

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa  
da Amazônia**

**Jadson Dezincourt Dias**

**Dissertação apresentada para obtenção  
do título de Mestre em Ecologia de  
Agroecossistemas**

**Piracicaba  
2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Jadson Dezincourt Dias**  
**Biólogo**

**Fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**

**Orientador:**

**Prof. Dr. PLÍNIO BARBOSA DE CAMARGO**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ecologia de Agroecossistemas**

**Piracicaba**  
**2006**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/ USP**

Dias, Jadson Dezincourt

Fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo em áreas de florestas nativa da  
Amazônia / Jadson Dezincourt Dias. - - Piracicaba, 2006.  
87 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Amazônia 2. Ciclo biogeoquímico 3. Floresta 4. Floresta nativa 5. Temperatura do solo  
6. Variação sazonal I. Título

CDD 634.9

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

Aos meus pais **Raimundo Geraldo Dias e Doralice Dezincourt Dias**, pessoas mais preciosas e que representam tudo que há de mais sagrado que tenho nesta vida, onde através da simplicidade, e confiança, apoiaram-me na jornada mais difícil da minha vida.

Dedico

Aos meus amados e inesquecíveis irmãos: Jefferson, Jaqueline, Joelma, Jackson Dezincourt; a minha sobrinha Carol, a cunhada Kiara e minha namorada Melissa Castiglioni.

Ofereço

## AGRADECIMENTOS

*Ao meu maravilhoso Deus que a cada noite peço em orações sua benção e proteção para continuar lutando a cada dia.*

*As mais maravilhosas pessoas: “meus pais e meus irmãos”, orientadores da vida e por representarem tudo que há de mais sagrado na minha vida.*

*Ao Dr. Michael Keller, e Dr. Patrick Michael Crill pela valiosa orientação e oportunidade concedida dentro do projeto LBA, principalmente para a realização deste trabalho.*

*Ao Dr. Plínio Barbosa de Camargo, pela orientação, apoio, confiança, amizade e pelo aceite no curso de mestrado na área de Ecologia de Agroecossistema.*

*A Dr<sup>a</sup>. Janaina Braga do Carmo, sugestões e revisões do manuscrito que deu origem a esse documento.*

*As Instituições: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Estação Ferreira Pena Museu Goeldi, Universidade Federal de Mato Grosso, LBA-ECO (Santarém) e IPEF por todo apoio financeiro e logístico disponibilizado.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Agroecossistemas (CENA/ESALQ), pela oportunidade.*

*Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) e ao Laboratório de Ecologia Isotópica, por permitirem meu vínculo institucional e a realização das análises isotópicas.*

*Aos pesquisadores do CENA Dr. Reynaldo Luiz Victoria, P.H.D Jean Ometto, Dr. Marcelo Zacarias Moreira e Dr. Luiz Antonio Martinelli, pela ajuda e orientação e ao Dr. Nicolau Priante, Niro Higuchi, Leonardo se Sá, Cláudio Carvalho, pela logística concedida aos sítios experimentais.*

*Aos técnicos e amigos do (TG-07), Francisco Pereira “Seu Chico,” Cleuton da Silva Pereira, Wanderley Pereira, Eráclito Neto, Marcos Augusto Scaranello, Kemeson, Kadson Oliveira, Sérgio, Joelma Dezincourt, Hudson Silva, de todo coração, sou muito grato a todos e a tudo divido a vitória com cada um de vocês meus amigos; e podem acreditar vocês foram mais que bravos guerreiros, a todos meu muito obrigado.*

*Aos amigos do Projeto LBA, Augusto Maia, Lisa Merry, Bethany, Cláudio Carvalho, Melissa Magalhães, Anderson Chemim, Iomar Vidal, seu Antonio, Cleilim Albert, Elder Campos, Jose Mauro, Michela Figueira. Eleazar Brait, Viviane Oliveira, Gabriela Fernandes, Fernando Leão, Genilson Rego, Gilson Rego, Kleber Portilho, Megan McGroddy, Ronan Pereira, Rose dos Santos, Vânia Almeida, Yoko Ishida, Williams Castro, e Dona Elena.*

*Aos amigos Piracicabanos, Daniela Mariano, Gabriela Nardoto, Alailson Santiago, Alessandra Montebelo Toledo, Tomás Domingues, Antonia Peres, Carla Câmara, Cátia Casagrande, Adriana Castelhanos Hauptert, Daniel Victoria, Edmar Mazzi, Eduardo Jacusiel, Fabiana Fracassi, Fátima Rasera, Ivan Vieira, Jorge Moraes, Michelle Cogo, Neusa Augusti, Rafael Rosolem “Pira”, Rodrigo Menuzzo, Salomão e Adriane Sarmet, Sandra Furlan, Sebastião Ramos, Sergio, Marcus, Luiz Ricardo Ramalho, Simone Vieira, Uwe Herpin, Vânia Neu, e estagiários, pela ajuda e amizade durante o meu trabalho em Piracicaba.*

*Ao grande amigo Edgard Siza Tribuzi, pelas diversões, ajuda, compreensão, força e imensa amizade e por ser a pessoa que me ensinou que a paciência é o fruto da sabedoria (nunca vi cara mais paciente que esse).*

*Aos amigos conterrâneos que sempre que estávamos juntos tornávamos nostálgicos Mocarongos deixando-nos cada vez mais fortes e solidários, e sempre com a missão de elevar o nome de nossa cidade (Santarém) ao mais alto nível.*

*Acima da verdade estão os deuses. E a nossa ciência é uma falhada cópia da incerteza com que eles sabem que há o Universo.*

*Ricardo Reis*



**SUMÁRIO**

RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	12
LISTA DE FIGURAS .....	14
LISTA DE TABELAS .....	17
1 INTRODUÇÃO .....	18
2 DESENVOLVIMENTO .....	21
2.1 Revisão bibliográfica .....	21
2.1.1 Ciclo do carbono .....	21
2.1.2 Importância do ciclo do carbono .....	23
2.1.3 Dinâmica do carbono .....	24
2.1.4 Importância da temperatura do solo .....	25
2.1.5 Umidade do solo .....	26
2.1.6 Fase gasosa do solo .....	28
2.1.7 Fluxo de CO <sub>2</sub> do solo e respiração do solo .....	29
2.1.8 Biomassa de raízes .....	31
2.1.9 Serapilheira e matéria orgânica .....	32
2.1.10 Velocidade de decomposição .....	33
2.1.11 Metodologias de medida do fluxo de CO <sub>2</sub> do solo .....	35
2.2 Material e métodos .....	37
2.2.1 Áreas de estudo .....	37
2.2.2 Descrições das áreas .....	38

2.2.3	Medidas de fluxo .....	39
2.2.4	Cálculo do fluxo.....	41
2.2.5	Temperatura do ar e do solo .....	41
2.2.6	Coleta de serapilheira.....	42
2.2.7	Coleta de solo.....	43
2.2.8	Coleta de raízes.....	44
2.2.9	Determinação do %C, % N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ na serapilheira.....	45
2.2.10	Análises estatísticas .....	46
2.3	Resultados .....	48
2.3.1	Variação sazonal dos fluxos de $\text{CO}_2$ .....	48
2.3.2	Relação entre o fluxo de $\text{CO}_2$ e temperatura do solo .....	50
2.3.3	Relação entre o fluxo de $\text{CO}_2$ e umidade do solo .....	53
2.3.4	Estoques de serapilheira.....	55
2.3.5	Composição isotópica da serapilheira, %C, %N, e relação C/N .....	58
2.3.6	Fitomassa de raízes .....	59
2.4	Discussão .....	64
2.4.1	Variação da sazonal dos fluxos de $\text{CO}_2$ .....	64
2.4.2	Relação entre o fluxo de $\text{CO}_2$ e temperatura do solo .....	68
2.4.3	Relação entre o fluxo de $\text{CO}_2$ e umidade do solo .....	69
2.4.4	Biomassa de serapilheira e o fluxo de $\text{CO}_2$ .....	70
2.4.5	Concentração de C e N, relação C/N, Composição isotópica de C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e N ( $\delta^{15}\text{N}$ ) .....	72

	9
2.4.6 Biomassa de raízes e o fluxo de CO <sub>2</sub> .....	74
3 CONCLUSÕES .....	75
REFERÊNCIAS .....	76

## RESUMO

### **Fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**

O sistema climático global e o ciclo do carbono interagem intensamente, e o CO<sub>2</sub> constitui um fator dominante na definição do clima, sendo gerado e consumido pelas plantas e pela atividade de microrganismos em ecossistemas aquáticos, terrestres e na atmosfera. Na atmosfera, esse gás contribui para o efeito estufa. Em um ecossistema de floresta tropical, grande parte da produção de CO<sub>2</sub> é proveniente da respiração do solo, e os fluxos de CO<sub>2</sub> na interface solo-atmosfera dependem de mudanças nas características físicas, químicas e biológicas na superfície do solo. O objetivo desse estudo foi investigar a variabilidade sazonal dos fluxos de CO<sub>2</sub>, decorrente da respiração do solo de diferentes florestas nativas da Amazônia, localizadas nos municípios de Sinop (MT), Caxiuanã (PA), Manaus (AM) e Santarém (PA), e determinar os principais parâmetros de correlação dos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo com a temperatura e umidade. As amostragens foram realizadas durante as estações seca e chuvosa em cada local. Os fluxos de CO<sub>2</sub> foram medidos por meio de câmaras dinâmicas, que se baseiam na variação da concentração do gás no interior da câmara em função do tempo e foram calculados utilizando-se de equações lineares. Os valores médios encontrados para as regiões estudadas nas estações seca e chuvosa foram respectivamente: Sinop, 3,03  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 5,76  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; Caxiuanã, 5,07  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 6,09  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; Manaus, 5,47  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 5,44  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e Santarém, 2,90  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e 5,64  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Estes resultados demonstraram que houve variação regional

e influência da sazonalidade na dinâmica do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, sendo que, os maiores fluxos foram obtidos durante o período chuvoso, indicando que a disponibilidade de água e a temperatura do solo foram os principais condicionadores da produção do CO<sub>2</sub>. Foram coletadas amostras de serapilheira e raízes para estimar o estoque e a influencia sobre os fluxos de CO<sub>2</sub> do solo, sendo estas, vias de entrada de nutrientes e principalmente de carbono para o solo. Para todas as regiões os maiores estoques foram encontrados na estação seca.

Palavras-chaves: Amazônia; ciclo do carbono; fluxo de CO<sub>2</sub> do solo; respiração do solo.

## ABSTRACT

### **CO<sub>2</sub> flux from soil respiration in areas of native Amazon forest**

Carbon dioxide is an important contributor to the greenhouse effect, and by extension, the global climate system as a whole; it is generated and consumed through the activities of terrestrial and aquatic microorganisms. Tropical forest CO<sub>2</sub> fluxes at the soil-atmosphere interface depend on changes in the physical, chemical and biological characteristics of the soil surface. The objective of the present study is to investigate seasonal variability of CO<sub>2</sub> fluxes from soil respiration in Amazonian native forest located in the municipalities of Sinop (MT), Caxiuanã (PA), Manaus (AM) e Santarém (PA) and to determine the effects of determining parameters such as temperature and soil moisture. The CO<sub>2</sub> fluxes were measured using dynamic chambers during both dry and wet seasons at each site. As the concentration of the gas inside the chamber varies with time, samples were taken at given time intervals and fluxes then calculated using linear regression equations. The average values found for Sinop in the dry and wet seasons were 3.03 and 5.92  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectively; for Caxiuanã, 5.07  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and 6.09  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; for Manaus, 5.47 and 5.44  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; and for Santarém, 5.64  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in the wet season and during the dry season and 6.09  $\mu\text{mol.CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Our results showed that there was a seasonal variation of the CO<sub>2</sub> flux. The results also showed that there was an influence of the seasonality in the dynamics of the soil CO<sub>2</sub> flux, where the greater fluxes were obtained during the wet season, indicating that water availability and soil temperature were the main factors determining

production. Litter samples had been collected and roots esteem the supply and influence it on the CO<sub>2</sub> fluxs of in the soil, being these, ways of entrance of nutrients and mainly of carbon for the ground. For all the regions the biggest supplies had been found in the dry station.

