

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia  
Tropical e Recursos Naturais - PIPG BTRN



**INTERAÇÕES NA DINÂMICA DO CARBONO E NUTRIENTES  
DA LITEIRA ENTRE A FLORESTA DE TERRA FIRME E O  
IGARAPÉ DE DRENAGEM NA AMAZÔNIA CENTRAL**

**MARIA TEREZINHA FERREIRA MONTEIRO**

T

26

526  
5i

**Manaus-AM**

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM

BIBLIOTECA DO INPA

INTERAÇÕES NA DINÂMICA DO CARBONO E NUTRIENTES  
DA LITEIRA ENTRE A FLORESTA DE TERRA FIRME E O  
IGARAPÉ DE DRENAGEM NA AMAZÔNIA CENTRAL

MESTRANDA: MARIA TEREZINHA FERREIRA MONTEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do Convênio INPA/FUA, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

MANAUS-AMAZONAS  
2005

T  
572.526  
M775x

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM

BIBLIOTECA DO INPA

INTERAÇÕES NA DINÂMICA DO CARBONO E NUTRIENTES  
DA LITEIRA ENTRE A FLORESTA DE TERRA FIRME E O  
IGARAPÉ DE DRENAGEM NA AMAZÔNIA CENTRAL

MARIA TEREZINHA FERREIRA MONTEIRO

Orientador: Dr. FLÁVIO J. LUIZÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do Convênio INPA/FUA, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

MANAUS-AMAZONAS  
2005

Monteiro, Maria Terezinha Ferreira

Interações na dinâmica do carbono e nutrientes da liteira entre a floresta de terra-firme e o igarapé de drenagem na Amazônia Central / Maria Terezinha Ferreira Monteiro – Manaus, 2005.

93p.: il.

Dissertação de Mestrado – INPA / FUA.

1. Ecologia vegetal 2. Produção de liteira 3. Fluxos de carbono orgânico  
4. Amazônia central

CDD 19<sup>a</sup>. ed. 574.526

**Sinopse:**

Estudou-se a produção e a qualidade nutricional da liteira em dois diferentes ambientes, terrestre (num gradiente topográfico: platô, vertente e baixo) e aquático, e a interação do carbono orgânico particulado grosso (POC) com o dissolvido (DOC) nas águas do Igarapé Asú, na Amazônia Central.

**Palavras-chave:** Liteira fina, descarga, igarapé de drenagem, transporte de carbono.

**A DEUS,**

***Aos meus pais: José e Agostinha (in memoriam)***

***A meu filho Jhonatha (in memoriam)***

***A meu esposo Ronaldo pelo apoio, carinho e  
compreensão em todos os momentos***

***Aos meus filhos: Jhully, Matheus e Bárbara***

**Com todo meu amor, DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Flávio Luizão, pela confiança, apoio, paciência e valorosas sugestões ao longo deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenadoria de Pesquisas em Ciências de Florestas Tropicais (INPA-CFT).

A FAPEAM pela bolsa concedida.

A MsC. Sylvia Mota pela amizade, contribuição e valiosas sugestões para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo Cláudio Yano, pelo grande incentivo e valorosa ajuda de campo.

Ao pessoal do BIONTE, especialmente:

- Srs. Sérgio, Natan e Luciano pela imensa ajuda durante toda fase de coleta dos dados.

- Sras. Suely e Rejane pela contribuição na triagem da liteira.

Aos amigos Rejane Freitas, Sandra Tapia, Jorge Ordinola e Lucerina Trujillo pelo companheirismo em todos os momentos.

A grande companheira e amiga Romilda Paiva pela ajuda e descontração nos momentos mais difíceis.

A bolsista do LBA, Adriana Koumrouyan, pela ajuda durante o período de coleta e tratamento das amostras para análise química.

Ao pessoal do Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA, especialmente a Tânia Pimentel pela disponibilidade em todos os momentos; ao Edivaldo pelas válidas informações, ao Orlando e Jonas pelo apoio durante as análises.

Ao Estevão, técnico do Laboratório de análise de Solos e Plantas da EMBRAPA, pelas inúmeras análises de CN.

Ao pessoal da ZF-2 do km 34, especialmente Sr. Napoleão, Antônio e Júlio pela ajuda na montagem do experimento e coleta do material no igarapé.

Aos colegas do curso, Rejane, Manoella, Lianna, Keuris, Gina, Daniella Pauletto, Daniela Dias, Carlos Moura, Allan e Danival, pela amizade e apoio durante o curso de mestrado.

Ao Herivelton, pelas belas fotografias tiradas em campo.

## RESUMO

Para ajudar a entender as interações do carbono e dos nutrientes minerais da liteira numa pequena bacia hidrográfica, foram estudadas as dinâmicas sazonais da liteira fina num gradiente topográfico sob floresta de terra firme e do carbono nas águas de drenagem do igarapé. O objetivo principal deste trabalho foi estudar a dinâmica do carbono da liteira na floresta e no igarapé de drenagem da bacia e avaliar os nutrientes minerais da liteira, correlacionando-os com os períodos sazonais, além de analisar as formas do carbono orgânico encontrado na liteira do igarapé e dissolvido nas águas deste. O estudo foi realizado na Reserva Biológica do Cuieiras, ZF-2, em uma pequena bacia (Igarapé Asú), que foi toda instrumentada. A produção de liteira na floresta, foi medida em coletas quinzenais, usando coletores de PVC de 50 cm x 50 cm, em três posições topográficas (PI=platô, V=vertente e B=baixio), durante 1 ano. Simultaneamente, foi quantificada a massa de liteira sobre o solo, utilizando-se um quadrado de madeira de 20 cm x 20 cm. A liteira carregada pelo igarapé foi coletada utilizando uma rede amostradora em uma cerca feita no igarapé, efetuando-se duas campanhas intensivas que abrangeram os períodos: chuvoso (fevereiro) e seco (julho-agosto). Análises químicas de C, N e macronutrientes, foram feitas em todo o material coletado. A produção anual de liteira foi mais alta no platô ( $9,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) e mais baixa no baixio ( $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ ). Os maiores valores de P, K, e Ca entrando via liteira fina foram observados no baixio. Houve diferenças significativas para Ca ( $B > V > PI$ ) e K ( $B > PI > V$ ) com relação às três posições topográficas. A quantidade

de liteira acumulada sobre o solo foi praticamente similar para as parcelas do platô e vertente ( $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ ), e o quociente de decomposição mais alto ( $k_L = 1,6$ ) ocorreu no platô. A retenção de liteira do igarapé no período chuvoso variou de  $5,7 \text{ mg m}^{-3}$  a  $76 \text{ mg m}^{-3}$ ; no período seco, foi de  $8,2 \text{ mg m}^{-3}$  a  $155,3 \text{ mg m}^{-3}$ . O estoque de DOC total diário variou de 60,9 a 673,6 kg no período chuvoso; e 60 a 675 kg no período seco. As menores concentrações de POC foram encontradas no período chuvoso ( $2,9$  a  $37,7 \text{ mg m}^{-3}$ ) e as maiores no período seco ( $4,2$  a  $74,4 \text{ mg m}^{-3}$ ). A menor concentração de DOC ( $6,1 \text{ g m}^{-3}$ ) e a maior ( $14,7 \text{ g m}^{-3}$ ) foram observadas no período chuvoso. O POC não mostrou relação significativa com a variação de descargas baixas ( $r^2=0,4$ ), somente com as altas ( $r^2=0,7$ ), em ambos os períodos. Entretanto, o DOC mostrou uma forte relação com a descarga no período seco e no período chuvoso, independente de grandes eventos de precipitações. O DOC representou 99% do carbono orgânico encontrado no Igarapé Asú e parte deste carbono provém da lavagem da liteira depositada sobre o solo da floresta de baixo, que é eventualmente inundada pelo igarapé.

## ABSTRACT

To help understanding the interaction between carbon and mineral nutrients of the litter in a small watershed under non flooded forest, the seasonal dynamics of the fine litter was studied along a topographical gradient under dense lowland evergreen rain forest, and the carbon in the water drained by the small stream. The main aim of this work was to study the carbon dynamics in the litter in the forest and in the stream, evaluating their chemical composition and analyzing the forms of organic carbon found in the litter and dissolved in its water, correlating these measurements seasonal changes. The work was carried out in the Cuieiras Biological Reserve, ZF-2, in the small and fully-instrumented watershed of the Asú stream. Fine litter production in the forest was measured every two weeks, using 50 x 50-cm littertraps at three topographical positions (PI=plateau, V=slope and B=valley). At the same time, the litter-layer mass was measured using a 20 x 20-cm wood on frame. The litter carried in the stream water was collected using a retention net in the stream. Samplings were carried out during two intensive campaigns, including the rainy season (February) and the dry period (July and August). Chemical analyzes of C, N and macro-nutrients were conducted for all the material collected. The annual production of litter was greater in the plateau (9.4 t ha<sup>-1</sup>) and lesse in valley forest (7.5 t ha<sup>-1</sup>). Greater amounts of P, K and Ca entered through the fine litter to the soil system in the valley than in plateau and slope forests. There were significant differences for the amounts of Ca (B>V>PI) and K (B>PI>V) in relation to the topographical positions. The litter-layer mass

accumulated on the soil surface was similar to the amounts in the plateau and slope ( $6.0 \text{ t ha}^{-1}$ ) and the decomposition quotient was highest ( $k_L=1.6$ ) in the plateau. The retention of litter carried in the stream during the rainy season varied from  $5.7 \text{ mg m}^{-3}$  to  $76 \text{ mg m}^{-3}$  in the dry season from  $8 \text{ mg m}^{-3}$  to  $155 \text{ mg m}^{-3}$ . The total daily DOC stocks varied from 61 to 674 kg during the rainy season and from 60 to 675 kg during the dry season. The lowest concentrations of POC were found during the rainy season ( $2.9$  to  $37.7 \text{ mg m}^{-3}$ ) and the highest values during the dry season ( $4.2$  to  $74 \text{ mg m}^{-3}$ ). The least concentration of DOC ( $6.1 \text{ g m}^{-3}$ ), as well the highest ( $14.7 \text{ g m}^{-3}$ ), were observed during the rainy season. The POC did not show any significant relationship with the variations of low water flows ( $r^2=0.4$ ), only with the high flows in the stream ( $r^2=0.7$ ), in both seasons. However, the DOC showed a strong relationship with the water flows in both the dry season and the rainy season, independent of strong rainfall events. The DOC represented 99% of the organic carbon found in the Asú stream, and part of this carbon originated from the washing of the litter deposited on the soil surface of the forest in the valley, which is occasionally flooded by the stream.

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	v
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABELAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
<b>1.INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>8</b>
2.1 <i>Geral</i> .....	8
2.2 <i>Específicos</i> .....	8
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
3.1 <i>Área de estudo</i> .....	9
3.2 <i>Localização</i> .....	9
3.3 <i>Clima</i> .....	9
3.4 <i>Solos e topografia</i> .....	10
3.5 <i>Vegetação</i> .....	11

## CAPÍTULO I

### PRODUÇÃO E CONTEÚDO DE NUTRIENTES DA LITEIRA EM FLORESTA DE TERRA FIRME

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 <i>Localização</i> .....	16
2.2 <i>Delineamento experimental</i> .....	16
2.3 <i>Análises químicas da liteira</i> .....	18
2.4 <i>Estimativas do Tempo Médio de Residência (RMT)</i> .....	19
2.5 <i>Análises estatísticas</i> .....	20
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>
3.1 <i>Produção mensal de liteira fina</i> .....	21
3.2 <i>Produção anual de liteira</i> .....	25
3.3 <i>Carbono e nutrientes da liteira</i> .....	26

3.4	Entrada de carbono e nutrientes para o solo.....	28
3.5	Entrada anual de carbono e nutrientes .....	30
3.6	Camada de liteira sobre o solo.....	30
3.7	Quociente de decomposição ( $k_L$ ).....	31
3.8	Concentrações anuais de carbono e nutrientes da camada de liteira .....	32
3.9	Estoque de carbono e nutrientes da camada de liteira .....	32
3.10	Folhas inteiras - L.....	33
3.11	Folhas fragmentadas – F.....	34
3.12	Material lenhoso – W.....	34
3.13	Tempo Médio de Residência (MRT).....	35
<b>4.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
4.1	Nutrientes da liteira .....	39
4.2	Entradas anuais de carbono e nutrientes pela liteira.....	40
4.3	Camada de liteira sobre o solo.....	43
4.4	Quociente de decomposição ( $k_L$ ).....	43
4.5	Concentração de carbono e nutrientes na camada de liteira fina.....	44
4.6	Estoque de carbono e nutrientes da camada de liteira .....	47
4.7	Tempo Médio de Residência.....	48
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>

## CAPÍTULO II

### DINÂMICA DO CARBONO E NUTRIENTES NO IGARAPÉ ASÚ

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>2.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>54</b>
2.1	Localização .....	54
2.1.1	Bacia experimental.....	54
2.2	Delineamento experimental.....	55
2.2.1	Preparo das amostras de liteira do igarapé.....	57
2.3	Análise do Carbono Orgânico Dissolvido - DOC.....	57
2.4	Análises químicas da liteira.....	59
2.5	Estimativas da quantidade de liteira.....	59
2.6	Estimativas da concentração de nutrientes na liteira .....	60

2.7 Estimativas dos fluxos de carbono orgânico .....	60
2.8 Micro-experimento: queda de liteira no leito do igarapé.....	61
2.9 Análises estatísticas.....	62
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
3.1 Distribuição dos componentes da liteira carregada pelo igarapé .....	65
3.2 Concentração de C e nutrientes da liteira do igarapé retida na tela.....	66
3.3 Nutrientes na liteira depositada no chão do baixio e a coletada na rede do igarapé .....	68
3.4 Carbono orgânico dissolvido e particulado no igarapé.....	70
3.5 Fluxo de Carbono Orgânico .....	73
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>75</b>
4.1 Nutrientes e Carbono orgânico particulado (POC) da liteira.....	76
4.2 Carbono orgânico dissolvido (DOC).....	78
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>
<b>6. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>81</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>82</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Síntese preliminar dos fluxos do ciclo de carbono das florestas amazônicas, oriundas dos estudos do projeto LBA. Onde: unidade = ton C ha<sup>-1</sup> por ano; PPB – produtividade primária bruta; COV – compostos de carbono orgânico volátil. (Fonte: Scientific American Brasil, nov 2002.)  
.....5
- Figura 2: Esquema da localização dos coletores dentro das parcelas de 20 m x 80 m. Em destaque a localização das áreas onde estão sendo feitas as coletas da camada de liteira.....16
- Figura 3: Quadro de madeira para coleta da camada de liteira sobre o solo.....18
- Figura 4: Produção média mensal de liteira (kg ha<sup>-1</sup>) no período de junho/2003-maio/2004 nas diferentes posições topográficas (platô, vertente e baixio) (n = 30) e precipitação mensal na área de estudo.....22
- Figura 5: Contribuição relativa (%) dos diferentes componentes (folhas, madeira, material reprodutivo e fragmentos) para o total de liteira fina produzida nas três posições topográficas, nos diferentes períodos sazonais (seco, transição e chuvoso).....24
- Figura 6: Entrada mensal de macronutrientes (P, K, Ca, e Mg) pela liteira fina em todo gradiente topográfico (platô, vertente e baixio), nos diferentes períodos sazonais (seco, transição e chuvoso). Os valores são médias (n=9). As linhas verticais são os desvio padrão.....29
- Figura 7: Contribuição relativa (%) dos diferentes componentes (folha inteira, folha quebrada e material lenhoso) para a quantidade total de liteira acumulada sobre o solo nas três posições topográficas, no período de estudo.....31
- Figura 8: Foto de satélite mostrando a bacia do Igarapé Asú, com a localização da área de estudo (Fonte: Projeto LBA).....54
- Figura 9: Rede coletora instalada no igarapé Asú. (Foto: H. Pauxis, 2004).....56
- Figura 10: Régua de profundidade instalada no ponto da descarga do igarapé. (Foto: Projeto LBA, 2004).....56

Figura 11: Registradores automáticos de dados, instalados na parte central do igarapé Asú. (Foto: Projeto LBA, 2004).....	57
Figura 12: Gráfico da correlação entre concentração de carbono orgânico dissolvido (DOC) e absorvância em diferentes comprimentos de ondas .....	58
Figura 13: Coletores instalados no leito do igarapé Asú. (Foto: A. Huxley, 2004).....	62
Figura 14: Precipitação (mm) e descarga diária ( $m^{-3}$ s) durante as duas campanhas na bacia do igarapé Asú no km 34 da ZF-2.....	63
Figura 15: Quantidade de liteira coletada diariamente e precipitação diária nas duas campanhas, que abrangeram o período chuvoso (5 – 20 fevereiro) e o período seco (14-31 julho; 1-3 agosto e 12 agosto).....	64
Figura 16: Contribuição relativa (%) dos diferentes componentes, folha inteira (L), folha quebrada ou fermentada (F) e material lenhoso (W) para o total de liteira durante as duas campanhas que abrangeram os dois períodos de estudo (chuvoso e seco), nas redes de retenção no igarapé Asú, nas parcelas do baixio e no material coletado pelos coletores no leito do igarapé.....	66
Figura 17: Relações entre o POC e a descarga nos dois períodos sazonais, chuvoso (A) e seco (B), incluindo-se os dois eventos de altas precipitações.....	72
Figura 18: Relações entre o DOC e a descarga nos dois períodos sazonais, chuvoso (A) e seco (B).....	72
Figura 19: Fluxos diários de POC e DOC nas águas do igarapé, nos períodos chuvoso (5-20/2/2004) e seco (14-31/7; 1-3/8 e 12/8/2004).....	74

## ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 1: Produção mensal de liteira fina nos diferentes períodos sazonais. Os valores entre parênteses correspondem ao desvio-padrão ( $n = 30$ ). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.....25
- Tabela 2: . Produção anual de liteira nas diferentes posições topográficas (Platô, Vertente e Baixo) e em cada um dos períodos sazonais ( $t\ ha^{-1}$ ).....26
- Tabela 3: Concentração de carbono (%) e nutrientes ( $g\ kg^{-1}$ ) na liteira, nos três períodos sazonais e nas diferentes posições topográficas. Os valores são médias  $\pm$  desvio-padrão ( $n=9$ ).....27
- Tabela 4: Entrada média anual de carbono e nutrientes ( $kg/ha$ ) na liteira fina, nas três posições topográficas (platô, vertente e baixo). Os valores são médias  $\pm$  desvio-padrão ( $n=9$ ).....30
- Tabela 5: .Produção anual de liteira, valor médio do estoque de liteira sobre o solo e quociente de decomposição ( $k_L$ ) nas áreas estudadas (platô, vertente e baixo). Os valores entre parênteses correspondem à amplitude (maior e menor valor nas três parcelas).....32
- Tabela 6: Estoque médio anual de carbono e nutrientes ( $kg/ha$ ) nos diferentes componentes analisados folha inteira (L), folha quebrada ou fermentada (F) e material lenhoso (W) da camada de liteira no período de agosto/03 – agosto/04, nas três posições topográficas (platô, vertente e baixo). Os valores entre parênteses correspondem aos desvios padrão.....35
- Tabela 7: Quociente de elementos minerais ( $K_E$ ) (calculados das tabelas 4 e 6) e Tempo Médio de Residência para as três posições topográficas (Platô, Vertente e Baixo).....36
- Tabela 8: Produção anual de liteira fina ( $t\ ha^{-1}$ ), com as concentrações de nutrientes na liteira foliar em florestas de terra-firme.....42
- Tabela 9: Camada anual de liteira fina ( $t\ ha^{-1}$ ) e coeficiente de decomposição ( $k_L$ ) com as concentrações de nutrientes na liteira em florestas de terra-firme.....46
- Tabela 10: Concentração média de carbono e nutrientes nos diferentes componentes da liteira do igarapé nos dois períodos de estudo (chuvoso e seco). Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média ( $n=24$ ). Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre períodos do ano.....68

Tabela 11: Concentrações médias de carbono e nutrientes da liteira no ambiente terrestre (baixio) e na liteira retida na rede do igarapé (aquático), nos diferentes componentes (L, F, W) e distintos períodos sazonais (seco e chuvoso). Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre ambientes. ....70

## ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1: Produção média mensal de liteira fina (em gramas), por coletor e por posição topográfica, nos meses de julho-outubro/2003. (n = 9). Os valores entre parênteses correspondem aos desvio padrão.....91
- Anexo 2: Produção média mensal de liteira fina (em gramas), por coletor e por posição topográfica, nos meses de junho, novembro e dezembro. (n = 9). Os valores entre parênteses correspondem aos desvio padrão. ....92
- Anexo 3: Produção média mensal de liteira fina (em gramas), por coletor e por posição topográfica, nos meses de Janeiro-Maio (2004). Os valores entre parênteses correspondem aos desvio padrão.....93

## 1.INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Densa é caracterizada por uma elevada biomassa, ocorrendo principalmente onde não há grandes limitações de crescimento quanto à disponibilidade hídrica, energética e características dos solos. Em contrapartida, as Florestas Abertas possuem menor biomassa e maior quantidade de lianas e plantas de sub-bosque, em decorrência da maior penetração de luz nos estratos inferiores (Salati *et al.*, 1983; Ometto *et al.*, 2003). Estas duas categorias de florestas estão incluídas na formação que ocupa a maior área da região amazônica, denominada Floresta de Terra Firme, que ocupa uma área de aproximadamente 3,8 milhões de km<sup>2</sup>. Além da Floresta de Terra Firme, existe também na Amazônia uma vasta área de florestas de inundação, onde os dois tipos distintos são as florestas de Várzea e de Igapó. O primeiro tipo é formado pelos rios de águas brancas, e são caracterizadas por solos mais ricos, geralmente de aluviões procedentes dos Andes; o segundo, por rios de águas pretas, drenando solos mais pobres (Sioli, 1962; Ribeiro *et al.*, 1999).

A estrutura da floresta de terra firme e sua composição florística são definidas pelos tipos de solo e seu relevo. Na Amazônia Central, o platô é caracterizado por apresentar solos argilosos (Latosolo Amarelo-álido) bem drenados, com sedimentos mais antigos, pobres em nutrientes; a vertente é de difícil delimitação, com predominância de solos Arenos-argilosos, representando uma zona de transição; e o baixio apresenta solo Arenoso encharcado com as chuvas e com acúmulo de sedimentos (Chauvel, 1982; Ribeiro *et al.*, 1999; Luizão *et al.*, 2004).

As florestas de terra firme são consideradas um complexo sistema em equilíbrio, que, devido a uma favorável combinação de agentes ambientais, como energia solar e água em abundância, mantêm sua produtividade (Jordan, 1985). Desse modo, as florestas encontradas na Amazônia apresentam uma grande quantidade de biomassa e alta diversidade de espécies (Pires & Prance 1985), apesar da pobreza química da maioria dos seus solos (Sanchez, 1976; Schubart *et al.*, 1984; Jordan, 1985). Estas florestas parecem estar adaptadas para sobreviver nesses solos em decorrência da eficiente e rápida reciclagem de nutrientes, resultando em uma perda mínima através de processos de lixiviação (Klinge & Fittkau, 1972; Herrera *et al.*, 1978; Jordan & Herrera, 1981). Estes processos seriam em decorrência natural da elevada pluviosidade da região, onde os nutrientes perdidos não podem ser repostos pelo fraco e desgastado substrato geológico. No entanto devido aos eficientes mecanismos de conservação dos nutrientes a lixiviação é um componente do processo de ciclagem de nutrientes que contribui de forma relativamente lenta para o ecossistema (Jordan, 1985; Sodré *et al.*, 2000). Um dos principais mecanismos de proteção do solo contra lixiviação e erosão superficial é a liteira (Ross *et al.*, 1990), que também tem papel de destaque na ciclagem de nutrientes.

