris turbinata</i>          | Rubiaceae       | Pau de remo             |
| 12 | <i>Astrocaryum gynacanthum</i>      | Arecaceae       | Mumbaca                 |
| 13 | <i>Couratari guianensis</i>         | Lecythidaceae   | Tauari                  |
| 14 | <i>Talisia sp.</i>                  | Sapindaceae     | Pitomba                 |
| 15 | <i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> | Mimosaceae      | Paricazinho             |

Estas espécies são consideradas pioneiras nas florestas secundárias da Zona Bragantina (OLIVEIRA, 1995; VIEIRA, 1996; SANTANA, 2000). O hábito mais peculiar da vegetação foi árvore o que indica que a floresta está num estágio mais avançado de sucessão (SMITH et al., 1997). Os fatores que afetam a forma e a ciclagem de nutrientes estão intimamente ligados às condições climáticas e fenológicas, bem como aos aspectos ambientais e aos poluentes, variando de espécie para espécie (SCHUMACHER, 1992; POGGIANI; SCHUMACHER, 2000).

A variação mensal da produção total de liteira durante os períodos de janeiro a dezembro de 2000 e de 2006 nas parcelas controle e irrigado está representada na Figura 5b. A produção mensal de liteira no ano de 2000, no tratamento controle, variou de 421,20 kg ha<sup>-1</sup> (março) a 997,90 kg ha<sup>-1</sup> (setembro), com um valor médio de 644,40 ± 225,90 kg ha<sup>-1</sup>, representando um total de 7,73 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (Figura 5b). Como se pode observar, os valores mínimos e máximos encontram-se em períodos diferentes, pois março é um mês típico da estação chuvosa e setembro da estação seca, ocorrendo assim um controle sazonal da hidroperiodicidade.

A queda das folhas é causada pela senescência, resultante de uma série de processos metabólicos ligados à fisiologia de cada espécie, e também pelos estímulos vindos do ambiente, como fotoperíodo, temperatura, estresse hídrico (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960). Contudo, em 2006, a quantidade anual de liteira no tratamento controle reduziu para 6,91 Mg

ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, quando comparado ao tratamento irrigado, variando de 316,10 kg ha<sup>-1</sup> (janeiro) a 937,90 kg ha<sup>-1</sup> (julho), sendo que a média mensal foi de 575,96 ± 202,60 kg ha<sup>-1</sup>.

Nesse caso observa-se, que os valores encontram-se no mesmo período, mas neste ano os índices pluviométricos foram baixos desde junho (Figura 5a), indicando que o fenômeno hidroperiódico tem influência na dinâmica da liteira nesse ecossistema, evidenciando a sazonalidade nos diferentes períodos estudados (2000 e 2006). Além disso, o fluxo de liteira é variável de acordo com o ecossistema considerado e seu estágio sucessional (DELITTI, 1989).

A produção anual em ecossistemas sucessionais em clímax de planalto, na Amazônia, situa-se na faixa de 7-10 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (VASCONCELOS et al., 2008; VITOUSEK, 1984; STARK, 1971; HERRERA et al., 1978; KLINGE; RODRIGUES, 1968), mas pode variar consideravelmente de um ano para outro, dependendo da fenologia das espécies de árvores e, principalmente, dos padrões de precipitação pluviométrica, uma vez que há um forte controle sazonal da produção de liteira fina: maiores produções são medidas nos períodos mais secos do ano (LUIZÃO, 1989). Logo, a camada de liteira sobre o solo também apresenta um forte padrão sazonal, diminuindo sua espessura no final da época chuvosa e aumentando-a no período seco (LUIZÃO; SCHUBART, 1987).

O tratamento irrigado apresentou uma deposição anual, em 2000, de 8,26 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, com um valor médio mensal de 688,76 ± 183,00 kg ha<sup>-1</sup>, que variou de 388,20 kg ha<sup>-1</sup> (março) a 1171,60 kg ha<sup>-1</sup> (setembro). Já em 2006 a deposição anual reduziu para 7,29 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>, com um valor médio mensal de 607,91 ± 205,80 kg ha<sup>-1</sup>, que variou de 305,70 kg ha<sup>-1</sup> (janeiro) a 949,20 kg ha<sup>-1</sup> (agosto).

O tratamento irrigado teve maior produção de liteira que a parcela controle, ou seja, os pulsos hidroperiódicos artificiais provavelmente contribuíram para uma maior deposição de fitomassa nesse ecossistema, isso pode ter implicado num distúrbio ecofisiológico das plantas, em relação à disponibilidade de água, fora da estação chuvosa, contudo não houve interação significativa em tratamento x tempo (Tabela 3, Figura 2b). Para a massa anual somente para tempo foi altamente significativa (P < 0,01).

**Tabela 3** - Análises de variância com níveis de significância associados para os efeitos dos tratamentos (controle e irrigado), tempo de amostragem, e sua interação sobre a massa não-lenhosa e nutrientes em uma floresta tropical secundária no leste da Amazônia, Brasil. O nível de significância é indicado (\*:  $P < 0,05$ , \*\*:  $P < 0,01$ , ns: não significativo).

| Liteira (não lenhosa)  | Experimento Irrigado |         |               |
|------------------------|----------------------|---------|---------------|
|                        | Tratamento           | Tempo   | Trat. x Tempo |
| Massa mensal           | 0,043*               | 0,000** | 0,613ns       |
| Massa Ca mensal        | 0,298ns              | 0,000** | 0,400ns       |
| Massa Mg mensal        | 0,171ns              | 0,000** | 0,933ns       |
| Concentração Ca mensal | 0,012*               | 0,000** | 0,997ns       |
| Concentração Mg mensal | 0,000**              | 0,000** | 0,970ns       |
| Massa anual            | 0,126ns              | 0,003** | 0,803ns       |
| Massa Ca anual         | 0,440ns              | 0,353ns | 0,805ns       |
| Massa Mg anual         | 0,316ns              | 0,000** | 0,951ns       |
| Concentração Ca anual  | 0,060ns              | 0,348ns | 0,581ns       |
| Concentração Mg anual  | 0,000**              | 0,212ns | 0,134ns       |

Para Delitti (1984), o aumento na quantidade de liteira com baixa precipitação é comum em regiões tropicais e reflete uma estratégia de minimização dos efeitos da escassez de água. Nas regiões de clima tropical como a Amazônia, a influência exercida pela pluviosidade é de fundamental importância para o acúmulo, velocidade de decomposição e liberação de nutrientes da liteira (LUIZÃO, 1982). A distribuição mensal da massa do Ca e do Mg estão ilustrados nas Figuras 5 c e d, respectivamente, e foram altamente significativos ( $P < 0,01$ ) somente em tempo (Tabela 3).

No tratamento controle a produção de Ca em 2000 foi de  $5,74 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , variando de  $0,034 \text{ g m}^{-2}$  a  $0,071 \text{ g m}^{-2}$ , com o valor médio de  $0,048 \pm 0,017 \text{ g m}^{-2}$ . Em 2006, a produção média foi de  $0,047 \pm 0,017 \text{ g m}^{-2}$ , variando  $0,019 \text{ g m}^{-2}$  a  $0,074 \text{ g m}^{-2}$  com uma quantidade total de  $5,58 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Tabela 4, Figura 5c). A dinâmica do Ca foi significativa na estação seca e na estação chuvosa, porém devido estar proporcionalmente associado aos pulsos de produção de liteira mensal que no período seco é maior, desta forma se torna mais acentuada neste período. Os pulsos hídricos mensais no tratamento irrigado, a massa do Ca, em 2000, variaram de  $0,031 \text{ g m}^{-2}$  a  $0,076 \text{ g m}^{-2}$ , com um valor médio de  $0,050 \pm 0,015 \text{ g m}^{-2}$ , totalizando  $5,99 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ . Em 2006, a produção média mensal foi de  $0,048 \pm 0,018 \text{ g m}^{-2}$ , correspondendo a um total de  $5,71 \text{ kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

**Tabela 4** - Produção anual dos nutrientes Ca e Mg, via liteira, sob os tratamentos controle e irrigado, nos anos de 2000 e 2006 em  $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

| Período | Tratamentos |      |          |      |
|---------|-------------|------|----------|------|
|         | Controle    |      | Irrigado |      |
|         | Ca          | Mg   | Ca       | Mg   |
| 2000    | 5,74        | 1,88 | 5,99     | 1,79 |
| 2006    | 5,58        | 1,53 | 5,71     | 1,44 |

No tratamento controle, a produção anual de Mg no fluxo de liteira foi 1,88 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com média mensal de 0,016 ± 0,007 g m<sup>-2</sup> em 2000, e 1,53 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em 2006, com média mensal de 0,013 ± 0,005 g m<sup>-2</sup>. Já no tratamento irrigado a produção de Mg no ano de 2000 foi 1,79 kg ha<sup>-1</sup>, com um valor médio de 0,015 ± 0,005 e no ano de 2006 a produção total foi 1,44 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, com a média de 0,012 ± 0,005 g m<sup>-2</sup> (Figura 5d).

Comparando a distribuição mensal no período seco (agosto a dezembro), quando a precipitação é inferior a 100 mm, dos diferentes anos estudados (2000 e 2006) observa-se que a quantidade depositada de Ca nos dois tratamentos foi maior que do Mg. A dinâmica do cálcio é alta na maioria das florestas tropicais estudadas (VITOUSEK, 1984). Por ser um elemento fixo nos tecidos vegetais (folha, casca, lenho e ramos), porém não houve uma diferença marcante entre os tratamentos.

A concentração e o conteúdo de nutrientes na liteira variam em função do tipo de solo, da vegetação, da densidade populacional, da habilidade da espécie em absorver, utilizar e redistribuir os nutrientes, do habitat natural e da idade das árvores. A concentração mensal do Ca (Figura 5) e do Mg (Figura 5), variou significativamente ( $P < 0,05$ ) em tratamento e em tempo, porém em concentração anual somente Mg foi altamente significativa ( $P < 0,01$ ) e apenas por tratamento (Tabela 3, Figura 6 a e b).

Segundo Yavitt *et al.* (2004) a irrigação não teve um impacto significativo efeito na concentração ou na queda de folhas ou quantidade de retorno de nutrientes anualmente pela queda das folhas. Os padrões temporais nas concentrações de nutrientes tenderam a acompanhar as na queda de folhas. O ciclo biogeoquímico compreende os processos de transferência dos nutrientes dentro do sistema solo-planta. A ciclagem dos nutrientes depende de vários fatores, dentre os quais, a sua mobilidade no interior da planta.

Segundo Mengel e Kirkby (1982), o ciclo bioquímico, que representa o movimento de translocação de nutrientes dos tecidos velhos para os novos da planta, é de fundamental importância para nutrientes de alta mobilidade como o Mg. Porém, é de menor significado para aqueles de redistribuição limitada como o Ca. Além disso, grande parte dos nutrientes é alocada nas árvores. Dentre os componentes da parte aérea da árvore, o maior teor de nutrientes é encontrado nas folhas, em seguida nos ramos e o restante no lenho e tronco (VIEIRA, 1998). Por isso, valores de Ca são encontrados em maior quantidade em relação ao Mg, devido a maior deposição de tecidos senescentes, como as folhas, e sua baixa mobilidade.