Keywords; Amazon; carbon cycle; soil CO<sub>2</sub> flux; soil respiration.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais estoques e fluxos anuais (em PgC) do ciclo global do carbono (baseado em dados de 1995, adaptado de SCHLESINGER, 1997).....	23
Figura 2 - Localização das áreas de estudos na Amazônia Legal Brasileira. Fonte: MIRANDA.....	37
Figura 3 – Medida da temperatura do solo e do ar termômetro (Taylor).....	42
Figura 4 – Coleta de serapilheira através de quadrante 25 x 25 cm.....	43
Figura 5 – Coleta de amostras de solo (trado) .....	43
Figura 6 - Coleta de raízes .....	44
Figura 7 - Separação de raízes com Peneiras de diferentes malhas (2,0, 0,5 e 0,2 mm) (A). Classificação das raízes nas categorias: vivas e mortas (B) .....	44
Figura 8 - Conjunto composto por Espectrômetro de massas, analisador elementar e pré-concentrador. Laboratório de Ecologia Isotópica, CENA/USP.....	45
Figura 9 - Variação sazonal nos fluxos de CO <sub>2</sub> do solo nas áreas de Sinop, Caxiuanã, Manaus, Santarém.....	49
Figura 10 - Variação sazonal nos fluxos de CO <sub>2</sub> do solo nas diferentes áreas topográficas de Manaus.....	50
Figura 11 - Relação dos fluxos de CO <sub>2</sub> do solo com as temperaturas do solo em Sinop na estação seca (A) e na estação chuvosa (B).....	51
Figura 12 - Relação do fluxo de CO <sub>2</sub> com a temperatura do solo em Caxiuanã na estação seca (A) e na estação chuvosa (B).....	51



Figura 13 - Relação do fluxo de CO <sub>2</sub> com a temperatura do solo em Manaus na estação seca (A) e na estação chuvosa (B).....	52
Figura 14 - Relação dos fluxos de CO <sub>2</sub> com a temperatura do solo em Santarém na estação seca (A) e na estação chuvosa (B).....	52
Figura 15 -Relação das médias entre o fluxo de CO <sub>2</sub> e umidade do solo em Sinop na estação seca (A) e na estação chuvosa (B).....	53
Figura 16 - Relação das médias entre o fluxo de CO <sub>2</sub> e umidade do solo em Caxiuanã na estação seca (A) e estação chuvosa (B).....	53
Figura 17 - Relação das médias entre o fluxo de CO <sub>2</sub> e umidade do solo em Manaus na estação chuvosa (A) e na estação seca (B).....	54
Figura 18 - Relação das médias entre o fluxo de CO <sub>2</sub> e umidade do solo em Santarém na estação seca (A) e na estação chuvosa (B).....	54
Figura 19 - Estoque total de serapilheira sobre o solo durante as estações seca e chuvosa nas áreas de Sinop, Caxiuanã Manaus, Santarém .....	55
Figura 20 - Variação espacial do estoque de serapilheira nos pontos amostrais em Sinop .....	56
Figura 21 - Variação espacial do estoque de serapilheira nos pontos amostrais em Caxiuanã.....	57
Figura 22 - Variação espacial do estoque de serapilheira nos pontos amostrais em (Manaus) .....	57
Figura 23 - Variação sazonal do estoque de serapilheira nos pontos amostrais em Santarém.....	58

Figura 24 - Variação sazonal na fitomassa de raízes nos de Sinop, Caxiuanã, Manaus, Santarém, durante a estação seca e chuvosa. ....	60
Figura 25 - Variação sazonal no estágio de fitomassa de raízes Sinop, Caxiuanã Manaus, Santarém, (estação seca).....	61
Figura 26 - Variação sazonal no estágio de fitomassa de raízes Sinop, Caxiuanã, Manaus, Santarém, (estação chuvosa) .....	62
Figura 27 - Variação espacial no estoque de raízes nos pontos amostrais (Sinop).....	62
Figura 28 - Variação espacial na fitomassa de raízes nos pontos amostrais (Caxiuanã)	63
Figura 29 - Variação sazonal na fitomassa de raízes nos pontos amostrais (Santarém)	63
Figura 30 - Variação sazonal na fitomassa de raízes nos pontos amostrais (Santarém)	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fluxos médios e desvio padrão de CO <sub>2</sub> do solo das regiões de Sinop, Caxiuanã, Manaus e Santarém durante a estação seca e chuvosa (μmol.CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) .....	48
Tabela 2 - Fluxo de CO <sub>2</sub> do solo em diferentes posições topográfica de Manaus durante a estação seca e chuvosa (μmol.CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) .....	49
Tabela 3 - Variação de Temperatura do solo (°C) nas estações seca e chuvosa nas áreas de Sinop, Caxiuanã; Manaus, Santarém .....	50
Tabela 4 - Estoques de serapilheira sobre o solo nas estações seca e chuvosa em Sinop, Caxuanã, Manaus e Santarém em Mg ha <sup>-1</sup> .....	55
Tabela 5 - Percentagem de carbono (%C), percentagem de nitrogênio (%N), razão C/N, composição isotópica do Nitrogênio (δ <sup>15</sup> N) e do Carbono (δ <sup>13</sup> C) da serapilheira durante as estações seca e chuvosa.....	59
Tabela 6 - Média e desvio padrão da massa de raízes (g m <sup>2</sup> ), nas diferentes regiões durante as estações seca e chuvosa .....	59
Tabela 7 - Média e desvio padrão da fitomassa de raízes vivas e mortas Mg ha <sup>-1</sup> estação seca .....	60
Tabela 8 - Média e desvio padrão da fitomassa de raízes vivas e mortas Mg ha <sup>-1</sup> estação chuvosa.....	61
Tabela 9 - Médias comparativas de fluxos de CO <sub>2</sub> do solo desenvolvidos em diversas áreas da região Amazônia .....	67

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são reconhecidamente os ecossistemas mais produtivos e de maior diversidade de nosso planeta. Dentre elas, a floresta Amazônica que cobre uma área de 60% da área de floresta tropical do mundo (DIXON et al.,1994) e equivalente a  $5 \times 10^6$  km<sup>2</sup>, sendo considerada a maior e a mais importante para o equilíbrio do carbono global, armazena dentro de sua biomassa vegetal e no solo, mais carbono do que o existente atualmente na atmosfera.

A cobertura vegetal dos ecossistemas da Amazônia brasileira é, predominantemente, constituída de floresta, sendo 48,8% de floresta densa e 27,1% de floresta aberta. Em menores proporções, ocorrem as savanas Amazônicas com aproximadamente 17,1%, além de outros campos naturais e os campos inundáveis, que representam 7,0%. Dessas diversas coberturas, estima-se que 58 milhões de hectares, que correspondem a 16% da Amazônia brasileira, foram devastados. Diante da heterogeneidade da floresta Amazônica onde as condições edáficas e de dinâmica de carbono são diferentes, torna-se importante investigar o fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo. De acordo com (HOUGHTON; SKOLE; NOBRE 2000) uma floresta típica da região Amazônica, mantém em média imobilizado na vegetação cerca de 360 toneladas por hectare de biomassa vegetal, o que corresponde a 170 toneladas por hectare de C.

Os solos das florestas tropicais têm participação significativa na dinâmica de processos químicos e físicos da atmosfera, uma vez que atuam como fonte e sorvedouro de vários gases-traços, principalmente o CO<sub>2</sub> (KELLER; KAPLAN; WOFSY, 1986; GOREAU; DE MELLO, 1987) tendo atuação significativa no balanço global do carbono. Segundo (MALHI, BALDOCCHI; JARVIS 1999) cerca de 2/3 do carbono que está sendo drenado para as florestas tropicais maduras podem estar sendo acumulados como matéria orgânica humificada, porém Telles et al. (2003) mostraram que o carbono nestes solos está praticamente em equilíbrio. Entretanto, devido a sua importância como reservatório e pelo fato dos solos da Amazônia

apresentarem-se como um mosaico, os estoques de carbono são muitos variáveis e pouco se sabe sobre sua dinâmica e tempo de residência em solos tropicais.

O  $\text{CO}_2$  é produzido na superfície do solo, principalmente pela participação de microrganismos na decomposição aeróbia da matéria orgânica, e pela respiração de raízes, a qual é denominada de respiração do solo. Entretanto, os solos tropicais que apresentam umidade e temperatura elevadas, oferecem condições bastante propícias para a produção de  $\text{CO}_2$ , pois favorecem a decomposição da matéria orgânica, a respiração das raízes e a respiração microbiana, aumentando a emissão de  $\text{CO}_2$  do solo para a atmosfera.

Ao longo dos anos o que tem mais preocupado a comunidade científica em relação à floresta Amazônica, é o aumento da concentração deste gás na atmosfera em decorrência de uma série de fatores relacionados às atividades antrópicas, tais como: queimadas; desmatamento; queima de combustíveis fósseis; uso inadequado do solo, através da substituição da cobertura vegetal por pastagem; e mudanças no uso da terra visando a expansão agrícola e a urbanização, e como estes fatores podem modificar a dinâmica e o ciclo do carbono refletindo em profundas alterações ambientais e climáticas.

Desta forma, o conhecimento do fluxo de  $\text{CO}_2$  do solo para a atmosfera é de grande importância na avaliação da dinâmica do carbono no ecossistema, para uma melhor conceituação do balanço do ciclo biogeoquímico do carbono, assim como para a participação em processos químicos e físicos da atmosfera.

## 1.1 Objetivo

Este trabalho teve como objetivo investigar como as variações sazonais e espaciais do clima (umidade e temperatura) alteram os fluxos de carbono do solo em diferentes áreas de florestas nativas da Amazônia brasileira, especificamente nas áreas de Sinop (MT), Caxiuanã (PA), Manaus (AM) e Santarém (PA). E para investigar tal influencia, correlacionou-se o fluxo de  $\text{CO}_2$  do solo com as variáveis de temperatura e de umidade para cada área de estudo, bem como, a influência da massa de serapilheira e de raízes para a produção do  $\text{CO}_2$ .

## 1.2 Hipóteses

- 1 - O fluxo de  $\text{CO}_2$  aumenta com o aumento da temperatura;
- 2 - Ocorre um aumento dos fluxos de  $\text{CO}_2$  na estação chuvosa quando comparado com a estação seca;
- 3 - Há uma influência de fatores ambientais indicadores de processos que controlam o fluxo de  $\text{CO}_2$  como: temperatura, umidade, conteúdo de matéria orgânica do solo, raízes e liteira, que demonstram que o acúmulo de C no solo durante a estação seca será liberado na forma de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera durante a estação chuvosa.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão bibliográfica**

#### **2.1.1 Ciclo do carbono**

O carbono é um elemento fundamental na constituição das moléculas orgânicas. O carbono utilizado primariamente pelos seres vivos está presente no ambiente, combinado ao oxigênio e formando as moléculas de gás carbônico presente na atmosfera ou dissolvidas nas águas dos mares, rios e lagos. O carbono passa a fazer parte da biomassa através do processo da fotossíntese. Os seres fotossintetizantes incorporam o gás carbônico atmosférico, transformando-se em moléculas orgânicas.

O ciclo do carbono passou a ter mais atenção, a partir década de 70, quando ficou evidenciado um aumento contínuo e constante da concentração de gás carbônico na atmosfera, e a grande preocupação dos pesquisadores é de que esse aumento possa provocar mudanças climáticas em nosso planeta, uma que vez que o gás carbônico é do ponto de vista quantitativo, o mais importante gás causador do efeito estufa (HOUGHTON, 1994; FANG, 1993; MELILLO, 1985).

O CO<sub>2</sub> tem causado polêmica quanto à quantidade emitida e principais locais e fontes de emissão, além da necessidade de controle de emissões. Os processos naturais envolvidos são: a fotossíntese, a respiração e a dissolução, e essa movimentação é um processo cíclico a qual denominamos ciclo do carbono. Este ciclo vem sendo alterado há muitos anos, como resultado da queima de combustíveis fósseis (gasolina, querosene, óleo diesel, xisto), atividade vulcânica (de menor intensidade), mudança no uso da terra pelo corte de floresta e queima de biomassa. Essa última tem sido considerada como um sério agravante na liberação de carbono da biosfera para a atmosfera. Existe atualmente um aumento do carbono na atmosfera através de atividades antrópicas, na ordem de 7 Pg de carbono anuais, na forma de CO<sub>2</sub> [1 peta grama (Pg)= um bilhão

de toneladas]. Deste total, 3,5 PgC permanecem na atmosfera, e passam a contribuir efetivamente para o efeito estufa, sendo o restante dissolvido no oceano, ou sequestrado pela atividade fotossintética, ficando retido como biomassa viva, ou matéria orgânica do solo (GRACE, 2001; SCHLESINGER, 1997).

A quantidade de combustíveis fósseis disponíveis para ser usado pelo homem é estimada em 4.000 PgC. Os outros reservatórios ativos de carbono na crosta terrestre e atmosfera somam 40.000 PgC. O carbono dissolvido nos oceanos constitui o maior reservatório superficial de C (estimado em 38.000 PgC). Este reservatório possui uma importante propriedade de tamponar as mudanças na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico. Nos continentes, o maior reservatório de carbono está nos solos, que contêm estimados 40.000 PgC. A atmosfera contém aproximadamente 750 PgC, e estima-se que 560 PgC estejam estocados na cobertura vegetal. (GRACE, 2001; SCHLESINGER, 1997).