A camada de liteira sobre o solo das florestas, que é formada por detritos orgânicos, tais como folhas, material reprodutivo, material lenhoso e fragmentos finos, produzidos pela vegetação (Vieira, 1988) representa um dos principais mecanismos de reciclagem e distribuição de nutrientes na maioria dos ecossistemas terrestres (Vitousek & Sanford, 1986; Hughes & Fahey, 1994). Nas

regiões tropicais, ela tem um papel importantíssimo devido às características de pobreza química da maioria dos seus solos, que geralmente apresentam baixos conteúdos de matéria orgânica (Anderson & Swift, 1983) e de nutrientes minerais, em decorrência de altas temperaturas e precipitações (Jordan, 1985). Por conferir proteção ao solo contra a erosão e ajudar na manutenção de sua umidade, a liteira favorece a atividade de microrganismos e sua decomposição e, provavelmente, promove o desenvolvimento estrutural do solo (Kimmins, 1987). Os tipos de solos e as concentrações de nutrientes são condições importantes na ciclagem de nutrientes na floresta (Sollins *et al.*, 1988; Burnham 1989; Sollins, 1989; Matson, 1990).

A dinâmica de nutrientes encontra-se fortemente ligada ao ciclo da água, uma vez que a água é o meio mais importante de translocação de nutrientes dentro da floresta, que se desenvolve sobre solos bem drenados e de baixa fertilidade natural (Brinkmann, 1989). As águas de drenagem que saem do ambiente terrestre e chegam aos igarapés e rios, carregam consigo parte dos nutrientes lixiviados que anteriormente foram integrados aos processos de transferência, alocação e armazenamento na liteira. Portanto, a circulação de nutrientes depende não somente do ecossistema em si, mas também dos fatores externos a ele como a precipitação pluviométrica (Teixeira *et al.*, 2001). Esta, por sua vez, contribui na ciclagem de nutrientes através da remoção de minerais oriundos das folhas, ramos, frutos e musgos (Eaton *et al.*, 1973). Essa ciclagem se faz através da chuva interna: das gotas que penetram diretamente pelos espaços no interior das copas, lavando a vegetação; pelo escoamento ao longo dos

troncos (Gama-Rodrigues & Miranda, 1991a) e pela lavagem da liteira acumulada sobre o solo (Gama-Rodrigues & Miranda, 1991b; Gama-Rodrigues *et al.*, 1999).

A liberação desses nutrientes, através da chuva, é atribuída a fatores associados à planta e ao ambiente, tais como a idade das folhas, seu estágio de fenológico, propriedades físicas e químicas da superfície foliar, concentração de nutrientes no tecido foliar e na água da chuva, etc. (Tukey Jr., 1970; Parker, 1983). A liteira também influencia os ambientes aquáticos, como os igarapés e rios, de diversos modos: (i) o excesso de água da chuva, que lava os solos e drena os igarapés, deixa as águas mais ácidas, relativamente ricas em sílica e pobres em cátions e outros nutrientes (Walker, 1995); (ii) a liteira em decomposição representa o início da cadeia alimentar dos igarapés, com seus fungos decompositores servindo de alimento primário para as larvas de quironomídeos (Walker, 1987); (iii) pode representar um meio importante de remoção do carbono fixado pela floresta (Richey *et al.*, 2002).

Recentemente o carbono liberado pela queima das florestas passou a ser o grande vilão das questões ambientais no Brasil, pois este, ao se transformar em dióxido de carbono na atmosfera pode causar efeitos danosos ao planeta. De um modo geral, o estudo para avaliar o papel das florestas tropicais, particularmente a amazônica, na absorção ou emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) é de grande importância não só para a comunidade científica, mas para toda população da terra. A idéia predominante é que a Floresta Amazônica seja neutra em relação ao CO<sub>2</sub> (absorve tanto quanto emite) no balanço do gás carbônico, por ser um bioma maduro (em estado de clímax), isto é, que já ultrapassou seu estágio inicial de

formação, quando fixa grandes quantidades de carbono e água na matéria orgânica, por meio da fotossíntese.

O carbono na Terra está essencialmente na forma de compostos orgânicos e carbonatos ou sob a forma de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). O ciclo do carbono consiste na transferência deste elemento (via queima, respiração, reações químicas) para a atmosfera ou para o mar e a sua reintegração na matéria orgânica via assimilação fotossintética. O oceano, a vegetação e o solo são importantes reservatórios que trocam ativamente carbono com a atmosfera (Fig. 1). A quantidade de carbono na atmosfera é de 765 Gt. O oceano contém 50 vezes mais carbono do que a atmosfera e a vegetação, e o solo aproximadamente três vezes mais (Moreira & Siqueira, 2002). Parte do carbono do solo, pode ser transferido para igarapés, rios e, daí, para o oceano ou a atmosfera.

### O Ciclo de Carbono da Floresta Amazônica

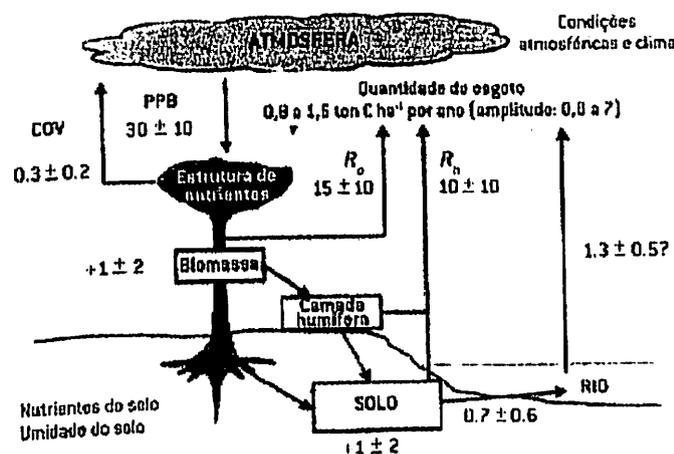


Figura 1: Síntese preliminar dos fluxos do ciclo de carbono das florestas amazônicas, oriundas dos estudos do projeto LBA. Onde: unidade = ton C ha<sup>-1</sup> por ano; PPB – produtividade primária bruta; COV – compostos de carbono orgânico volátil. (Fonte: Scientific American Brasil, nov 2002.)

O possível transporte do carbono fixado pela vegetação para os rios e lagos da Amazônia é hoje um importante componente do balanço e da dinâmica do carbono na região, que estão no foco das discussões sobre o papel da Amazônia em relação à atmosfera e o efeito estufa. No entanto, devido ao aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera nas últimas décadas, o ciclo do carbono pode ter sido alterado e florestas maduras podem estar absorvendo carbono em excesso. Medidas recentes do fluxo de gás carbônico acima da superfície e ao longo da copa das árvores, na Amazônia central e em Rondônia, indicam que a floresta está se comportando como um absorvedor líquido de gás carbônico da atmosfera (Malhi *et al.*, 1998; Nobre *et al.*, 2001). Essa absorção também pode variar de acordo com o gradiente topográfico, ou seja, maior no platô e menor no baixio (Nobre *et al.*, 2001). A liteira geralmente possui um comportamento diferenciado com relação à dinâmica dos nutrientes, dependendo das características do local em que ela foi coletada (platô, vertente ou baixio). Por outro lado, modelos matemáticos baseados em estudos de emissões de CO<sub>2</sub> por rios e lagos da Amazônia sugerem que todo o carbono fixado em excesso pelas florestas de terra firme podem estar sendo drenados para os igarapés e, daí, para os rios e lagos da bacia amazônica, de onde seria emitido para a atmosfera (Richey *et al.* 2002). Sugere-se, então, que o carbono liberado pelos rios e lagos seja oriundo da matéria orgânica transportada desde o planalto até as florestas inundadas, onde o CO<sub>2</sub> é respirado e expelido rio abaixo (Richey *et al.*, 2002). Para confirmar este transporte de carbono da terra firme para igarapés e rios as medições do fluxo de gás carbônico devem,

portanto, ser realizadas de forma contínua, com o objetivo de quantificar o carbono liberado ou absorvido pelas florestas.

Em particular, são necessários estudos que relacionem a liteira produzida e depositada pela floresta com o carbono nos igarapés florestais, em diferentes formas: como material particulado grosso (liteira), carregado pelas águas do igarapé e/ou como carbono orgânico dissolvido nas águas do igarapé, que pode ser oriundo da decomposição da matéria orgânica (onde o carbono seria percolado e atingiria o lençol freático) ou através da lavagem da liteira deposta nas margens do igarapé pelas águas transbordadas quando das inundações provocadas por elevadas precipitações (acima de 100 mm). Estudos desses processos em pequenos igarapés ainda não foram realizados e são essenciais para entender estes processos e a intensidade dos fluxos de carbono envolvidos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Determinar a produção e a dinâmica da deposição da liteira e sua composição química em florestas nos diferentes períodos sazonais relacionando-os com o carbono orgânico (particulado e dissolvido) do igarapé.

### **2.2 Específicos**

1. Identificar mudanças na produção e deposição de liteira fina e sua qualidade nutricional com relação às diferentes posições topográficas (platô, vertente e baixio).
2. Calcular as quantidades de carbono particulado grosseiro da liteira (folhas e material lenhoso fino) drenados pelo igarapé nos diferentes períodos sazonais, correlacionando-as com a variação da descarga no igarapé.
3. Relacionar as quantidades de carbono da liteira depositada sobre o solo do baixio (frações L e F) com o carbono dissolvido encontrado na água do igarapé.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

##### **3.2 Localização**

O estudo foi realizado na Reserva Biológica do Cuieiras, do INPA, que abrange uma área de aproximadamente 22.700 ha e está localizada 50 km ao norte de Manaus, no km. 34 da estrada vicinal ZF-2 (coordenadas geográficas: aproximadamente 2°35"21.08" S e 60°06"53.63" W). A Reserva engloba uma vasta área de floresta úmida ainda primitiva e distribui-se entre duas bacias hidrográficas: à oeste, a bacia do rio Cuieiras (13.414 ha); à leste a bacia do rio Tarumã-Açu (9.321 ha) (Ranzani, 1980).

##### **3.3 Clima**

A temperatura média anual gira em torno de 26,7 °C, apresentando valores médios de 31,4°C e 23,3°C para as máximas e mínimas, respectivamente (Miranda, 2002). O clima é do tipo **Ami** segundo a classificação de Köppen. A média da umidade relativa anual é de 83% (INMET, 1992). A pluviosidade anual média da área é de 2000 a 2500 mm (Ribeiro & Adis, 1984). Para uma série histórica de 20 anos da EMBRAPA, (para uma estação climatológica situada ± 15 km à nordeste) o intervalo de confiança obtido para a região é de  $2.610 \pm 124$  mm ( $\alpha = 0,05$ ). Os valores de precipitação médios registrados pelo INMET em uma série histórica de 30 anos em Manaus, citam valores de 2.286 mm ao ano.

A distribuição mensal de chuvas forma duas épocas distintas no ano: a estação seca, que ocorre entre junho e outubro, sendo agosto o mês com o menor índice pluviométrico; e a estação chuvosa, que ocorre entre novembro e maio,

sendo que o mês de março é o que apresenta o maior índice pluviométrico (Falesi, 1971).

### **3.4 Solos e topografia**

Geologicamente, predominam os sedimentos da Formação Alter-do-Chão, do Cretáceo superior, consistindo de arenitos caulínicos, argilitos, grauvacas e brechas intraformacionais; encontram-se, ainda, sedimentos arenosos do Pleistoceno e Sedimentos Recentes do Quaternário (Ranzani, 1980). Os solos predominantes são classificados como Latossolos Amarelos, álicos, de textura muito argilosa, que ocupam a superfície dos platôs, cuja fase de referência sob floresta é caracterizada pela presença de um horizonte médio, poroso situado entre dois horizontes pouco porosos (Chauvel, 1982). O relevo é levemente ondulado e a maioria das ondulações é formada por pequenos platôs que variam de 500 a 1000 m de diâmetro. A diferença de nível entre as calhas dos igarapés e a superfície dos platôs varia de 70 a 80 m, sendo mais baixos no igarapé Asú, 40 a 50 m (Santos, 1996). A topografia do transecto incluído no presente estudo apresenta uma seqüência de platô, encosta e baixio (Ferraz *et al.*, 1998; Luizão *et al.*, 2004). Os solos dos platôs são de textura argilosa; nas encostas, variam de argilo-arenoso (próximo aos platôs) a areno-argilosos (próximos aos baixios) e nos baixios são de textura arenosa. Assim, os solos das topossequências podem ser classificados em três tipos principais: Latossolo Amarelo, nos platôs; Podzólicos Vermelho-Amarelo, nas encostas e Arenossolos hidromórficos, nos baixios (Chauvel, 1982; Ferraz *et al.*, 1998). Todos os solos são muito ácidos, com os maiores valores de cargas negativas nas partes mais baixas do transecto, onde há

nítida hidromorfia devido à presença das calhas de drenagem e da elevação do lençol freático até a superfície do solo. A atividade biológica também é mais baixa nessas áreas (altos índices de C/N), devido às condições ambientais redutoras típicas das áreas hidromórficas (Ferraz *et al.*, 1998).

### 3.5 Vegetação

A vegetação é de Floresta de terra-firme, Densa, Úmida e Perenefólia (Guillaumet & Kahn, 1982). Apesar dessa classificação geral, a área de estudo apresenta uma floresta com ambientes diferenciados. A floresta de terra-firme, termo que se aplica a todas as florestas que não são sazonalmente inundadas pela cheia dos rios, pode ser dividida em quatro tipos (Ribeiro *et al.* 1999):

**Floresta de platô**, nas áreas mais altas, sobre solo argiloso bem drenado. É a floresta com maior biomassa, com dossel de 35-40 m e muitas árvores emergentes (>45 m), como o Angelim-pedra (*Dinizia excelsa*). O sub-bosque se caracteriza pela presença de muitas palmeiras acaules (*Attalea attaleoides*, *Astrocaryum sciophilum*).

**Floresta de vertente**, sobre a paisagem colinosa dissecada, com solos argilosos nas partes mais altas e areno-argilosos nas partes mais baixas. Com dossel atingindo 25-35 m e poucas árvores emergentes, a vertente representa uma zona de transição, apresentando, entretanto, espécies que só ocorrem neste ambiente.

**Floresta de campinarana**, entre as áreas de baixio e vertente, sobre solo de areia branca (areias quartzosas). Com poucas árvores de grande porte e dossel atingindo 15-25 m, possui baixa biomassa e diversidade; entretanto, apresenta

grande acúmulo de liteira. Apresenta alta penetração de luz e densidade de epífitas, principalmente sobre indivíduos de macucu (*Aldina heterophylla*), e sub-bosque caracterizado pela alta densidade de arvoretas e arbustos, às vezes com muitas bromélias terrestres.

**Floresta de baixio**, nas planícies aluviais ao longo dos igarapés, sobre solo arenoso, encharcado com as chuvas, com acúmulo de sedimentos. Possui poucas árvores emergentes, o dossel varia de 20 a 35 m. Uma característica marcante é a grande quantidade de raízes superficiais, além de raízes escoras e adventícias. Apresenta muitas palmeiras arbóreas, como o patauá (*Oenocarpus bataua*), buriti (*Mauritia flexuosa*), e sub-bosque denso com palmeiras acaule (*Attalea microcarpa*) e muitas ervas de áreas encharcadas (Marantaceae e Cyclantaceae). A fisionomia do baixio varia muito, de acordo com o nível e o tempo de encharcamento do solo. Em algumas áreas pode ocorrer inundação periódica e, então, podem-se encontrar algumas espécies típicas de várzea e igapó.

## CAPÍTULO I

# PRODUÇÃO E CONTEÚDO DE NUTRIENTES DA LITEIRA EM FLORESTA DE TERRA FIRME

### 1. INTRODUÇÃO

A liteira corresponde à camada de detritos orgânicos constituída principalmente por folhas, material reprodutivo, material lenhoso e fragmentos finos produzidos pela vegetação (Vieira, 1988). Nas regiões tropicais, devido às características de baixa fertilidade química da maioria dos seus solos, a liteira tem um papel importantíssimo. Os solos das florestas tropicais geralmente apresentam baixos conteúdos de matéria orgânica (Anderson & Swift, 1983) e de nutrientes minerais, em decorrência de altas temperaturas e pesadas precipitações (Jordan, 1985). Por proteger o solo contra a erosão (Ross *et al.* 1990) e ajudar na manutenção de sua umidade, a liteira favorece a atividade de microrganismos e a decomposição da matéria orgânica e, provavelmente, promove o desenvolvimento estrutural do solo (Kimmins, 1987). Os tipos de solos e as concentrações de nutrientes são condições importantes na ciclagem de nutrientes na floresta (Sollins *et al.*, 1988; Burnham 1989; Sollins, 1989; Matson, 1990).

O processo de biodegradação, ou decomposição é essencial para a recuperação dos solos por produzir a reciclagem de elementos, liberando os nutrientes contidos na liteira para o solo e, daí, para a produção vegetal, ao mesmo tempo que o carbono forma o húmus no solo, melhorando sua estrutura, sua capacidade de reter água e de trocar íons (Aber & Melillo, 1991). A

velocidade de decomposição de um substrato orgânico, como a liteira, é determinada pela qualidade do substrato, ou seja, materiais com qualidades nutricionais diferenciados podem apresentar diferentes taxas de decomposição (Aber & Melillo, 1991). Além disso, as taxas de decomposição dependem da atividade da biota, que é regulada por fatores ambientais (Anderson & Swift 1983; Moreira *et al.*, 2002). A liteira pode ser classificada segundo Proctor (1983) em liteira fina (folhas, material reprodutivo, madeira até 2 cm Ø) e liteira grossa (madeira morta com > 2 cm Ø) representando um dos principais mecanismos de reciclagem e distribuição de nutrientes na maioria dos ecossistemas terrestres (Vitousek & Sanford, 1986; Hughes & Fahey, 1994).

O estoque de liteira sobre o solo é regulado pela dinâmica da queda de material e a conseqüente deposição da liteira sobre o solo e de sua taxa de decomposição na superfície do solo. As taxas de decomposição de liteira fina variam de poucos meses a vários anos para o completo desaparecimento do material (Anderson & Swift, 1983). Os estágios de decomposição, assim como a lixiviação, o intemperismo e a ação biológica são processos que podem influenciar em graus distintos a velocidade de decomposição da liteira e que estão diretamente relacionados com os períodos sazonais (Mason, 1980). A atividade dos microorganismos é mais intensa no período chuvoso, o que favorece uma maior taxa de decomposição neste período. Já na estação seca, além dessa atividade ser mais lenta, a própria condição do clima não é favorável à decomposição, o que pode explicar a redução da taxa de decomposição. As evidências de que as taxas de decomposição são afetadas pelas variações

sazonais foram confirmadas por Luizão & Schubart (1987) e Cornu *et al.*(1997) na Amazônia Central, comparando as estações chuvosa e seca, verificando-se em ambos os trabalhos, taxas de decomposição mais aceleradas na época chuvosa. Luizão *et al.* (2004) ao estudar a decomposição da liteira nas diferentes posições topográficas (platô, vertente e baixio), verificou que a maior taxa foi encontrada no platô e a menor no baixio, confirmando assim que apesar da variação da sazonalidade essa taxa pode ser influenciada também pela posição topográfica. A fixação ou liberação de maiores quantidades de carbono também pode variar de acordo com o tipo de vegetação que é encontrado nessas diferentes posições topográficas (Araújo *et. al.*, 2002). Além disso, estudos indicam que tanto a produção de liteira como a velocidade de decomposição, podem variar de acordo com o gradiente topográfico, sendo geralmente maior no platô e menor no baixio (Luizão & Schubart ,1987; Luizão, 1989; Vasconcelos & Luizão, 2004).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização

A área de estudo encontra-se na Reserva Biológica do Cuieiras, do INPA, que abrange uma área de aproximadamente 22.700 ha e está localizada a 50 km ao Norte de Manaus, no km 34 da estrada vicinal ZF-2 (coordenadas geográficas: aproximadamente 2°35"21.08" S e 60°06"53.63" W ).

### 2.2 Delineamento experimental

Em floresta primária, em cada posição topográfica (platô, vertente e baixio), foram utilizadas três parcelas de 20 x 80 m: Platô (PL1, PL2 e PL3); Vertente (V1, V2 e V3); Baixio (B1, B2 e B3). Em cada parcela foram instalados, por sorteio ao acaso, dez coletores de liteira, num total de 30 coletores por posição topográfica (Fig. 2). Para a escolha do local, onde os coletores foram instalados, foi feito um sorteio aleatório, utilizando-se o mesmo sorteio para todas as parcelas, em cada posição topográfica.

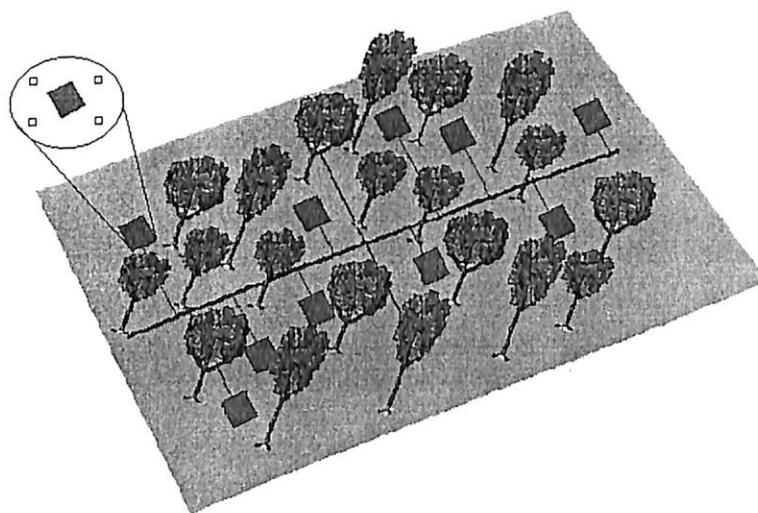


Figura 2: Esquema da localização dos coletores dentro das parcelas de 20 m x 80 m. Em destaque a localização das áreas onde estão sendo feitas as coletas da camada de liteira.

A produção de liteira foi medida durante 1 ano, nas três posições topográficas, usando-se coletores de PVC de 0,50 x 0,50 m, com fundo de tela de náilon (malha de 1 mm), instalados sobre suportes de PVC a aproximadamente 30 cm do solo. As coletas foram agrupadas em três períodos climáticos: julho-outubro (estação seca), janeiro-maio (estação chuvosa) e nos períodos de transição (junho, novembro e dezembro), neste último, a junção é justificada por não ter sido encontrado diferenças significativas em estudos anteriores realizados por Luizão *et al.* (2004), quando das análises químicas realizadas na liteira dos diferentes meses neste período. O material foi coletado quinzenalmente, separado em seus componentes principais (folhas, material lenhoso, material reprodutivo e fragmentos finos), pesado e moído para posterior análise química da concentração de carbono e nutrientes. Para estimar a produção anual de liteira fina nas diferentes posições topográficas, levou-se em consideração a soma dos valores quinzenais por coletor; calculou-se a média e o desvio padrão para cada mês, e posição topográfica e, através dessa média, fizeram-se as transformações necessárias e o cálculo para se chegar ao valor da produção anual.