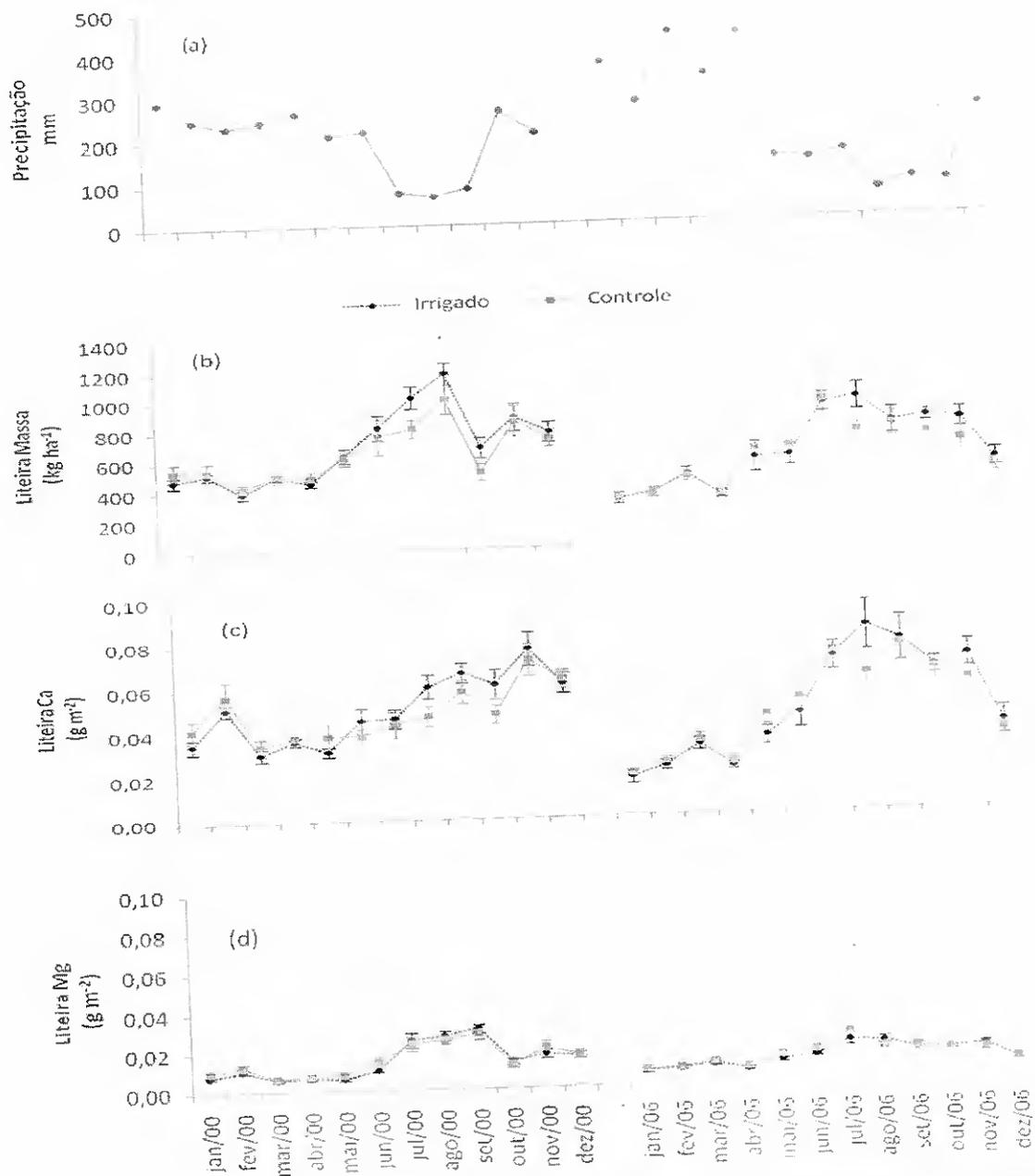
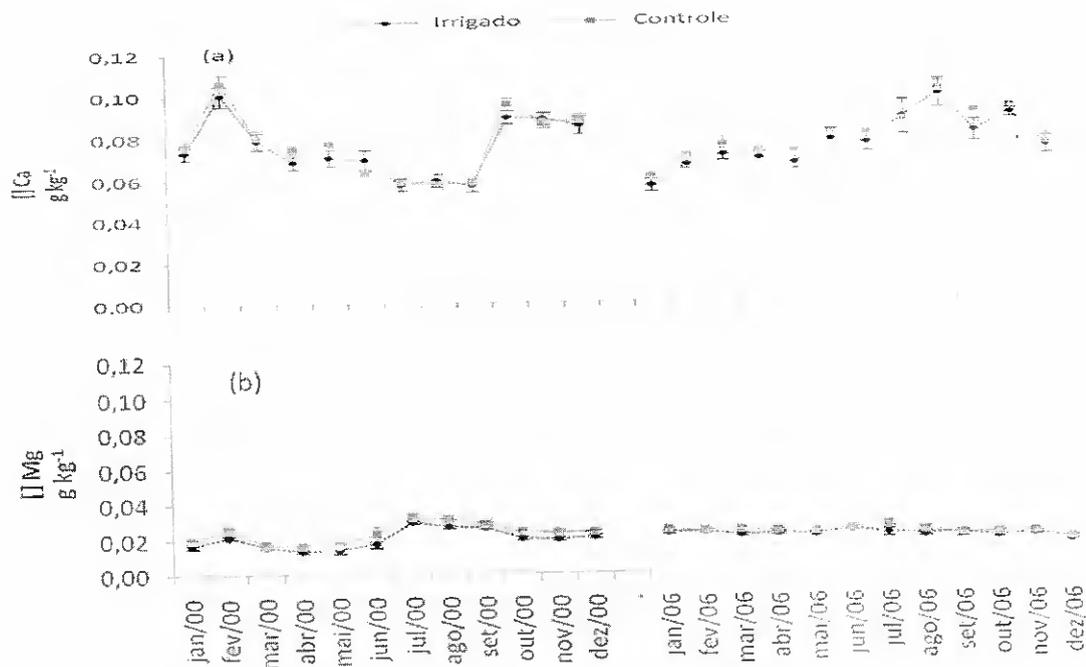


Figura 5 - Dinâmica da massa do Ca e Mg na liteira nos tratamentos controle e irrigado, em floresta sucessional em Castanhal/PA. Precipitação mensal (a), massa de liteira não lenhosa (b), dinâmica da massa do Ca (c) e dinâmica da massa do Mg (d).



**Figura 6** - Dinâmica da concentração do Ca e Mg nos tratamentos controle e irrigado, em floresta sucessional em Castanhal/PA. Concentração do Ca (a) e concentração do Mg (b).

## 2.6 CONCLUSÃO

A sazonalidade da produção total de liteira foi significativa, sendo maior na estação seca, independente da irrigação realizada no período seco, no tratamento irrigado. A produção anual de liteira não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos controle e irrigado. Contudo, um maior período de observação, seria necessário para confirmar essas informações de forma mais conclusiva ou obter mais resultados significativos para o tratamento da irrigado. A dinâmica do Ca e Mg diferiu em quantidade (produção) e concentração, sendo o Ca maior, independente do tempo e tratamento.

**REFERÊNCIAS**

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Projeto RADAM, Folha AS 23. Rio de Janeiro, 1974. 184p.

BRUN, E. J. ; SCHUMACHER, M. V. ; VACCARO, S. ; SPATHELF, P. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, 2001. p.277-285.

CLEVELÁRIO JÚNIOR, J. **Quantificação da massa do reservatório de nutrientes na serapilheira da bacia do Alto Rio da Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, e avaliação da sua participação na ciclagem de nutrientes**. Niterói. Tese (Mestrado em Geoquímica). Universidade Federal Fluminense - UFF. 1988. 152p.

CORREIA, M. E. F. ; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 490p.

DELITTI, W. B. C. **Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na mata ciliar, no campo cerrado e na floresta implantada de *Pinus elliottii* var. *elliottii***. 1984. 248f. Tese (Doutorado em Ecologia Vegetal) – Instituto de Botânica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1984.

DELITTI, W. B. C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Fundação Cargil, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto de Botânica, 1989. p.88-98.

FALESI, I. C. ; BAENA, A. R. C. ; DUTRA, S. **Conseqüências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste Paraense**. Belém : Embrapa-CPATU, 1980. p.49. (Boletim de Pesquisa, 14).

FIGUEROA, S. N. ; NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.5, n.6, p.36-48, 1990.

GOLLEY, F. B. ; MCGINNIS, J. T. ; CLEMENTS, R. G. ; CHILD, G. I. ; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: EDUSP, 1978.

- HERRERA, R. ; JORDAN, C. F. ; KLINGE, H. ; MEDINA, E. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia*, v.3, p.223-232. 1978.
- JIPP, P. H. ; NEPSTAD, D. C. ; CASSEL, D. K. ; DE CARVALHO, C. R. Deep soil moisture storage and transpiration in forest and pastures of seasonally-dry Amazonia. *Climatic Change*, v.39, p.395-412. 1998.
- KLINGE, H. ; RODRIGUES, W. Litter production in an area of Amazonian terra firme forest: part II - Mineral Nutrient Content of the Litter. *Amazoniana*, Manaus, v. 1, n.4, 1968. p.303-310.
- KRAMER, R. J. ; KOSLOWSKI, T. T. *Fisiologia das árvores*. Trad. de Antonio M.A. Magalhães. Lisboa: Fundação Kalouste Gouldbenkian, 1960. 745p.
- LEAN, J.; BUNTON, C.B.; NOBRE, C.A.; ROWNTREE, P.R. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. In: VICTORIA, R.L. (Ed.). *Amazonian deforestation and climate*. New York : John Wiley e Sons, 1996. p.549-576.
- LIMA, C. A. T. DE. *Regeneração natural de uma floresta secundária sob manipulação de água e nutriente no município de castanhal, Pará*. 2003. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém. 2003.
- LUIZÃO, F. *Produção e decomposição de liteira em floresta de terra firme da Amazônia Central. Aspectos químicos e biológicos da lixiviação e remoção de nutrientes da liteira*. 1982. 107f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA / UFAM, Manaus, 1982.
- LUIZÃO, F. J. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*, v.19, p.407-417. 1989.
- LUIZÃO, F. J. ; SCHUBART, H. O. R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*, v.43; p.259-265. 1987.
- MARTORANO, L. G. ; PEREIRA, L. *Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (THORNTHWAITTE)*. Belém : SUDAM/Embrapa, 1993. 50p.

MENGEL, K. ; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1982. 655 p.

MIYAZAWA, M. **Análises químicas de tecido vegetal. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília. EMBRAPA. 1999. p.173-223.

NEPSTAD, D. C. ; UHL, C. ; PEREIRA, C. ; SILVA, J. M. C. Barreiras ao estabelecimento de arvores em pastos abandonados na Amazônia: banco de sementes, predação de sementes, herbivoria e seca. IN: GASCON, C. ; MOUTINHO, P. (org.) **Floresta amazônica: dinâmica, regeneração e manejo**. 1998. p.191-218.

ODUM, E. P. Ciclos biogeoquímicos. In: ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro/RJ : Guanabara, 1988. p.111-136.

OLIVEIRA, L. C. DE. **Dinâmica de crescimento e regeneração natural de uma floresta secundária do estado do Pará**. 1995. 126f. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental). Universidade Federal do Pará. Belém. 1995.

PANTOJA, R. DE F. R. **Estrutura e dinâmica de três florestas secundárias em idades diferentes (4, 8 e 12 anos) no Município de Castanhal, Pará**. 2002. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 2002.

PIMENTEL, C. ; NETO JACOB, J. ; GOI, S. R. ; PESSANHA, G. G. Estresse hídrico em cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. em simbiose com o *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli. **Turrialba**, v.40, n.4, p.520-526. 1990.

PROCTOR, J. Tropical Forest Litterfall I: Problems of data comparison. In: Sutton, A.; Chadwick, C. **Tropical Rain Forest: the leeds symposium**. Leeds. Leeds Philos. Nat. Hist Soc. p.83-113. 1983.