A cobertura vegetal, apesar de constituir um reservatório limitado de carbono, é responsável pelo fluxo mais intenso de carbono no ciclo global. Através da fotossíntese estima-se que a produção primária retire cerca de 60 a 61 PgC da atmosfera estocando na biomassa vegetal anualmente; sendo que 60 PgC retornam para a atmosfera através da respiração dos tecidos vivos e da decomposição da matéria orgânica na superfície do solo (SCHLESINGER, 1997).

O fluxo de CO<sub>2</sub> entre atmosfera e oceano movimenta 90 PgC anualmente (Figura 1); este fluxo é regulado tanto pela atividade fotossintética e respiração da biota marinha, assim como pelo processo de dissolução e liberação de CO<sub>2</sub> na água, sem o envolvimento da biota. (SCHLESINGER, 1997).

Uma vez alterado o ciclo biogeoquímico do carbono, ocorrerá um aumento também nas taxas dos gases de efeito estufa. E esse desequilíbrio afetará os processos climáticos não somente em escala regional como também em escala global.



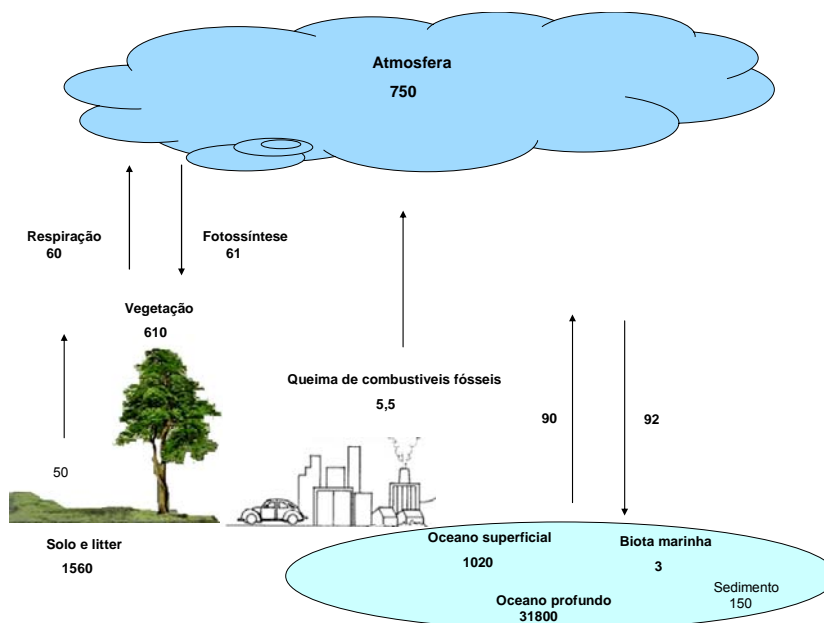


Figura 1 - Principais estoques e fluxos anuais (em PgC) do ciclo global do carbono (baseado em dados de 1995, adaptado de SCHLESINGER, 1997)

### 2.1.2 Importância do ciclo do carbono

A importância do ciclo do carbono na natureza pode ser evidenciada pela estimativa de que todo o  $\text{CO}_2$  presente no ar, caso não houvesse reposição, seria completamente exaurido em menos de 20 anos, tendo em vista a atividade fotossintética atual.

O gás carbônico presente na atmosfera é importante componente do efeito estufa, um fenômeno atmosférico natural, que ocorre porque gases como o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) deixam passar a luz solar em direção à superfície da Terra. Esses gases, porém, são praticamente impermeáveis ao calor emitido pela superfície terrestre aquecida (radiação terrestre). Esse fenômeno faz com que a atmosfera permaneça aquecida após o pôr-do-sol, resfriando-se lentamente durante a noite. Em função dessa propriedade física, a temperatura média global do ar próximo à superfície é de  $15^\circ\text{C}$ . Na sua ausência, seria de  $18^\circ\text{C}$  abaixo de zero. Portanto, o efeito estufa é benéfico à vida na Terra.

### 2.1.3 Dinâmica do carbono

O sistema climático global e o ciclo do carbono interagem intensamente, e o CO<sub>2</sub> constitui um fator dominante na definição do clima, através do equilíbrio ou desequilíbrio de sua concentração na atmosfera. Desta forma, torna o clima um determinante das características da superfície, pois atua no processo de formação do solo (processos físicos, químicos e biológicos da superfície do solo), do tipo de vegetação, das feições do relevo e da estrutura de drenagem e ao mesmo tempo, a superfície exerce uma marcante influência sobre o clima, pois desenvolve um papel relevante no controle do balanço térmico da atmosfera.

O carbono no ecossistema terrestre existe de diversas formas, incluindo, os microrganismos, folhas vivas, respiração das raízes, madeira, decomposição da matéria orgânica, sendo que cerca da metade desse carbono encontra-se nas florestas tropicais (HOUGHTON, 1994). Entretanto, os solos de florestas tropicais têm participação significativa na dinâmica de processos químicos e físicos da atmosfera, uma vez que atuam como fonte ou sorvedouro desse gás.

Na superfície do solo o CO<sub>2</sub> é produzido naturalmente através de processo mediado por microrganismos, durante a decomposição aeróbia da matéria orgânica e respiração do sistema radicular das plantas. O fluxo de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração do solo é um dos principais componentes do ciclo global do carbono (RAICH; SCHLESINGER, 1992; YIM; JOO; NAKANE, 2002), contribuindo com cerca de 50% do carbono que compõe a respiração total do ecossistema (WAGAI et al., 1998; ROBERTS, 2000) e segundo Meir et al., (1996) o CO<sub>2</sub> produzido nos solos de florestas tropicais úmida pode representar mais de 80% de todo CO<sub>2</sub> emitido pelo ecossistema.

A taxa de transferência do CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera pode ser controlada por cinco fatores: i) pela sua taxa de produção no solo; ii) pelos gradientes de temperatura; iii) por sua

concentração na interface solo-atmosfera; iv) pelas propriedades físicas do solo e v) pelas flutuações da pressão atmosférica do ambiente (SOTTA, 1998). Este processo varia muito com a vegetação e tipo de solo (WAGAI et al., 1998; DAVIDSON et al., 2002).

Segundo Le Dantec et al. (1999), os fluxos são extremamente variáveis no espaço e no tempo, devido à heterogeneidade do sistema e dinâmica dos fatores que os controlam. Embora muito importante o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera é pouco conhecido em termos de variação sazonal e quantidade respirada nos diferentes tipos de cobertura do solo (MEDINA; KLINGE; JORDAN, 1980; DAVIDSON; TRUMBORE; AMUNDSON, 2000; FEIGL; MELILO; CERRI, 1995; FERNANDES et al., 2002; MEIR et al., 1996).

Com base em análise de literatura hoje disponibilizada especialmente pelo Programa de longa escala da biosfera e atmosfera na Amazônia (LBA), indicam que os estudos até o presente são insuficientes para determinar se a Amazônia se comporta como uma fonte ou sorvedor de carbono. Diante do atual processo mutável dentro de um ecossistema, é necessário conhecer e compreender cada fator que esteja relacionado com o balanço do carbono atmosférico, e também a necessidade de um maior número de estudos para quantificar de modo mais preciso e detalhado, os vários ecossistemas que compõem a Amazônia.

#### **2.1.4 Importância da temperatura do solo**

O processo de respiração do solo é fortemente influenciado pelos fatores ambientais como a temperatura e umidade e podem variar de acordo com a estação, como tem sido mostrado pelos autores (DAVIDSON; TRUMBORE; AMUNDSON, 2000). O fluxo de carbono do solo é altamente sensível à mudança de temperatura. Portanto, pequenas mudanças na temperatura da superfície do solo, podem influenciar a magnitude do fluxo de CO<sub>2</sub>. Desta forma, se ocorrer um

aumento na emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera, poderá ter um efeito positivo na concentração atmosférica ou nas mudanças globais (KIRSCHBAUM, 1995).

Estudos têm mostrado que a taxa de respiração do solo é um indicador de atividade microbiana do solo, aumentando linearmente com a temperatura (BEKKU et al., 2003; SUBKE; REICHSTEIN; TENHUNEN, 2003). Estes trabalhos consideraram que a produção do CO<sub>2</sub> dentro do solo é basicamente um processo bioquímico e responde assim fortemente às variações de temperatura. Isso pode mudar com a idade da matéria orgânica, e também com a disponibilidade de água para as reações bioquímicas relevantes, (FANG; MONCRIEFF, 2001). A respiração do solo a altas temperaturas pode ser reduzida, considerando que ela exerce influência na velocidade das reações enzimáticas da microbiota do solo, pois nesta condição, as atividades microbianas podem ser restringidas Kang et al. (2003). Reações químicas que liberam nutrientes para as plantas poderão ser interrompidas se o solo não se apresentar dentro de uma faixa de temperatura adequada para a manutenção dos processos fisiológicos envolvidos (PREVEDELLO, 1996).

O solo, além de armazenar e permitir os processos de transferência de água, solutos e gases, também armazena e transfere calor através de suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas que, por sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo (SOUZA et al., 1996).

### **2.1.5 Umidade do solo**

A umidade do solo desempenha um papel fundamental nos processos de transferência de calor entre a atmosfera e a superfície. A interação entre estes dois sistemas é realizada trocando umidade, energia interna (calor) e momento. As propriedades do solo limitam o armazenamento e perda de água para a atmosfera, além de regular a infiltração nas várias camadas do solo (condutividade e difusividade hidráulicas). O conhecimento do conteúdo de água no solo é

importante na dinâmica de solutos, calor, gases e da própria água no solo. Em escala global, sua importância está relacionada com o importante sistema solo/água/planta/atmosfera. (LIBARDI, 2004).

A relação entre o potencial matricial e o conteúdo de água do solo é uma característica do solo, denominada de curva de retenção ou curva característica da água no solo. A retenção de água é uma propriedade do solo, relacionada às forças superficiais que determinam o nível de energia da água do solo.

Os mecanismos da respiração do solo estão associados com as condições de temperatura, e umidade, e dependem da variabilidade temporal e espacial destas variáveis, que exercem forte influência no processo de decomposição microbiana. Generalizações sobre os efeitos conhecidos das variações no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo ocorrem complicadas devido à interação entre temperatura e umidade (HOWARD; HOWARD, 1993; TIWARI; TIWARI; MISHRA, 1987). Estes autores demonstraram que a umidade do solo altera significativamente a população microbiana e sua atividade.

Estudos sobre emissão de CO<sub>2</sub> encontraram relação significativa deste processo com a umidade do solo, sugerindo que o nível de umidade ótimo para emissão de CO<sub>2</sub> ocorre na capacidade de campo. Entretanto, HOWARD; HOWARD (1993) dizem que este nível de umidade seria prejudicial à atividade aeróbia, que é a maior fonte de CO<sub>2</sub> emitido do solo. Segundo Sotta et al. (2004), como nos trópicos as variações de temperatura são relativamente pequenas, e considerando que solos de floresta tropical apresentam baixa variação, este fator não explica a grande variação de fluxo de CO<sub>2</sub>. No entanto, onde a umidade do solo apresenta maior variação, tem sido indicada como um dos mais importantes fatores para definir o ritmo da atividade biológica, e, portanto, determinante do fluxo de CO<sub>2</sub>. VANHALA, 2002; LA SCALA JR et al., 2000; RAICH; SCHLESINGER, 1992 mostraram que em escala global, a taxa de

respiração do solo tem correlação significativa com a medida anual de temperatura do ar e com a medida anual de precipitação e principalmente com a interação destas duas variáveis.

Zanchi et al. (2003) observaram que logo após um evento de chuva ocorre um grande aumento do fluxo do  $\text{CO}_2$ , isto porque a água quando drenada para o solo força a saída do  $\text{CO}_2$  presente nos poros, e após algumas horas, há uma queda brusca no fluxo, que se dá devido a uma camada de proteção que a água faz no solo, evitando assim a emissão do  $\text{CO}_2$  para a atmosfera. Esta emissão vai se tornando maior à medida que a água vai evaporando e drenando para o lençol freático, pois assim os poros ficam livres. E há um restabelecimento das condições aeróbicas, proporcionando um ambiente favorável as atividades microbianas do solo.

#### **2.1.6 Fase gasosa do solo**

Os processos respiratórios das raízes, e da fauna do solo exigem um adequado suprimento de  $\text{O}_2$  e o  $\text{CO}_2$  liberado nesses processos, que por sua vez, deve ser removido do solo para a atmosfera. Esses importantes processos de troca, por outro lado, ocorrem no mesmo sistema poroso que também deve assegurar um adequado suprimento de água, nutrientes e calor para todos os processos fisiológicos. A fase gasosa, também chamada de ar do solo ou atmosfera do solo, é composta principalmente de  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , vapor de água e  $\text{CO}_2$ , com traços de outros gases. Desprezando os gases traços, pode-se dizer que a fração volumétrica de  $\text{N}_2$  é cerca de 80% (a mesma da atmosfera) e que as do  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  perfazem cerca de 20% (PEVEDELLO, 1996).