Simultaneamente às coletas de liteira, e iniciando-se em agosto/2003, foi quantificada a massa de liteira fina sobre o solo a cada 3 meses. Para isto, em cada parcela, foram escolhidos, por sorteio ao acaso, cinco dos coletores de liteira, sendo que, ao redor de cada um, foram coletadas quatro sub-amostras, usando-se um quadrado de madeira de 20 cm x 20 cm e uma faca (Fig. 3). As amostras compostas (cinco por parcela) foram secas ao ar e passaram pela triagem, que constou da separação de folhas inteiras (L), folhas quebradas, "fermentadas" ou

em decomposição (F) e material lenhoso (W). Todo material coletado foi pesado, moído e processado para análise química a fim de determinar a concentração de carbono e nutrientes em cada fração. Para calcular os estoques de nutrientes nos diferentes componentes da liteira, levou-se em consideração a concentração determinada na digestão total e a massa estimada de cada componente. A partir da média anual obtida da massa de liteira sobre o chão, foi calculado o coeficiente de decomposição da liteira fina ( $k_L$ ), através da seguinte equação:

$$k_L = L/C$$

Onde: L= produção anual de liteira ( $t h^{-1}$ );

C= camada média anual ( $t h^{-1}$ ) de liteira sobre o solo

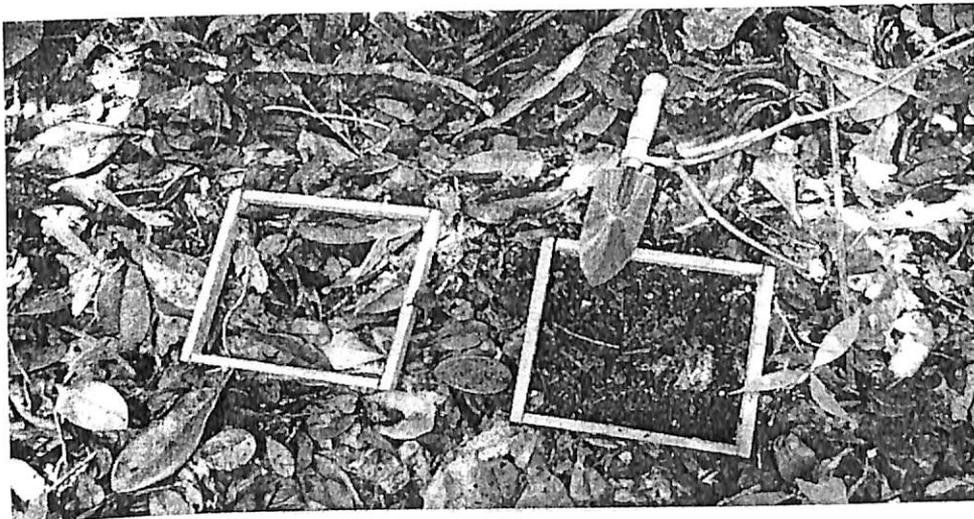


Figura 3: Quadro de madeira para coleta da camada de liteira sobre o solo.

### **2.3 Análises químicas da liteira**

As análises químicas da liteira fina dos coletores foram realizadas em amostras representativas dos períodos de estudo, que abrangem as estações: seca (julho-outubro), chuvosa (janeiro-maio) e de transição (junho, novembro e

dezembro). Foram feitas análises de nove amostras compostas para cada componente (folha, material lenhoso e material reprodutivo), totalizando 27 amostras em todo gradiente topográfico.

As concentrações de C e N foram determinadas no Laboratório de Solos da EMBRAPA; os macronutrientes (P, K, Ca e Mg) foram analisados no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA. Os resultados das análises dos macronutrientes foram comparados com as amostras padrão do controle de qualidade do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ-USP). As análises seguiram os seguintes métodos:

- Determinação de N total e C: Combustão – determinadas num auto-analisador CHN-elementar (Vario EL). Método de cromatografia gasosa.
- Determinação da concentração de P: Digestão nitroperclórica das amostras (Malavolta *et al.*, 1989) + leitura no Espectrofotômetro UV-120-01 marca Shimadzu.
- Determinações de K, Ca e Mg: digestão nitroperclórica das amostras (Malavolta *et al.*, 1989) + leitura no espectrofotômetro de absorção atômica (Anderson & Ingram, 1993).

#### **2.4 Estimativas do Tempo Médio de Residência (MRT)**

Calculou-se o Tempo Médio de Residência (MRT) para os nutrientes N, P, K, Ca e Mg. Foram utilizados os valores da entrada de nutrientes da liteira e da camada de liteira para calcular o quociente  $k_E$ . O Tempo Médio de Residência

dos nutrientes na camada de liteira é o inverso do quociente  $k_E$ , ou seja,  $MRT = 1/k_E$ .

### **2.5 Análises estatísticas**

Para verificar o efeito das posições topográficas (platô, vertente e baixio) e da sazonalidade (variáveis independentes) nas estimativas da produção, deposição e das concentrações de nutrientes da liteira (variáveis dependentes), foi utilizada análise de variância. Quando constatou-se alguma significância, foi aplicado um teste de médias ("Tukey"), efetuando uma comparação entre a produção e as concentrações de nutrientes na liteira das diferentes posições topográficas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 *Produção mensal de liteira fina*

No período seco, a produção média mensal de liteira fina foi maior para o platô e menor para o baixio com a maior variabilidade da produção de liteira entre os coletores ocorrendo no baixio e a menor no platô (Anexo 1). A produção mensal de liteira no período seco (julho-outubro), nas três posições topográficas (platô, vertente e baixio), teve seu pico máximo no mês de setembro: platô = 1492 kg ha<sup>-1</sup>, vertente = 1284 kg ha<sup>-1</sup> e baixio = 1106 kg ha<sup>-1</sup>. A produção mensal de liteira nos meses de julho-agosto teve um crescimento contínuo para platô (746 kg ha<sup>-1</sup> e 1014 kg ha<sup>-1</sup>), vertente (690 kg ha<sup>-1</sup> e 944 kg ha<sup>-1</sup>) e baixio (529 kg ha<sup>-1</sup> e 904 kg ha<sup>-1</sup>) respectivamente (Fig. 4). O mês de outubro se caracterizou por apresentar um decréscimo na produção de liteira com relação aos meses de agosto e setembro para as três posições topográficas, platô (936 kg ha<sup>-1</sup>), vertente (686 kg ha<sup>-1</sup>) e baixio (553 kg ha<sup>-1</sup>).

A contribuição das folhas para o total de liteira fina no período seco (julho-outubro/2003), no platô foi de 82%, seguido da vertente com 81% e baixio com 77%. Com relação ao componente lenhoso, a maior percentagem calculada foi da vertente (15%) sendo similar para platô e baixio (14%). A percentagem de material reprodutivo foi maior no baixio (8%), sendo igual para o platô e vertente (3%). (Fig. 5). A percentagem de fragmentos finos foi igual para todas posições topográficas (1%).

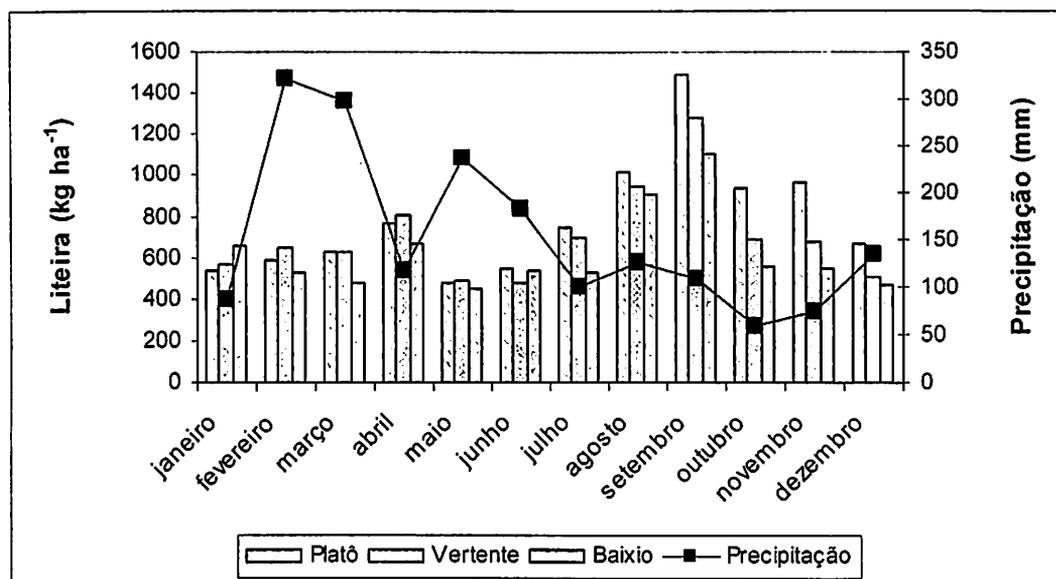


Figura 4: Produção média mensal de liteira ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) no período de junho/2003-maio/2004 nas diferentes posições topográficas (platô, vertente e baixo) ( $n = 30$ ) e precipitação mensal na área de estudo.

No período de transição (junho, novembro e dezembro), a produção média mensal de liteira fina foi praticamente similar para o platô e vertente, sendo menor para o baixo (Anexo 2). A maior produção mensal de liteira neste período deu-se no mês de novembro: platô =  $965 \text{ kg ha}^{-1}$ , vertente =  $671 \text{ kg ha}^{-1}$  e baixo =  $543 \text{ kg ha}^{-1}$ . A quantidade de folhas produzidas no período teve uma maior porcentagem na vertente com 83%, seguida do platô 79% e baixo com 77%. Com relação ao componente lenhoso, a maior porcentagem foi encontrada no platô (13%) seguido do baixo (12%) e vertente (11%). A maior porcentagem de material reprodutivo foi encontrada no baixo (9%), seguida do platô (6%) e vertente (4%). (Fig. 5). A porcentagem de fragmentos finos foi similar para todas posições topográficas (2%).

No período chuvoso, a maior produção média mensal de liteira fina ocorreu na vertente e a menor deu-se no platô (Anexo 3). A variabilidade da produção de liteira entre os coletores foi maior no baixio e menor no platô (Anexo 3). A produção mensal de liteira durante o período chuvoso, janeiro–maio/04, foi menor no mês de maio: platô = 477 kg ha<sup>-1</sup>, vertente = 492 kg ha<sup>-1</sup> e baixio = 449 kg ha<sup>-1</sup>. A maior produção deu-se no mês de abril: platô = 765 kg ha<sup>-1</sup>, vertente = 805 kg ha<sup>-1</sup> e baixio = 662 kg ha<sup>-1</sup>; este foi um mês em que a precipitação diminuiu muito em relação aos meses chuvosos (Fig. 4). A quantidade de folhas produzidas teve um decréscimo do platô (75%), para a vertente (74%) e o baixio (69%). O componente lenhoso seguiu a mesma tendência: platô (19%), seguido da vertente (15%) e baixio (14%). Com relação ao material reprodutivo, a maior proporção foi encontrada no baixio (16%), seguido da vertente (10%) e platô (5%). A percentagem de fragmentos foi igual para as três posições topográficas (1%). (Fig. 5).

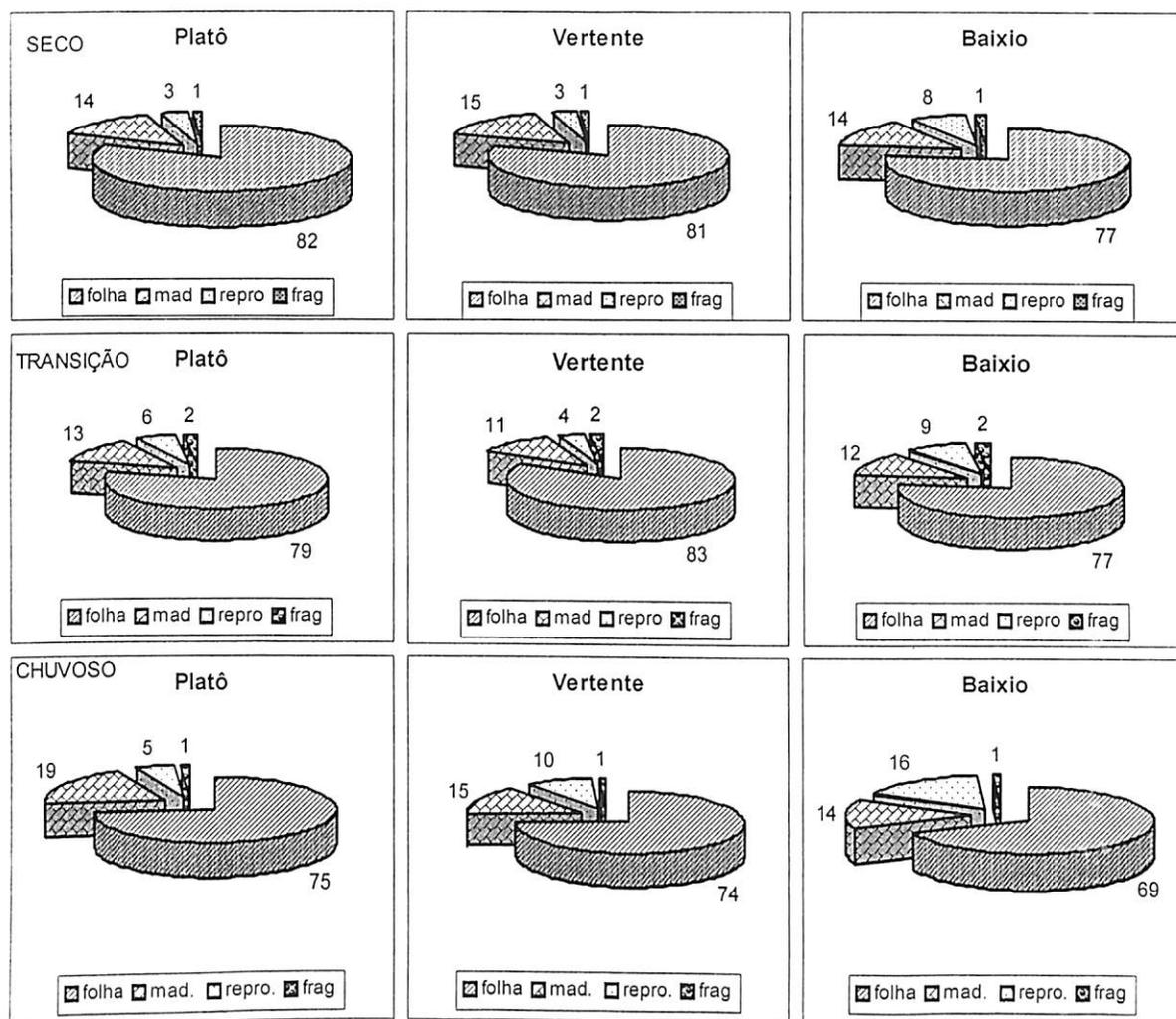


Figura 5: Contribuição relativa (%) dos diferentes componentes (folhas, madeira, material reprodutivo e fragmentos) para o total de liteira fina produzida nas três posições topográficas, nos diferentes períodos sazonais (seco, transição e chuvoso).

Quando se comparam valores mensais entre os períodos sazonais, observa-se que a estação seca apresentou produção significativamente maior do que a transição e chuvosa (ANOVA,  $F = 65,5$ ;  $P < 0,05$ ). A menor produção ocorreu no período de transição com os menores valores observados no mês de junho, resultados estes já esperados, uma vez que este mês foi antecedido de um

período chuvoso e o maior no mês de novembro, que foi antecedido pelo período seco (Tab. 1). No período chuvoso, que abrangeu os meses de janeiro a maio/2004, a maior produção foi encontrada no mês de abril.

Tabela 1: Produção mensal de liteira fina nos diferentes períodos sazonais ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Os valores entre parênteses correspondem ao desvio-padrão ( $n = 30$ ). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Chuvoso		Transição		Seco	
<b>Janeiro</b>	1682,0 (16,2)	<b>Junho</b>	1477,0 (11,0)	<b>Julho</b>	1852,0 (14,4)
<b>Fevereiro</b>	1672,0 (13,0)	<b>Novembro</b>	1946,7 (13,0)	<b>Agosto</b>	2707,3 (19,0)
<b>Março</b>	1730,0 (10,4)	<b>Dezembro</b>	1544,3 (11,0)	<b>Setembro</b>	3654,4 (24,0)
<b>Abril</b>	2116,0 (14,0)			<b>Outubro</b>	2032,7 (19,0)
<b>Maió</b>	1344,0 (11,0)				
<b>Média</b>	1708,8 a (15,0)		1656,0 a (13,0)		2561,5 b (26,4)

### 3.2 Produção anual de liteira

A produção anual de liteira (junho/03 – maio/04) foi mais alta para platô ( $9,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) e menor para o baixio ( $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) (Tab. 2), porém não houve diferenças significativas quando comparadas as três posições topográficas (ANOVA,  $F = 2,61$ ;  $P = 0,07$ ).

Tabela 2: . Produção anual de liteira nas diferentes posições topográficas (Platô, Vertente e Baixo) e em cada um dos períodos sazonais (t ha<sup>-1</sup>).

TOPOGRÁFICA	PERÍODOS			Total
	Seco	Transição	Chuvoso	
Platô	4,2	2,1	3,1	9,4
Vertente	3,6	1,7	3,0	8,3
Baixo	3,1	1,6	2,8	7,5

### 3.3 Carbono e nutrientes da liteira

As concentrações de carbono e nutrientes nos diferentes períodos estudados não apresentaram valores significativos quando comparados entre si: carbono (ANOVA, F = 2,54; P = 0,08), nitrogênio (ANOVA, F = 0,63; P = 0,54), relação CN (ANOVA, F = 1,56; P = 0,22), fósforo (ANOVA, F = 0,38; P = 0,69), potássio (ANOVA, F = 0,04; P = 0,96), cálcio (ANOVA, F = 1,93; P = 0,15) e magnésio (ANOVA, F = 1,14; P = 0,32). Entretanto, quando comparados ao longo do gradiente topográfico (platô, vertente e baixo), observa-se diferenças significativas para fósforo e relação C:N no período de transição, potássio e cálcio no período seco e relação C:N para o chuvoso (Tab. 3).

Tabela 3: Concentração de carbono (%) e nutrientes (g kg<sup>-1</sup>) na liteira, nos três períodos sazonais e nas diferentes posições topográficas. Os valores são médias ± desvio-padrão (n=9).

Nutrientes	Períodos sazonais	Platô	Vertente	Baixio	ANOVA
Carbono (%)	Seca	48,1 ± 1,4a	36,7 ± 19,0a	43,9 ± 7,3a	F =2,6; p= 0,0
	Transição	46,5 ± 7,3a	48,5 ± 0,8a	49,9 ± 1,4a	F =1,1; p= 0,3
	Chuvosa	46,6 ± 7,4a	48,7 ± 12,6a	46,4 ± 8,3a	F =0,2; p= 0,9
Nitrogênio (%)	Seca	1,3 ± 0,2a	1,5 ± 1,3a	0,8 ± 0,6a	F =0,2; p= 0,8
	Transição	1,3 ± 0,4a	1,3 ± 0,1a	1,4 ± 1,2a	F =1,8; p= 0,2
	Chuvosa	1,2 ± 0,2a	1,2 ± 0,4a	0,9 ± 0,2a	F =6,2; p= 0,0
C/N	Seca	36,9 ± 1,4a	33,5 ± 19,0a	47,5 ± 14,1a	F =0,3; p= 0,7
	Transição	37,7 ± 7,1a	39,3 ± 4,9ab	50,2 ± 20,4c	F =7,32; p= 0,0
	Chuvosa	40,1 ± 13,1a	41,0 ± 7,4ab	56,1 ± 6,3c	F =8,2; p= 0,0
P (g kg <sup>-1</sup> )	Seca	0,3 ± 0,2a	0,3 ± 0,1a	0,3 ± 0,1a	F =1,4; p= 0,3
	Transição	0,3 ± 0,2a	0,3 ± 0,2b	0,4 ± 0,3a	F =14,1; p= 0,0
	Chuvosa	0,3 ± 0,1a	0,3 ± 0,1a	0,3 ± 0,2a	F =0,5; p= 0,6
K (g kg <sup>-1</sup> )	Seca	1,6 ± 0,6a	1,9 ± 1,0ab	3,1 ± 1,8c	F =3,41; p= 0,0
	Transição	1,8 ± 1,1a	2,1 ± 1,7a	2,9 ± 1,6a	F =4,4; p= 0,0
	Chuvosa	1,8 ± 0,8a	2,1 ± 0,9a	2,9 ± 1,7a	F =1,7; p= 0,2
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Seca	3,3 ± 1,0a	3,1 ± 0,6ab	4,3 ± 1,2c	F =3,5; p= 0,0
	Transição	2,3 ± 1,0a	2,9 ± 0,9a	3,8 ± 1,3a	F =1,8; p= 0,2
	Chuvosa	2,7 ± 0,98a	2,8 ± 1,0a	3,8 ± 1,4a	F =2,5; p= 0,1
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Seca	1,7 ± 0,3a	1,8 ± 0,5a	2,2 ± 0,7a	F =2,7; p= 0,1
	Transição	1,4 ± 0,3a	1,8 ± 0,5a	2,0 ± 0,7a	F =2,4; p= 0,2
	Chuvosa	1,4 ± 0,3a	1,7 ± 0,4a	1,8 ± 0,4a	F =2,6; p= 0,1

### **3.4 Entrada de carbono e nutrientes para o solo**

O baixio foi a posição topográfica que apresentou a maior entrada de nutrientes via liteira fina nos meses de julho-outubro/03 (Fig. 6). Houve diferenças significativas com relação às três posições topográficas para o cálcio (ANOVA,  $F = 3,49$   $P < 0,01$ ) e potássio (ANOVA,  $F = 3,41$ ;  $P < 0,01$ ). O magnésio (Mg) e o fósforo (P) foram os nutrientes que não apresentaram diferenças significativas (ANOVA,  $F = 2,75$ ;  $P > 0,05$  e  $F = 1,4$ ;  $P > 0,05$  respectivamente).

A entrada média mensal de nutrientes (P, K e Mg), via liteira fina nos meses de junho, novembro e dezembro/03, teve um aumento contínuo ao longo do gradiente topográfico: platô ( $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ;  $5,6 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $4,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ), vertente ( $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ;  $5,9 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $5,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e baixio ( $1,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ;  $8,0 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $6,3 \text{ kg ha}^{-1}$ ). O Ca apresentou a maior entrada no platô ( $9,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e baixio ( $12,2 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Figura 6). Houve diferenças significativas em relação às três posições topográficas somente para o fósforo (ANOVA,  $F = 14,1$   $P = 0,005$ ), sendo maior para o baixio e menor para o platô.

Dos nutrientes analisados (P, K, Ca, Mg), os maiores valores entrando via liteira fina nos meses de janeiro-maio/04, foram encontrados no baixio (Fig. 6). A análise estatística mostrou que não houve diferenças significativas em relação às três posições topográficas, para o Cálcio (ANOVA,  $F = 2,52$   $P > 0,05$ ), Potássio (ANOVA,  $F = 1,72$ ;  $P > 0,05$ ), magnésio (ANOVA,  $F = 2,56$   $P > 0,05$ ) e fósforo (ANOVA,  $F = 0,46$   $P > 0,05$ ).