POGGIANI, F. ; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. **Biomassa microbiana de solo sob vegetação secundária na Amazônia oriental**. 2002. 76f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 2002.

ROCHA, E. J. P. **Balço de Umidade e Influências de Condições de Contorno Superficiais Sobre a Precipitação da Amazônia.** 2001. 210f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo, 2001.

ROTHERY, E. **Operation manual SpetrAA-300.** Melbourne : Varian Australia Pty LTD. 1986. 180p.

SANTANA, J. A. S. **Composição florística de uma vegetação secundária no nordeste paraense.** Belém. FCAP. Serviço de documentação e informação. 2000. 27p. (FCAP, Informe Técnico, 26).

SANTOS, S. H. M. DOS. **Comportamento fisiológico de plantas jovens de espécies florestais sob diferentes regimes de água no solo.** 1996. 117f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1996.

SCHUMACHER, M. V. ; BRUNO, E. J. ; HERNANDES, J. I. ; KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.1, p.29-37, 2004.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Mesell.** 1992. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1992.

SINCLAIR, T. R. ; LUDLOW, M. M. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.12, p.213-217. 1985.

SMITH, M. D. ; LARSON, B. C. ; KELTY, M. J. ; ASHTON, P. M. S. Stand dynamic. In: Smith, M.D. (eds.) **The practice of silviculture.** New York: John Wiley e Sons, Inc. **Applied Forest Ecology**, p.20-41. 1997.

SOMMER, R. ; SÁ, T. D. D. A. ; VIELHAUER, K. ; ARAÚJO, A. C. D. ; FOLSTER, H. ; VLEK, P. L. G. Transpiration and canopy conductance of secondary vegetation in the eastern Amazon. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.112, p.103-121. 2002.

SUMMERS, P. M. **Estoque, decomposição e nutrientes da liteira grossa em floresta de terra firme na Amazônia central.** 1998. 103f. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA/UFAM. Manaus, 1998.

STARK, N. Nutrient cycling II : nutrient distribution in amazonian vegetation. **Tropical Ecology**, v.12, n.2, p.177-201, 1971.

TENÓRIO, A. R. M. ; GRAÇA, J. J. C. ; GÓES, J. E. M. ; MENDES, J. G. R. ; GAMA, J. R. N. F. ; SILVA, P. R. O. ; CHAGAS, P. S. M. ; SILVA, R. N. P. ; AMÉRICO, R. R. ; PEREIRA, W. L. M. **Mapeamento dos solos da Estação de Piscicultura de Castanhal**. Belém: FCAP. Serviço de documentação e informação, 1999. p.1-27. (FCAP. Informe Técnico, 25).

TUCKER, J. M. ; COELHO, F. R. F. ; ZARIN, D. J. ; ARAUJO, M. M. ; MIRANDA, I. S. Patterns and process in the successional development of two eastern Amazonian regrowth stands. **Biotropica** (submetido) 2003.

VASCONCELOS, S. S. ; ZARIN, D. J. ; ARAÚJO, M. M. ; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. ; CARVALHO, C. J. R. ; STAUDHMMER, C. L. ; OLIVEIRA, F. A. Effects of seasonality, litter removal and dry-season irrigation on litterfall quantity and quality in eastern Amazonian Forest regrowth, Brasil. **Journal of Tropical Ecology**, v.24, p.27-38. 2008.

VIEIRA, I. C. G. Forest succession after shifting cultivation in eastern Amazonian. Thesis of Doctorate. University of Sterling. **Scotland**. 1996. 205p.

VIEIRA, S. A. **Efeito das plantações florestais (Eucalyptus sp.) sobre a dinâmica de nutrientes em região de cerrado do Estado de São Paulo**. 1998. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1998.

VIEIRA, S. ; CAMARGO, P. B. ; SELHORST, D. ; SILVA, R. ; HUTYRA, L. ; CHAMBERS, J. Q. ; BROWN, I. F. ; HIGUCHI, N. ; SANTOS, J. ; WOFYSY, S. C. ; TRUMBORE, S. E. ; MARTINELLI, L. A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. **Oecologia**, v.140, p.468–479. 2004.

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

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

YAVITT, J. B. ; WRIGHT, S. J. ; WIEDER, R. K. Seasonal drought and dry-season irrigation influence leaf-litter nutrients and soil enzymes in a moist, lowland forest in Panama. **Austral Ecology**, v.29, p.177-188. 2004.

## CAPÍTULO 2

## FLUXO DE LITEIRA EM ECOSISTEMA SUCESSIONAL DE FLORESTA SOB MANIPULAÇÃO DE NUTRIENTES, AMAZÔNIA ORIENTAL

## 3.1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica dos cátions Ca e Mg, via liteira, em um ecossistema sucessional florestal, no planalto do médio rio Apeú, Castanhal, nordeste do Pará (1°19' S, 47°57' W). A manipulação do ecossistema, que consistiu na remoção da liteira, com quatro repetições, durante o período de janeiro a dezembro de 2000 e 2006. A deposição de fitomassa variou de 316,10 a 997,90 kg ha<sup>-1</sup>mês<sup>-1</sup>. A magnitude desse fenômeno pode ser explicada pelo papel funcional da estrutura florística, com as espécies dominantes, *Myrcia sylvatica* (G. mey) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, e *Cupania scrobiculata* Rich. e *Ocotea guianensis* Aubl, que se constituíram nos fatores determinantes, associado ao efeito hidroperiódico natural. A avaliação dos resultados analíticos, no tratamento remoção da liteira, da massa média do Ca variou de 0,018 a 0,076 g m<sup>-2</sup>mês<sup>-1</sup>, e Mg de 0,006 a 0,028 g m<sup>-2</sup>mês<sup>-1</sup>, sendo significativamente (P <0,05) diferentes do controle em tratamento e tempo. Contudo, a distribuição do fluxo teve influência sazonal, sendo maior no período seco. Os valores de fluxo de Ca (0,047 ± 0,015 g m<sup>-2</sup>mês<sup>-1</sup>), foram significativamente maiores (P <0,05) que o Mg (0,015 ± 0,004 g m<sup>-2</sup>mês<sup>-1</sup>), independente da manipulação via tratamento, fenômeno explicado pela dinâmica do Ca no ciclo biogeoquímico. Além disso, a dinâmica do Ca e Mg no ecossistema com remoção da liteira, foram significativamente (P <0,05) menores em relação ao controle.

**Palavras-chave:** Biogeoquímica; Serapilheira; Floresta secundária; Remoção de Liteira; Amazônia Oriental.

## FLUX LITTER IN SUCCESSIONAL FOREST ECOSYSTEM UNDER NUTRIENT AVAILABILITY MANIPULATION, EASTERN AMAZON

### 3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the flow of cations Ca and Mg, in the litter, in a successional forest ecosystem on the plateau of the middle river Apeu, Castanhal, northeastern Pará (1°19 'S, 47°57' W). The manipulation of the ecosystem, consisting of the removal of litter, with four replications during the period January to December 2000 and 2006. The deposition of biomass varied 316.10 to 997.90 kg ha<sup>-1</sup>mo<sup>-1</sup>. The magnitude of this phenomenon can be explained by the functional role of floristic structure, with dominant species, *Myrcia sylvatica* (G. Mey) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, and *Cupania scrobiculata* Rich. and *Ocotea guianensis* Aubl, which constituted the determining factors associated with the effect of natural hydroperiod. The evaluation of analytical results in the removal treatment, the mean flow of Ca ranged from 0.018 to 0.076 g m<sup>-2</sup>mo<sup>-1</sup>, Mg and 0.006 to 0.028 g m<sup>-2</sup>mo<sup>-1</sup> and was significantly (P <0.05) different from control treatment and date. However, the distribution of flow influenced seasonal, being higher in the dry season. The flow values of Ca (0.047 ± 0.015 g m<sup>-2</sup>mo<sup>-1</sup>) were significantly higher (P <0.05) than the Mg (0.015 ± 0.004 g m<sup>-2</sup>mo<sup>-1</sup>), independent of manipulation through treatment, a phenomenon explained by higher performance of Ca in biogeochemical cycling. Moreover, the flow of Ca and Mg in the ecosystem with removal, were significantly (P <0.05) lower than the control.

**Keywords:** Biogeochemistry; Litter; Secondary forest; Removal of Litter; Eastern Amazon.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A escassez de nutrientes nas florestas tropicais úmidas é reflexo do intenso intemperismo a que estão submetidas as rochas e os solos no ambiente tropical úmido. As elevadas temperatura e pluviosidade promovem a lixiviação de elementos dos solos, com a perda preferencial de Na, K, Ca, Mg e Si pelo sistema. A intensa lixiviação, além da perda de nutrientes, favorece a formação de argilo-minerais com baixa capacidade de reter cátions (JORDAN, 1985), levando, também, ao enriquecimento relativo do solo em óxidos de Fe e de Al.

Assim, os processos geoquímicos predominantes nos ecossistemas tropicais úmidos tendem a promover perda de nutrientes catiônicos. Contudo, estudos sobre ciclagem de nutrientes, comumente realizado nas florestas, têm denotado alta eficiência deste processo natural na manutenção dos ecossistemas. Nas florestas tropicais ocorrem fortes interações entre a vegetação e o solo através da ciclagem de nutrientes, e o acúmulo de liteira exerce importante função, por ser a mais significativa forma de transferência de nutrientes (GOLLEY et al., 1978), sendo que as transformações neste compartimento do ciclo biogeoquímico são as que mais afetam o fluxo de energia dentro do sistema, do ponto de vista holístico (PRITCHET, 1979).

Vitousek (1984) considera que a ciclagem de nutrientes dentro de um ecossistema é eficiente quando a maior parte dos nutrientes liberados das árvores é rapidamente absorvida pelas raízes, micorrizas e decompositores, e retida dentro do sistema, independentemente da quantidade de nutrientes ciclados entre planta e solo.

A liteira atua na superfície do solo como um sistema de entrada e saída de nutrientes ao ecossistema, através dos processos de produção e decomposição. Estes processos são particularmente importantes na restauração da fertilidade do solo em áreas em início de sucessão ecológica (EWEL, 1976; HERRERA et al., 1978). Os padrões de deposição de liteira introduzem heterogeneidade temporal e espacial no ambiente, podendo afetar a estrutura e a dinâmica da comunidade de plantas (FACELLI; PICKETT, 1991).

No processo de ciclagem, ocorre transferência de nutrientes de um compartimento para outro envolvendo uma série de processos dentro de um ou mais ciclos naturais. Os modelos conceituais que descrevem esses processos são complexos e, invariavelmente, envolvem três sistemas fundamentais de movimentação nutrientes: planta, animal e solo.

O sistema solo-liteira funciona como uma válvula por onde passariam todos os elementos e a maior parte da energia fixada pelos produtores, condicionando sua

produtividade e estabilidade, afetando sua resiliência em relação a distúrbios naturais ou antrópicos. Por isso, a liteira tem sido estudada por auxiliar o entendimento da dinâmica de ecossistemas através de estimativas da produtividade, fluxo de nutrientes, sua composição química e fenologia de espécies arbóreas (PROCTOR, 1983), podendo assim, auxiliar a determinação da fragilidade desses ecossistemas, diante da crescente pressão antrópica (MARTINS, 1999).

A quantificação dos nutrientes da biomassa, bem como o padrão de sua ciclagem, permitem avaliar a magnitude dos reflexos causados pela intervenção antrópica ou por fenômenos naturais ocorridos no ecossistema, tornando possível, por meio de estudos de ciclagem de nutrientes, a quantificação das saídas ou perdas de nutrientes (OKI, 2002; VITOUSEK, 1982). Porém, cada ecossistema tem sua forma característica de armazenar e de ciclar os nutrientes entre seus compartimentos.