A fração volumétrica de  $\text{CO}_2$  no ar do solo é maior do que os 0,03% da atmosfera. Com o aumento na profundidade do solo, a concentração de  $\text{CO}_2$  aumenta e a de  $\text{O}_2$  decresce, devido às atividades biológicas (respiração das raízes, das plantas, dos microorganismos e da fauna do solo) O ar do solo está continuamente sujeito a renovação pelas trocas com o ar da atmosfera. Por isso,

o ar da camada superficial do solo não difere muito do ar atmosférico, garantindo o arejamento para os processos vitais da biota do solo (LUCHES; FAVERO; LENZI, 2001).

A aeração do solo ocorre pelo espaço poroso não ocupado pela fase líquida e geralmente decresce em profundidade no perfil de solo. O ar do solo pode variar em termos de composição e concentração, tanto no tempo quanto no espaço, dependendo da presença de matéria orgânica, das atividades microbianas, da concentração de raízes, da aeração do solo e das reações químicas. Mesmo em solo bem aerado, a fase gasosa apresenta uma maior concentração de CO<sub>2</sub> e umidade relativa do que o ar atmosférico. Na ausência de aeração, a redução química toma lugar produzindo gases como o metano, gás sulfídrico e óxidos nitrosos.

### **2.1.7 Fluxo de CO<sub>2</sub> do solo e respiração do solo**

Para se conhecer o movimento de carbono no sistema pode ser feita a quantificação do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, ou seja, a avaliação da exportação gasosa de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera (FEARNSIDE, 1986). O solo recebe matéria orgânica produzida pela comunidade de plantas e, de diversas maneiras converte a maior parte dela em CO<sub>2</sub> (SINGH; GUPTA, 1977). Outra parte fica retida na matéria orgânica do solo e serve de suprimento (alimento) e energia para os microrganismos do solo.

O fluxo de CO<sub>2</sub> do solo incorpora tanto a respiração do solo como a difusão passiva do CO<sub>2</sub>, englobando processos biológicos e físico-químicos, e representa as trocas de CO<sub>2</sub> entre compartimentos de um sistema, enquanto a respiração do solo é um processo biológico, sendo a somatória das liberações de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, resultante de vários processos que ocorrem na serapilheira, superfície e camadas mais profundas do solo, incluindo: i) a respiração dos microrganismos (principalmente bactérias e fungos) e da macrofauna; ii) os processos fermentativos, que ocorrem em profundidade sob condições de anaerobiose; iii) e a oxidação

química. Todos derivam da decomposição da matéria orgânica e estão ligados à produção primária do sistema (LIETH, 1961; MEDINA, 1966; SCHULZE, 1967; WANNER, 1979; RAICH, 1983). Já a respiração das raízes contribui com 30 – 80% da respiração total (MEDINA, 1966; REINERS, 1968; GOREAU; MELLO, 1985; KURASAR, 1989) e deve ser considerada separadamente.

A medida do fluxo de CO<sub>2</sub> da superfície do solo é provavelmente o método mais amplamente usado, para se estimar a taxa de respiração do solo *in situ*. No entanto respiração do solo e fluxo de CO<sub>2</sub> do solo não é sinônimo, embora eles sejam freqüentemente usados como tal. A respiração do solo é a oxidação da matéria orgânica no solo, e inclui a respiração das raízes e organismos do solo. O fluxo de CO<sub>2</sub> do solo é a liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, e, portanto depende da produção de CO<sub>2</sub> no solo e do processo físico de fluxo de gás para fora do solo. Segundo (DAVIDSON et al., 2002) os solos estocam duas ou três vezes mais carbono do que existe na atmosfera. Entretanto, a liberação de carbono vai depender da velocidade de decomposição da matéria orgânica, que é influenciada por características da vegetação e do clima, pelos gradientes de temperatura e concentração de dióxido de carbono solo-atmosfera, pelas propriedades físicas do solo, e pelas flutuações de pressão do ambiente (RAICH; SCHLESINGER, 1992; MEIER et al., 1996).

Contudo, a maioria do CO<sub>2</sub> produzido no solo é liberada para a atmosfera, assim, o fluxo de CO<sub>2</sub> medido no solo, relativamente sobre longos períodos, reflete a respiração do solo. A respiração do solo é um dos maiores e mais importantes processos de liberação do carbono em um ecossistema terrestre, podendo ser medida por vários métodos, como o de covariância de vórtices turbulentos que permite medir a respiração do solo no período noturno e o uso de câmaras colocadas sobre o solo que permite uma medida direta da respiração que ocorre dentro das camadas do solo e da serapilheira (DAVIDSON et al., 2002).



O aumento nas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera tem sido ocasionado principalmente pela emissão de carbono a partir da queima de combustíveis fósseis em grande escala, e o aumento dessa concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico pode interferir na respiração do solo. Desta forma afetará os processos fisiológicos dos microrganismos do solo os quais podem inibir ou acelerar o fluxo de CO<sub>2</sub> microbiano que por sua vez diferirá entre diversos microrganismos de solo e seu ambiente (ROBERTS, 2000; BALL; DRAK, 1998; BEKKU et al., 1997).

O entendimento do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo é a chave para entender a troca do fluxo solo-planta-atmosfera (MEIER et al., 1996; DAVIDSON; TRUMBORE; AMUNDSON, 2000; CHAMBER et al., 2004; ZANCHI et al., 2003), porque o saldo entre a fotossíntese e a respiração total da planta é denominada de assimilação líquida de carbono. Com isso, o conhecimento da respiração total do solo em função de suas variáveis meteorológicas, como a temperatura e umidade de solo, pode esclarecer e quantificar melhor este gás e assim poderá também melhorar modelos de interações.

### **2.1.8 Biomassa de raízes**

As raízes contribuem com a maior fonte de carbono para os microrganismos rizosféricos que transformam em energia para seu desenvolvimento, e na ausência de organismo do solo as reações bioquímicas poderão ser paralisadas afetando desta forma, a produção e emissão de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera. A produção e decomposição da raiz representam um importante fluxo de C no ecossistema terrestre, podendo influenciar o estoque total e o tempo de reciclagem do carbono no solo (SILVER et al., 2005).

Nepstad et al. (1994), avaliaram a importância da distribuição de raízes no ciclo do carbono e, através de estimativas do estoque, observaram perdas de carbono. Essa perda é

coincidente com a pequena massa de raízes finas e aparente redução da entrada de carbono na superfície do solo em áreas de pastagem degradada.

### **2.1.9 Serapilheira e matéria orgânica**

A decomposição é o processo de despolimerização e de reações oxidativas, pelos quais moléculas relativamente grandes, tais como as poli-aromáticas, carboidratos, lipídios e proteínas, provenientes tanto de dentro das células quanto as livres no ambiente do solo, são convertidas em moléculas menores, mais simples, como os ácidos carboxílicos, aminoácidos e CO<sub>2</sub>. Os resíduos adicionados ao solo são primeiramente quebrados até seus componentes orgânicos básicos pelas enzimas extracelulares produzidas pelos organismos heterotróficos.

A matéria orgânica do solo é proveniente da degradação em vários estágios de resíduos animais e vegetais. Na fração orgânica estão incluídos desde os materiais inalterados ou pouco alterados, isto é, que conservam sua identidade, até aqueles totalmente decompostos, ou seja, que perderam a integridade. Todos os produtos transformados são chamados de húmus (REZENDE, 2004).

A serapilheira é a principal via de transferência de elementos da vegetação para o solo (XU; HIRATA, 2002). A camada de serapilheira é representada pela biomassa aérea da vegetação que permanece no solo até ser fragmentada e decomposta pelos processos físico-químicos e bióticos que ocorrem nesta importante fração do ecossistema. A serapilheira é constituída por um grande número de moléculas orgânicas diferentes, associada de diferentes maneiras e intensidades à matriz do solo, e não constitui um estoque homogêneo (ANDERSON, 1992). O acúmulo da matéria orgânica do solo é importante para a manutenção do estoque de carbono, e constitui cerca de duas a três vezes a quantidade de carbono armazenado na atmosfera

(COÛTEAUX; BERG, 1995; GRACE, 2001; POST et al., 1992; ROZENZWEIG; HILLEL 2000).

O carbono proveniente da vegetação entra no solo através da queda de folheto, do “turnover” das raízes e micorrizas e da exudação de carbono pelas raízes finas. O ganho de carbono é compensado pelas perdas, sob a forma de respiração heterotrófica dos decompositores da liteira e da matéria orgânica do solo (MURTY et al., 2002).

A qualidade da matéria orgânica em diferentes tipos de solo é influenciada por fatores como condições hidrotérmicas, composição química da vegetação, composição mineralógica e textura do solo (HOWARD; HOWARD, 1993). Dada a sua grande importância e sua lenta taxa de ciclagem em suas porções mais recalcitrantes, podem apresentar tempos de resposta a distúrbios e outras mudanças ambientais em escala de tempo maior que as consideradas pela prática humana (SCURLOCK; HALL, 1998).

A razão da decomposição da serapilheira e matéria orgânica do solo dependem do conteúdo de nitrogênio e lignina do material, ou seja, da sua qualidade (ROBERTS, 2000). Basatta e Agren (1999) sugerem que a qualidade da matéria orgânica é o número de passos (reações) enzimáticos requeridos para que um átomo de carbono de um composto orgânico acumulado (ou não) no solo depende diretamente do tipo de cobertura vegetal, que segundo Wagai et al. (1998) tem influência no microambiente, biomassa microbiana e biomassa de raízes, as quais juntas controlam o fluxo de CO<sub>2</sub>.

#### **2.1.10 Velocidade de decomposição**

A rapidez com que um dado resíduo de planta é oxidado depende da sua composição química e condições físicas do ambiente que o cerca. Os fatores principais são: temperatura, suprimento de oxigênio, umidade, pH, disponibilidade de nutrientes tais como o P e o N, e

relação C/N do resíduo da planta. O tipo de cobertura vegetal interfere nos níveis de radiação absorvida e refletida, determinando variações na temperatura do solo, tanto na superfície quanto em profundidade, influenciando desta forma, numa série de fenômenos fisiológicos, relacionados à decomposição da matéria orgânica do solo pelos microorganismos (COLEMAN et al., 1976). Materiais depositados sobre o solo que permitem o armazenamento de uma grande quantidade de ar, isolam eficazmente e reduzem a magnitude das oscilações diárias da temperatura do solo (PREVEDELLO, 1996) e conseqüentemente irão interferir na variação espacial dos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo.

Comparando decomposição versus fluxo, Vanhala (2002) mostrou que quando o conteúdo de água foi mantido constante (60% da capacidade de campo), a razão de fluxo de CO<sub>2</sub> do solo foi principalmente regulada pela quantidade de matéria orgânica e pelo pH do solo. Outros fatores que afetam a decomposição e variação adicional no fluxo CO<sub>2</sub> do solo são tipos de vegetação, e incluem o conteúdo e as frações da matéria orgânica do solo, a biomassa de raízes finas e a biodiversidade das comunidades de plantas e microrganismos (WAGAI et al., 1998).

No entanto, a quantidade e a qualidade da MOS, associada às particularidades físico-químicas do solo, podem tornar muito mais complexas a influência do clima nas taxas de decomposição. Em condições climáticas mais favoráveis à atividade microbiana, o teor de lignina e polifenóis, e/ou razão C/N do material vegetal podem ser os fatores determinantes na velocidade de decomposição (ANDERSON, 1992). Normalmente é difícil manter altos níveis de matéria orgânica nos solos de clima tropical e subtropical, devido às altas temperaturas que induzem à altas taxas de decomposição.

### 2.1.11 Metodologias de medida do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo

O fluxo do CO<sub>2</sub> do solo pode ser medido de diversas maneiras, entre elas, armadilhas de álcalis, covariância de vórtices turbulentos, e câmaras fechadas que absorvem CO<sub>2</sub> por infravermelho (IRGAs); com diferenças na exatidão, na resolução espacial e temporal, e aplicabilidade (JANSSENS et al., 2000).