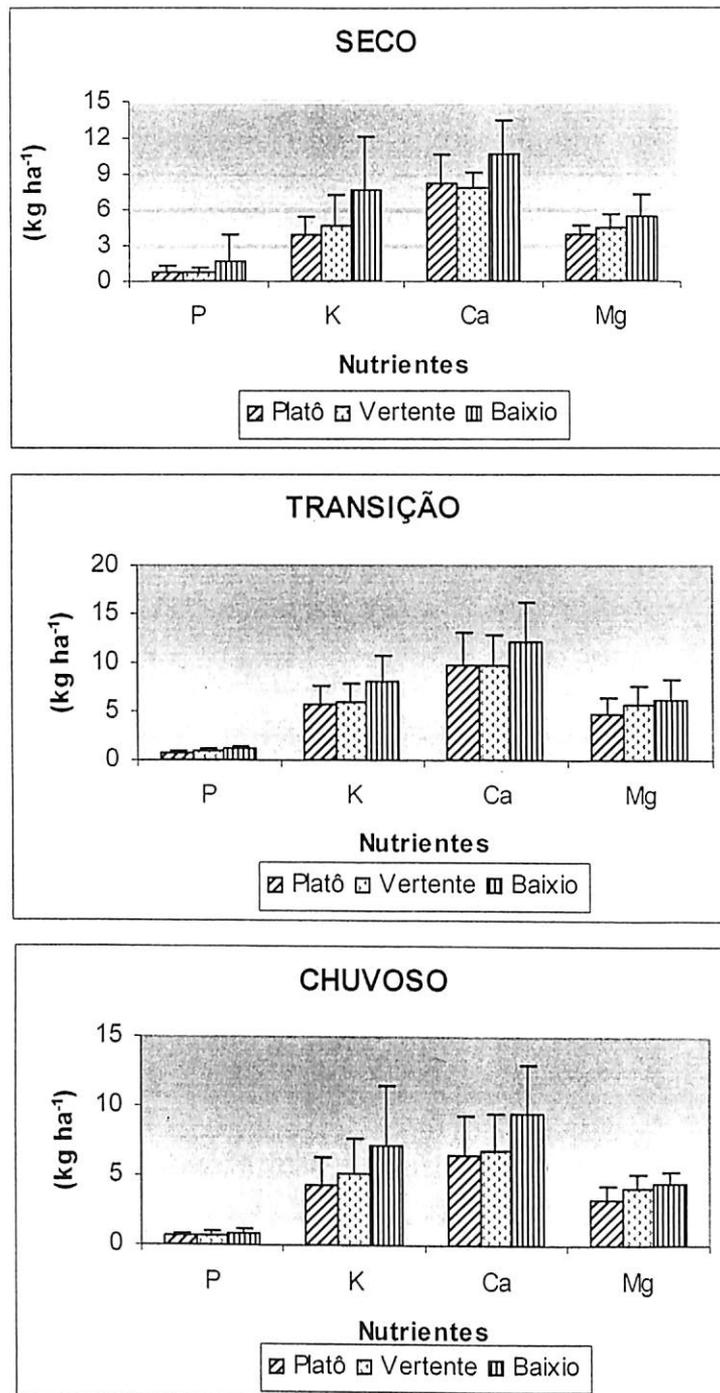


Figura 6: Entrada mensal de macronutrientes (P, K, Ca, e Mg) pela liteira fina em todo gradiente topográfico (platô, vertente e baixo), nos diferentes períodos sazonais (seco, transição e chuvoso). Os valores são médias (n=9). As linhas verticais são os desvios padrão.

### 3.5 Entrada anual de carbono e nutrientes

A comparação das entradas anuais de nutrientes da liteira nas três posições topográficas mostrou que dos nutrientes analisados (N, P, K, Ca e Mg) com exceção do magnésio e nitrogênio, todos apresentaram os maiores valores no baixo, seguidos do platô e vertente. O carbono apresentou o maior valor no platô, seguido da vertente e baixo (Tab. 4).

Tabela 4: Entrada média anual de carbono e nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na liteira fina, nas três posições topográficas (platô, vertente e baixo). Os valores são médias  $\pm$  desvio-padrão ( $n=9$ ).

Posição topográfica	-----( $\text{kg ha}^{-1}$ )-----								
	C	N	C/N	P	C/P	N/P	K	Ca	Mg
Platô	4193,5 (965,1)	109,6 (24,0)	38,3 (2,2)	2,7 (0,2)	1553,1 (948,4)	40,6 (25,1)	20,9 (2,9)	35,0 (3,2)	20,5 (2,3)
Vertente	3813,2 (677,1)	91,5 (16,0)	46,7 (2,7)	2,4 (0,1)	1588,8 (857,4)	38,1 (19,6)	16,8 (0,9)	33,3 (3,8)	19,0 (1,3)
Baixo	2399,5 (431,3)	72,1 (9,0)	33,3 (18,5)	3,1 (0,5)	774,0 (369,5)	23,3 (13,0)	23,0 (2,1)	38,5 (3,2)	20,4 (1,6)

### 3.6 Camada de liteira sobre o solo

A quantidade de liteira acumulada sobre o solo foi praticamente similar para as parcelas do platô e vertente ( $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ ), sendo menor para as parcelas do baixo ( $5,5 \text{ t ha}^{-1}$ ).

A quantidade de folhas inteiras foi mais alta no platô (36%), quando comparada com a vertente (33%) e o baixo (31%). Os componentes, “folha quebrada” e “material lenhoso” seguiram a mesma tendência, ou seja, mais altos no platô (37 e 41%) e mais baixos no baixo (30 e 26%) respectivamente (Fig. 7). A quantidade média de liteira fina no período seco (agosto/03) mostrou ser praticamente similar para platô ( $2662 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e vertente ( $2781 \text{ kg ha}^{-1}$ ) sendo menor para o baixo ( $2480 \text{ kg ha}^{-1}$ ). No período de transição (novembro/03), o platô

apresentou a maior quantidade de liteira fina (2911 kg ha<sup>-1</sup>) e o baixo a menor (2250 kg ha<sup>-1</sup>). No período chuvoso (fevereiro-maio/04) a quantidade média de liteira fina foi praticamente similar para as três posições topográficas: platô (2450 kg ha<sup>-1</sup>), vertente (2493 kg ha<sup>-1</sup>) e baixo (2416 kg ha<sup>-1</sup>). Não houve diferenças significativas entre as posições topográficas (ANOVA, F = 0,10; P = 0,91).

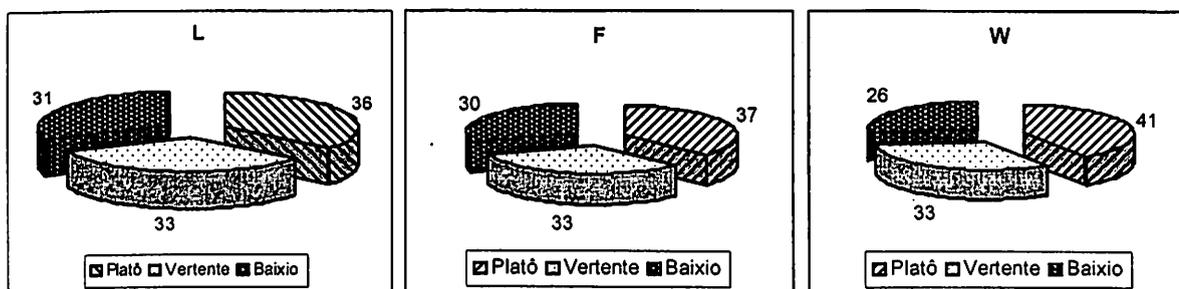


Figura 7: Contribuição relativa (%) dos diferentes componentes (folha inteira, folha quebrada e material lenhoso) para a quantidade total de liteira acumulada sobre o solo nas três posições topográficas, no período de estudo.

### 3.7 Quociente de decomposição ( $k_L$ )

O coeficiente  $k_L$ , dado pela equação  $k_L = L/C$  ( $L$  = liteira produzida por ano ( $t h^{-1}$ );  $C$  = média anual da camada ( $t h^{-1}$ ) de liteira sobre o solo) relaciona a quantidade de necromassa que cai do dossel e a que é encontrada na superfície. Neste estudo, a maior produção anual de liteira foi encontrada no platô e a menor no baixo. Assim, o quociente de decomposição mais alto ( $k_L = 1,6$ ) ocorreu no platô e as parcelas da vertente e baixo apresentaram o menor valor (Tab. 5).

Tabela 5: .Produção anual de liteira, valor médio do estoque de liteira sobre o solo e quociente de decomposição ( $k_L$ ) nas áreas estudadas (platô, vertente e baixo). Os valores entre parênteses correspondem à amplitude (maior e menor valor nas três parcelas)

POSIÇÕES TOPOGRÁFICAS	PLATÔ	VERTENTE	BAIXIO
Produção anual (t ha <sup>-1</sup> )	9,4 (7,6 – 9,6)	8,3 (7,3 – 9,2)	7,5 (6,7 – 7,9)
Liteira acumulada (t ha <sup>-1</sup> )	5,8 (3,6 – 9,2)	6,0 (3,1 – 10,3)	5,5 (2,8 – 9,1)
$K_L$	1,6	1,4	1,4

### 3.8 Concentrações anuais de carbono e nutrientes da camada de liteira

As concentrações de fósforo foram similares para todas posições topográficas (0,2 g kg<sup>-1</sup>). As maiores concentrações de potássio foram encontradas no baixo (1,8 g kg<sup>-1</sup>), porém não houve diferenças significativas quando comparadas. As concentrações de cálcio (5,0 g kg<sup>-1</sup>), magnésio (1,7 g kg<sup>-1</sup>) e carbono (48,3 g kg<sup>-1</sup>) foram maiores no baixo. Foram observadas diferenças significativas para cálcio (ANOVA, F = 7,4; P = 0,01), magnésio (ANOVA, F = 4,1; P = 0,02) e carbono (ANOVA, F = 6,1; P = 0,00). As concentrações de nitrogênio foram maiores na vertente (1,3 g kg<sup>-1</sup>). Houve diferenças significativas quando comparadas as posições (ANOVA, F = 18,4; P = 0,00).

### **3.9 Estoque de carbono e nutrientes na camada de liteira**

Dos quatro nutrientes avaliados (P, K, Ca, Mg e N) nos componentes da camada de liteira, folhas inteiras (L), folhas fragmentadas (F) e material lenhoso (W), o cálcio foi o elemento que apresentou os maiores estoques no decorrer de todo o período de estudo, em todas posições topográficas e em todos os componentes analisados, quando comparado com os demais nutrientes. Com relação às três posições topográficas (platô, vertente e baixio) observa-se que o baixio apresentou em todos os componentes analisados (L, F e W) o maior estoque de cálcio durante os meses de coletas (agosto, novembro, fevereiro e maio) (Tab. 6).

### **3.10 Folhas inteiras - L**

O maior estoque médio anual de carbono neste componente foi encontrado na vertente ( $2417 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e o menor no platô ( $2084 \text{ kg ha}^{-1}$ ). O maior estoque de nitrogênio foi encontrado na vertente ( $69,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e o menor no baixio ( $41 \text{ kg ha}^{-1}$ ). A relação C:N foi maior no baixio (52,5) e menor no platô (32,8). A análise estatística mostrou que houve diferenças significativas para o nitrogênio (ANOVA,  $F = 8,302$ ;  $P = 0,002$ ) e relação C:N (ANOVA,  $F = 32,182$ ;  $P = 0,000$ ) (Tab. 6).

No componente folha inteira (L), observou-se que dos nutrientes analisados (P, K, Ca e Mg) com exceção do potássio e magnésio, os maiores estoques foram encontrados no baixio, não havendo diferenças significativas desses nutrientes entre as posições topográficas quando feita a análise de variância (Tab. 6).

### **3.11 Folhas fragmentadas – F**

O maior estoque de cálcio e magnésio nas folhas em decomposição deu-se no baixo; o fósforo apresentou estoques similares para todo gradiente topográfico e o potássio apresentou o menor estoque na vertente, sendo os valores iguais para platô e baixo. O platô apresentou o maior estoque de carbono neste componente (666 kg ha<sup>-1</sup>), seguido do baixo (607 kg ha<sup>-1</sup>) e vertente (598 kg ha<sup>-1</sup>). O estoque de nitrogênio foi menor para o baixo (14,0 kg ha<sup>-1</sup>), e maior para o platô (21,3 kg ha<sup>-1</sup>). Ao comparar esses resultados entre as posições topográficas, observou-se que não houve diferenças significativas entre o gradiente topográfico (Tab. 6).

### **3.12 Material lenhoso – W**

No material lenhoso analisado, a vertente e o baixo apresentaram estoques similares de fósforo. O maior estoque de potássio deu-se no platô e o maior valor de cálcio foi registrado no baixo. Os valores do estoque de magnésio foram iguais para platô e vertente. O nitrogênio e o carbono apresentaram a mesma tendência, maior no platô, seguido da vertente e baixo. A análise estatística mostrou que somente o nitrogênio difere estatisticamente (ANOVA, F = 4,487; P = 0,002) sendo maior para o platô e menor para o baixo (Tab. 6).

Tabela 6: Estoque médio anual de carbono e nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos diferentes componentes analisados folha inteira (L), folha quebrada ou fermentada (F) e material lenhoso (W) da camada de liteira no período de agosto/03 – agosto/04, nas três posições topográficas (platô, vertente e baixo). Os valores entre parênteses correspondem aos desvios padrão.

		------( $\text{Kg ha}^{-1}$ )-----					
Componente	Ambiente	C	N	P	K	Ca	Mg
L	Platô	2084 (595)	57,0 (11,0)	0,8 (0,2)	4,2 (1,8)	15,4 (7,7)	7,6 (2,2)
	Vertente	2417 (357)	69,1 (11,0)	0,8 (0,2)	3,0 (1,3)	16,0 (4,6)	7,6 (1,1)
	Baixio	2154 (398)	41,0 (10,0)	0,9 (0,2)	3,0 (0,5)	20,0 (7,7)	7,5 (1,2)
F	Platô	666 (173)	21,3 (5,0)	0,3 (0,1)	1,3 (0,5)	5,0 (1,2)	2,1 (0,5)
	Vertente	598 (217)	20,2 (8,0)	0,3 (0,1)	0,8 (0,3)	4,5 (1,6)	2,0 (0,7)
	Baixio	607 (200)	14,0 (6,4)	0,3 (0,1)	1,3 (0,5)	7,0 (4,0)	2,5 (1,0)
W	Platô	928 (330)	19,2 (6,8)	0,3 (0,2)	1,3 (0,8)	7,4 (5,0)	2,0 (0,7)
	Vertente	754 (266)	15,3 (6,4)	0,2 (0,1)	0,8 (0,6)	6,0 (2,1)	2,0 (0,8)
	Baixio	708 (223)	10,2 (2,5)	0,2 (0,0)	1,1 (0,8)	7,5 (4,1)	1,6 (0,5)
Liteira Total	Platô	3678 (739)	97,5 (19,0)	1,4 (0,3)	6,8 (1,8)	28,0 (6,9)	11,7 (3,0)
	Vertente	3769 (883)	104,6 (26,1)	1,3 (0,3)	4,6 (1,2)	26,4 (6,0)	11,6 (3,0)
	Baixio	3469 (771)	65,2 (16,0)	1,4 (0,4)	5,4 (1,0)	36,0 (8,1)	11,6 (2,8)

### 3.13 Tempo Médio de Residência (MRT)

O Tempo Médio de Residência dos nutrientes da liteira relaciona a quantidade de nutrientes da liteira dos coletores, com os estoques de nutrientes da camada de liteira. O menor MRT de potássio foi encontrado no baixo. O MRT de fósforo, cálcio e magnésio foi similar para platô, vertente e baixo (Tab.7).

Tab. 7. Quociente dos elementos minerais ( $K_E$ ) (calculados das Tab. 4 e 6) e Tempo Médio de Residência (MRT) para as três posições topográficas (Platô, Vertente e Baixo).

Quocientes	Posição	(Kg ha <sup>-1</sup> )				
	Topográfica	N	P	K	Ca	Mg
$K_E$	Platô	1,1	2,0	3,1	1,3	2,0
	Vertente	0,9	2,0	4,0	1,3	1,6
	Baixo	1,1	2,2	4,3	1,1	2,0
MRT	Platô	1,0	0,5	0,3	0,8	0,6
	Vertente	1,2	0,5	0,3	0,8	0,6
	Baixo	1,0	0,5	0,2	0,9	0,6

#### 4. DISCUSSÃO

A maior produção de liteira fina encontrada no período seco no platô era esperada, uma vez que a floresta do platô possui maior biomassa aérea quando comparada com o baixio, além desse período corresponder à menor precipitação pluviométrica. Estes dados estão de acordo com os encontrados por Luizão (1989), em estudos realizados em uma área de floresta de terra firme na Amazônia Central e Luizão *et al.* (2004), que mediram uma produção de liteira fina maior no platô e menor no baixio na mesma área de estudo. A alta variabilidade encontrada da produção de liteira entre os coletores utilizados foi também verificada por Luizão (1989), ao estudar a produção de liteira em florestas de terra firme próximas ao local do estudo atual, onde a menor variação foi encontrada no baixio. A maior produção mensal de liteira no período seco, segundo Luizão (1989), é fato esperado, pois na Amazônia esse período é caracterizado pela queda de uma maior quantidade de detritos orgânicos.

A quantidade de folhas produzidas no período seco neste estudo diferiu dos encontrados por Luizão *et al.* (2004) que, ao calcular a porcentagem de folhas no total de liteira na mesma área do presente estudo, encontrou uma maior proporção na vertente (81%), seguida do platô (78%) e baixio (74%). Apesar dos valores seguirem a mesma tendência, houve um aumento na quantidade de folhas ao longo das três posições topográficas, o que provavelmente seja reflexo do efeito El Niño que marcou o ano de 2002, tendo um aumento na produção de liteira no ano de 2003. Com relação ao componente lenhoso, esses valores diferem novamente dos encontrados por Luizão *et al.* (2004), que encontrou a maior porcentagem no

baixio (17%), seguido do platô (15%) e vertente (13%). A porcentagem de material reprodutivo seguiu a mesma tendência dos encontrados por Luizão *et al.* (2004), na área de estudo. A alta porcentagem de folhas em relação ao total de liteira coletada em todas as posições, muito superior ao componente madeira, material reprodutivo e fragmentos, era esperada, uma vez que as folhas são os principais componentes da liteira fina (Luizão, 1989) e, por serem geralmente de rápida decomposição, contribuem de forma significativa para um rápido processo de ciclagem de nutrientes.

A similaridade da produção de liteira fina entre o platô e vertente no período de transição pode ser explicada pela influência conjunta da sazonalidade e das características vegetais desta área nas partes mais altas, ao contrário do que ocorre com as áreas do baixio que são áreas com características vegetacionais totalmente distintas que possuem uma enorme quantidade de palmeiras e plantas de sub-bosque. Da mesma forma que se caracterizou a maior produção de liteira no período de transição, pode ter ocorrido o mesmo com o período chuvoso, onde as características da vertente somada a sazonalidade, pode ter contribuído para a maior produção nesta posição.

Os resultados da produção anual de liteira no platô ( $9,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) e baixio ( $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) estão acima dos encontrados por Klinge (1977) e Luizão (1989), em estudos realizados em floresta de terra firme na região de Manaus (Tab. 8). Existem vários estudos sobre a produção de liteira na Amazônia brasileira, que indicam quantidades anuais em torno de  $6,4 \text{ t ha}^{-1}$ , em sistemas agroflorestais;  $6,5 \text{ t ha}^{-1}$ , em capoeiras e  $8,9 \text{ t ha}^{-1}$ , em floresta primária (Muller, 1986; Luizão, 1989 e 1995;

Quisen, 1996). Essa produção de liteira varia com o tipo de ecossistema, natural ou cultivado, e com o estágio de desenvolvimento dos mesmos (Teixeira *et al.*, 2001).

No período de transição, os valores da produção anual de liteira foram inferiores aos do período chuvoso; estes resultados não eram esperados, pois o período chuvoso normalmente se caracteriza por uma redução da produção de liteira (Luizão, 1989). Entretanto, ao analisar os dados diários de precipitação da área de estudo, verificou-se que, na prática, os meses considerados como de transição (junho, novembro e dezembro) foram meses atípicos quando comparados com os meses do ano anterior; isto deve-se em parte ao efeito El Niño. No mês de junho, a precipitação foi de 183 mm que, comparada ao mês de maio (238 mm), pode ser considerado como mês de transição. Entretanto, o mês de novembro, que deveria ser um mês de transição, mostrou-se um mês bastante seco, com uma precipitação média apenas de 75 mm.

#### **4.1 Nutrientes da liteira**

As maiores concentrações de nutrientes (P, K, Ca e Mg) da liteira no período de transição talvez se deva às condições climáticas atípicas desse período com mês de novembro muito seco. O período chuvoso apresentou as menores concentrações, provavelmente em decorrência das fortes e constantes chuvas que favorecem a lixiviação desses nutrientes. As concentrações anuais de nitrogênio, cálcio e magnésio ficaram abaixo das encontradas por Dantas & Phillipson (1989) e Markewitz *et al.*, (2004) para uma floresta de terra firme no Pará e por Luizão

(1989) em estudos realizados em florestas de terra firme em Manaus (Tab. 8). As concentrações de fósforo e potássio ficaram abaixo das encontradas por Dantas & Phillipson (1989), e acima das encontradas por Luizão (1989).

Neste estudo, o nitrogênio ocorreu em maiores concentrações na liteira fina, seguido do potássio, cálcio, magnésio e fósforo. Comparando esses resultados com a literatura mais recente para a região (Haag 1985; Luizão, 1989; Tapia-Coral, 1998; Ordinola, 1999) observa-se que as concentrações desse estudo foram decrescendo na mesma ordem. As maiores concentrações de fósforo no baixo, não surpreende, uma vez que em estudos anteriores realizados em áreas próximas mostraram que as concentrações de fósforo no solo são menores em ambientes de platô do que do baixo (Chauvel, 1982). A menor concentração de fósforo no ecossistema pode limitar a produção primária da área de estudo (Vitousek & Sanford, 1986). As maiores concentrações de bases trocáveis no baixo neste estudo estão de acordo com as encontradas por Paiva & Luizão (2003) ao estudar os nutrientes em uma topossequência de uma floresta de terra firme próxima de Manaus.

#### **4.2 Entradas anuais de carbono e nutrientes pela liteira**

A distribuição da entrada de carbono e nutrientes na liteira do platô seguiu a mesma tendência da quantidade anual de liteira produzida: C>N>Ca>K>Mg>P. Houve sempre a ocorrência de maior entrada de alguns nutrientes nas parcelas do baixo. As entradas anuais de nitrogênio, fósforo e cálcio estiveram abaixo dos encontrado por Luizão (1989); o contrário ocorreu com o potássio e o magnésio.

Entretanto, com exceção do nitrogênio, todos os outros nutrientes apresentaram entradas anuais maiores do que os encontrados por Kato (1995) em plantios de castanheira com idade de 10 anos. A entrada média anual de carbono ( $3469 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi menor do que o encontrado por Luizão *et al.* (2004) na mesma área de estudo. A relação C:N foi mais baixa na área de baixio, indicando que esta relação está de acordo com a encontrada em estudos realizados por Luizão *et al.*, (2004), que sugere que a área de baixio é mais limitada em nitrogênio. As relações C:P e N:P indicaram maiores valores para o platô. Luizão *et al.*, (2004) mostraram que as áreas mais altas das florestas de terra firme são mais limitadas em fósforo.