Logo, o conhecimento do processo de ciclagem de nutrientes, e sua relação com os recursos naturais de cada ambiente, permitem a elaboração de modelos simplificados dos ecossistemas, possibilitando, dessa forma, o planejamento do seu uso para fins agrícolas, bem como uma melhor utilização, tanto do ponto de vista econômico, pelo uso racional de fertilizantes para repor de modo eficiente os nutrientes exportados das lavouras, quanto ambiental, considerando as maiores possibilidades para promover a sustentabilidade dos ecossistemas.

Para isso temos a seguinte pergunta: Quais as causas e diferenças na dinâmica dos cátions cálcio e magnésio, no componente estrutural foliar em um ecossistema de floresta sucessional? Na tentativa de responder esta questão, elaborou-se a hipótese: se o aumento da matéria orgânica e elementos químicos possuem natureza diferencial determinada pela matriz biogeoquímica da liteira, logo, torna-se possível o isolamento relativo dos fatores biogênicos que controlam as funções de acúmulo, considerando um ecossistema de floresta sucessional.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no âmbito do Projeto Manipulação de Água e Nutrientes em Ecossistema de Floresta Secundária na Amazônia Oriental (MANFLORA) iniciou em 1999, quando a regeneração da floresta foi de 12 anos de idade. O projeto foi implantado na Estação de Piscicultura de Água Doce (EPAD), pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), localizado na região do médio rio Apeú, Castanhal, no rio Praquiquara (1°19'S, 47°57'W) distante de Belém 80 km.

A paisagem circundante é marcada por florestas secundárias, culturas anuais e pastagens. Segundo Falesi et al. (1980), na Zona Bragantina existia a floresta tropical úmida, que com a colonização e a prática da agricultura, através de sucessivos cortes e queimas, modificou a paisagem formando um mosaico de diferentes estádios sucessionais. Com predominância de vários agroecossistemas, principalmente de pastagem. O povoamento em estudo foi modificado devido a agricultura itinerante que inclui os ciclos do cultivo de milho, mandioca e feijão, por 1 a 2 anos seguido de pousio, e abandonado em 1987.

O ecossistema sucessional de floresta, em diversos estádios serais, conhecido também como floresta secundária, e na região denominada de capoeira, é proveniente, principalmente do desmatamento para fins de agricultura migratória, que em seus estádios iniciais de sucessão é caracterizada por apresentar espécies arbustivas e herbáceas de rápido crescimento e ampla distribuição (PIRES, 1973).

O relevo da região é suave ondulado a ondulado, sob vegetação de floresta, constituindo em sua maior parte por superfície aplainada, dissecada em colinas de topo plano, com pequena variação altimétrica (TENÓRIO et al., 1999). Apresenta Latossolo Amarelo distrófico de textura argilosa e concrecionários lateríticos (TENÓRIO et al., 1999), englobando tanto solos com B textural como os de B latossólico.

Os perfis podem apresentar-se completamente argilosos ou argilo-arenosos no horizonte A e argilosos fortemente ácidos com baixa saturação de bases no B, possuindo boa distribuição de poros e uma estrutura em blocos subangulares ou maciça, mascaradas pelas concreções lateríticas (BRASIL, 1974). A composição granulométrica nos primeiros 20 cm é de 40% de argila, 30% de areia e 30% silte. Concreções representam 16% do volume de solo superficial (0-10 cm), com pH de 5,0, C orgânico de 2,2%, o estoque de C orgânico 2,9 kg m<sup>-2</sup>, N total de 0,15%, C:N 14,4, e Mehlich-1 de fósforo extraíveis 1,58 kg mg<sup>-1</sup> (RANGEL-VASCONCELOS, 2002).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am3, com precipitação pluviométrica média anual de 2000–2500 mm, de 70-90% da precipitação anual ocorre entre janeiro a julho, enquanto que o período seco ocorre de agosto a dezembro. A análise da climatologia sazonal da precipitação confirmou resultados anteriores (FIGUEROA; NOBRE, 1990; ROCHA, 2001, VIEIRA et al., 2004) onde grande parte da Amazônia apresenta dois períodos bem distintos: o de estiagem, com precipitações médias mensais inferiores a 100 mm e; o chuvoso, com precipitações médias acima de 200 mm/mês. A temperatura média diária do ar varia entre 24,7 a 27,3 °C, com máxima de 30,1 a 32,7 °C e mínima de 19,2 a 24,2 °C. A

umidade relativa do ar apresenta valores médios anuais que variam de 78 a 90% (MARTORANO; PEREIRA, 1993).

O ecossistema sucessional possui as seguintes espécies dominantes: *Myrcia sylvatica* (G. meyer) DC., *Myrcia bracteata* (Rich) DC., *Miconia ciliata* (Rich) DC., *Lacistema pubescens* Mart., *Lacistema aggregatum* (Berg.) Rusby, *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy, e *Cupania scrobiculata* Rich. e *Ocotea guianensis* Aubl, que representam 71% da área amostral (PANTOJA, 2002). Algumas espécies como, por exemplo, a *Annona paludosa* e *Rollinia exsucca* ocorre deciduidade durante a estação seca.

Para tanto, foi realizado um levantamento florístico nas parcelas experimentais, logo no início do projeto, em 1999, isto é, quando a floresta tinha 12 anos e posteriormente outro em 2006. A vegetação arbórea foi inventariada em quatro parcelas de 10 x 10 m, onde foram medidos indivíduos de espécies arbóreas com diâmetro a 1,3 m de altura (DAP)  $\geq 1$  cm, cada árvore medida foi identificada com plaqueta metálica numerada e identificada por botânico experiente. O material botânico foi coletado e herborizado no herbário da Embrapa Amazônia Oriental.

O procedimento de seleção de áreas para coleta das amostras do fluxo deposicional da matriz biogeoquímica foi realizado em locais com plena cobertura do dossel e homogeneidade das características do ecossistema para obtenção de uma amostragem de fluxo com maior exatidão. A coleta das amostras foi realizada seguindo a locação dos coletores, de acordo com o delineamento experimental blocos casualizados, com medidas repetidas no tempo.

O ecossistema foi dividido em quatro blocos com os tratamentos controle (testemunha) e remoção da liteira. Cada parcela de tratamento foi de 20x20 m, com parcelas centrais de 10x10 m, que continham três coletores de matriz biogeoquímica (liteira deposicional) (Figura 7). O experimento foi avaliado durante os anos de 2000 e 2006, sendo que os tratamentos permaneceram durante o intervalo desses anos.

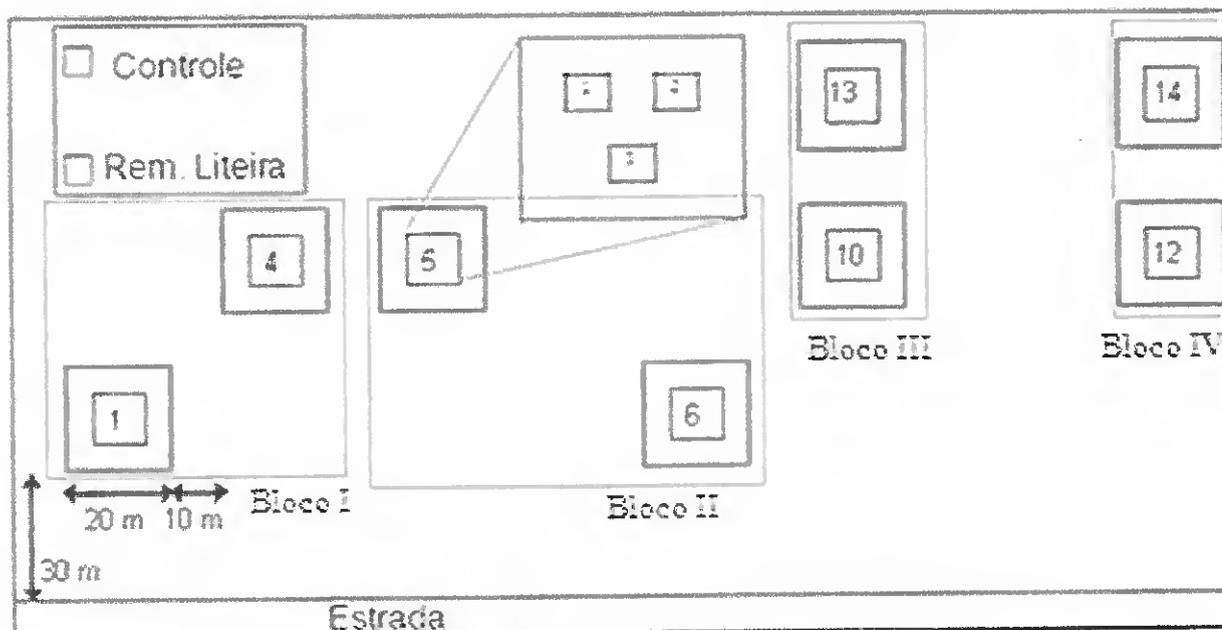


Figura 7 - Parcelas experimentais com os tratamentos controle e remoção da liteira em floresta secundária.

Os coletores possuíam uma área de  $1 \text{ m}^2$  ( $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ) e profundidade de  $0,10 \text{ m}$ , suspensos do solo a  $0,3 \text{ m}$ . A frequência das coletas foram semanais para evitar o processo de lixiviação dos nutrientes nas amostras ainda no coletor (PROCTOR, 1983). O tratamento remoção da liteira, era realizado a cada 15 dias, quando a liteira era removida totalmente da camada superficial do solo, manualmente e com o auxílio de ancinhos plásticos (Figura 8).



Figura 8 - Procedimento de remoção da liteira deposicional, na parcela remoção da liteira em uma floresta secundária, Castanhal/PA.

As amostras de frações da matriz biogeoquímica foram classificadas como: i) não-lenhosa (folha, flor, semente, fruto e miscelânea) e ii) lenhosa  $>3 \text{ cm}$  (ramos e galhos). Os

materiais vegetais coletados em cada coletor de liteira foram secos em laboratório a 60-70°C, durante 48h, para armazenamento e pesados. Em intervalos de quatro semanas, os materiais a partir do mesmo coletor foram misturados e, em seguida, separados em frações lenhosas e não lenhosas.

Os compostos de amostras foram moídos e armazenados em frascos de vidro de 60 ml, para as análises de Ca e Mg, foram retiradas subamostras de 0,5 g para análise química dos elementos, a partir de um extrato, houve leitura, através de espectrofotometria de absorção atômica (MIYAZAWA, 1999; ROTHERY, 1986). As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental. Os valores de massa de nutrientes foram determinados pela multiplicação das concentrações médias (ppm) de Ca e Mg pelos valores de massa seca ( $\text{g m}^{-2}$ ) da matriz biogeoquímica da liteira coletada semanalmente. As quatro coletas foram reunidas e expressas mensalmente.

Os resultados analíticos foram organizados em planilhas formato XLS. Foi utilizado o software MINITAB versão 15 para todas as análises estatísticas. Foram analisados os efeitos do tratamento, tempo e a interação tratamento tempo. Quando necessário, realizou-se transformações logarítmicas e raiz quadrada, para atender as exigências do modelo como os testes de normalidade e homogeneidade de variância, com os critérios de significância ( $P < 0,05$ ).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na floresta secundária durante o período estudado foram encontrados 2.744 indivíduos pertencentes a 24 famílias e 29 espécies com DAP médio de 2,61 cm e altura média 4,86 m, no ano de 1999 e, em 2006, o DAP médio foi 3,31 cm e a altura média 6,82 m. O número de espécies encontradas nesse experimento foi considerado baixo, porém seguiu o padrão das florestas secundárias da Zona Bragantina, devido apresentar poucas espécies.