Enquanto o método de covariância de fluxo na atmosfera é amplamente usado para medir a respiração do solo, o uso de câmaras, com analisadores de gás infravermelho (IRGA), colocadas sobre o solo é o caminho mais direto de medida da respiração que ocorre entre o solo e a camada de serapilheira. A exatidão dos métodos que usam as armadilhas de álcalis aos IRGAs para a quantificação do CO<sub>2</sub> foi estudada extensivamente (JANSSENS et al., 2000), com a conclusão geral que as armadilhas de álcalis freqüentemente superestimam os fluxos baixos e subestimam os fluxos elevados, mas podem, às vezes, confiantemente ser calibrados para uma escala de fluxos intermediários (DAVIDSON et al., 2002). Janssens et al., (2000) consideraram que fluxo de CO<sub>2</sub> do solo só pode ser medido com exatidão por um sistema que não altere a atividade respiratória do solo, o gradiente de concentração de CO<sub>2</sub>, e o movimento do ar próximo à superfície do solo. Também é necessário evitar a diferença de pressão entre o exterior e o interior da câmara (FANG; MONCRIEFF, 2001). Todas as metodologias atualmente disponíveis apresentam algumas desvantagens, entretanto, não existe padrão ou referência para testar a acurácia. Portanto, consideráveis incertezas caracterizam todos os tipos de medidas (JANSSENS et al., 2000) onde a opção é tentar utilizar uma metodologia que melhor se aproxime das condições e realidade em que o estudo seja feito, possibilitando minimizar efeitos negativos.

O uso de IRGAs está se tornando cada vez mais comum entre os métodos para medidas com câmaras de respiração do solo que consiste em câmaras colocadas na superfície do solo para registrar a razão de acúmulo de CO<sub>2</sub> (sistema fechado) ou o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo (sistema aberto)

O sistema fechado pode ser dinâmico (utilizando analisador de gás por infra-vermelho) ou estático (utilizando absorção alcalina – NaOH ou analisador de gás por infra-vermelho) os quais caracterizam pela presença ou ausência de fluxo de ar dentro da câmara, podendo ainda ser fixo ou móvel. Se fixo, a câmara permanece acoplada em um mesmo ponto e as medidas são realizadas sempre no mesmo local. O uso de uma metodologia com câmaras juntamente com o IRGA oferece a vantagem de que os fluxos podem ser medidos rapidamente (tempo  $\leq 5$  minutos) e de que os numerosos pontos de dados de concentrações do CO<sub>2</sub> podem ser registrados a cada minuto, rendendo um monitoramento quase contínuo das concentrações crescentes do CO<sub>2</sub>. Minimizar o tempo que a câmara está sobre o solo minimiza o efeito causado pela alteração do gradiente da concentração do CO<sub>2</sub> dentro do perfil do solo, e entre o solo-atmosfera (DAVIDSON et al., 2002). Porém, problemas ao uso de todos os tipos de câmaras incluem a dificuldade de avaliar a variabilidade espacial de fluxos em ecossistemas naturais (RAYMENT, 2000) assim como comparar medidas de fluxo por diferentes sistemas de medidas (DREWITT et al., 2002). Isso porque grandes e sistemáticas diferenças entre os tipos de técnicas de câmaras foram verificadas em vários estudos de comparação metodológicas (BEKKU et al.; 1997, IRITZ.; LINDROTH., GARDENAS 1997; FANG; MOCRIEFF, 2001; JANSSENS et al., 2000, YIM; JOO; NAKANE, 2002; DAVIDSON et al., 2002). Diante dessas questões, torna-se difícil selecionar uma metodologia padrão ou referência para testar sua precisão e assim diversos tipos de medidas são caracterizados por consideráveis incertezas.

## 2.2 Material e métodos

### 2.2.1 Áreas de estudo

As áreas selecionadas para este estudo estão localizadas na Amazônia Legal Brasileira, são elas: Fazenda Maracaí (20 km<sup>2</sup>) localizada a aproximadamente 50 km NE da cidade de Sinop, MT (11° 24.75 'S; 55° 19.50' W); Floresta Nacional de Caxiuanã (1° 43' 3,5'' S, 51° 27' 36'' W) localizada no município de Melgaço a 350 km a oeste da cidade de Belém, PA, que está sob administração da Estação Científica Ferreira Pena (ECFPn) e pertence ao Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG); Estação Experimental de Silvicultura Tropical (ZF-2) controlada pelo Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia - INPA, situada no município de Manaus, AM (2° 50' S; 60° 0' W), e a Floresta Nacional do Tapajós – FLONA-Tapajós, entre o rio Tapajós e a rodovia BR 163, situada no município de Santarém, PA (2° 85' S; 54° 95' W).

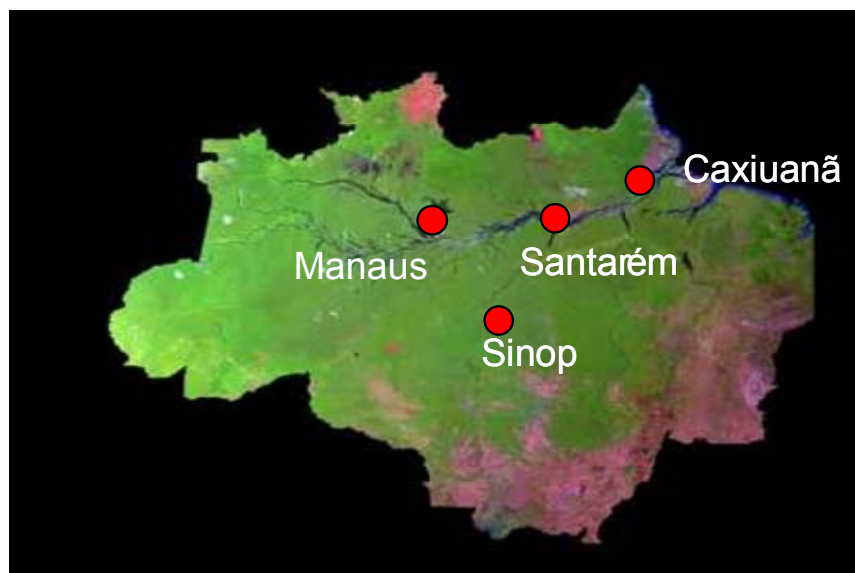


Figura 2 - Localização das áreas de estudos na Amazônia Legal Brasileira. Fonte: MIRANDA

### 2.2.2 Descrições das áreas

Em Sinop (MT) a precipitação é de 2000 mm, com 4 meses de estação seca (junho a setembro), 4 meses de estação chuvosa (dezembro a março) e 4 meses de transição (outubro a novembro e abril a maio). A temperatura média anual é de 24 °C com pequena variação nas estações. A área encontra-se a 423 m acima do nível do mar, e é constituída por uma floresta tropical de transição (cerradão), que ocupa o ecótono entre a Floresta Amazônica e o Cerrado. As características climatológicas da floresta de transição são similares à precipitação de floresta e cerrado, entretanto, nesta região a floresta recebe aproximadamente 200 mm menos de precipitação anual que a floresta úmida e 500 mm mais precipitação que o Cerrado (VOURLITIS et al., 2002). O solo de Sinop é classificado como um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, com horizonte A moderado álico. É um solo extremamente arenoso apresentando, na profundidade de 50 cm, textura com 83,6% de areia, 4,4% de silte e 2,2% de argila (PRIANTE FILHO et al., 2004).

A região de Caxiuanã (PA) apresenta média pluviométrica de 2500 mm anual, com a estação seca nos meses de junho a setembro, e estação chuvosa de dezembro a março. A Floresta Nacional de Caxiuanã (área de proteção ambiental desde 1970), possui uma área de 33.000 hectares, apresentando relevo suave ondulado com terraços fluviais baixos junto aos cursos d'água, tipo de vegetação nativa é Floresta Ombrofila Densa (submontana) com temperatura média de 29° C. Os solos são caracterizados como Latossolo Amarelo (Oxisol) distrófico, Latossolo Vermelho distrófico, Gley pouco húmico e aluviais.

Em Manaus (AM) a precipitação média é de 2250 mm, composta de estação seca estendendo-se de julho a setembro e a estação chuvosa de dezembro a março. A vegetação de Manaus é classificada como floresta úmida densa, e de terra-firme (HIGUCHI et al., 1997; CLARK, 1996). A área de Manaus é constituída por platôs, vertentes e baixios em locais



dissecados pela rede hidrográfica, ligando-se por vertentes convexas a vales de fundo chato, (CHAUVEL, 1982). Os solos são compostos por Latossolos que correspondem a 40% dos solos da Amazônia, ocorrem em relêvos mais planos a suaves ondulados (CHAUVEL, 1982; PARROTA; FRANCIS; ALMEIDA, 1995; FERRAZ; OHTA; SALES, 1998). Nos platôs, os solos são classificados como Latossolo Amarelo álico, textura argilosa e encontra-se a floresta com maior biomassa, com dossel de 35 a 40 m. Encontra-se também nas vertentes solos Podzolicos-Vermelho Amarelo latossólico e nos baixios, se encontra o Podzol álico (LUCAS; CHAUVEL; BOULET; VEILLON 1987). De acordo com o novo sistema brasileiro de classificação de solos permanecem como LATOSSOLO, e as classes Podzolicos e Podzol são ARGISSOLOS e ESPODOSSOLO respectivamente (EMBRAPA, 1999).

A precipitação média anual em Santarém (PA) é de 2190 mm, com a estação seca (menos de 100 mm de chuva por mês) de julho a novembro de estação, e 4 meses de estação chuvosa (dezembro a março). A temperatura média anual é de 28°C. A vegetação é classificada como floresta úmida densa, e de terra-firme (HIGUCHI et al., 1997; CLARK; CLARK, 1994). Os solos são classificados como Latossolo Amarelo álico, textura argilosa. A área de floresta de terra-firme estudada encontra-se no km 67 da BR 163 (Cuiabá-Santarém) na FLONA-Tapajós.

### **2.2.3 Medidas de fluxo**

Os fluxos de CO<sub>2</sub> foram medidos nas estações seca e chuvosa durante um período médio de 10 dias em cada área experimental. Foram selecionados 16 pontos amostrais (em linha) e em cada ponto foi medido um transecto perpendicular à linha de 30 m, onde foram fixadas 8 câmaras aleatoriamente ao longo do transecto. Desta forma, em cada época de coleta, em cada uma das áreas, foram obtidas 128 amostras. Os fluxos foram medidos utilizando o método da câmara dinâmica, que se baseia na variação da concentração do gás no seu interior (DAVIDSON et al.,

2002), disposta sobre a superfície do solo em função do tempo. Para isso foram utilizadas câmaras de PVC, de formato cilíndrico, com 22 cm de altura e 25 cm de diâmetro. Para a determinação do fluxo, a câmara foi fixada na superfície do solo através de movimentos rotacionais, de forma a minimizar alterações na serapilheira ou no material orgânico da superfície do solo, e ao mesmo tempo, assegurar boa vedação. A profundidade de penetração da câmara no solo foi de aproximadamente 1 a 2 cm. Para o cálculo do fluxo de  $\text{CO}_2$  do solo foi necessário conhecer o volume exato da câmara, e todas as bases tiveram a sua altura medida até o solo em três pontos diferentes. Para se tomar as medidas do fluxo de  $\text{CO}_2$  foi feito um orifício para manter a pressão interna da câmara igualada à atmosférica. Para obter medições precisas em condições de campo foi feita calibração do instrumento (LICOR) com ar livre de  $\text{CO}_2$  (foi usado um cilindro de nitrogênio). Posteriormente, o sistema foi ligado a um fluxo de ar de concentração conhecida de  $\text{CO}_2$  (cilindro com gás padrão 375 ppm de  $\text{CO}_2$ ) permitindo assim, a acurácia do aparelho em campo.

Os fluxos de  $\text{CO}_2$  proveniente da respiração do solo foram medidos em intervalos de 5 minutos utilizando um analisador de gás infravermelho portátil modelo LI-820 (LICOR In.) A cada 15 segundos, a alteração na concentração do  $\text{CO}_2$  (ppm) era monitorada e armazenada em tempo real, utilizando um palmtop (HP M515 com software Datastick Graph-Term). Posteriormente, os dados foram transferidos para um computador portátil.

#### 2.2.4 Cálculo do fluxo

O fluxo de CO<sub>2</sub> na interface solo-atmosfera foi calculado através de regressão linear considerando a inclinação da curva após 5 minutos, sendo a equação:

$$F = (V/A) \delta (dC/dt)_{t=0} \quad \text{eq. (1)}$$

Onde:

V - é o volume interno da câmara acima da superfície do solo;

A - a área superficial do solo encoberta pela câmara;

$\delta$  - densidade do ar ajustada à temperatura do ar no momento da amostragem;

dC/dt- a inclinação da curva de variação de concentração do gás em função do tempo em t = 0.

#### 2.2.5 Temperatura do ar e do solo

A temperatura do solo foi obtida através da colocação de termômetro digital do tipo Taylor a 5 cm de profundidade (Figura 3) em três diferentes pontos ao lado da câmara. A medida de temperatura do ar foi estimada através desse mesmo termômetro colocado no topo da câmara a uma altura aproximadamente 20 cm do solo, logo após o fechamento da câmara. Paralelo a isso, foi feito medidas de altura para cada câmara.