As entradas de nutrientes na liteira fina foram menores para Ca ( $35,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e P ( $2,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e maiores para Mg e K ( $20,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em comparação aos apresentados por Luizão (1989), que foram Ca ( $36,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e P ( $3,1 \text{ kg ha}^{-1}$ ); Mg ( $13,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e K ( $15,0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) respectivamente. Resende (2001) obteve os maiores estoques de nutrientes na liteira para uma área de cerrado denso para Ca ( $46,9 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Mg ( $12,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ), K ( $10,5 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e P ( $4,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Neste estudo os valores de Mg e K estão bem acima dos encontrados por esses dois autores nos diferentes tipos de ecossistemas.

O conhecimento da ciclagem de carbono e nutrientes nas parcelas do platô é importante para se entender a dinâmica e a conseqüente liberação desses nutrientes neste gradiente topográfico. Uma vez que a eficiente decomposição nesta posição contribui para o aumento da quantidade de  $\text{CO}_2$  que é liberado nas parcelas do platô.

Tabela 8: Produção anual de liteira fina ( $t\ ha^{-1}$ ), com as concentrações de nutrientes na liteira foliar em florestas de terra-firme.

Ecosistema	local	Tempo de estudo	Liteira ( $t\ ha^{-1}$ )	N (%)	P (g.kg)	K (g.kg)	Ca (g.kg)	Mg (g.kg)	Fonte
F. terra firme	Manaus/BR	5 meses	5,64	1,37	0,16	0,49	2,5	1,15	Klinge, 1977
F. terra firme	Pará/BR	14 meses	8,04	1,43	0,45	3,54	14,2	1,98	Dantas & Phillipson, 1989
F. terra firme	Manaus/BR	3 anos	8,25	1,80	0,20	1,50	3,80	1,80	Luizão, 1989
F. terra firme	Roraima/BR	1 ano	9,17	1,51	0,60	4,40	6,10	1,50	Barbosa & Fearnside, 1996
F. terra firme	Pará/BR	2 anos	5,81	1,50	0,33	0,84	8,71	0,96	Teixeira <i>et al.</i> , 2001
F. terra firme	Pará/BR	2 anos	10,3	1,43	0,33	3,54	10,9	2,30	Markewitz <i>et al.</i> , 2004
F. terra firme	Manaus/BR	1 ano	9,4	1,32	0,33	2,33	3,20	1,77	<b>Este estudo</b>

#### **4.3 Camada de liteira sobre o solo**

A acumulação de folhas e detritos sobre o solo contribui para aumentar o nível de fertilidade na superfície do solo (Toledo & Serrão, 1982). A entrada de nutrientes por meio dessa acumulação e decomposição de raízes finas é considerada como o mais importante processo de sustentação da floresta de terra firme (Schubart *et al.*, 1984). No entanto, poucos são os estudos que estimaram o acúmulo da camada de liteira ("litter layer") sobre o solo em florestas de terra firme (Klinge, 1973; Scott *et al.*, 1992; Luizão, 1995; Villela, 1995), sendo as estimativas em torno de 4-6 – 7,7 t ha<sup>-1</sup>. Neste estudo, o resultado encontrado do acúmulo da camada de liteira anual sobre o solo foi de 5,8 t ha<sup>-1</sup> ficando dentro da média dos trabalhos acima citados (Tab. 9). A sazonalidade teve influência na quantidade de massa de liteira acumulada sobre o solo, onde o maior acúmulo foi na época seca e o menor na época chuvosa, para todo gradiente topográfico. Segundo a literatura mais recente (Luizão, 1982; Luizão & Schubart, 1987; Luizão, 1989; Tapia-Coral, 1998; Luizão *et al.*, 2002; Tapia-Coral *et al.*, 2004; Luizão *et al.*, 2004) este fato pode ser atribuído à maior queda de detritos orgânicos e à decomposição mais lenta nesta época do ano.

#### **4.4 Quociente de decomposição ( $k_L$ )**

Segundo Moreira & Siqueira (2002), em condições tropicais, geralmente os valores de  $k$  maiores que 1,0 indicam a renovação completa dos resíduos a cada ano. Gama-Rodrigues (1997) e Moreira & Siqueira (2002) relataram valores de  $k$  para liteira variando de 0,41 a 1,62 para várias coberturas vegetais brasileiras. Neste estudo, os valores do coeficiente ( $K_L$ ) ficaram em torno de 1,6

para floresta de platô e 1,4 para a vertente e o baixio. Essas variações ocorrem em função da vegetação, principalmente das espécies dominantes e das condições edafo-climáticas do ecossistema, o que pode explicar a taxa de decomposição mais baixa no baixio e vertente quando comparados com o platô. Esses resultados estão acima dos encontrados por Luizão *et. al.*, (2004), em pesquisas realizados na mesma área de estudo, onde observou-se a mesma tendência, ou seja, o maior coeficiente ( $K_L$ ) foi encontrado no platô (1,5) e o menor na vertente e baixio (1,2) (Tab. 9). A decomposição da matéria orgânica ou o processo de mineralização, que resulta em compostos minerais simples, contribui para o aumento do nível de fertilidade do solo (Serrão, 1989), e essa contribuição ocorre de acordo com a qualidade nutricional da liteira (que é avaliada pelo conteúdo total de nutrientes na camada de liteira).

#### **4.5 Concentração de carbono e nutrientes na camada de liteira fina**

No presente estudo, as concentrações de carbono na camada de liteira (47,3%) foram maiores do que as encontradas por Higuchi *et.al.* (1998) (39%) e Luizão *et. al.* (2004) (46,2%) em estudos realizados em florestas de terra-firme próximas de Manaus. As concentrações de cálcio neste estudo foram maiores do que as encontradas por Luizão (1995) e Tapia-Coral (2004) em florestas de terra-firme (Tab. 9), porém menores do que as encontradas por Villela (1995). O magnésio apresentou concentrações similares às encontradas por Tapia-Coral (2004). As concentrações de potássio foram maiores do que às encontradas por Luizão (1995) em floresta primária (Tab. 9).

As concentrações de fósforo foram menores do que às encontradas na floresta de terra firme em Manaus por Luizão (1995), em Maracá por Villela (1995) e em Jenaro Herrera, na Amazônia Peruana (Tapia-Coral, 2004). Segundo Resende (2001), as baixas concentrações de nutrientes na liteira têm como principal causa as baixas concentrações de nutrientes nos tecidos vegetais, que refletem a baixa disponibilidade de nutrientes no solo.

As concentrações de fósforo que foram iguais para todas posições topográficas, ficaram próximas das encontradas por Vasconcelos & Luizão (2004) em uma floresta de terra firme ao norte de Manaus. O potássio seguiu a mesma tendência das concentrações encontradas no referido trabalho, sendo maior em solos arenosos. Vasconcelos & Luizão (2004), encontraram as maiores concentrações de cálcio e magnésio em floresta de terra firme em solos argilosos, o contrário ocorreu com as concentrações desses nutrientes neste estudo, onde as maiores concentrações foram observadas em solos arenosos (baixio).

Tabela 9: Camada anual de liteira fina ( $t\ ha^{-1}$ ) e coeficiente de decomposição ( $k_L$ ) com as concentrações de nutrientes na liteira em florestas de terra-firme.

Ecosistema	local	Estação do ano	Liteira ( $t.ha^{-1}$ )	$k_L$ Total	N (%)	P (g.kg)	K (g.kg)	Ca (g.kg)	Mg (g.kg)	Fonte
F. terra firme	Manaus/BR	-	6,6	-	-	-	-	-	-	Klinge, 1973
F. terra firme	Maracá/BR	-	4,6	2,0	-	-	-	-	-	Scott <i>et al.</i> , 1992
F. terra firme	Manaus/BR	C+S+C	6,5	1,2	1,5	0,3	1,1	1,6	1,1	Luizão, 1995
F. terra firme	Jenaro Herrera/PE	C + S	15,8	-	1,3	0,8	4,5	3,2	1,5	Tapia-Coral, 2004
F. terra firme	Manaus/BR	C+S+C	7,7	1,3	-	-	-	-	-	Luizão <i>et al.</i> , 2004
F. terra firme	Maracá/BR	C+S	7,7	1,8	1,0	0,3	5,4	5,7	1,8	Villela, 1995
F. terra firme	Manaus/BR	C+T+S	5,8	1,5	1,1	0,2	1,1	3,9	1,5	<b>Este estudo</b>

#### **4.6 Estoque de carbono e nutrientes da camada de liteira**

Os estoques de carbono da camada de liteira tiveram uma pequena variação em relação aos períodos sazonais: 3642 kg ha<sup>-1</sup> para o período seco; 3706 kg ha<sup>-1</sup> no período de transição; e 3628 kg ha<sup>-1</sup> para o período chuvoso.

Os maiores estoques de cálcio e magnésio foram encontrados nas folhas inteiras, em todo gradiente topográfico, quando comparados com os outros componentes como folhas quebradas e material lenhoso.

Neste estudo, os estoques de potássio foram maiores nas folhas inteiras, em todas posições topográficas estudadas e menores para folhas quebradas e material lenhoso. Observa-se que o potássio, com a ação dos microdecompositores foi facilmente lixiviado, o que reflete os menores estoques encontrados no componente folha quebrada. Entretanto, o material lenhoso tem suas concentrações e estoques mais reduzidos em decorrência de ser a fração mais facilmente decomposta (< 2mm). Segundo Gosz *et al.* (1973), o potássio é o nutriente mais lixiviado da liteira sobre o solo. Os maiores estoques de fósforo, cálcio e magnésio da liteira total (componente L, F e W) da camada de liteira sobre o solo ocorreram no baixio.

Por ser um dos nutrientes de menor concentração na liteira (Haag, 1985), o fósforo apresentou os menores estoques, quando comparado com os outros nutrientes; porém, seguiu a mesma tendência dos componentes estudados em todo gradiente topográfico, sendo sua baixa disponibilidade um dos fatores limitantes para a produtividade primária em muitos ecossistemas (Vitousek, 1980).

#### **4.7 Tempo Médio de Residência (MRT)**

Os baixos valores do quociente  $k_E$  para N, P, K, Ca e Mg indicam uma ciclagem mais lenta desses elementos nas áreas estudadas. No entanto, o MRT dos elementos estudados, foi praticamente similar para todo gradiente topográfico; entretanto, encontrou-se menores valores de K para as parcelas do baixo. Estes valores estão abaixo dos encontrados por Luizão (1995) em estudos realizados em três distintos tipos de ambientes (campina, campinarana e baixo).

## 5. CONCLUSÕES

- A maior produção de liteira foi encontrada no platô, área de floresta com maior biomassa aérea. Folhas foram sempre o principal componente da liteira.
- Os períodos sazonais influenciaram na produção da liteira durante os dois anos de estudo.
- A maior taxa de decomposição foi encontrada no platô, que mostrou uma renovação completa dos resíduos dentro do período de 1 ano.
- Os estoques de nutrientes na camada de liteira, foram mais elevados nas folhas inteiras (L), durante todo o período de estudo.
- As maiores concentrações das bases trocáveis foram encontradas nas parcelas do baixo.

## CAPÍTULO II

### DINÂMICA DO CARBONO E NUTRIENTES NO IGARAPÉ ASÚ

#### 1. INTRODUÇÃO

Poucos são os estudos que integram os processos que operam na interface terra-água e que podem interferir na dinâmica do carbono orgânico encontrado nos ecossistemas terrestre e aquático (Richey *et al.*, 2002).

Os ecossistemas aquáticos da Amazônia são formados por diferentes corpos d'água como, por exemplo, os igarapés e lagos que ocorrem em grande quantidade na região, variando tanto no volume de água como de tamanho (bacias de 0,01 a 600 km<sup>2</sup>) da área superficial (Welcomme, 1979; Melack, 1984). Os igarapés deságuam nos lagos, que recebem uma boa parte dos nutrientes de suas bacias de drenagem, ou, então, nos rios maiores. O nível de água dos lagos depende do nível dos rios aos quais estão conectados (Forsberg *et al.*, 1988), enquanto que o nível de água dos pequenos igarapés depende das grandes chuvas locais (Leopoldo *et al.*, 1984), que também afetam fortemente os processos que operam na interface terra-água, devido à sua importância no controle dos fluxos de energia e de materiais (Naiman & Dechamps, 1990; Holland *et al.*, 1991). O estudo da dinâmica dos elementos minerais e nutrientes nos ecossistemas aquáticos permite entender os compartimentos das bacias hidrográficas e as variações nas taxas de perdas de nutrientes (Vitousek *et al.*, 1979; Lewis, 1986).

O carbono é um elemento que está presente em quantidade muito pequena na biosfera terrestre, estimada em torno de 2.000 Gt, quando comparada ao que é encontrado na litosfera (75.000 Gt), oceanos (38.400 Gt) e

fósseis (4.130 Gt). Entretanto, o reservatório de carbono terrestre é de grande importância, uma vez que a maior parte circulante do carbono passa por ele antes de atingir os sedimentos oceânicos (Moreira-Turcq *et al.*, 2003). Assim, oceanos, a vegetação e o solo são importantes reservatórios que trocam ativamente carbono com a atmosfera, sendo o ciclo da água um grande condutor de carbono orgânico (Moreira-Turcq *et al.*, 2003), em todos esses reservatórios. Aproximadamente metade do carbono que é fotoassimilado pelas plantas, é consumido pela respiração dos seres vivos, e o restante vai para a liteira, onde sofre decomposição pelos microorganismos, sendo posteriormente liberado para a atmosfera. Supõe-se que a matéria orgânica que é transportada dos ambientes terrestres para os igarapés e rios são responsáveis por uma boa parte do CO<sub>2</sub> que é liberado nas florestas de terra firme ou nos rios (Richey *et al.*, 2002). Os rios tropicais são responsáveis por aproximadamente 60% do carbono orgânico total (TOC) que é descarregado dentro dos oceanos (Meybeck, 1982). O TOC é a somatória do carbono orgânico dissolvido (DOC) com o carbono orgânico particulado (POC); este, por sua vez se divide em "fino", que se agrega aos sedimentos carreados pelos rios, e o "grosso", que é transportado na água como liteira fina.

$$\text{TOC} = \text{DOC} + \text{POC} \left\{ \begin{array}{l} \text{FINO} = \text{sedimentos} \\ \text{GROSSO} = \text{liteira} \end{array} \right.$$

Os fluxos de POC e DOC carregados pelo rio Amazonas são importantes na ciclagem biogeoquímica entre a terra e o oceano (Moreira-Turcq *et al.*, 2003), uma vez que essa ciclagem se dá, em parte, através da decomposição e/ou respiração, sendo observada nos diferentes componentes do ecossistema. Desse modo, estudos detalhados do POC total em sistemas aquáticos, como os igarapés de floresta, são imprescindíveis para se ter uma real quantificação dos fluxos de carbono nesses ambientes, uma vez que até o momento somente encontram-se disponíveis dados relativos ao POC (sedimentos) em grandes rios da Amazônia.

Richey *et al.* (1990), ao calcular a média anual do carbono orgânico exportado para os rios da Amazônia, sugeriram que a principal fonte de matéria orgânica encontrada nos rios e lagos corresponde aos ambientes terrestres. Os rios são os principais canais usados no transporte desses materiais para os oceanos, assim como alguns igarapés transportam também uma boa quantidade de matéria orgânica para os rios e lagos. A composição do material particulado (liteira) e dissolvido nos rios é complexa e depende de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na bacia de drenagem e nos rios (Hedges *et al.*, 1986a). A liteira que é coletada em um ambiente terrestre passa pela maioria desses processos, talvez até mais do que a liteira que é carregada pelos rios. Já a composição do material dissolvido depende em parte das substâncias húmicas e fúlvicas que são provenientes da decomposição da matéria orgânica drenada para as águas do lençol freático.

Assim, deduz-se que as águas dos igarapés podem conter uma grande quantidade de carbono e nutrientes, que podem ser oriundos de três distintos mecanismos: (i) da lavagem superficial da liteira que é acumulada sobre o chão da floresta; (ii) da decomposição da matéria orgânica, onde os nutrientes que são liberados podem ser transportados através da zona não saturada do solo, alcançando o lençol freático e, posteriormente, sendo drenados para o igarapé; (iii) na bacia do Igarapé Asú, esses nutrientes podem ser também oriundos da lavagem superficial de todo material orgânico, incluindo a liteira, que se encontra nas margens do igarapé (baixio), quando das alagações provocadas por altas precipitações.

No entanto, os períodos sazonais (estações seca e chuvosa) mostram efeitos diferenciados nos estoques de macronutrientes, principalmente carbono, nitrogênio e fósforo, na camada de liteira acumulada no chão do baixio (Cap. 1), o que demonstra a influência da água nos processos biogeoquímicos e sugere a necessidade de estudos no canal de drenagem, que integra a dinâmica terrestre com a aquática.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização

#### 2.1.1 Bacia experimental

A área de estudo está concentrada em uma pequena bacia hidrográfica (bacia do Igarapé Asú) com aproximadamente 6,8 km<sup>2</sup> (Fig. 8), que contém igarapés de águas com coloração negra (pH ácido), devido ao conteúdo de ácidos húmicos e fúlvicos (Moreira-Turcq *et al.*, 2003). A Bacia Experimental do Igarapé Asú, como é chamada, está situada a cerca de 70 km norte de Manaus (AM), encontrando-se inteiramente localizada em uma área de floresta não-perturbada; há cerca de 2 anos, foi toda instrumentada para efetuar medidas hidrológicas e hidroquímicas. Esta bacia integra uma série de estudos na área de fluxos de carbono, química da água e hidrologia que a tornam única como área de estudo sobre as mudanças globais e seus efeitos de longo prazo em ecossistemas.

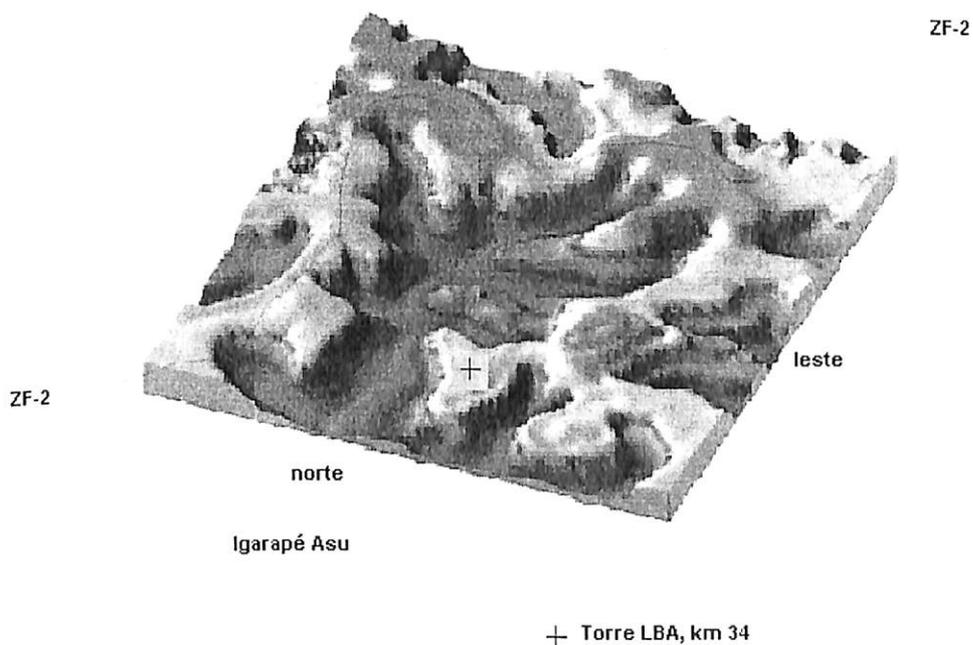


Figura 8: Foto de satélite mostrando a bacia do Igarapé Asú, com a localização da área de estudo (Fonte: Projeto LBA).

## **2.2 Delineamento experimental**

Paralelas aos estudos de produção e deposição de liteira pela floresta de terra firme nas três posições topográficas (Cap. 1), foram realizadas coletas do material particulado grosseiro (liteira) carreado pelo igarapé Asú.

A coleta foi feita utilizando uma cerca de retenção, composta por uma rede de malha de náilon, medindo aproximadamente 3,5 m (Fig. 9), que foi estendida de uma margem a outra do igarapé, com uma extensão de 12 m cada lado para cobrir a área da planície de inundação que se forma com fortes chuvas. As coletas foram realizadas em duas campanhas intensivas de amostragem: a primeira no mês de fevereiro (período de chuvas) e a segunda no mês de julho (período de seca). Em cada campanha, a liteira foi coletada diariamente no decorrer de aproximadamente 3 semanas. No período chuvoso (e em inundações eventuais no período seco), além da parte central do igarapé a liteira foi coletada também nas duas margens (direita e esquerda), de acordo com as inundações, ocasionando altas descargas e consequente acúmulo de folhas no igarapé transbordado para as margens.

No presente estudo as medições efetuadas durante as campanhas intensivas foram integradas às medidas sistemáticas do Projeto LBA na bacia do Igarapé Asú: descarga, vazão e concentração de carbono orgânico dissolvido. Os estudos realizados na bacia incluem a medição da descarga e a concentração de carbono orgânico dissolvido do igarapé, bem como o nível da água, através de uma régua de profundidade no ponto da descarga (Fig. 10), e a vazão no igarapé, que conta com registradores automáticos de dados para os

medidores (Fig. 11). Neste estudo, porém, não foi efetuadas medidas do carbono orgânico particulado fino, sedimentos (frações < 1 cm) no igarapé Asú.



Figura 9: Rede coletora instalada no igarapé Asú. (Foto: H. Pauxis, 2004)



Figura 10: Régua de profundidade instalada no ponto da descarga do igarapé. (Foto: Projeto LBA, 2004)



Figura 11: Registradores automáticos de dados, instalados na parte central do igarapé Asú. (Foto: Projeto LBA, 2004)

### **2.2.1 Preparo das amostras de liteira do igarapé**

As amostras da liteira retida nas redes no igarapé foram secas inicialmente em um secador solar, que foi instalado no acampamento do km 34, na ZF-2. Essas amostras foram depois transportadas para o INPA e passaram pela triagem, que constou da separação da liteira fina em folhas inteiras (L), folhas quebradas ou fermentadas (F) e material lenhoso (W). Todo material coletado foi pesado, moído e processado para análise química, a fim de calcular a concentração e a quantidade do carbono particulado grosseiro (folhas e material lenhoso) dos cursos d'água.

### **2.3 Análise do Carbono Orgânico Dissolvido - DOC**

A concentração de DOC no igarapé foi medida por meio de um espectrofotômetro de UV-VIS marca S::can Spectrolyser (S::can Messtechnik GmbH, Austria). A sonda permanece mergulhada no igarapé e, no momento programado para mensuração, emite um feixe luminoso que atravessa a água em um compartimento dotado de sensor óptico. Os valores de absorbância, em

comprimentos de onda de 200 a 750 nm, detectados pelo sensor óptico do equipamento, são registrados e armazenados. Para obter-se a concentração de DOC, toma-se o valor da absorbância no comprimento de onda de 250 nm e faz-se a correção de acordo com uma calibração prévia. O procedimento de calibração consistiu na tomada de seis amostras de água do igarapé para análise de DOC no espectrofotômetro do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP). Comparando-se os valores da análise do CENA com aqueles obtidos no Scan Spectrolyser, optou-se pela função de regressão dada pelo comprimento de onda 250 nm, por ser a de maior coeficiente de correlação (Fig. 12).