Uma maior diversidade vegetal pode refletir em melhor qualidade de biomassa, importante para uma eficiente reciclagem de nutrientes. Na vegetação sobre o solo, o armazenamento de nutrientes aumenta na seguinte ordem: florestas boreais < temperadas < tropicais (WARING; SCHLESINGER, 1985). Em contraste, a massa e o conteúdo de nutrientes na liteira aumentam na ordem inversa, como resultado da menor decomposição em condições frias ou de altas latitudes.

As primeiras espécies a ocuparem a área são pouco exigentes quanto à qualidade do ambiente. Nos primeiros estádios sucessionais a comunidade é formada por poucas espécies,

com indivíduos de pequeno diâmetro, rápido crescimento e intolerantes à sombra. Com o avanço da sucessão, as espécies pioneiras vão sendo substituídas por aquelas de crescimento mais lento e, normalmente, tolerantes à sombra, sendo observado ainda, um aumento no número de espécies e variedade de formas de vida epifítica (BUDOSWSKI, 1963), com tendência a reconstituir a vegetação original (KLEIN, 1980).

Porém, Lugo (1995) acredita que as florestas tropicais apresentem resiliência após sofrerem distúrbios, mas não a capacidade de voltarem ao estado inicial de estabilidade, ou seja, voltarem ao estado pré-distúrbio. Gomez-Pompa e Vazquez-Yanes (1981) descreveram o processo de regeneração das florestas tropicais como complexo e contínuo ao longo do tempo, sendo difícil de dividi-lo em estádios, podendo apresentar alguns estádios de estabilidade pelo tipo de ciclo de vida das espécies dominantes.

As famílias mais representativas foram Lacistemataceae e Myrtaceae, devido ao grande número de indivíduos de *Lacistema pubescens* (1.046) e *Myrcia sylvatica* (595), respectivamente, perfazendo mais de 60% da composição florística da área. As espécies mais abundantes na área, além das espécies supracitadas, foram *Vismia guianensis* (134), *Cupania scrobiculata* (131) e *Inga* sp. (87), que também foram muito abundantes no estrato superior dessa floresta (PANTOJA, 2002; LIMA, 2003; TUCKER et al., 2003). Essas espécies são consideradas pioneiras nas florestas secundárias da Zona Bragantina (OLIVEIRA, 1995; VIEIRA, 1996; SANTANA, 2000). O hábito mais peculiar da vegetação foi árvore o que indica que a floresta está num estágio mais avançado de sucessão (SMITH et al., 1997).

A sucessão ecológica envolve mudanças na estrutura de espécies e processos da comunidade ao longo do tempo, sendo a mesma bastante direcional e previsível. A sucessão é controlada pela comunidade, sendo que o ambiente determina o padrão e a velocidade da mudança. As mudanças acarretam em ecossistemas cada vez mais complexos e estáveis, sendo que, caso ocorra alguma interferência externa no sistema, ele se desenvolverá até alcançar novamente a estabilidade (ODUM, 1988).

Para Ferraz et al. (2004), a existência de grupos ecológicos baseia-se na premissa de que as características fisiológicas, morfológicas e comportamentais observadas em determinadas espécies devem ser consideradas como adaptações decorrentes de sua história evolutiva. A sucessão secundária é caracterizada por comunidades vegetais que ocupam áreas onde havia, originalmente, vegetação primária que sofreu intervenção humana, refletindo o tempo e o uso da terra (VELOSO et al., 1991). Espécies florestais nativas de diferentes grupos ecológicos tendem a se comportar distintamente em relação aos requerimentos nutricionais,

sendo que as espécies dos estádios sucessionais iniciais possuem maior capacidade de absorção de nutrientes relativamente aquelas dos estádios sucessionais subsequentes.

A variação mensal da produção média de liteira durante os períodos de janeiro a dezembro de 2000 e de 2006 nas parcelas controle e remoção representados na Figura 9b. A produção total de liteira, em 2000, no tratamento controle foi de  $7,73 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , sendo que a menor e maior deposição foram verificadas nos meses de março e setembro ( $421,20 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $997,90 \text{ kg ha}^{-1}$ ) respectivamente, com um valor médio de  $644,40 \pm 225,90 \text{ kg ha}^{-1}$ , em 2006, a quantidade anual de liteira no tratamento controle foi de  $6,91 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , variando de  $316,10 \text{ kg ha}^{-1}$  (janeiro) a  $937,90 \text{ kg ha}^{-1}$  (julho), sendo a média mensal de  $575,96 \pm 202,60 \text{ kg ha}^{-1}$ . Observa-se que a produção de liteira nos dois anos estudados tem uma influência direta do fenômeno hidroperiódico (Figura 9a).

Estes resultados podem ser explicados devido às folhas, principal componente da liteira, serem fundamentais nos processos de fotossíntese e transpiração vegetal, processos que demandam grande quantidade de água. Dessa forma, as plantas perdem suas folhas como um mecanismo adaptativo ao estresse hídrico a que estão submetidas. Logo, o aumento da queda das folhas na estação seca é influenciado por fenômenos climáticos como hidroperiodicidade e radiação solar (BARROS, 1979), sendo a precipitação um dos mais importantes fatores no controle dos processos ecológicos relacionados ao despejo da biomassa ao solo.

Estes resultados são coerentes com os dados relatados em floresta estacional semidecidual de montanha de Lavras-MG, com produção de liteira total de  $7,8 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997). Brun et al. (2001) na Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul, também realizaram a quantificação de biomassa da serapilheira acumulada em diferentes estádios sucessionais. Foram considerados os seguintes estádios de sucessão e a quantidade de serapilheira acumulada: capoeirão ( $5,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), floresta secundária ( $5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e floresta madura ( $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

A quantidade total de produção de liteira, em 2000, no tratamento remoção foi de  $8,46 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  com uma média mensal de  $704,73 \pm 215,00 \text{ kg ha}^{-1}$ , que variou de  $501,50 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $1131,40 \text{ kg ha}^{-1}$ . Porém, em 2006, o valor médio mensal foi de  $582,36 \pm 170,50 \text{ kg ha}^{-1}$ , variando  $327,60 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $866,90 \text{ kg ha}^{-1}$ , num total de  $6,99 \text{ Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 9b).

Florestas tropicais possuem estrutura e composição florística muito complexas, que afetam diretamente a produção de serapilheira, decomposição e liberação de nutrientes para o meio (ALVAREZ-SÁNCHEZ; GUEVARA, 1999; VASCONCELOS; LUIZÃO, 2004). A produção de serapilheira de uma área depende primeiramente da produtividade da

comunidade de plantas, e o principal fator abiótico determinante dessa produção é o clima, sendo a precipitação e a temperatura os principais componentes (FACELLI; PICKETT, 1991).

A massa mensal e anual da liteira foi altamente significativa ( $P < 0,01$ ) apenas em tempo, sendo maior na estação seca do que na estação chuvosa (Tabela 5, Figura 9b). Em geral, observou-se um aumento da deposição da liteira até a idade em que as árvores vão atingindo a maturidade ou fecham as suas copas. Após esse ponto podem ocorrer ligeiro decréscimo ou estabilização (BRAY; GORHAM, 1964). Logo, o crescimento das árvores tem uma influência direta na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. A liteira anual do controle e da parcela de remoção de liteira foi pouco correlacionada com a entrada de água através da precipitação pluviométrica (Tabela 5, Figura 9a).

**Tabela 5** - Análises de variância com níveis de significância associados para os efeitos dos tratamentos (controle e remoção da liteira), tempo de amostragem, e sua interação sobre a massa não-lenhosa e nutrientes em uma floresta tropical secundária no leste da Amazônia, Brasil. O nível de significância é indicado (\*:  $P < 0,05$ , \*\*:  $P < 0,01$ , ns: não significativo).

| Liteira (não lenhosa)  | Experimento Remoção da liteira |         |               |
|------------------------|--------------------------------|---------|---------------|
|                        | Tratamento                     | Tempo   | Trat. x Tempo |
| Massa mensal           | 0,074ns                        | 0,000** | 0,993ns       |
| Massa Ca mensal        | 0,011*                         | 0,000** | 0,864ns       |
| Massa Mg mensal        | 0,001**                        | 0,000** | 0,999ns       |
| Concentração Ca mensal | 0,000**                        | 0,000** | 0,603ns       |
| Concentração Mg mensal | 0,000**                        | 0,000** | 0,993ns       |
| Massa anual            | 0,152ns                        | 0,000** | 0,247ns       |
| Massa Ca anual         | 0,040*                         | 0,021*  | 0,107ns       |
| Massa Mg anual         | 0,009**                        | 0,000** | 0,232ns       |
| Concentração Ca anual  | 0,000**                        | 0,317ns | 0,023*        |
| Concentração Mg anual  | 0,000**                        | 0,000** | 0,119ns       |

A produção de biomassa em povoamentos florestais depende basicamente de luz, água e suprimento adequado de nutrientes. A dinâmica de nutrientes por meio da deposição do material orgânico constitui a via mais importante do ciclo biogeoquímico. Este ciclo juntamente com o bioquímico, permite que as árvores da floresta possam sintetizar a matéria orgânica por meio da fotossíntese, reciclando os nutrientes, especialmente em solos altamente intemperizados, onde a biomassa vegetal é o principal reservatório de nutrientes (SCHUMACHER, 1992). Quanto à periodicidade da deposição, esta varia de espécie para espécie nas regiões tropicais e subtropicais, sendo que os fatores climáticos influenciam significativamente este fenômeno.

A massa mensal do Ca foi significativo ( $P < 0,05$ ) e do Mg foi altamente significativo ( $P < 0,01$ ) em tratamento e tempo, assim como para a massa anual, porém não houve interação entre eles. Durante os períodos de menor precipitação a quantidade do Ca foi maior ainda mais que do Mg (Tabela 5, Figura 9 c e d). Resultados semelhantes foram encontrados por Caldeira et al. (2008) independente do estágio sucessional, a serapilheira acumulada na Floresta Ombrófila Densa foi a principal via de transferência de  $Ca > Mg$  para o solo. Foram constatadas variações temporais para os nutrientes estudados, havendo uma tendência de maior adição de nutrientes nos meses de maior aporte de liteira (agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro).

No tratamento controle a produção de Ca e Mg no ano de 2000 foi  $5,74 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $0,048 \pm 0,017 \text{ g m}^{-2}$ ) e  $1,88 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $0,016 \pm 0,007 \text{ g m}^{-2}$ ), respectivamente, e no ano de 2006,  $5,57 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $0,047 \pm 0,017 \text{ g m}^{-2}$ ) e  $1,53 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $0,013 \pm 0,005 \text{ g m}^{-2}$ ), respectivamente. Já no tratamento remoção de liteira a produção de Ca e Mg no ano de 2000 foram  $5,63 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $0,047 \pm 0,015 \text{ g m}^{-2}$ ) e  $1,77 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $0,015 \pm 0,004 \text{ g m}^{-2}$ ) e no ano de 2006  $4,69 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $0,039 \pm 0,017 \text{ g m}^{-2}$ ) e  $1,22 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $0,010 \pm 0,004 \text{ g m}^{-2}$ ), respectivamente (Tabela 6).