Figura 3 – Medida da temperatura do solo e do ar termômetro (Taylor)

### 2.2.6 Coleta de serapilheira

Para a determinação da produção de serapilheira foram coletadas 3 amostras em cada um dos 16 pontos de amostragem com quadrante de 25 x 25 cm<sup>2</sup>, colocados aleatoriamente sobre a superfície do solo.

O material coletado foi armazenado em sacos de papel devidamente identificados, e levados ao laboratório para serem separados em folhas, galhos, flores e frutos, e levados para secagem em estufa até atingir o peso constante a 65 - 70 °C por 72 horas. Posteriormente foi realizada sua pesagem em balança digital (Marte, Modelo AL 200C, nº 253729).



Figura 4 – Coleta de serapilheira através de quadrante 25 x 25 cm

### 2.2.7 Coleta de solo

Foram feitas para cada área e para cada época de coleta 128 amostras de solos. As amostras de solo foram coletadas a uma profundidade de 0-10 cm com instrumento de coleta (trado) com diâmetro de 6 cm<sup>3</sup> (Figura 5). O solo foi coletado dentro das bases das câmaras, logo após as coletas de gases. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e posteriormente levadas ao laboratório para a pesagem (peso fresco). Em seguida foram colocadas em estufas a uma temperatura de 105 °C até atingir o peso constante, pesada novamente (peso seco) e feito a determinação da umidade gravimétrica.



Figura 5 – Coleta de amostras de solo (trado)

### 2.2.8 Coleta de raízes

A coleta de raízes seguiu os mesmos procedimentos das amostras de solos (Figura 6). No laboratório, foram primeiramente pesadas e em seguida lavadas com água deionizada, separadas em três peneiras modelo nalgene com malhas de diferentes tamanhos (2,0, 0,5 e 0,2 mm respectivamente) (Figura 7) para remover partículas do solo e material orgânico. As raízes foram então classificadas por diâmetro e classes ( $\leq 2\text{mm}$ , entre  $> 2$  e  $\leq 5\text{mm}$  e  $> 5\text{mm}$ ). Posteriormente com ajuda de uma lupa foi possível separá-las em vivas e mortas, baseada na aparência vigor e resistência (VOLGT; PERSSON, 1991) e finalmente foram colocadas em estufas a  $65\text{ }^\circ\text{C}$  durante 72 horas.



Figura 6 - Coleta de raízes



Figura 7 - Separação de raízes com Peneiras de diferentes malhas (2,0, 0,5 e 0,2 mm) (A). Classificação das raízes nas categorias: vivas e mortas (B)

### 2.2.9 Determinação do %C, % N, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ na serapilheira.

O material de serapilheira trazido para o laboratório primeiramente foi seco em estufa a 65 °C por 72h, e posteriormente foi moído (abaixo de 250 micras) e homogeneizado. Pesou-se 1-1,5 mg da amostra em cápsulas de estanho, que eram então encaminhadas a um analisador elementar (Carlo Erba, modelo EA 1110). Em seguida, foi queimada em meio oxidante, com os gases produzidos separados por cromatografia gasosa e quantificados por termcondutividade em um analisador elementar. O  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  foram determinados por espectrometria de massa para razões isotópicas (Finnigan Mat-Delta Plus) em gases provenientes diretamente do analisador elementar de C e N.



Figura 8 - Conjunto composto por Espectrômetro de massas, analisador elementar e pré-concentrador. Laboratório de Ecologia Isotópica, CENA/USP

O teor de C e N é reportado em porcentagem em massa da amostra analisada.

A razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  é expressa na forma  $\delta$  (‰), que é definida pela fórmula abaixo:

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \times 10^3 \quad \text{eq. (2)}$$

Onde:

R amostra é a razão isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  da amostra e

R padrão é a razão isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  do padrão.

O padrão é a rocha calcária da formação Pee Dee (PDB Peed Dee Belemnitella).

De forma semelhante utilizou-se o  $\delta^{15}\text{N}$  (‰), onde o R amostra é a razão isotópica  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  da amostra e R padrão é a razão isotópica  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  do padrão. O padrão é a abundância de  $^{15}\text{N}$  no ar atmosférico. A atropina foi utilizada como material de referência. O erro analítico aceitável para % C, % N,  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  foi de 3%, 3 %, 0,3 ‰ e 0,5 ‰, respectivamente.

### 2.2.10 Análises estatísticas

Para verificar os efeitos nas diferentes áreas experimentais e sua sazonalidade (variáveis independentes) sobre as estimativas de fluxo de  $\text{CO}_2$  (variáveis dependentes) foram utilizadas análises de variância com 2 fatores. Quando observado algum efeito, foram realizados teste de média (ANOVA) e posteriormente o teste Tukey.



Para as análises das relações características (umidade) do solo e da serapilheira (variáveis independentes) no fluxo de CO<sub>2</sub> (variáveis dependentes) foram utilizadas análises de regressão linear.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Systat 8.0 .

Os dados de fluxos de CO<sub>2</sub> utilizados para as regressões, juntamente com dados de temperatura, umidade, massa de serapilheira, massa de raízes, são médias de fluxos dos 16 pontos de amostragem. Os dados de fluxos de CO<sub>2</sub> apresentaram uma distribuição normal.

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Variação sazonal dos fluxos de CO<sub>2</sub>

Os fluxos de CO<sub>2</sub> provenientes do solo encontrado na região de Sinop nas estações seca e chuvosa oscilaram entre 0,76 e 7,74  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  e de 2,56 a 11,14  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; em Caxiuanã variaram entre 1,37 a 11,25  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  e 2,11 a 12,39  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; em Manaus variaram entre 2,32 a 12,78  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  e de 1,35 a 12,74  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  e em Santarém, os valores ficaram entre 1,06 a 7,66  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  e 1,85 a 12,38  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  respectivamente. O menor valor médio dos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo durante a estação seca foi encontrado em Santarém, e maior na região de Manaus. Para a estação chuvosa, a maior média do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo foi encontrada em Caxiuanã e a menor em Manaus, conforme mostra a Tabela: 1.

Tabela 1 - Fluxos médios e desvio padrão de CO<sub>2</sub> do solo das regiões de Sinop, Caxiuanã, Manaus e Santarém durante a estação seca e chuvosa ( $\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

<b>LOCAL</b>	<b>Estação seca</b>	<b>Estação chuvosa</b>
Sinop	3,03 $\pm$ 0,54 <sup>a</sup>	5,76 $\pm$ 1,08 <sup>a</sup>
Caxiuanã	5,07 $\pm$ 1,51 <sup>a</sup>	6,09 $\pm$ 1,40 <sup>a</sup>
Manaus	5,47 $\pm$ 1,12 <sup>a</sup>	5,44 $\pm$ 1,44 <sup>a</sup>
Santarém	2,90 $\pm$ 0,75 <sup>a</sup>	5,64 $\pm$ 0,54 <sup>a</sup>

\*Letras iguais na mesma linha significam não haver diferença significativas entre os valores (Test Tukey ;  $p < 0,05$ ).

De forma geral os fluxos de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera são maiores durante a estação chuvosa, sendo que a umidade e a temperatura do solo foram os principais condicionadores da produção do gás evidenciado pela (Figura 9). Em Sinop; Caxiuanã e Manaus os fluxos de CO<sub>2</sub> não apresentaram diferença significativamente entre as estações seca e chuvosa, o mesmo foi encontrado para Santarém.

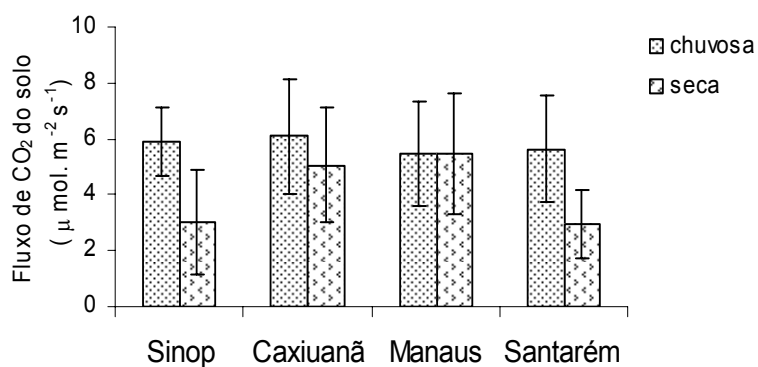


Figura 9 - Variação sazonal nos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo nas áreas de Sinop, Caxiuanã, Manaus, Santarém

Para a área de Manaus, considerando a topografia, não foram observadas diferenças significativas entre as médias do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo entre as estações seca e chuvosa (Tabela 2). Porém, o solo da vertente apresentou maior fluxo na estação chuvosa. O platô emitiu menor fluxo na estação seca, entretanto, na época seca o baixio contribuiu com maior fluxo de CO<sub>2</sub> (Figura 10).

Tabela 2 - Fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em diferentes posições topográfica de Manaus durante a estação seca e chuvosa (μmol.CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

Topografia	Estação seca	Estação chuvosa
Platô	4,99 ± 1,06 <sup>a</sup>	5,22 ± 1,92 <sup>a</sup>
Vertente	5,68 ± 1,60 <sup>a</sup>	6,04 ± 1,43 <sup>a</sup>
Baixio	5,84 ± 1,78 <sup>a</sup>	5,12 ± 1,25 <sup>a</sup>

\* Letras iguais na mesma linha significam não haver diferença significativas entre os valores (Test Tukey ; p < 0,05).

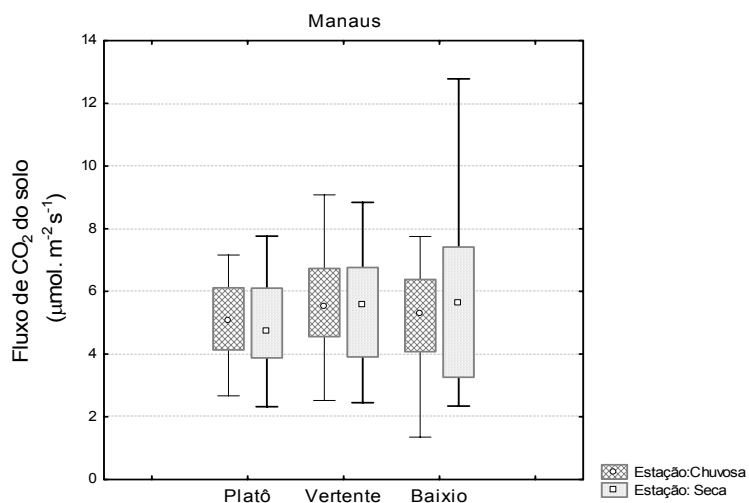


Figura 10 - Variação sazonal nos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo nas diferentes áreas topográficas de Manaus

### 2.3.2 Relação entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e temperatura do solo

De modo geral a temperatura do solo variou pouco tanto na estação seca como chuvosa. A temperatura do solo a 5 cm de profundidade nas diversas áreas foram diferentes com médias entre 25,8 ° e 26,5 ° C nas estações seca e chuvosa respectivamente como sugere a Tabela 3.

Tabela 3 - Variação de Temperatura do solo (°C) nas estações seca e chuvosa nas áreas de Sinop, Caxiuanã; Manaus, Santarém

Área de estudo	Estação seca		Estação chuvosa	
	Temp. Min (°C)	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	Temp. Max (°C)
Sinop	26,3	30,4	24,2	30,5
Caxiuanã	25,1	26,9	23,8	26,8
Manaus	25,6	29,5	23,8	25,8
Santarém	25,4	27,0	24,2	30,5

A relação entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e a temperatura do solo, nas estações estudadas, resultou em uma relação linear significativa para um nível de significância de 5%, apresentada nas Figuras 11 a 14 abaixo.

Para a região de Sinop na estação seca, a variação do fluxo de CO<sub>2</sub> com a temperatura do solo mostraram uma relação significativa ( $R^2 = 0,67$ ); o mesmo foi observado para a estação

chuvosa que apresentou uma relação estatisticamente significativa para um nível de significância de 5% conforme Figura 11.