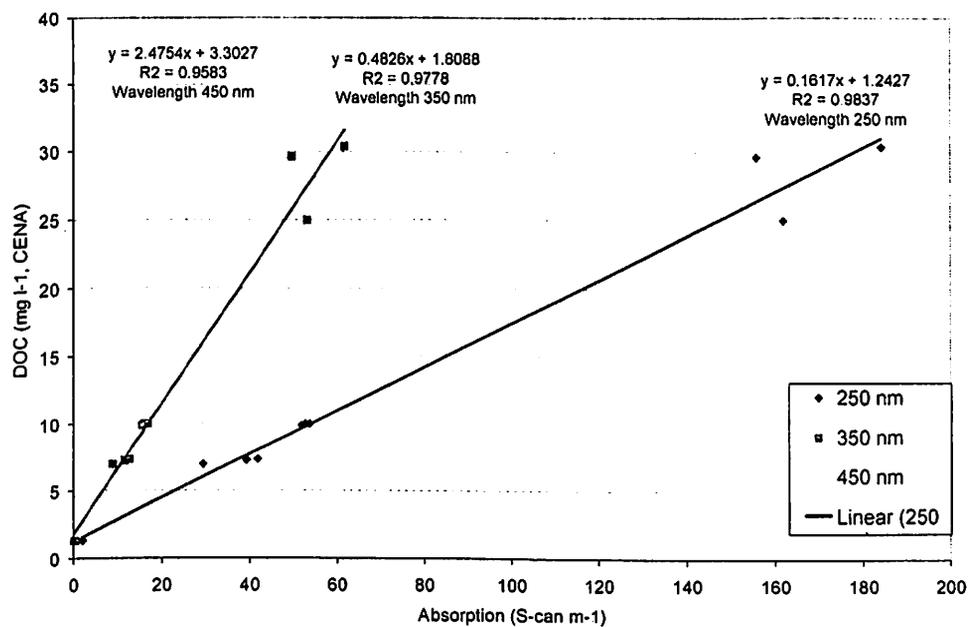


Fig. 12. Gráfico da correlação entre concentração de carbono orgânico dissolvido (DOC) e absorbância em diferentes comprimentos ondas.

#### **2.4 Análises químicas da liteira**

As análises químicas foram feitas nas amostras das duas campanhas intensivas, realizadas diariamente no período chuvoso (fevereiro) e seco (julho), em seus distintos compartimentos: folhas inteiras (L), quebradas (F) e material lenhoso (W).

As concentrações de C e N foram determinadas no Laboratório de Solos da EMBRAPA. Os macronutrientes P, K, Ca e Mg foram analisados no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA. Os resultados das análises dos macronutrientes foram comparados com as amostras padrão do controle de qualidade do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ-USP).

As análises seguiram os seguintes métodos:

- Determinação de N total e C: Combustão – determinadas num auto-analisador CHN-elementar (Vario EL). Método de cromatografia gasosa.
- Determinação da concentração de P: Digestão nitroperclórica das amostras (Malavolta *et al.*, 1989) + leitura no Espectrofotômetro UV-120-01 marca Shimadzu.
- Determinações de K, Ca e Mg: digestão nitroperclórica das amostras (Malavolta *et al.*, 1989) + leitura no espectrofotômetro de absorção atômica (Anderson & Ingram, 1993).

#### **2.5 Estimativas da quantidade de liteira**

Os resultados da quantidade (peso) de liteira retida nas redes foram calculados diariamente, o mesmo ocorrendo com o valor obtido para o volume

de água medido durante o estudo: o período chuvoso abrangeu duas semanas e o seco três. Para o cálculo, obteve-se a quantidade de liteira (g) coletada diariamente e o volume de água ( $m^3$ ), e a divisão do peso da liteira, transformado em mg, pelo volume de água resultou na quantidade de liteira ( $mg\ m^{-3}$ ) coletada. Como a quantidade de liteira pode ser, ou é, diretamente influenciada pelos períodos sazonais, obteve-se os valores da precipitação nos dois períodos de estudos, chuvoso e seco, para relacioná-los com os resultados da liteira coletada. Esses dados serviram também para relacionar a quantidade de liteira com os valores da precipitação diária.

### ***2.6 Estimativas da concentração de nutrientes na liteira***

A partir dos resultados da análise química dos componentes, folha inteira (L), folha quebrada ou fermentada (F) e material lenhoso (W), foram feitos os cálculos da concentração de C e dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) para a liteira carregada pelo igarapé, nos dois períodos de estudo. Para a estimativa das concentrações, tirou-se a média e o desvio padrão de todos os nutrientes, para cada componente, nos dois períodos de estudo, seco e chuvoso. Para o cálculo das concentrações do N e C, fez-se uma média ponderada.

### ***2.7 Estimativas dos fluxos de carbono orgânico***

Usando-se os resultados da concentração média diária do POC e DOC e da descarga média diária do igarapé, nas duas campanhas, calculou-se os

fluxos de carbono orgânico particulado e dissolvido no igarapé Asú. Para o cálculo, multiplicou-se o valor da descarga pelas concentrações tanto do POC como do DOC.

### **2.8 Micro-experimento: queda de liteira no leito do igarapé**

Com o objetivo de verificar qual a contribuição direta que as copas das árvores que estão sobre ou às margens do leito do igarapé dão para o total de liteira coletada no igarapé, foram instalados, no leito do igarapé, coletores de PVC, a aproximadamente 3 m de altura do chão do igarapé (Fig. 13). Este experimento foi conduzido do mês de outubro/2004 até janeiro/2005, cobrindo parte do período seco, de maior produção de liteira pela floresta. As coletas foram realizadas quinzenalmente e as amostras foram inicialmente secas ao ar. Na casa de vegetação, todo material passou pela triagem que constou de folhas e material lenhoso. Os resultados da produção de liteira nos coletores instalados no igarapé foram relacionados com os resultados da produção de liteira dos coletores das parcelas do baixio.



Figura 123: Coletores instalados no leito do igarapé Asú. (Foto: A. Huxley, 2004)

## **2.9 Análises estatísticas**

Antes dos testes estatísticos, foi testada a normalidade dos dados; como a maioria das variáveis não apresentou distribuição normal, fez-se a transformação, a fim de atender o uso de estatística paramétrica. Os dados de POC e da descarga foram transformados em log normal. Foram feitas análises de variância (ANOVA) simples de um só fator e, quando constatou-se alguma significância, foi aplicado um teste de médias ("Tukey"), efetuando uma comparação das médias das concentrações de nutrientes para cada componente, nos dois períodos de estudo.

Para verificar o grau de relação entre o carbono orgânico particulado grosso (POC) e o dissolvido (DOC) com a descarga do igarapé, foi utilizada a correlação de Pearson. Análises de correlação também foram utilizadas para verificar o grau de relação dos componentes L e F da liteira do baixio com o DOC. A análise estatística foi realizada no programa SYSTAT 10.

### 3. RESULTADOS

A descarga variou entre  $0,12 \text{ m}^3 \text{ s}$  e  $0,40 \text{ m}^3 \text{ s}$  no período chuvoso e  $0,1 \text{ m}^3 \text{ s}$  e  $0,51 \text{ m}^3 \text{ s}$  no período seco. A maior precipitação diária no período chuvoso foi de  $71,7 \text{ mm}$  e no período seco de  $61,0 \text{ mm}$ . No período chuvoso, foram observados dez dias com precipitações menores que  $3 \text{ mm}$  e cinco dias com precipitações acima de  $8 \text{ mm}$ . No período seco foram observados dezoito dias com precipitações abaixo que  $5 \text{ mm}$  e quatro dias com precipitações acima de  $20 \text{ mm}$ . Altas precipitações diárias ocorridas durante todo período de estudo têm uma resposta imediata, com elevada descarga (Fig. 14), que, por sua vez, vai influenciar diretamente na quantidade de liteira coletada, e nos maiores ou menores valores de DOC. O volume total diário de água no igarapé no período chuvoso foi de  $9942$  a  $45257 \text{ m}^3 \text{ d}$ ; no seco foi de  $8713$  a  $50109 \text{ m}^3 \text{ d}$ .

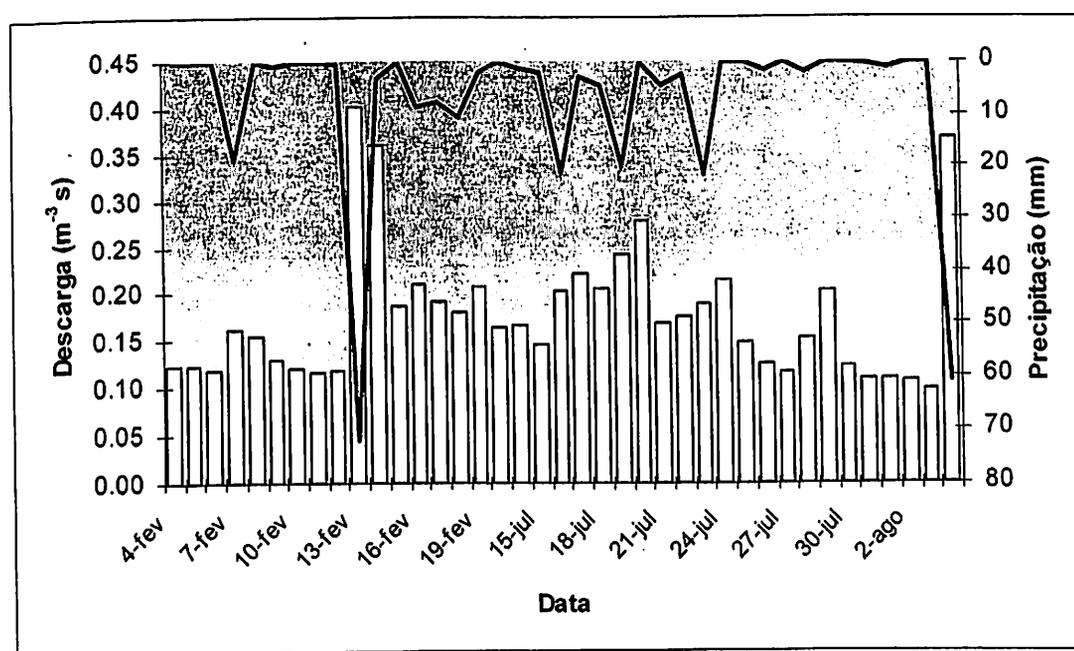


Figura 14: Precipitação (mm) e descarga diária ( $\text{m}^3 \text{ s}$ ) durante as duas campanhas na bacia do igarapé Asú no km 34 da ZF-2.

A quantidade diária de liteira transportada no período chuvoso foi de 5,7 mg m<sup>-3</sup> a 76,1 mg m<sup>-3</sup>; no período seco, de 8,2 mg m<sup>-3</sup> a 155 mg m<sup>-3</sup>. Os maiores valores foram encontrados quando houve precipitações acima de 60 mm (Fig. 15).

No período chuvoso, a última semana apresentou o maior valor de precipitação (71 mm) e, conseqüentemente, registrou a maior quantidade de liteira (76 mg m<sup>-3</sup>). O maior valor de precipitação registrado na primeira semana do período seco (21 mm) coincidiu com a maior quantidade de liteira fina coletada (50 mg m<sup>-3</sup>); na terceira semana o padrão foi o mesmo, ou seja, o maior valor de precipitação (61 mm) e a maior quantidade de liteira coletada (155 mg m<sup>-3</sup>) (Fig. 15).

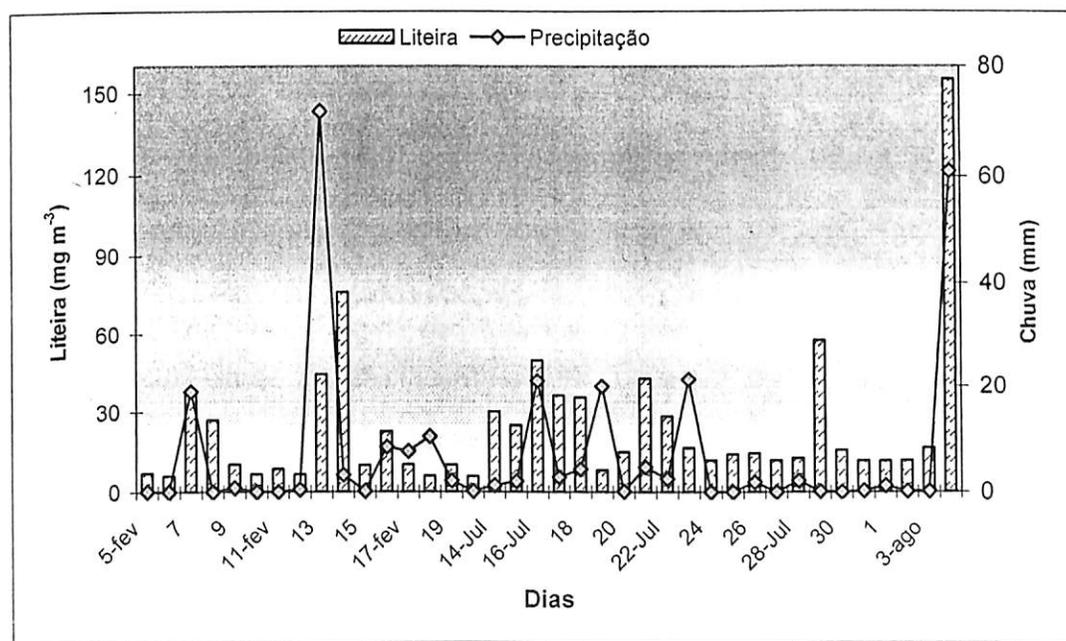


Figura 135: Quantidade de liteira coletada diariamente e precipitação diária nas duas campanhas, que abrangeram o período chuvoso (5 – 20 fevereiro) e o período seco (14-31 julho; 1-3 agosto e 12 agosto).

### **3.1 Distribuição dos componentes da liteira carregada pelo igarapé**

A liteira retida nas telas no Igarapé Asú é composta predominantemente por folhas inteiras (L), encontrando-se os componentes F e W em menores proporções. No período chuvoso (fevereiro/2004), as folhas inteiras (L) contribuíram com 64% do total da liteira coletada. No período seco (julho-agosto/2004), a contribuição desse componente foi de 56% do total. A maior proporção do componente "folhas quebradas" (F) foi encontrada no período seco (34%) e a menor no período chuvoso (25%). O material lenhoso (W) teve proporções praticamente similares para os dois períodos de estudos, seco 34% e chuvoso 25%. (Fig. 16).

Na liteira depositada sobre o solo do baixio, obteve-se o mesmo padrão do encontrado na liteira carregada do igarapé: as folhas inteiras contribuíram com 57% do total de liteira coletada; no período seco, a contribuição foi de 49% do total. O componente F apresentou a maior proporção (33%) no período seco, quando comparado com o período chuvoso (23%). O material lenhoso teve proporções praticamente similares para os dois períodos, seco 18% e chuvoso 20%. (Fig. 16).

A liteira caída diretamente no leito do igarapé, amostrada nos coletores do micro-experimento, apresentou uma contribuição de folhas de 92% no período seco e o componente lenhoso (W) contribuiu com 8% (Fig. 16). No período chuvoso, as folhas contribuíram com 78% e o material lenhoso com 22%. No período chuvoso, os coletores no leito do igarapé Asú apresentaram a mesma porcentagem de liteira produzida nos coletores do baixio (50%). Entretanto, no

período seco, os coletores do baixo apresentaram a maior porcentagem (57%) quando comparado com os coletores do igarapé (43%).

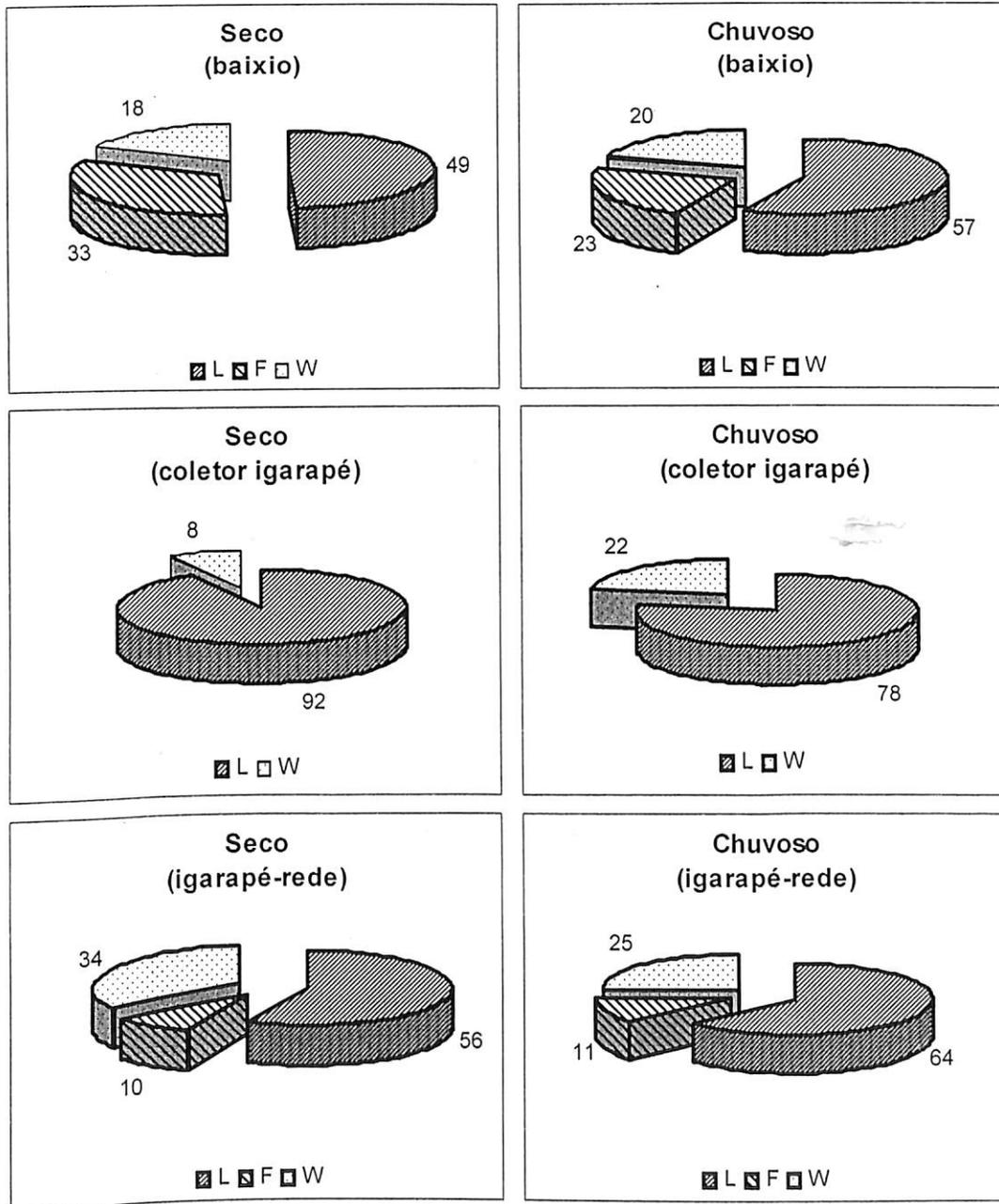


Figura 146: Contribuição relativa (%) dos diferentes componentes, folha inteira (L), folha quebrada ou fermentada (F) e material lenhoso (W) para o total de liteira durante as duas campanhas que abrangeram os dois períodos de estudo (chuvoso e seco), nas redes de retenção no igarapé Asú, nas parcelas do baixo e no material coletado pelos coletores no leito do igarapé.

### **3.2 Concentração de C e nutrientes da liteira do igarapé retida na tela**

O componente L (folhas inteiras) apresentou a maior concentração de carbono no período chuvoso (Tab. 10); os componentes F (folhas quebradas) e W (material lenhoso) tiveram as maiores concentrações desse elemento no período seco. Houve diferença significativa entre as estações do ano somente para o componente F (ANOVA,  $F = 4,3$ ;  $P < 0,05$ ). A maior concentração de nitrogênio foi encontrada nos componentes F e W, no período chuvoso; houve diferenças significativas entre as estações do ano somente para o componente W (ANOVA,  $F = 5,1$ ;  $P < 0,05$ ).

As maiores concentrações de fósforo foram encontradas no período chuvoso, nos componentes (F e W), com diferença significativa para o componente F (ANOVA,  $F = 66,4$ ;  $P < 0,01$ ) e W (ANOVA,  $F = 12,7$ ;  $P < 0,01$ ). As concentrações de potássio foram maiores no período seco, para todos componentes estudados (Tab. 10), houve diferença significativa para os componentes L (ANOVA,  $F = 5,1$ ;  $P < 0,05$ ), F (ANOVA,  $F = 9,7$ ;  $P < 0,05$ ) e W (ANOVA,  $F = 1,68$ ;  $P < 0,05$ ). As maiores concentrações de cálcio, nos diferentes componentes, foram observadas no período seco, onde também houve diferenças significativas para os componentes L (ANOVA,  $F = 13,6$ ;  $P < 0,05$ ) e F (ANOVA,  $F = 26,2$ ;  $P < 0,01$ ). As concentrações de magnésio seguiram a mesma tendência de potássio e cálcio; houve diferenças significativas entre as estações do ano para os componentes L (ANOVA,  $F = 14,7$ ;  $P < 0,01$ ) e W (ANOVA,  $F = 7,3$ ;  $P < 0,05$ ).

Quando se compara a concentração de C e dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg no componente L da liteira dos dois ambientes estudados, terrestre e

**3.3 Nutrientes na liteira depositada no chão do baiço e a coletada na rede do igarapé**  
**Período seco**

	L	F	W
<b>Chuvoso</b>			
C (%)	51,0a (1,2)	47,3a (3,4)	46,4a (1,8)
N (%)	0,8a (0,1)	1,0a (0,3)	0,8a (0,3)
P (g kg <sup>-1</sup> )	0,2a (0,0)	0,3a (0,0)	0,2a (0,1)
K (g kg <sup>-1</sup> )	1,3a (0,5)	0,5a (0,2)	0,3a (0,2)
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	3,2a (1,1)	2,1a (1,3)	5,6a (2,3)
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	1,3a (0,3)	0,9a (0,5)	0,8a (0,3)
<b>Seco</b>			
C (%)	50,2a (2,0)	49,1b (1,4)	48,9a (1,7)
N (%)	0,8a (0,0)	1,0a (0,1)	0,6b (0,1)
P (g kg <sup>-1</sup> )	0,2a (0,0)	0,2b (0,0)	0,1b (0,0)
K (g kg <sup>-1</sup> )	1,8b (0,9)	1,4b (0,6)	1,6b (3,0)
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	4,3b (0,8)	4,2b (1,1)	6,2a (2,2)
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	1,7b (0,3)	1,3a (0,6)	1,1b (0,4)

Tabela 10: Concentração média de carbono e nutrientes nos diferentes componentes da liteira do igarapé nos dois períodos de estudo (chuvoso e seco). Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média (n=24). Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre períodos do ano.

aquático, observa-se que a liteira carregada pelo igarapé apresentou concentrações mais baixas (exceção do fósforo e o carbono), neste componente da liteira (Tab. 11). Houve diferenças significativas somente para o nitrogênio (ANOVA,  $F=10,4$ ;  $P<0,005$ ). As concentrações do componente F seguiram a mesma tendência das concentrações do componente L. Houve diferenças significativas para o magnésio (ANOVA,  $F=4,3$ ;  $P<0,05$ ), e carbono (ANOVA,  $F=28,1$ ;  $P<0,01$ ). No componente W, somente a concentração do carbono foi maior no igarapé; esta mesma tendência foi observada no componente L e F. Houve diferenças significativas para o nitrogênio (ANOVA,  $F=4,7$ ;  $P<0,05$ ) e o carbono (ANOVA,  $F=4,9$ ;  $P<0,05$ ).