**Tabela 6** - Produção anual dos nutrientes Ca e Mg, via liteira, sob os tratamentos controle e remoção da liteira, nos anos de 2000 e 2006 em  $\text{kg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ .

| Período | Tratamentos |      |         |      |
|---------|-------------|------|---------|------|
|         | Controle    |      | Remoção |      |
|         | Ca          | Mg   | Ca      | Mg   |
| 2000    | 5,74        | 1,88 | 5,63    | 1,77 |
| 2006    | 5,58        | 1,53 | 4,69    | 1,22 |

A produção de serapilheira e a devolução de nutrientes em ecossistemas florestais constituem a via mais importante no sistema solo-planta. Caracteriza-se, no primeiro estágio, pela absorção de nutrientes pelas raízes e por sua distribuição pelas diferentes partes da planta, sendo a taxa de absorção maior no período em que as árvores se encontram em estágio juvenil, o que corresponde ao período de maior produtividade dentro do processo de sucessão (KIMMINS, 1993).

O estudo da dinâmica da ciclagem de nutrientes de um determinado ecossistema envolve a medição da quantidade e velocidade de transferência de um dado elemento químico de um compartimento para outro. A ciclagem biogeoquímica, de modo geral, é a via pela qual os nutrientes como o Ca de baixa mobilidade na planta são ciclados, uma vez que para esse nutriente a ciclagem bioquímica torna-se pouca expressiva, contrariamente ao que ocorre para o Mg, de alta mobilidade na planta (CALDEIRA, 2003). Além disso, durante a estação

chuvosa, as plantas tendem a crescer mais quando comparado com a estação de menor pluviosidade. Dessa forma, elas ciclam e renovam suas folhas mais intensamente. Assim, as folhas que caem na estação chuvosa são mais velhas e, conseqüentemente, com maiores conteúdo de Ca.

Carpanezzi (1980) analisou dados provenientes de 20 diferentes ecossistemas de folhosas de várias partes do mundo, obtendo as seguintes médias para a concentração de macronutrientes, em  $\text{g kg}^{-1}$ : Ca = 13,4 e Mg = 3,1. As médias do teor de Ca  $0,92 \text{ g kg}^{-1}$  (2000) e  $0,95 \text{ g kg}^{-1}$  (2006) estão bem abaixo da média estipulada pelo referido autor, fato que também ocorre para o Mg  $0,28 \text{ g kg}^{-1}$  e  $0,26 \text{ g kg}^{-1}$  para os anos de 2000 e 2006, respectivamente. A concentração de cálcio pode ser explicada pelo fato de este elemento apresentar baixa mobilidade no tecido vegetal e estar associado à lignificação e constituição de paredes celulares.

O teor de nutrientes na liteira pode variar, para uma mesma espécie, em função do sítio, das características da planta e do próprio nutriente, o que torna difícil a comparação entre diferentes povoamentos. Além disso, a quantidade de nutrientes é determinada pelas diferentes partes das árvores (folhas, ramos, casca e lenho etc.), vegetação do sub-bosque, liteira e solo. Cada parte de uma árvore, apresenta diferentes concentrações de elementos químicos em seus tecidos. Em geral, o acúmulo de nutrientes nos tecidos apresenta a seguinte ordem: folhas > casca > ramos > lenho (SCHUMACHER, 1992). As concentrações mensais do Ca (Figura 10) e do Mg (Figura 10), foram altamente significativas ( $P < 0,01$ ) em tempo e tratamento, porém em concentração anual, somente o Ca não foi significativo em tempo (Tabela 5, Figura 10).

Efeitos de manipulação de nutrientes nos processos do ecossistema geralmente não são imediatos, e estudos de remoção de massa podem ter efeitos mais lentos do que estudos de fertilização (CAMPO; VAZQUEZ-YANES, 2004). De acordo com Vasconcelos et al. (2008), é possível que a prorrogação do prazo de remoção da liteira irá reduzir ainda mais a concentração de nutrientes na massa, levando a um ponto crítico em que a produtividade será significativamente reduzida.

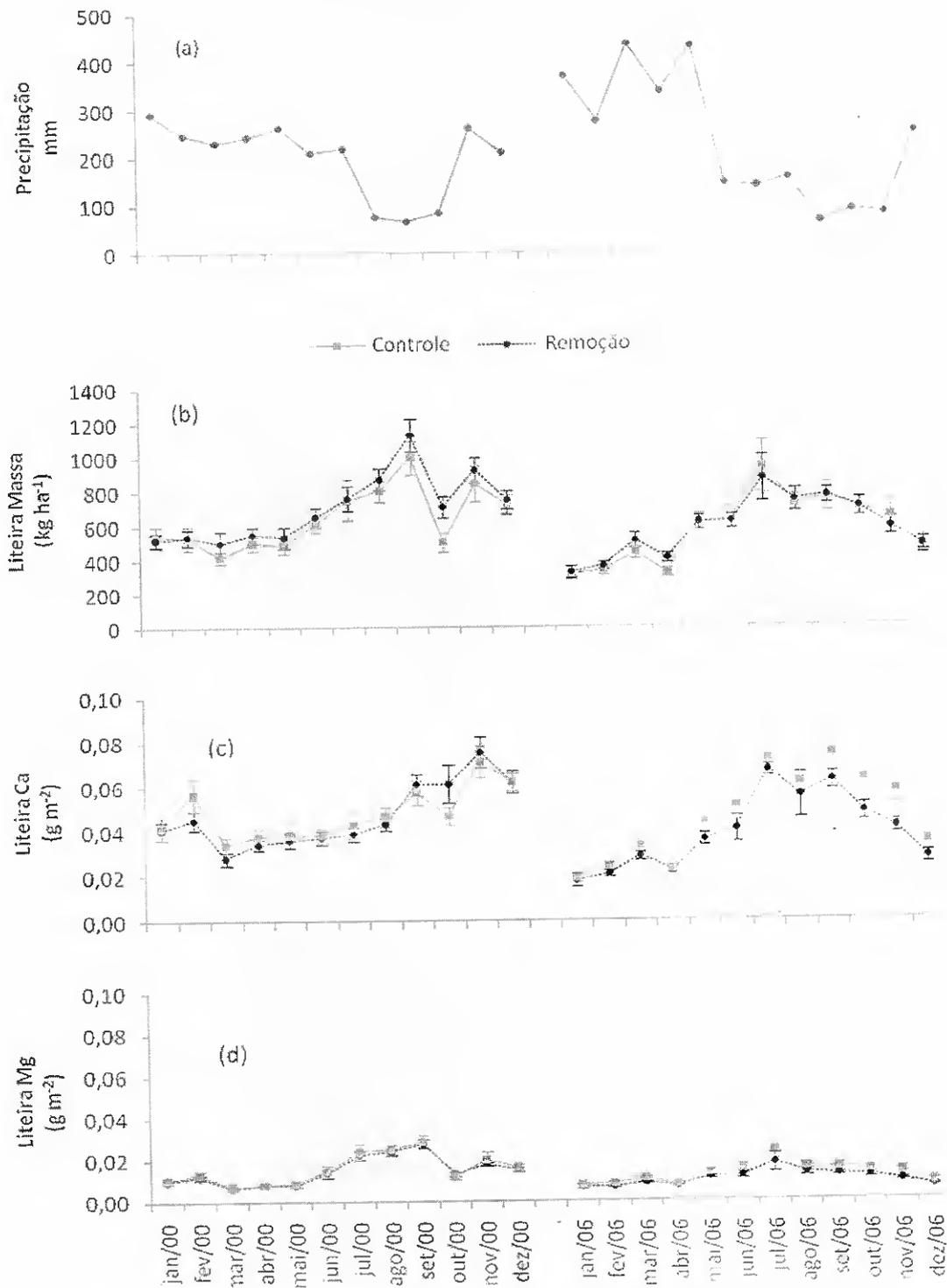
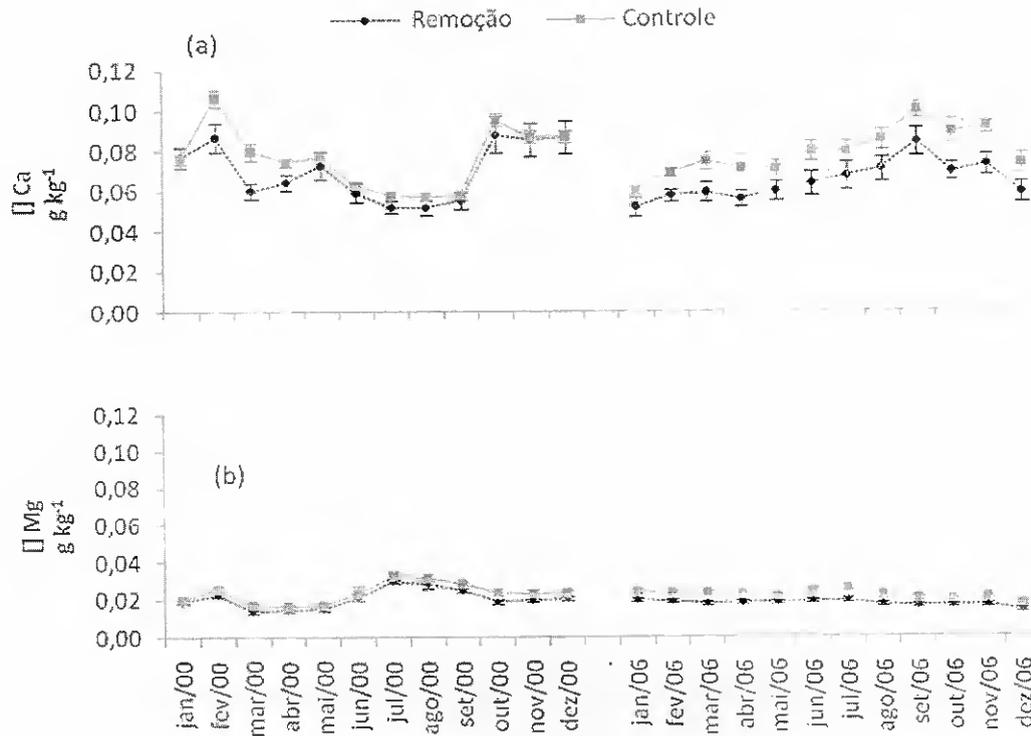


Figura 9 - Dinâmica da massa do Ca e Mg na liteira nos tratamentos controle e remoção da liteira, em floresta sucessional em Castanhal/PA. Precipitação mensal (a), massa de liteira não lenhosa (b), dinâmica da massa do Ca (c) e dinâmica da massa do Mg (d).



**Figura 10** - Dinâmica da concentração do Ca e Mg nos tratamentos controle e remoção da liteira, em floresta sucessional em Castanhal/PA. Concentração do Ca (a) e concentração do Mg (b).

### 3.6 CONCLUSÃO

A sazonalidade da produção total de liteira foi significativa, sendo maior na estação seca, independente do tratamento. A produção anual de liteira não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos controle e remoção da liteira. A dinâmica do Ca e Mg diferiu em quantidade (produção) e concentração, sendo o Ca maior, independente do tempo e tratamento. Houve efeito no tratamento remoção da liteira, pois ocorreu reduções na produção e concentração dos elementos Ca e Mg. No entanto, acredita-se que um maior período de observação permitirá verificar maiores efeitos da remoção de liteira, conduzindo a prováveis deficiências nutricionais na floresta sucessional.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ-SÁNCHEZ, J. ; GUEVARA, S. Litter interception on *Astrocaryum mexicanum* Liebm. (Palmae) in a Tropical Rain Forest. *Biotropica*, v.31, p.89-92. 1999.

BRASIL. **Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra.** Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro. Projeto RADAM, Folha AS 23. 1974. 184p.

BARROS, M. **Variação de diâmetro em árvores de Cerrado relacionada à fenologia e aos fatores ambientais.** 1979. 184f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). UnB, Distrito Federal. 1979.

BRAY, J.R.; GORHAM, E. Litter production in forest of the world. *Advances Ecology of Research*, v.2, p.101-157. 1964.