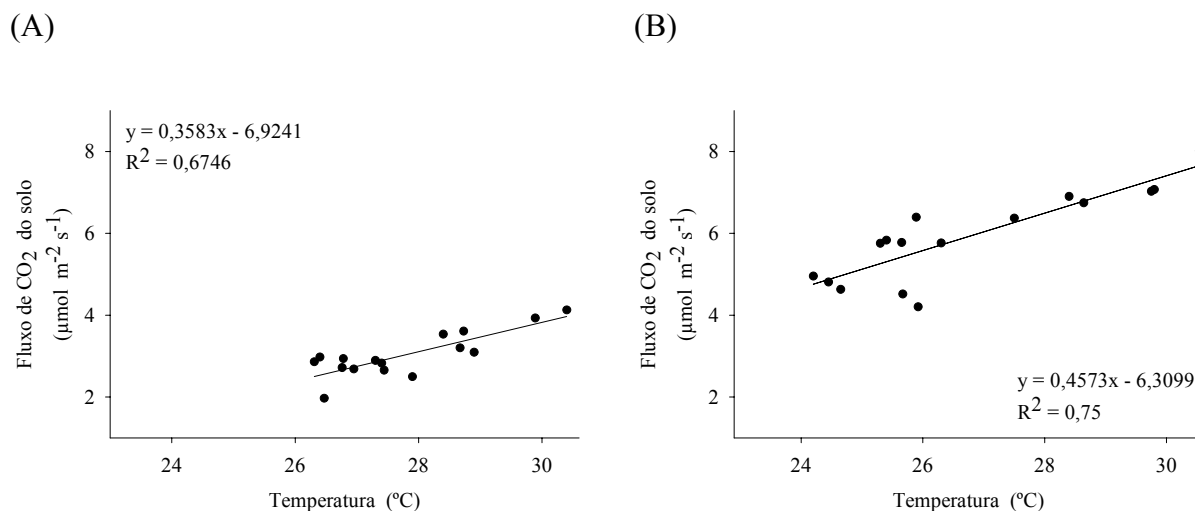


Figura 11 - Relação do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo com as temperaturas do solo em Sinop na estação seca (A) e na estação chuvosa (B)

Na região de Caxiuanã a variação do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo e da temperatura medida durante as estações seca (A) e chuvosa (B), apresentou uma relação estatisticamente significativa com ( $R^2 = 0,50$ ) e ( $R^2 = 0,75$ ), respectivamente.

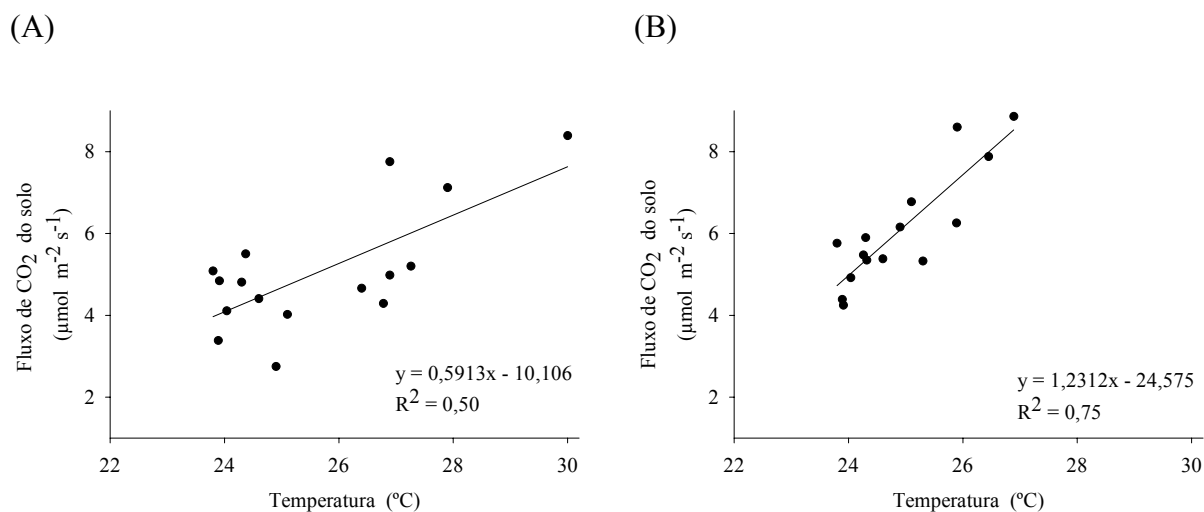


Figura 12 - Relação do fluxo de CO<sub>2</sub> com a temperatura do solo em Caxiuanã na estação seca (A) e na estação chuvosa (B)

Em Manaus durante a estação seca foi observada relação positiva ( $R^2 = 0,42$  a 5% de significância) entre o fluxo de  $\text{CO}_2$  e a temperatura do solo (Figura 13 (A)). O mesmo efeito foi observado durante a estação chuvosa  $p < 0,05$  ( $R^2 = 0,33$ ) como visto na Figura 13 (B).

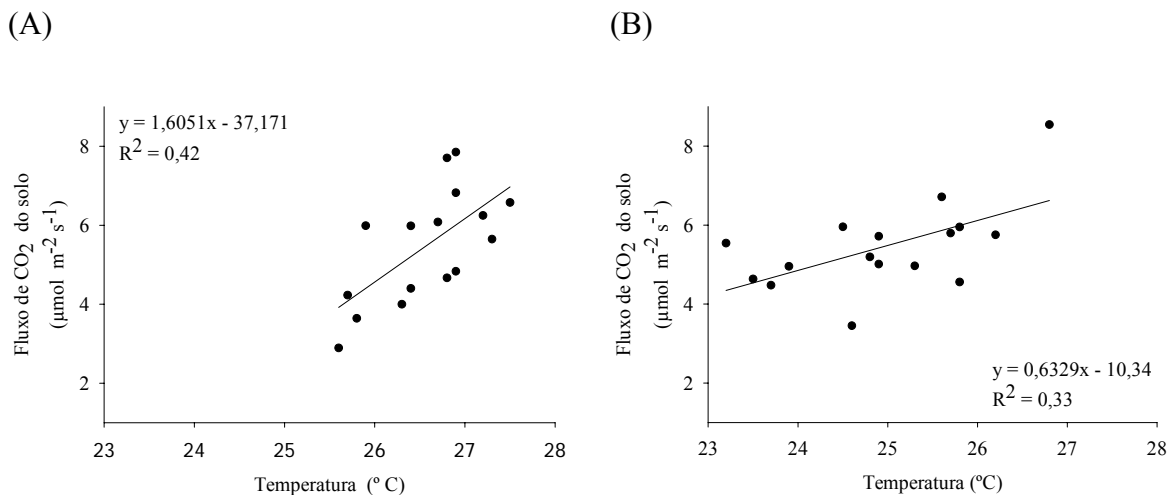


Figura 13 - Relação do fluxo de  $\text{CO}_2$  com a temperatura do solo em Manaus na estação seca (A) e estação chuvosa (B)

Em Santarém, a relação entre a temperatura e o fluxo de  $\text{CO}_2$  durante a estação seca não foi significativa 14 (A). Somente foi observada relação significativa durante a estação chuvosa Figura 14 (B).

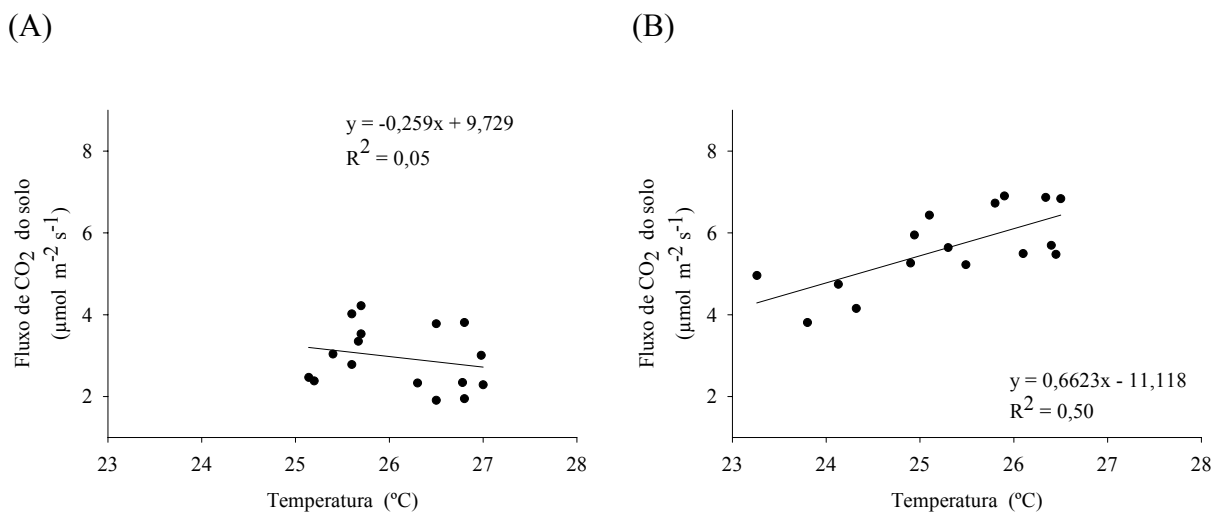


Figura 14 - Relação do fluxo de  $\text{CO}_2$  com a temperatura do solo em Santarém na estação seca (A) e na estação chuvosa (B)

### 2.3.3 Relação entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e umidade do solo

Na região de Sinop, durante as estações seca e chuvosa (Figuras 15A e 15B, respectivamente), foram encontradas relações significativas entre as médias do fluxo de CO<sub>2</sub> e umidade do solo ( $p < 0,05$ ).

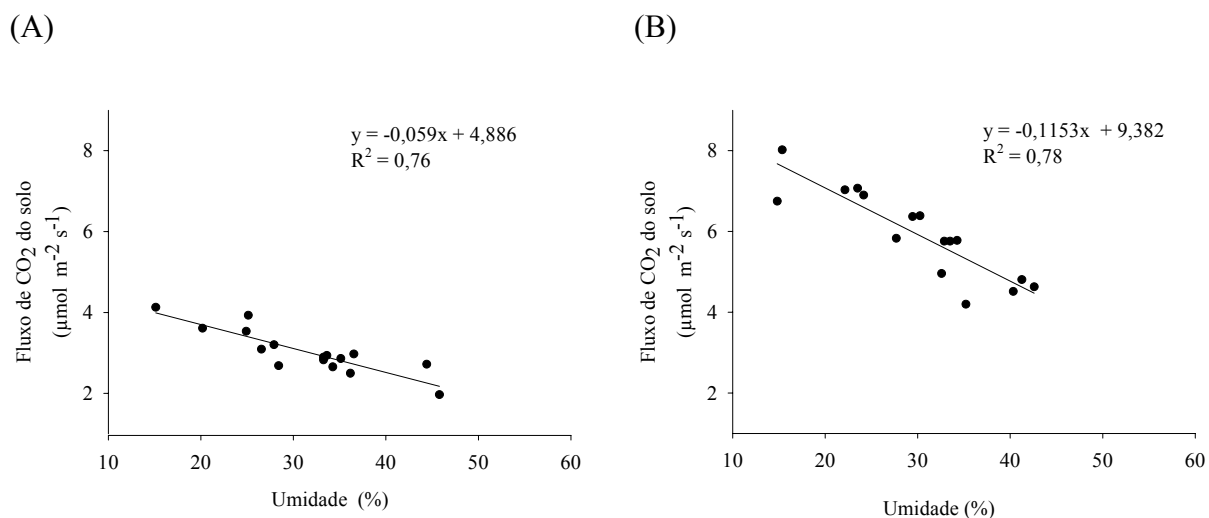


Figura 15 -Relação das médias entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e umidade do solo em Sinop na estação seca (A) e estação chuvosa (B)

Na região de Caxiuanã, o fluxo de CO<sub>2</sub> e a umidade do solo durante a estação seca (A), apresentaram uma relação positiva, com  $R^2 = 0,83$  ( $p < 0,05$ ). O mesmo foi verificado durante a estação chuvosa, (B) com  $R^2 = 0,49$   $p < 0,05$ .

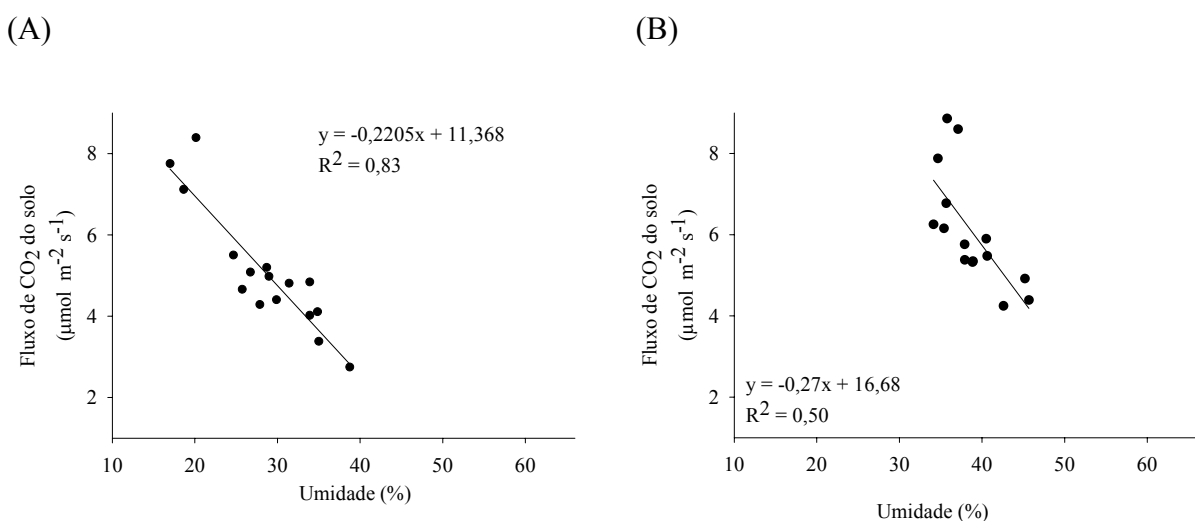


Figura 16 - Relação das médias entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e umidade do solo em Caxiuanã na estação seca (A) e estação chuvosa (B)

Em Manaus durante a estação seca (A), observou-se uma relação significativa com um coeficiente de determinação significativo  $p < 0,05$ . Durante a estação chuvosa (B) o fluxo de  $\text{CO}_2$  e a umidade do solo, mostraram relações significativas entre as variáveis ( $R^2 = 0,60$ ).