#### **Período chuvoso**

No componente L, o potássio, que é facilmente dissolvido, foi o nutriente que apresentou as menores concentrações na liteira do igarapé; ao contrário, o carbono teve suas concentrações mais altas no ambiente aquático (Tab. 11). Apesar disso, não houve diferenças significativas para nenhum dos nutrientes analisados. No componente F, com exceção do fósforo, todos os outros nutrientes apresentaram concentrações mais baixas na liteira do igarapé. Houve diferenças significativas para: potássio (ANOVA,  $F=8,2$ ;  $P<0,01$ ), cálcio (ANOVA,  $F=7,3$ ;  $P<0,05$ ) e magnésio (ANOVA,  $F=11,0$ ;  $P<0,01$ ). No componente W, somente o cálcio e o nitrogênio apresentaram concentrações maiores na liteira do ambiente aquático. Não houve diferenças significativas para nenhum dos nutrientes analisados.

Tabela 71: Concentrações médias de carbono e nutrientes da lileira no ambiente terrestre (baixo) e na lileira retida na rede do igarapé (aquático), nos diferentes componentes (L, F, W) e distintos períodos sazonais (seco e chuvoso). Os valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão. Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre ambientes.

Baixo	Seco			Chuvoso		
	L	F	W	L	F	W
C (%)	48,8a (3,8)	44,3a (1,5)	46,5a (3,0)	43,8a (0,7)	50,2a (1,4)	49,5a (1,7)
N (%)	1,0a (0,2)	1,0a (0,1)	0,8a (0,2)	0,9a (0,1)	1,0a (0,2)	0,7a (0,1)
P (g kg <sup>-1</sup> )	0,2a (0,0)	0,2a (0,0)	0,1a (0,0)	0,2a (0,0)	0,2a (0,0)	0,1a (0,0)
K (g kg <sup>-1</sup> )	2,4a (1,6)	1,5a (0,3)	0,9a (0,0)	1,7a (0,1)	1,1a (0,4)	0,5a (0,1)
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	4,7a (0,5)	5,2a (0,9)	5,5a (1,3)	3,7a (0,8)	4,3a (0,8)	4,1a (0,6)
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	2,1a (0,5)	2,0a (0,7)	1,3a (1,1)	1,7a (0,3)	1,9a (0,2)	1,1a (0,2)
Igarapé	L	F	W	L	F	W
C (%)	50,2a (1,9)	49,1b (1,4)	49,0b (1,7)	51,0a (1,2)	47,3a (3,9)	49,0a (1,8)
N (%)	0,8b (0,0)	1,0a (0,1)	0,6b (0,1)	0,8a (0,1)	1,0a (0,3)	0,8a (0,3)
P (g kg <sup>-1</sup> )	0,2a (0,0)	0,2a (0,0)	0,1a (0,0)	0,2a (0,0)	0,3a (0,0)	0,1a (0,0)
K (g kg <sup>-1</sup> )	1,8a (0,9)	1,4a (0,6)	0,9a (0,3)	1,3a (0,5)	0,5b (0,2)	0,3a (0,2)
Ca (g kg <sup>-1</sup> )	4,3a (0,8)	4,2a (1,1)	5,4a (1,2)	3,2a (1,1)	2,1b (1,3)	5,6a (1,3)
Mg (g kg <sup>-1</sup> )	1,7a (0,3)	1,3b (0,6)	1,1a (0,4)	1,3a (0,3)	0,9b (0,5)	0,8a (0,3)

### 3.4 Carbono orgânico dissolvido e particulado no igarapé

As quantidades de carbono orgânico dissolvido (DOC) foram maiores do que as de carbono orgânico particulado grosso (GPOC) calculado através da lileira no igarapé Asu. Entretanto, a quantidade de POC pode ser maior do que encontrada neste estudo, uma vez que não foi medido o carbono orgânico

particulado fino, que se dá através das análises dos sedimentos no igarapé e que faz parte do carbono orgânico particulado. Assim, o DOC representa neste ecossistema, aproximadamente 99% do carbono orgânico total (TOC), nos dois períodos. As concentrações de GPOC variaram de 2,9 a 37,7 ( $\text{mg m}^{-3}$ ) no período chuvoso e de 4,2 a 74,4 ( $\text{mg m}^{-3}$ ) no período seco. A menor concentração de DOC ( $6,1 \text{ g m}^{-3}$ ) e a maior ( $14,7 \text{ g m}^{-3}$ ) foram observadas no período chuvoso. No período seco as concentrações de DOC variaram de 7,0 a  $12,8 \text{ (g m}^{-3}\text{)}$ . Nos períodos chuvoso e seco o POC não mostrou relação com as descargas baixas do igarapé ( $r^2=0,4$ ); no entanto, em eventos de altas precipitações, em ambos os períodos, o POC mostrou uma boa relação com a descarga (PEARSON,  $r^2=0,7$ ;  $p<0,01$ ) (Fig. 17). Em contrapartida, o DOC mostrou uma forte relação com a descarga do igarapé, tanto no período seco (PEARSON,  $r^2=0,9$ ;  $p<0,01$ ) como no período chuvoso (PEARSON,  $r^2=0,8$ ;  $p<0,01$ ) (Fig. 18), independente de grandes eventos de precipitações. Não houve relação entre as concentrações do carbono encontrado na liteira sobre o solo do baixio no componente L, com o carbono orgânico dissolvido (DOC) nas águas do igarapé ( $r^2=0,1$ ). O componente F também não apresentou relação com o DOC ( $r^2=0,0$ ). As medidas da exportação de POC que abrangeu os dois meses estudados não foram suficientes para estimar a quantidade de carbono anual exportado pelo igarapé. Entretanto, observou-se que em eventos de altas descargas, quando existe uma relação mínima entre o POC e a descarga ( $r^2=0,6$ ), pode-se estimar a quantidade de POC anual usando as relações entre a descarga ( $Q \geq 0,512 \text{ mm d}^{-1}$ ) e o POC exportado ( $\ln\text{POC}$ ). Assim, a

exportação de POC com a descarga pode ser estimada pela equação descrita abaixo:

$$\ln \text{POC} = 0,0051 * Q + 0,1219$$

$$r^2 = 0,6$$

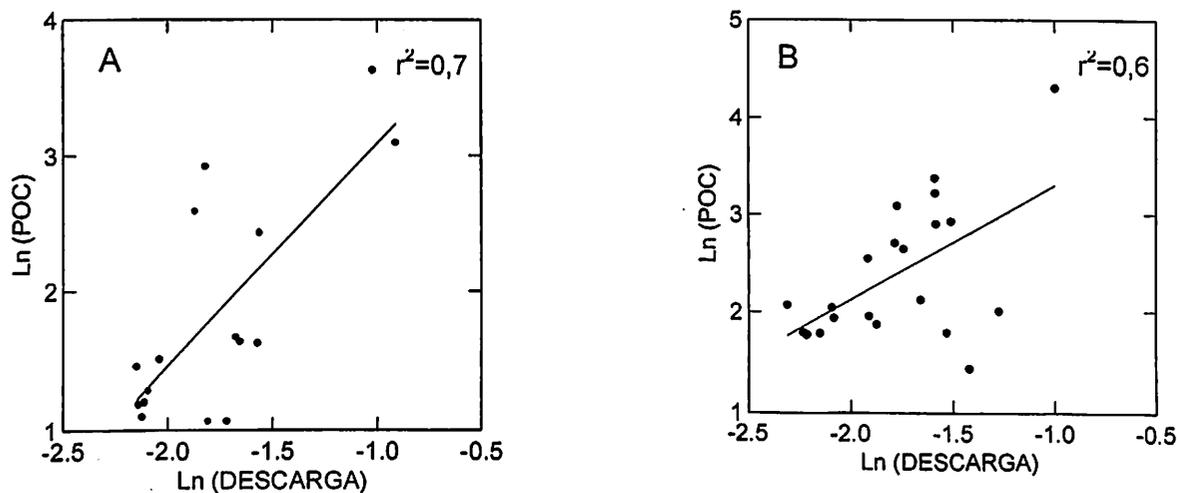


Figura 157: Relações entre o POC e a descarga nos dois períodos sazonais, chuvoso (A) e seco (B), incluindo-se os dois eventos de altas precipitações.

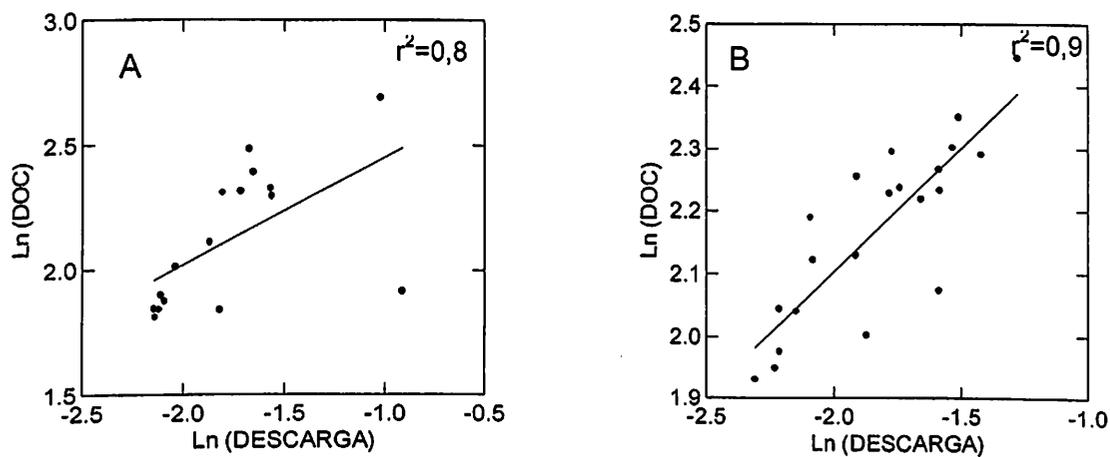


Figura 168: Relações entre o DOC e a descarga nos dois períodos sazonais, chuvoso (A) e seco (B).

### **3.5 Fluxo de Carbono Orgânico**

O fluxo de carbono orgânico particulado e dissolvido (POC e DOC), que é calculado através da descarga e das concentrações seguiu o mesmo padrão das concentrações de POC e DOC nas águas do igarapé. Esses fluxos tiveram uma variação acentuada quando foram registrados picos elevados de descarga. Quando se compara o fluxo de POC com o fluxo de DOC, verifica-se que ambos sofrem uma influência direta de altas precipitações, que ocasionam uma elevada descarga. Entretanto, verifica-se que, no período chuvoso, independente de menores ou maiores valores de descarga, o fluxo de DOC está acima do fluxo de POC (Fig. 19).

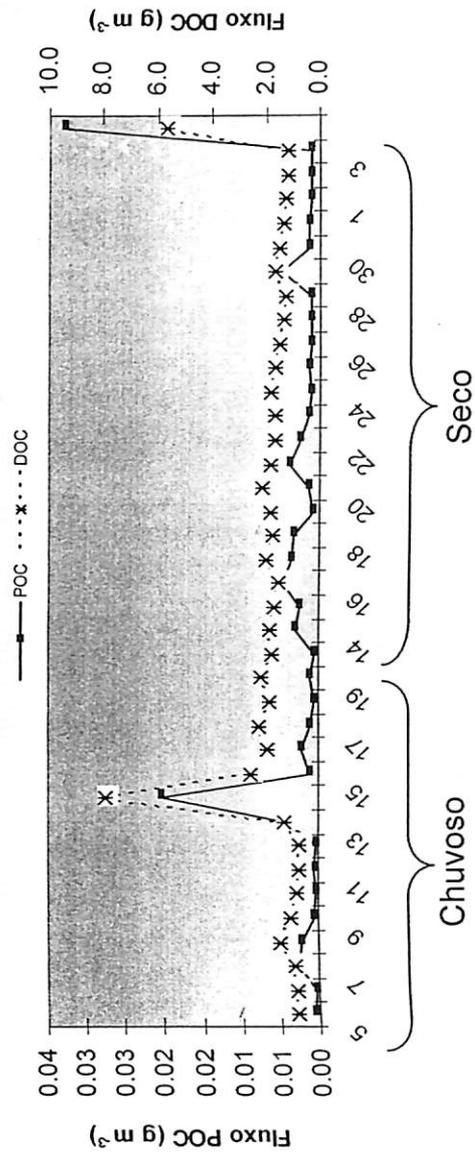
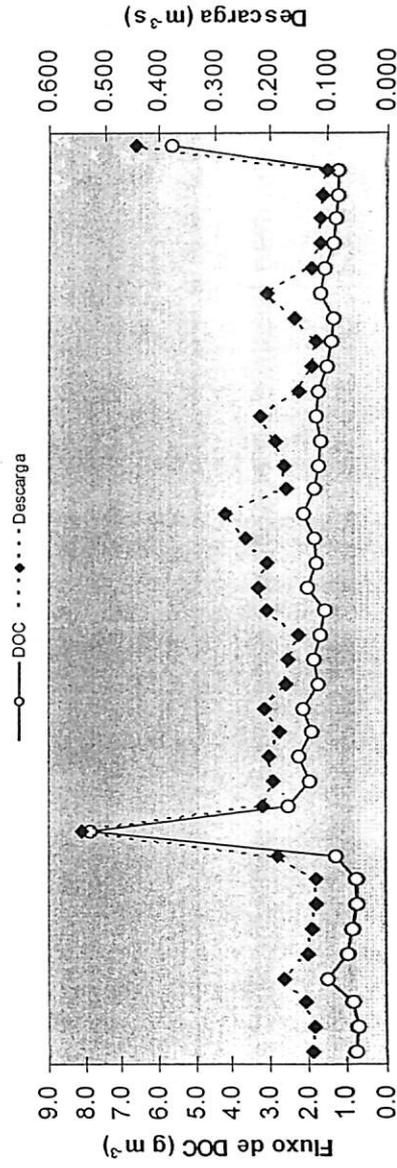
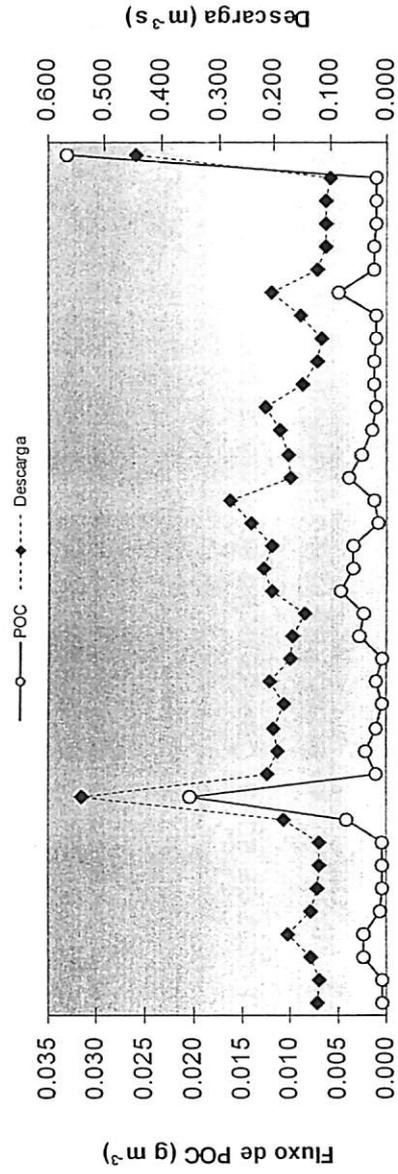


Figura 179: Fluxos diários de POC e DOC nas águas do Igarapé, nos períodos chuvoso (5-20/2/2004) e seco (14-31/7; 1-3/8 e 12/8/2004).

#### 4. DISCUSSÃO

Um dos principais fatores que influencia na quantidade de carbono orgânico, dissolvido e particulado, exportado do ambiente terrestre para o aquático, é o ciclo da água. Com relação ao material particulado, isto foi visível no presente estudo, pois se refletiu na maior quantidade de liteira transportada quando das altas precipitações ocorridas durante as duas campanhas de estudos. No entanto, quando se analisa a quantidade de liteira diária coletada, observa-se que altas precipitações provocam de forma tardia, uma grande quantidade de liteira carregada pelo igarapé. Se não ocorrer grandes eventos de chuvas, a descarga não influencia na quantidade de material particulado grosso retido nas redes de contenção no igarapé.

Ao analisar a liteira, retida no igarapé Asú, e pelos coletores instalados nas parcelas do baixio e diretamente no canal do igarapé, observa-se que, entre os componentes analisados (L, F e W), a maior proporção sempre foi do componente L (folhas inteiras) nos dois períodos estudados. Entretanto quando se comparam esses valores entre os períodos, verifica-se que na liteira retida no igarapé, o componente L apresentou maior proporção no período chuvoso do que no seco. Isto era esperado, pois no período chuvoso, em decorrência de altas precipitações, o igarapé Asu chega a transbordar, carregando uma boa parte da matéria orgânica que se encontra nas margens deste e em todo o baixio inundado.

No chão do baixio, a maior proporção do componente L, também no período chuvoso, é explicada pela lenta decomposição da matéria orgânica

neste gradiente topográfico (Cap. 1). Assim, o resultado de todo material dos coletores instalados diretamente no canal do igarapé no período chuvoso mostra que metade da liteira coletada neste ambiente é proveniente diretamente das copas das árvores que se encontram nas margens e ao longo do igarapé.

#### **4.1 Nutrientes e Carbono orgânico particulado (POC) da liteira**

As concentrações de carbono orgânico particulado (POC) encontradas na liteira retida no igarapé, em todos componentes (L F e W), no período seco, foram maiores do que as concentrações da liteira do chão do baixio, coletadas no mesmo período. Este fato pode ser decorrência da maior quantidade de microfauna que consome o material, que é encontrada no ambiente terrestre. Porém, no período chuvoso, as maiores concentrações desse elemento só foi observada no componente L. Krusche *et al.* (2002), obtiveram também resultados baixos de POC ao calcular essas concentrações para o rio Amazonas. De acordo com Waterloo *et al.* (2004), esse material pode contribuir para o TOC de forma muito reduzida. Isto ficou comprovado quando das observações qualitativas da liteira nesses ecossistemas, onde a contribuição desse elemento não ultrapassou 1% quando comparado com o carbono orgânico dissolvido (99%).

Neste estudo, observou-se que o fluxo de POC é influenciado não só pela descarga, mas principalmente pelos períodos sazonais, uma vez que, foi registrado elevado valor de POC no período seco em eventos climáticos

esporádicos. Normalmente é no período seco que ocorre a maior produção de liteira (Cap. 1).

As concentrações de nitrogênio e fósforo foram praticamente similares, tanto na liteira coletada no chão do baixio, como aquela retida no igarapé, nos dois períodos estudados. Esperava-se que as concentrações encontradas na liteira do chão do baixio, principalmente o componente F, que é um material que está parcialmente em estado de decomposição, fossem bem menores do que as concentrações da liteira do igarapé. Neff & Asner (2001) sugerem que a matéria orgânica dissolvida perde mais nitrogênio e fósforo; entretanto, os resultados encontrados neste estudo não mostraram essa tendência.

O potássio apresentou uma redução em suas concentrações na liteira retida no igarapé quando comparado com as concentrações da liteira do chão do baixio. Isto pode ser atribuído ao fato que a liteira do igarapé está em contato direto com a água e o potássio é um nutriente que encontra-se na planta em forma iônica, sem participar de moléculas estruturais e, por isso, é facilmente lixiviado (Cap. 1).

As concentrações de cálcio e magnésio encontradas na liteira retida no igarapé foram mais baixas do que as concentrações encontradas na liteira do chão do baixio. Talvez isto possa ser explicado por um dos fatores físico-químicos mais importantes da água, que é o pH, uma vez que no Igarapé Asu esse pH é ácido e a reação das bases (Ca e Mg) com a hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) pode diminuir as concentrações desses nutrientes no material foliar (Oliveira *et al.*, em preparação).

#### **4.2 Carbono orgânico dissolvido (DOC)**

A porcentagem de DOC encontrada no Igarapé Asú (99%), está de acordo com os valores encontrados por Moreira-Turcq *et al.* (2003), em estudos realizados em rios de águas negras, onde a contribuição desse elemento para o TOC foi maior que 90%. Estudos realizados por Waterloo *et al.* (2004), na mesma área de estudo, mostraram que o DOC exportado para os rios é oriundo de áreas de baixo.

As concentrações de DOC variaram diariamente tanto no período seco como no chuvoso, o que mostra a influência da intensidade das precipitações, comprovando assim as observações feitas por Andreae *et al.* (1990). Quando se comparam as concentrações de DOC entre períodos do ano, observa-se que houve variação de um período para o outro. Variações nas concentrações de DOC entre períodos também foram observadas por Waterloo *et al.* (2004). No período seco, as concentrações de DOC (7-12,8 g m<sup>-3</sup>) ficaram dentro da média das concentrações de DOC encontradas no Rio Negro (Richey *et al.*, 1990; Moreira-Turcq *et al.*, 2003b). Altas concentrações de DOC em rios de águas negras são atribuídas à drenagem desse material, oriundo da matéria orgânica decomposta que alcança o lençol freático (Leenheer, 1980, McClain *et al.*, 1997).

O fluxo diário de DOC mostrou uma variação ao longo de todo o período de estudo. Entretanto, no período seco, esse fluxo sofreu uma influência direta de eventos climáticos esporádicos, com registros de altas precipitações; no

período chuvoso, o fluxo dependeu diretamente da descarga. Isto sugere que há também uma considerável influência da lavagem direta da liteira e da camada superficial do solo do baixio, quando ocorrem eventos de elevada precipitação e inundações do igarapé, carreando carbono orgânico dissolvido para o leito do igarapé.

As relações observadas entre o carbono encontrado na liteira dos ambientes terrestre e aquático com o carbono dissolvido nas águas do Igarapé Asú mostram que uma boa parte do DOC é oriundo da matéria orgânica decomposta no ambiente terrestre pelos microorganismos e que chega até o igarapé através do lençol freático. Oliveira *et al.* (em preparação), ao estudar o fluxo de DOC ao longo de uma topossequência (platô, vertente e baixio), na mesma área de estudo, verificaram que a maior parte do fluxo de DOC no Igarapé Asú é proveniente do lençol freático das parcelas do baixio.

Mais estudos são necessários para quantificar a contribuição relativa que os ambientes terrestres e aquáticos podem dar para a absorção ou liberação do carbono, e de que forma ocorrem os fluxos hidrológicos de DOC. Avaliações mais detalhadas e de maior duração temporal são necessárias para melhorar o entendimento destes processos. Observa-se, porém, que variações climáticas podem ter efeitos significantes na estimativa dos fluxos de DOC e POC e que há claras evidências que parte do DOC presente nas águas do igarapé provém da lavagem da liteira depositada sobre o solo das áreas de baixio, eventualmente inundadas.