BRUN, E. J. ; SCHUMACHER, M. V. ; VACCARO, S. ; LONGHI, S. J. ; KOENIG, F. G. ; VARGAS, C. O. **Decomposição da serapilheira produzida em três fases sucessionais de floresta estacional decidual no RS.** IN : SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 1., 2001. *Anais...* Santa Maria: UFSM, CD ROM. 2001.

BUDOSWSKI, G. **Forest succession in tropical lowlands.** Turrialba, San José, v.13, n.1, p.42-44. 1963.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana (Ciências Florestais)** – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

CALDEIRA, M. V. W. ; VITORINO, M. D. ; SCHAADT, S. S. ; MORAES, E. ; BALBINOT, R. **Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.29, n.1, p.53-68, jan./mar. 2008.

CAMPO, J. ; VÁZQUEZ-YANES, C. Effects of nutrient limitation on aboveground carbon dynamics during tropical dry forest regeneration in Yucatán, Mexico. *Ecosystems*, v.7, p.311-319. 2004.

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 Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 1980.

DIAS, H. C. T. ; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG. *Revista Árvore*, v.21, n.1, p.11-26. 1997.

EWEL, J. J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. *Journal of Ecology*, v.64, p.293-308. 1976.

FACCELLI, J. M. ; PICKETT, S. T. A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review*, v.57, p.1-32. 1991.

FALESI, I. C. ; BAENA, A. R. C. ; DUTRA, S. Conseqüências da exploração agropecuária sobre as condições físicas e químicas dos solos das microrregiões do nordeste Paraense. Belém : Embrapa-CPATU, 1980. p.49. (Boletim de Pesquisa, 14).

FERRAZ, I. D. K. ; FILHO, N. L. ; IMAKAWA, A. M. ; VARELA, V. P. ; RODRIGUES, F. C. M. P. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. *Acta Amazônica*, v.34, n.4, p.621-633. 2004.

FIGUEROA, S. N. ; NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v.5, n.6, p.36-48, 1990.

GOLLEY, F. B. ; MCGINNIS, J. T. ; CLEMENTS, R. G. ; CHILD, G. I. ; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida.** Tradução: Eurípedes Malavolta. São Paulo: EDUSP. 1978.

GOMEZ-POMPA, A. ; VAZQUES-YANES, C. Successional studies of a rainforest in Mexico. IN: WEST, D. C. ; SCHUGART, H. H. ; BOTKIN, D. B. **Forest succession: concepts and application.** Springer-Verlag: New York. p.246-266. 1981.

HERRERA, R. ; JORDAN, C. F. ; KLINGE, H. ; MEDINA, E. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia*, v.3; p.223-232. 1978.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: principles and their application in management and conservation.** John Wiley & Sons. New York. 190p. 1985.  
KIMMINS, J. P. **Forest ecology.** New York: Collier Macmillan Canada, 1987. São Paulo: Ed. UNESP, 184p. 1993.

KLEIN, R. M. Ecologia da flora e vegetação do vale do Itajaí. *Sellowia*, Itajaí, v.32, n.32, p.165-389. 1980.

LIMA, C. A. T. DE. **Regeneração natural de uma floresta secundaria sob manipulação de água e nutriente no município de castanhal, Pará.** 2003. 61f. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2003.

LUGO, A. Tropical forests: their future and our future. In: LUGO, A. ; LOWE, C. **Tropical forests: management and ecology.** New York: Springer-Verlag, 1995.v.112, 461p.

MARTORANO, L. G. ; PEREIRA, L. **Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (THORNTHWAITE).** SUDAM/Embrapa, 50p. 1993.

MIYAZAWA, M. Análises químicas de tecido vegetal. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília. EMBRAPA. p.173-223. 1999.

ODUM, E. P. **Ecologia.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara. 1988.

OKI, V. K. **Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água em microbacias.** 2002. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, L. C. DE. **Dinâmica de crescimento e regeneração natural de uma floresta secundária do estado do Pará.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém. 126p.1995.

PANTOJA, R. DE F. R. **Estrutura e dinâmica de três florestas secundárias em idades diferentes (4, 8 e 12 anos) no Município de Castanhal, Pará.** 2002. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2002.

PIRES, J. M. **Tipos de vegetação da Amazônia.** In: SIMÕES, M.F. (Eds.). O Museu Goeldi no ano do sesquicentenário. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém. p.179-202. 1973.

PRITCHET, W. L. **Properties and management of forest soils.** John Wiley, New York. 1979.

PROCTOR, J. **Tropical forest literfall.** I. Problems of data comparison. p. 267-273. IN: SUTTON, S. L. ; WHITMORE, T. C. ; CHADWICK, A. C. (ed.). **Tropical rain forest: ecology and management.** Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1983.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. **Biomassa microbiana de solo sob vegetação secundária na Amazônia oriental.** 2002. 76f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 2002.

ROCHA, E. J. P. **Balanco de Umidade e Influências de Condições de Contorno Superficiais Sobre a Precipitação da Amazônia.** 2001. 210f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo, 2001.

ROTHERY, E. **Operation manual SpetrAA-300.** Melbourne. Varian Australia Pty LTD. 180p. 1986.

SANTANA, J. A. S. **Composição florística de uma vegetação secundária no nordeste paraense.** Belém. FCAP. Serviço de documentação e informação. 27p. (FCAP, Informe Técnico, 26). 2000.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Mesell.** 1992. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1992.

SMITH, M. D. ; LARSON, B. C. ; KELTY, M. J. ; ASHTON, P. M. S. Stand Dynamic. IN: SMITH, M. D. (eds.) **The practice of silviculture.** New York: John Wiley e Sons, Inc. Applied **Forest Ecology**, p.20-41. 1997.

TENÓRIO, A. R. M. ; GRAÇA, J. J. C. ; GÓES, J. E. M. ; MENDES, J. G. R. ; GAMA, J. R. N. F. ; SILVA, P. R. O. ; CHAGAS, P. S. M. ; SILVA, R. N. P. ; AMÉRICO, R. R. ; PEREIRA, W. L. M. **Mapeamento dos solos da Estação de Piscicultura de Castanhal.** Belém: FCAP. Serviço de documentação e informação, p.1-27. (FCAP, Informe Técnico, 25). 1999.

TUCKER, J. M. ; CÔELHO, F. R. F. ; ZARIN, D. J. ; ARAUJO, M. M. ; MIRANDA, I. S. Patterns and process in the successional development of two eastern Amazonian regrowth stands. **Biotropica** (Submetido). 2003.

VASCONCELOS, H. L.; LUIZÃO, F. J. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian landscape. **Ecological Application**, v.14, p.884-892. 2004.

VASCONCELOS, S. S. ; ZARIN, D. J. ; ARAUJO, M. M. ; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. ; CARVALHO, C. J. R. ; STAUDHIMMER, C. L. ; OLIVEIRA, F. A. Effects of

seasonality, litter removal and dry-season irrigation on litterfall quantity and 2008. quality in eastern Amazonian Forest regrowth, Brasil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 24, p.27-38.

VELOSO, H. P. ; RANGEL-FILHO, A. L. ; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 123p. 1991.

VIEIRA, I. C. G. **Forest succession after shifting cultivation in eastern Amazonian**. Thesis of Doctorate. University of Sterling. Scotland. 205p. 1996.

VIEIRA, S. ; CAMARGO, P. B. ; SELHORST, D. R. ; SILVA, L. HUTYRA; CHAMBERS, J. Q. ; BROWN, I. F. ; HIGUCHI, N. ; SANTOS, J. ; WOFSEY, S. C. ; TRUMBORE, S. E. ; MARTINELLI, L. A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. **Oecologia**, v.140, p.468-479. 2004.

VITOUSEK, P. M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. **American Naturalist**, v.119, p.53-72. 1982.

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

WARING, R. H. ; SCHLESINGER, W. H. **Forest ecosystems: concepts and management**. San Diego: Academic, 340p. 1985.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sazonalidade da produção total de liteira foi bem evidenciada na Estação de Piscicultura de Água Doce, com ocorrência de maior produção na estação menos chuvosa, de acordo o fenômeno hidroperiódico, independente dos tratamentos controle, irrigado e remoção da liteira. Desta forma, as maiores deposições de nutrientes via liteira também ocorreram nesse período mencionado.

A deposição de liteira é uma via importante de retorno para o Ca e Mg, contribuindo para a manutenção desse ecossistema. A liteira de maneira geral apresentou uma maior concentração de Ca, o que contribui para a reciclagem deste elemento na floresta sucessional. A concentração do Mg na liteira foi relativamente baixa, sendo entretanto, importante no processo de reciclagem devido a sua maior mobilidade, ou seja, o comportamento dos nutrientes Ca e Mg foram distintos entre os tratamentos, principalmente no tratamento remoção da liteira, quando ocorre um a redução na quantidade dos mesmos, porém a quantidade do Ca (elemento imóvel na planta) é maior que do Mg na liteira, assim como sua concentração, independente dos tratamentos.

**ANEXOS**

## ANEXO 1

Propriedades químicas do solo sob vegetação secundária em Castanhal/PA.

| Idade da vegetação secundária (anos) | Profundidade (cm) | pH em água | C-<br>total                | N-<br>total         | P    | Ca  | Mg  | K    | Al  | Zn   | Cu   | Mn   | Fe | Na |
|--------------------------------------|-------------------|------------|----------------------------|---------------------|------|-----|-----|------|-----|------|------|------|----|----|
|                                      |                   |            | --- g kg <sup>-1</sup> --- | mg dm <sup>-3</sup> |      |     |     |      |     |      |      |      |    |    |
| 14                                   | 0-5               | 5.0        | 28,90                      | 1,70                | 1.56 | 1,7 | 0,5 | 0,05 | 2,3 | 1.45 | 0.37 | 5.29 | 57 | 15 |
|                                      | 5-10              | 5.1        | 19,80                      | 1,40                | 5.13 | 1,4 | 0,4 | 0,05 | 3,2 | 1.38 | 0.44 | 3.47 | 66 | 14 |

(Fonte: RANGEL-VASCONCELOS, 2002)

RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T. **Biomassa microbiana de solo sob vegetação secundária na Amazônia oriental**. Master thesis. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. Belém/PA. 2002.