## 5. CONCLUSÕES

- A quantidade de liteira transportada no Igarapé Asú é fortemente influenciada pela sazonalidade, sendo maior no período seco.
- Houve predominância do componente L da liteira nos dois ambientes estudados, terrestre e aquático.
- O carbono orgânico particulado não tem relação com descargas baixas do Igarapé; no entanto, em eventos de altas precipitações há uma boa relação entre o carbono orgânico particulado e a descarga.
- O carbono orgânico particulado sofre uma grande influência da sazonalidade, com maiores concentrações encontradas no período seco.
- Nas águas do Igarapé Asú, o carbono orgânico dissolvido representa 99% do carbono orgânico total encontrado neste ambiente.
- O carbono orgânico dissolvido mostrou uma relação muito forte com a descarga nos dois períodos de estudo.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS

- Os períodos sazonais influenciaram na produção da liteira durante todo período de estudo e em todos ambientes estudados.
- Houve predominância do componente L da liteira nos dois ambientes estudados, terrestre e aquático.
- A liteira depositada no chão do baixio e a carregada pelo igarapé, contribuem para o carbono orgânico dissolvido em grandes eventos de chuvas, quando das inundações nas áreas de baixio.
- A principal forma de carbono que chega aos igarapés é o carbono orgânico dissolvido (DOC) que é oriundo da lavagem superficial de todo material orgânico, incluindo a liteira, que é acumulada no chão da floresta.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aber, J.D. & Melillo, J.M. 1980. Litter decomposition: measuring relative contributions of organic matter and nitrogen to forest soils. *Canadian Journal of Botany*, 58 (4):416-421.
- Anderson, J. M. Swift, J. M. 1983. Decomposition in Tropical Rain Forests. In: Sutton, S. L., Whitmore, T. C. & Chadwick, A. C. Eds. *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 287-309.
- Anderson, J.M. & Ingram, J.S. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods. 2<sup>a</sup> ed. C.A.B. International, Oxford, UK. 221p.
- Andreae, M.O.; Talbot, R.W, Berresheim, H. Beecher K. 1990. Precipitation chemistry in Central Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, 95 (D10):16987-16999.
- Araújo, A.C; Nobre, A.D.; Kruijt, B.; Elbers, J.A.; Dallarosa, R.; Stefani, P.; Randow, C.; Manzi, A.O.; Culf, A.D.; Gash, J.H.C.; Valentini, R & Kabat, P. 2002. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. *Journal of Geophysical Research*, 107 (D20): 58:1-20.
- Barbosa, R.I. & Feranside, P.M. 1996. Carbon and nutrient flows in na Amazonian Forest: Fine litter production and decomposition at Apiaú, Roraima, Brasil. *Tropical Ecology*, 37(1): 115-125.
- Burnham, C.P.1989. Pedological processes and nutrient supply from parent material in tropical soils. In: Proctor, J. (Ed.) *Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems* Blackwell Scientific, Oxford, England, pp. 27-42.
- Brinkmann, W.L.F. 1989. System propulsion of an Amazonian lowland forest: an outline. *Geogournal*, 19: 369-380.
- Cornu, S.; Luizão, F.; Rouiller, J.; Lucas, Y. 1997. Comparative study of litter deconposition and mineral element release in two Amazonian Forest ecosystem : litter bag experiments. *Pedobiologia*, 41:456-471.
- Cunha, G.C.; Poggiani, F.; Grendene, L.A. 1996. Ciclagem de nutrientes através da queda de serrapilheira em florestas secundárias com diferentes idades no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3., 1996, Brasília, DF. Resumos. Brasília: UNB/Sociedade de Ecologia do Brasil, p.77.

- Chauvel, A. 1982. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. *Acta Amazonica* 12 (3): 47-60.
- Dantas, M. & Philipson, J. 1989. Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colômbia. *Biology Fertility and Soils*, 30:20-28.
- Eaton, J.S.; Likens, G.E. Bormann, F.H. 1973. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. *Ecology*, 61: 495-508.
- Falesi, I.C. 1971. Solos do Distrito Agropecuário da Suframa. Bol. Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária da Amazônia Ocidental. Série: Solos. Vol. 1 (1). Manaus-Amazonas. 99p.
- Ferraz, J.; Ohta, S. & Sales, P. C. 1998. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). In: Higuchi, N.; Campos, M.A.A.; Sampaio, P.T.B.; Santos, J. (Eds). Pesquisas Florestais para a Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia. INPA. Manaus – AM. p.111-141.
- Fisch, G.; Marengo, J. A. & Nobre, C.A. 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, 28: 101-126.
- Forsberg, B.R.; Devol, A.H.; Richey, J.E.; Martinelli, L.A. Santos, A. 1988. Factors controlling nutrient concentrations in Amazon floodplain lakes. *Limnology and Oceanography*, 33 (1):41-56.
- Gama-Rodrigues, A.C. Miranda, R.C.C. 1991a. O papel da chuva no fortalecimento e reciclagem de nutrientes em um agrossistema de cacau do sul da Bahia, Brasil. *Turrialba*, 41: 598-606.
- Gama-Rodrigues, A.C. Miranda, R.C.C. 1991b. Efeito da chuva na liberação de nutrientes do folheto num agrossistema de cacau do sul da Bahia. *Pesq. Agropec. Bras.*, 26: 1345-1350.
- Gama-Rodrigues, E.F.; Gama-Rodrigues, A.C.; Barros, N.F. 1997. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, n.3, p.361-365, jul./set.
- Gama-Rodrigues, A.C.; Barros, N.F., & Mendonça, E.S. 1999. Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia, Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23: 581-592.

- Guillaumet, J.L.; Kahn, F. 1982. Structure et dynamisme de la forêt. *Acta Amazonica* supl. 12 (3) 61-77.
- Gozs, J.R.; Likens, G.E. & Bormann, F.H. 1973. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook forest, New Hampshire. *Ecological Monographs* 43, 173-191.
- Haag, H.P. 1985. Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Fundação Cargill, Campinas, São Paulo. 144p.
- Hedges, J.I.; Clark, W.A.; Quay, P.D.; Richey, J.E.; Devol, A.; Santos, U. 1986a. Composition and flux of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*, 31 (4): 717-738.
- Herera, R.; Jordan, C.F.; Klinge, H.; Medina, E. 1978. Amazon ecosystems: Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia*, 3:223-232.
- Higuchi, N.; Santos, J. dos.; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea de vegetação de floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazônica*, 28:153-166.
- Holland, M.M.; Risser, P.G.; Naiman, R.J. 1991. Ecotones. Chapman & Hall, New York. 142 pp.
- Hughes, J.W. & Fahey, T.J. 1994. Litterfall dynamics and ecosystem recovery during forest development. *Forest Ecology and Management* 63:181-198.
- INMET. 1992. Normas Climatológicas. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária, 84p.
- Jordan, C.F.; Herrera, R. 1981. Les forêts ombrophiles: les éléments nutritifs, sont-ils réellement un facteur critique? *Nature et Ressources*, 17:8-15.
- Jordan, C.F. 1985. Soils of the amazon rain forest. In: Ghillean T. Prance & Thomas E. Lovejoy. Eds. *Key Environments Amazonia*. Pergamon Press, Oxford. P. 83-94.
- Jordan, C.F. 1985. Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems. Chichester: John Wiley & Sons. p. 237.
- Kato, A.K. 1995. Dinâmica da entrada de nutrientes via liteira em plantios de Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) em Ecossistemas de Pastagens Degradadas e de Floresta Primária. Tese de Doutorado. INPA/FUA, Manaus-AM. 180p.

- Kimmins, J.P. 1987. The biogeochemical cycle: nutrient cycling within an ecosystem. *Forest Ecology*. Macmillan Publishing Company, New York.
- Klinge, H.; Fittkau, E. J. 1972. Filterfunktionem im ökosystem des zentral Amazonischen regenwaldes. *Mittlerlgn. Dtsch. Bodenkundel. Geseltschn*, 16: 130-135.
- Klinge, H. 1973. Biomasa y material orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro amazônica. *Acta Científica Venezolana*, 24:174-181.
- Klinge, H. 1977. Fine litter production and nutrient return to the soil in three natural Forest stands in eastern Amazon. *Geo. Ecol. Trop.*, 1:159-167.
- Klinge, H. 1983. Biomassa y matéria orgânica Del suelo em el ecosistema de la pluviselva centro amazônica. *Acta Científica Venezolana*, 24:174-181.
- Krusche, A.V.; Martinelli, L.A., Victoria, R.L., Bernardes, M., Camargo, P.B., Ballester, M.V. & Trumbore, S.E. 2002. Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River basin). *Water Research*, 36:2743-2752.
- Leopoldo, P.R.; Franken, W.; Matsui, E. 1984. Hydrological aspects of the tropical rain forest of Central Amazon. *Interciencia*, 9: 125-131.
- Leenheer, J.A. 1980. Origin and nature of humic substances in the waters of the Amazon River Basin. *Acta Amazonica*, 10:513-526.
- Lewis Jr.W. 1986. Nitrogen and phosphorus runoff losses from a nutrient poor tropical moist forest. *Ecology* 67(5): 1275-1282.
- Luizão, F.J. 1982. Produção e Decomposição da Littera em Floresta de Terra Firme da Amazônia Central. Dissertação de Mestrado. PPG INPA/FUA. 111 p.
- Luizão, F.J. & Schubart, H.O.R. 1987. Litter productions and decomposition in a terra-firme of central Amazonian. *Experientia* 43: 259-265 p.
- Luizão, F.J. 1989. Litter production and mineral element input to the Forest floor um a central Amazonian Forest. *Geojournal* 19.4 407-417.
- Luizão, F.J. 1995. Ecological studies in contrasting forest types in central Amazonian. 1995. 288p. Ph.D Thesis, University of Stirling, UK.

- Luizão, R.C.C.; Luizão, F.J.; Paiva, R.Q.; Monteiro, T.F.; Souza, L.S.; Kruijt, B. 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*. p. 592-600.
- Malavolta, E; Vitti, G.C; Oliveira, S.A. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Associação Brasileira para Pesquisas da Potassa e do Fosfato. São Paulo. 201p.
- Malhi, Y.; Nobre, A. D.; Grace, J.; Kruijt, B.; Pereira, M.G.P.; Culf, A.D.; Scott, S.1998. Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rainforest. *Journal of Geophysical Research*, 103 (31): 593-612.
- Markewitz, D.; Davidson, E.; Moutinho, P. and Nepstad, D. 2004. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in amazonia. *Ecological Applications*, 14: S177-S199.
- Mason, C.F. 1980. *Decomposição*. Ed. da Universidade de São Paulo. 63 p.
- Matson, P. 1990. Plant-soil interactions in primary succession at Hawaii's Volcanoes National Park. *Oecologia* 85: 241-246.
- Melack, J. M. 1984. Amazon floodplain lakes: Shape, fetch, and stratification. *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh*, 22: 1283-1287.
- Meybeck, M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorous transport by world rivers. *American Journal of Sciences*, 282: 401-450.
- Miranda, E.V. 2002. Padrão de desenvolvimento radial horário de fuste de três espécies florestais típicas da Amazônia utilizando dendômetros automáticos. Manaus-Amazonas. Dissertação de Mestrado-INPA/UFAM. 76p.
- Moreira, F. M. S. & Siqueira, J. O. 2002. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Editora UFLA, 626p.
- Moreira-Turcq, P.; Seyler, P.; Guyot, J.L & Etcheber H. 2003. Exportation of organic carbon from the Amazon River and its main tributaries. *Hydrological Processes*, 17: 1329-1344.
- Muller, A.A. 1986. Produção de liteira e retorno de fósforo, potássio, cálcio e magnésio ao solo em agrossistema de cacau e em regeneração natural. 1986. 72p. Tese de mestrado – INPA/FUA. Manaus.

- McClain, M.E.; Richey, J.; Brandes, A.; Pimentel, T.P. 1997. Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the Central Amazon Basin of Brazil. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(3):295-311.
- Naiman, R.J.; Dechamps, H. 1990. The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones. Parthenon, Paris. 316p.
- Neff, J.C.; Asner, G.P. 2001. Dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: synthesis and a model. *Ecosystems*, 4:29-48.
- Nobre, C.A.; Artaxo, P.; Dias, M.A.F.S.; Victoria, R.L.; Nobre, A.D.; Krug, T. 2001. The Amazon basin and land-cover change: A future in the balance? *Reunião Científica do IGBP*, Amsterdã, 10-13 julho.
- Oliveira, S.M.; Waterloo, M.J, Drucker, D.P, Nobre, A.D, Hodnett, M.G, Cuartas, A, Tomasella, J, Munera, J.C, Nascimento, A.H.M, Gonçalves, G.S.(s/d). Hydrochemical aspects of runoff generation in a small Amazonian rainforest catchment (em preparação).
- Ometto, J.P; Martinelli, L.A & Camargo, P.B. 2003. Curso de Aplicações isotópicas do carbono em estudos ambientais com ênfase na região Amazônica. CENA/USP 48p.
- Ordinola, J.L.H. 1999. Produção e qualidade da liteira em Sistemas Agroflorestais e seu efeito sobre as propriedades químicas do solo. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 72p.
- Parker, G.G. 1983. Throughfall and stemflow in the Forest nutrient cycle. *Advances in ecological Research*, 13: 57-133.
- Paiva, R.M. & Luizão, F.J. 2003. Relação entre carbono e nutrientes no solo e vegetação em uma topossequência de floresta de terra firme próximo à Manaus. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6., 2003, Fortaleza-Ceará. Resumos. Fortaleza, p. 134-136. 2003.
- Pires, J.M. & Prance, G.T. 1985. The vegetation types of Brazilian Amazon. *Key Environments: Amazonia* (Eds. G. T. Prance & T. E. Lovejoy), pp. 109-145. Pergamon Press, Oxford.
- Proctor, J. 1983. Tropical Forest litterfall. I. Problems of data comparison. In: Sutton, L. S.; Whitmore, T.C.; Chadwick, A.C. (Eds). *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Pp. 267-273.
- Quisen, R.C.; Souza, V.F.; Castilla, C. 1996. Avaliação da biomassa e conteúdo de nutrientes em liteira em sistema agroflorestal em solo de baixa

- fertilidade. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3., 1996, Brasília, DF. Resumos. Brasília, p. 66.
- Ranzani, G. 1980. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical. *Acta Amazônica*, 1(10):7-51.
- Resende, J.C.F. 2001. A ciclagem de nutrientes em áreas de cerrado e a influência de queimadas controladas. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília-DF. 121p.
- Ribeiro, M.N.G. & Adis, J. 1984. Local rainfall variability – a potencial bias for biocological studies in the Central Amazon. *Acta Amazonica* suppl. 14 (1/2): 159–174.
- Ribeiro, J.E.L.S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.P.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E.C.; Mesquita, M.R. & Procópio, L.C. 1999. Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus - INPA. 816p. il.
- Richey, J.E.; Hedges, J.I.; Devol, A.H.; Quay, P.D.; Victoria, R.; Martinelli, L.A. & Fosberg, B.R. 1990. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. *Limnology Oceanography*, 32: 352-371.
- Richey, J.E.; Melack, J.M.; Aufdenkampe, A.K.; Ballester, V.M., & Hess, L.L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 416:617-620.
- Ross, S.M.; Thornes, J.B.; Nortcliff, S. 1990. Soil hidrology, nutrient, nutrient and erosional response to the clearance of terra firme forest, Maracá Island, Roraima, northern Brazil. *The Geographical Journal*, 156:267-282.
- Salati, E.; Junk, W.J.; Schubart, H.O.R & Oliveira, A.E. 1983. Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Brasiliense; Brasília: Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 326p.
- Santos, J. 1996. Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 120p.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley, New York, 618 p.
- Schubart, H.O.R.; Franken, W. Luizão, F.J. 1984. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência Hoje*, 2 (10): 26-32.

- Scott, D.A.; Proctor, J.; Thompson, J. 1992. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II. Litterfall and nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 80:705-717.
- Serrão, E.A.S. 1989. Pecuária na Amazônia: a evolução da sustentabilidade das pastagens substituindo florestas. *Pará Desenvolvimento*, 25:117-127.
- Sioli, H. & Klinge, H. 1962. Solos, tipos de vegetação e águas na Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Avulsa*, Belém, 1:27-41.
- Sodré, G.A; Barros, N.F; Mendonça, E.S; Cantarutti, R.B. & Fontes, M.P.F. 2000. Lixiviação potencial de nutrientes da manta orgânica de diferentes coberturas vegetais no sudeste da Bahia. Centro de Pesquisas do Cacau, Ilhéus, Bahia, Brasil. *Antrópica* 12 (2): 105-110.
- Sollins, P.; Robertson, G.P. & Uehara, G. 1988. Nutrient mobility in variable-charge and permanent-charge soils. *Biogeochemistry* 6: 181-199.
- Sollins, P. 1989. Factors affecting nutrient cycling in tropical soils. In: Proctor J. (Ed.). *Mineral nutrients in tropical forest and savana ecosystems* Blackwell Scientific, Oxford, U.K. pp 85-96.
- Souza, M. G.; Denich, M. Importância do litter na ciclagem de nutrientes para recuperação de áreas degradadas. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3., 1996, Brasília, DF. Resumos. Brasília, p. 90. 1996.
- Tapia-Coral, S.C. 1998. Macrofauna da liteira em Sistemas agroflorestais implantados em áreas de pastagens abandonadas na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 92p.
- Tapia-Coral, S.C. 2004. Macro-invertebrados do solo e estoques de carbono e nutrientes em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia Peruana. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 135p.
- Teixeira. L.B.; Oliveira, R.F.; Martins, P.F.S. 2001. Ciclagem de nutrientes através da liteira em floresta, capoeira e consórcios com plantas perenes. *Revista Ciência Agrária*, 36:9-17.
- Toledo, J.M.; Serrão, E.A.S. 1982. Pasture and animal production in Amazônia. In: HECHT, S.B., ed. *Amazônia: Investigación sobre agricultura y uso de tierras*. Cali: CIAT. P281-309.

- Tukey, Jr., H.B. 1970. The leaching of substances from plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 21: 305-324.
- Vasconcelos, H.L; Luizão, F.J. 2004. Litter production and litter nutrient concentrations in a fragmented Amazonian landscape. *Ecological Applications*, 14(3):884-892.
- Vieira, L.S. 1988. *Manual de Ciência do Solo*. 2a edição. Editora Agronômica Ceres. Piracicaba, 84. pp.
- Villela, D. M. 1995. *Nutrient Cycling in a Monodominant and other Rain Forest Types on Maraca Island, Brazil*. Ph.D. Thesis. University of Stirling, Stirling.
- Vitousek, P.; Gosz, J.; Grier, C.; Melillo, J.; Reiners, W.; Todd, R. 1979. Nitrate losses from disturbed ecosystems. *Science*, 204: 469-474.
- Vitousek, P.M. 1980. Nitrogen losses from disturbed ecosystems – ecological considerations. In: T. Rosswall, (Ed.). *Nitrogen Cycling in West African Ecosystems*. 39-53 p.
- Vitousek, P.M; Sanford, R.L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 137-167.
- Walker, I. 1987. The biology of streams as part of Amazonian forest ecology. *Experientia*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-Amazonas. p.279-286.
- Walker, I. 1995. Amazonian streams and small rivers. In: Limnology in Brazil. Tundisi, J.G.; Bicudo, C.E.M. & Tundisi, T.M. (Eds). *Brasilian Academy of Sciences*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-Amazonas. p.167-193.
- Waterloo, M.J.; Oliveira, S.M, Drucker, D.P, Nobre, A.D, Cuartas, L.A, Hodnett, M.G, Langedijk, I. Jans, W.W.P, Tomasella, J, Araújo, A.C, Pimentel, T.P. & Múnera, J.C. 2004. Export of carbon in runoff from an Amazonian rainforest catchment. *Hydr. Proc.*, 00:1-35.
- Welcomme, R.L. 1979. Fisheries ecology of floodplain rivers. *Longman*. 317p.

## 7. ANEXOS

Anexo 1: Produção média mensal de leiteira fina (em gramas), por coletor e por posição topográfica, nos meses de julho-outubro/2003. (n = 9). Os valores entre parênteses correspondem aos desvio padrão.

Período Seco			
Coletor	Platô	Vertente	Baixio
1	41,1 (9,6)	35,4 (10,6)	32,4 (4,4)
2	38,1 (17,7)	29,5 (8,2)	17,9 (2,6)
3	46,5 (19,4)	24,1 (7,8)	32,8 (9,8)
4	32,9 (15,3)	26,8 (12,6)	22,4 (15,1)
5	31,3 (3,7)	30,9 (6,6)	30,6 (16,9)
6	24,3 (0,6)	33,9 (3,0)	34,6 (3,6)
7	30,8 (14,3)	26,7 (2,1)	26,1 (12,5)
8	38,0 (19,7)	34,9 (1,2)	21,7 (5,4)
9	44,1 (4,1)	28,3 (2,7)	20,1 (9,9)
10	21,7 (4,7)	30,5 (4,1)	19,3 (2,4)
total	34,9 (8,2)	30,1 (3,8)	25,8 (6,3)

( ) Desvio padrão.

Anexo 2: Produção média mensal de leiteira fina (em gramas), por coletor e por posição topográfica, nos meses de junho, novembro e dezembro. (n = 9). Os valores entre parênteses correspondem aos desvio padrão.

Coletor	Período Transição		
	Platô	Vertente	Baixio
1	15,6 (7,2)	13,3 (4,6)	18,0 (5,3)
2	15,4 (4,1)	10,4 (0,7)	10,1 (4,6)
3	14,7 (2,4)	14,5 (4,6)	18,7 (10,9)
4	13,1 (3,8)	9,3 (2,2)	7,1 (6,7)
5	10,2 (6,6)	17,8 (5,1)	12,1 (6,5)
6	13,4 (3,4)	14,4 (4,0)	12,9 (1,5)
7	12,7 (7,6)	13,4 (2,1)	15,9 (7,7)
8	13,1 (5,5)	13,8 (4,7)	13,0 (2,2)
9	17,9 (6,4)	15,1 (6,9)	12,5 (2,4)
10	12,8 (5,3)	16,1 (2,7)	9,2 (4,0)
total	13,9 (2,1)	13,8 (2,5)	12,9 (3,7)

( ) Desvio padrão.

Anexo 3: Produção média mensal de liteira fina (em gramas), por coletor e por posição topográfica, nos meses de Janeiro-Maio (2004). Os valores entre parênteses correspondem aos desvio padrão.

Período Chuvoso			
Coletor	Platô	Vertente	Baixio
1	21,3 (6,8)	20,9 (2,6)	27,4 (10,4)
2	25,3 (5,2)	20,0 (6,5)	18,5 (12,8)
3	25,3 (6,1)	22,9 (11,0)	25,3 (7,1)
4	21,4 (3,4)	29,1 (7,2)	20,8 (10,8)
5	22,5 (1,9)	24,9 (2,0)	22,1 (2,1)
6	15,5 (4,5)	29,6 (1,9)	38,5 (3,0)
7	24,2 (6,4)	28,3 (10,9)	25,4 (2,1)
8	18,4 (4,1)	29,0 (14,5)	21,5 (5,6)
9	21,4 (6,1)	26,0 (15,8)	20,9 (5,0)
10	15,9 (3,1)	32,1 (10,6)	18,0 (1,3)
total	21,1 (3,5)	26,3 (4,0)	23,8 (6,0)

( ) Desvio padrão.