## ANEXO 2

## Análise estatística

## ANALISES NUTRIENTE MASSA TRATAMENTOS CONTROLE X IRRIGADO

**Two-way ANOVA: Massa versus Tratamento; Mês/ano**

| Source      | DF  | SS     | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|--------|---------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 2098   | 2098,3  | 4,13  | 0,043 |
| MoYr        | 23  | 241245 | 10488,9 | 20,65 | 0,000 |
| Interaction | 23  | 10392  | 451,8   | 0,89  | 0,613 |
| Error       | 528 | 268126 | 507,8   |       |       |
| Total       | 575 | 521861 |         |       |       |

S = 22,53 R-Sq = 48,62% R-Sq(adj) = 44,05%

**Two-way ANOVA: Massa versus Trat; Ano**

| Source      | DF  | SS     | MS      | F    | P     |
|-------------|-----|--------|---------|------|-------|
| Trat        | 1   | 2098   | 2098,26 | 2,35 | 0,126 |
| Ano         | 1   | 8023   | 8022,81 | 8,97 | 0,003 |
| Interaction | 1   | 55     | 55,45   | 0,06 | 0,803 |
| Error       | 572 | 511684 | 894,55  |      |       |
| Total       | 575 | 521861 |         |      |       |

S = 29,91 R-Sq = 1,95% R-Sq(adj) = 1,44%

**Two-way ANOVA: Ca (g/m<sup>2</sup>) versus Tratamento; Mês/ano**

| Source      | DF  | SS       | MS        | F     | P     |
|-------------|-----|----------|-----------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 0,000366 | 0,0003658 | 1,08  | 0,298 |
| MoYr        | 23  | 0,165041 | 0,0071757 | 21,25 | 0,000 |
| Interaction | 23  | 0,008151 | 0,0003544 | 1,05  | 0,400 |
| Error       | 528 | 0,178271 | 0,0003376 |       |       |
| Total       | 575 | 0,351828 |           |       |       |

S = 0,01837 R-Sq = 49,33% R-Sq(adj) = 44,82%

**Two-way ANOVA: Ca (g/m<sup>2</sup>) versus Tratamento; Ano**

| Source      | DF  | SS       | MS        | F    | P     |
|-------------|-----|----------|-----------|------|-------|
| Tratamento  | 1   | 0,000366 | 0,0003658 | 0,60 | 0,440 |
| Ano         | 1   | 0,000530 | 0,0005300 | 0,86 | 0,353 |
| Interaction | 1   | 0,000037 | 0,0000375 | 0,06 | 0,805 |
| Error       | 572 | 0,350895 | 0,0006135 |      |       |
| Total       | 575 | 0,351828 |           |      |       |

S = 0,02477 R-Sq = 0,27% R-Sq(adj) = 0,00%

**Two-way ANOVA: Mg (g/m<sup>2</sup>) versus Tratamento; Mês/ano**

| Source      | DF  | SS        | MS        | F     | P     |
|-------------|-----|-----------|-----------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 0,0000771 | 0,0000771 | 1,88  | 0,171 |
| MoYr        | 23  | 0,0227400 | 0,0009887 | 24,08 | 0,000 |
| Interaction | 23  | 0,0005623 | 0,0000244 | 0,60  | 0,933 |
| Error       | 528 | 0,0216776 | 0,0000411 |       |       |
| Total       | 575 | 0,0450570 |           |       |       |

S = 0,006407 R-Sq = 51,89% R-Sq(adj) = 47,61%

**Two-way ANOVA: Mg (g/m<sup>2</sup>) versus Tratamento; Ano**

| Source      | DF  | SS        | MS        | F     | P     |
|-------------|-----|-----------|-----------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 0,0000771 | 0,0000771 | 1,01  | 0,316 |
| Ano         | 1   | 0,0012321 | 0,0012321 | 16,11 | 0,000 |
| Interaction | 1   | 0,0000003 | 0,0000003 | 0,00  | 0,951 |
| Error       | 572 | 0,0437475 | 0,0000765 |       |       |
| Total       | 575 | 0,0450570 |           |       |       |

S = 0,008745    R-Sq = 2,91%    R-Sq(adj) = 2,40%

**ANALISES NUTRIENTES CONCENTRAÇÃO TRATAMENTOS CONTROLE X IRRIGADO****Two-way ANOVA: Ca versus Tratamento; Mês/Ano**

| Source      | DF  | SS      | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|---------|---------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 11,94   | 11,9428 | 6,33  | 0,012 |
| Mês/Ano     | 23  | 908,20  | 39,4868 | 20,92 | 0,000 |
| Interaction | 23  | 16,10   | 0,6999  | 0,37  | 0,997 |
| Error       | 528 | 996,47  | 1,8872  |       |       |
| Total       | 575 | 1932,70 |         |       |       |

S = 1,374    R-Sq = 48,44%    R-Sq(adj) = 43,85%

**Two-way ANOVA: Ca versus Trat; Ano**

| Source      | DF  | SS      | MS      | F    | P     |
|-------------|-----|---------|---------|------|-------|
| Trat        | 1   | 11,94   | 11,9428 | 3,56 | 0,060 |
| Ano         | 1   | 2,95    | 2,9527  | 0,88 | 0,348 |
| Interaction | 1   | 1,02    | 1,0235  | 0,31 | 0,581 |
| Error       | 572 | 1916,78 | 3,3510  |      |       |
| Total       | 575 | 1932,70 |         |      |       |

S = 1,831    R-Sq = 0,82%    R-Sq(adj) = 0,30%

**Two-way ANOVA: Mg versus Tratamento; Mês/Ano**

| Source      | DF  | SS      | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|---------|---------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 8,776   | 8,77641 | 36,55 | 0,000 |
| Mês/Ano     | 23  | 83,776  | 3,64242 | 15,17 | 0,000 |
| Interaction | 23  | 2,861   | 0,12439 | 0,52  | 0,970 |
| Error       | 528 | 126,789 | 0,24013 |       |       |
| Total       | 575 | 222,202 |         |       |       |

S = 0,4900    R-Sq = 42,94%    R-Sq(adj) = 37,86%

**Two-way ANOVA: Mg versus Trat; Ano**

| Source      | DF  | SS      | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|---------|---------|-------|-------|
| Trat        | 1   | 8,776   | 8,77641 | 23,68 | 0,000 |
| Ano         | 1   | 0,580   | 0,57950 | 1,56  | 0,212 |
| Interaction | 1   | 0,834   | 0,83418 | 2,25  | 0,134 |
| Error       | 572 | 212,012 | 0,37065 |       |       |
| Total       | 575 | 222,202 |         |       |       |

S = 0,6088    R-Sq = 4,59%    R-Sq(adj) = 4,09%

## ANALISES NUTRIENTE MASSA TRATAMENTOS CONTROLE X REMOÇÃO DA LITEIRA

### Two-way ANOVA: Massa versus Tratamento; Mês/ano

| Source      | DF  | SS     | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|--------|---------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 1603   | 1603,31 | 3,20  | 0,074 |
| MoYr        | 23  | 190154 | 8267,56 | 16,50 | 0,000 |
| Interaction | 23  | 4815   | 209,35  | 0,42  | 0,993 |
| Error       | 528 | 264557 | 501,06  |       |       |
| Total       | 575 | 461129 |         |       |       |

S = 22,38 R-Sq = 42,63% R-Sq(adj) = 37,52%

### Two-way ANOVA: Massa versus Trat; Ano

| Source      | DF  | SS       | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|----------|---------|-------|-------|
| Trat        | 1   | 1603,3   | 1603,3  | 2,06  | 0,152 |
| Ano         | 1   | 13105,8  | 13105,8 | 16,83 | 0,000 |
| Interaction | 1   | 1047,0   | 1047,0  | 1,34  | 0,247 |
| Error       | 572 | 445373,1 | 778,6   |       |       |
| Total       | 575 | 461129,2 |         |       |       |

S = 27,9038 R-Sq = 3,42% R-Sq(adj) = 2,91%

### Two-way ANOVA: Ca (g/m<sup>2</sup>) versus Tratamento; Mês/ano

| Source      | DF  | SS       | MS        | F     | P     |
|-------------|-----|----------|-----------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 0,002487 | 0,0024867 | 6,52  | 0,011 |
| MoYr        | 23  | 0,131392 | 0,0057127 | 14,99 | 0,000 |
| Interaction | 23  | 0,005987 | 0,0002603 | 0,68  | 0,864 |
| Error       | 528 | 0,201276 | 0,0003812 |       |       |
| Total       | 575 | 0,341142 |           |       |       |

S = 0,01952 R-Sq = 41,00% R-Sq(adj) = 35,75%

### Two-way ANOVA: Ca (g/m<sup>2</sup>) versus Tratamento; Ano

| Source      | DF  | SS       | MS        | F    | P     |
|-------------|-----|----------|-----------|------|-------|
| Tratamento  | 1   | 0,002487 | 0,0024867 | 4,26 | 0,040 |
| Ano         | 1   | 0,003126 | 0,0031257 | 5,35 | 0,021 |
| Interaction | 1   | 0,001521 | 0,0015215 | 2,61 | 0,107 |
| Error       | 572 | 0,334008 | 0,0005839 |      |       |
| Total       | 575 | 0,341142 |           |      |       |

S = 0,02416 R-Sq = 2,09% R-Sq(adj) = 1,58%

### Two-way ANOVA: Mg (g/m<sup>2</sup>) versus Tratamento; Mês/ano

| Source      | DF  | SS        | MS        | F     | P     |
|-------------|-----|-----------|-----------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 0,0004416 | 0,0004416 | 11,76 | 0,001 |
| MoYr        | 23  | 0,0191667 | 0,0008333 | 22,19 | 0,000 |
| Interaction | 23  | 0,0002869 | 0,0000125 | 0,33  | 0,999 |
| Error       | 528 | 0,0198331 | 0,0000376 |       |       |
| Total       | 575 | 0,0397283 |           |       |       |

S = 0,006129 R-Sq = 50,08% R-Sq(adj) = 45,63%

**Two-way ANOVA: Mg (g/m<sup>2</sup>) versus Tratamento; Ano**

| Source      | DF  | SS        | MS        | F     | P     |
|-------------|-----|-----------|-----------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 0,0004416 | 0,0004416 | 6,80  | 0,009 |
| Ano         | 1   | 0,0020502 | 0,0020502 | 31,57 | 0,000 |
| Interaction | 1   | 0,0000930 | 0,0000930 | 1,43  | 0,232 |
| Error       | 572 | 0,0371435 | 0,0000649 |       |       |
| Total       | 575 | 0,0397283 |           |       |       |

S = 0,008058 R-Sq = 6,51% R-Sq(adj) = 6,02%

**ANÁLISES NUTRIENTES CONCENTRAÇÃO TRATAMENTOS CONTROLE X  
REMOÇÃO DA LITEIRA****Two-way ANOVA: Ca versus Tratamento; Mês/Ano**

| Source      | DF  | SS      | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|---------|---------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 157.09  | 157.090 | 55.30 | 0.000 |
| Mês/Ano     | 23  | 835.26  | 36.316  | 12.78 | 0.000 |
| Interaction | 23  | 58.62   | 2.549   | 0.90  | 0.603 |
| Error       | 528 | 1499.80 | 2.841   |       |       |
| Total       | 575 | 2550.77 |         |       |       |

S = 1.685 R-Sq = 41.20% R-Sq(adj) = 35.97%

**Two-way ANOVA: Ca versus Trat; Ano**

| Source      | DF  | SS      | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|---------|---------|-------|-------|
| Trat        | 1   | 157,09  | 157,090 | 37,94 | 0,000 |
| Ano         | 1   | 4,15    | 4,147   | 1,00  | 0,317 |
| Interaction | 1   | 21,43   | 21,427  | 5,18  | 0,023 |
| Error       | 572 | 2368,10 | 4,140   |       |       |
| Total       | 575 | 2550,77 |         |       |       |

S = 2,035 R-Sq = 7,16% R-Sq(adj) = 6,67%

**Two-way ANOVA: Mg versus Tratamento; Mês/Ano**

| Source      | DF  | SS      | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|---------|---------|-------|-------|
| Tratamento  | 1   | 19.330  | 19.3296 | 82.49 | 0.000 |
| Mês/Ano     | 23  | 87.480  | 3.8035  | 16.23 | 0.000 |
| Interaction | 23  | 2.234   | 0.0971  | 0.41  | 0.993 |
| Error       | 528 | 123.730 | 0.2343  |       |       |
| Total       | 575 | 232.774 |         |       |       |

S = 0.4841 R-Sq = 46.85% R-Sq(adj) = 42.11%

**Two-way ANOVA: Mg versus Trat; Ano**

| Source      | DF  | SS      | MS      | F     | P     |
|-------------|-----|---------|---------|-------|-------|
| Trat        | 1   | 19,330  | 19,3296 | 53,71 | 0,000 |
| Ano         | 1   | 6,694   | 6,6936  | 18,60 | 0,000 |
| Interaction | 1   | 0,879   | 0,8791  | 2,44  | 0,119 |
| Error       | 572 | 205,871 | 0,3599  |       |       |
| Total       | 575 | 232,774 |         |       |       |

S = 0,5999 R-Sq = 11,56% R-Sq(adj) = 11,09%