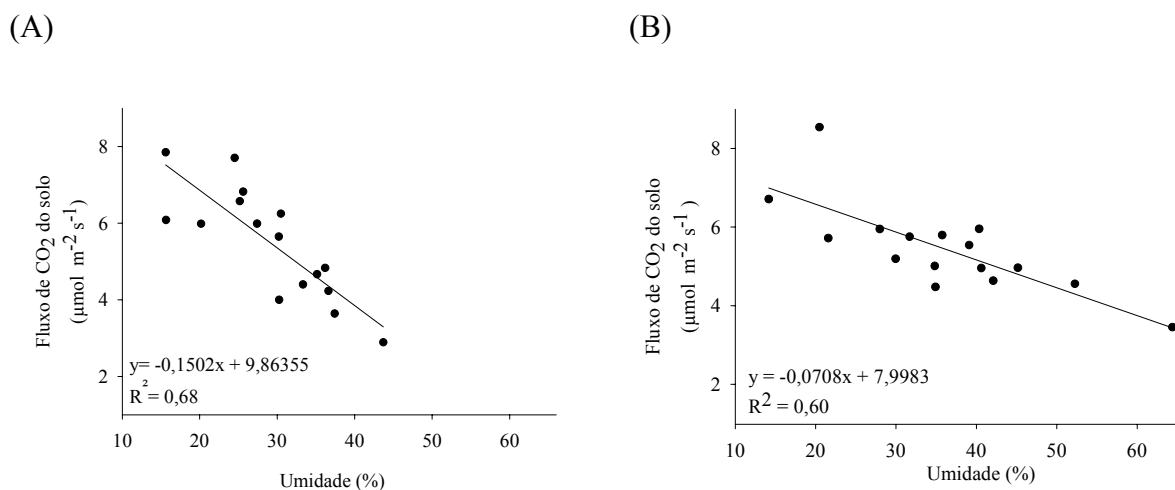


Figura 17 - Relação das médias entre o fluxo de  $\text{CO}_2$  e umidade do solo em Manaus na estação seca (A) e estação chuvosa (B)

Para a região de Santarém, durante estação seca (A), os valores do fluxo de  $\text{CO}_2$  e umidade do solo apresentaram relação significativa entre essas variáveis ( $R^2 = 0,66$ ) e  $p < 0,05$ . Na estação chuvosa, (B) observa-se o mesmo efeito, porém, com coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,30$ ).

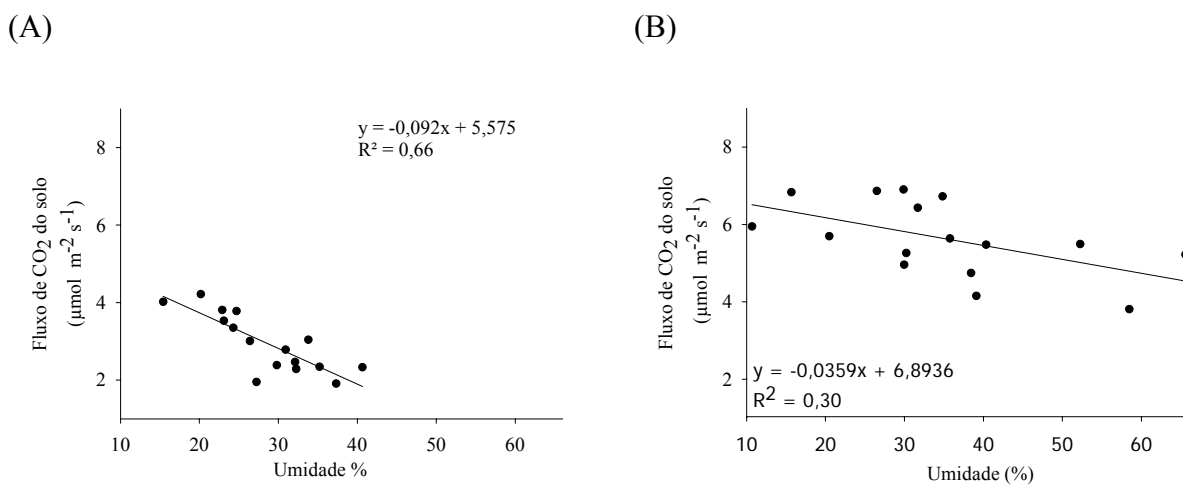


Figura 18 - Relação das médias entre o fluxo de  $\text{CO}_2$  e umidade do solo em Santarém na estação seca (A) e estação chuvosa (B)



### 2.3.4 Estoques de serapilheira

A maior média encontrada para o estoque de serapilheira entre as áreas estudadas foi observada em Caxiuanã, e a menor em Santarém durante a estação seca. Para a estação chuvosa o maior valor encontrado foi para área de Manaus e o menor em Santarém, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Estoques de serapilheira sobre o solo nas estações seca e chuvosa em Sinop, Caxiuanã, Manaus e Santarém em  $\text{Mg ha}^{-1}$

Local	Estação seca	Estação chuvosa
Sinop	$7,85 \pm 1,47^a$	$6,47 \pm 2,54^a$
Caxiuanã	$9,48 \pm 1,66^a$	$7,37 \pm 2,34^b$
Manaus	$8,98 \pm 1,85^a$	$7,52 \pm 1,85^b$
Santarém	$7,37 \pm 3,53^a$	$6,15 \pm 1,56^a$

\* Letras diferentes significam diferenças significativas entre valores na mesma linha (Test Tukey;  $p < 0,05$ ).

Nas áreas de Caxiuanã e Manaus foi observada variação sazonal do estoque de serapilheira sendo o maior estoque verificado na estação seca, houve diferença significativa das referidas áreas entre as estações seca e chuvosa ( $p < 0,05$ ), no entanto, nas demais regiões não foram observadas nenhuma diferença como mostra a Figura 19.

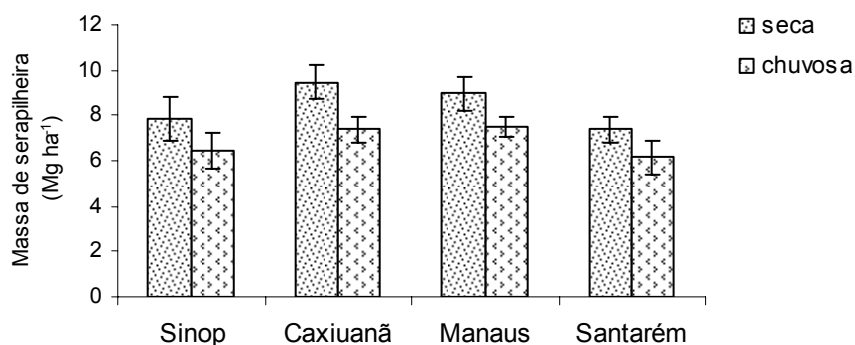


Figura 19 - Estoque total de serapilheira sobre o solo durante as estações seca e chuvosa nas áreas de Sinop, Caxiuanã, Manaus, Santarém

Para os pontos amostrais em Sinop o estoque de serapilheira oscilou entre 4,65 Mg ha<sup>-1</sup> e 10,56 Mg ha<sup>-1</sup> durante a estação seca; e durante a estação chuvosa a variação foi de 4,02 Mg ha<sup>-1</sup> a 16,24 Mg ha<sup>-1</sup>. Não foi observada diferença estatística entre as estações ( $p < 0,05$ ) Figura 20.

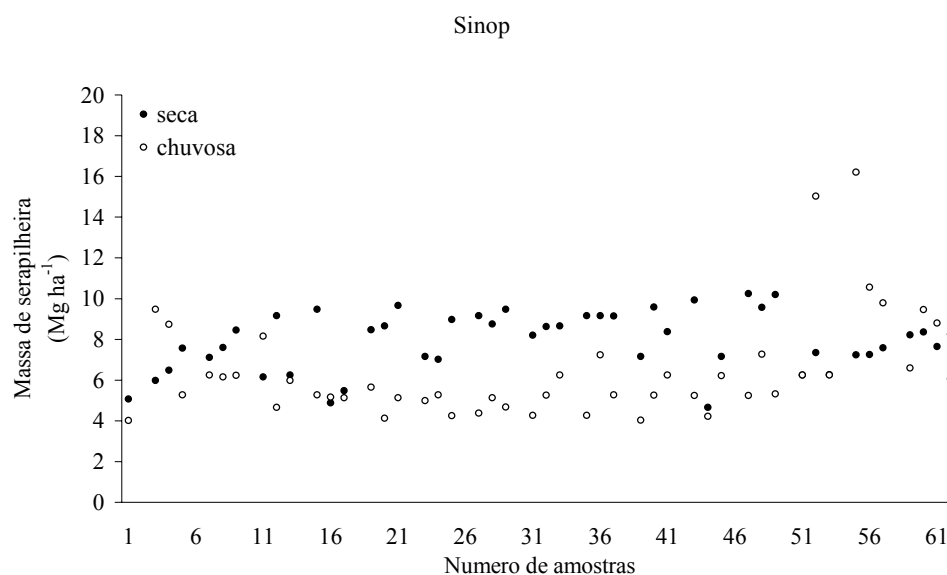


Figura 20 - Variação espacial do estoque de serapilheira nos pontos amostrais em Sinop

Em Caxiuanã, o estoque de serapilheira nos pontos amostrais variou entre 13,04 Mg ha<sup>-1</sup> a 6,15 Mg ha<sup>-1</sup> durante a estação seca, e durante a estação chuvosa a variação foi entre 12,59 Mg ha<sup>-1</sup> a 3,20 Mg ha<sup>-1</sup>, não foi observada diferença estatística  $p < 0,05$  entre as estações (Figura 21).

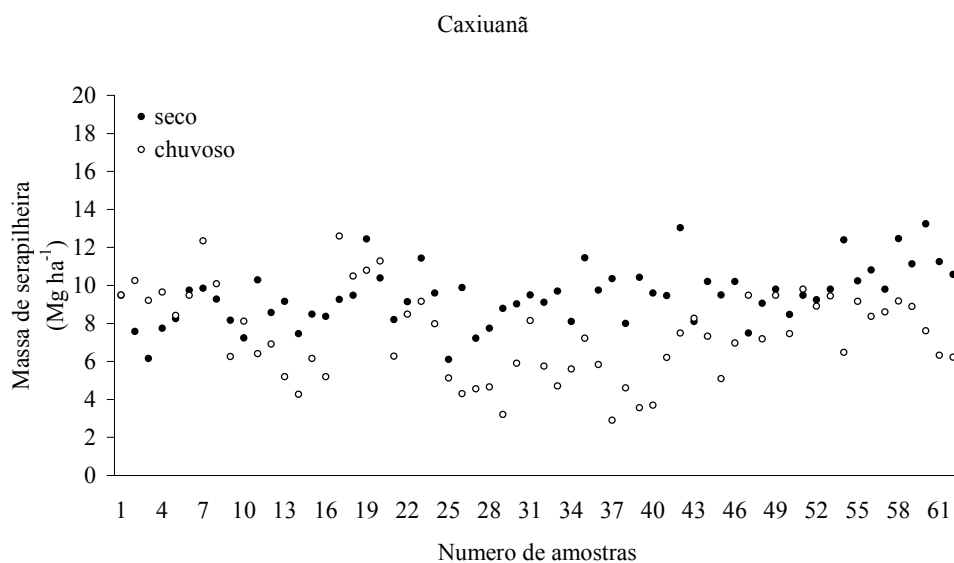


Figura 21 - Variação espacial do estoque de serapilheira nos pontos amostrais em Caxiuana

A Variação espacial do estoque de serapilheira nos pontos amostrais da região de Manaus oscilou entre 17,27 Mg ha<sup>-1</sup> a 4,53 Mg ha<sup>-1</sup> durante a estação seca, e durante a estação chuvosa a variação foi entre 9,75 Mg ha<sup>-1</sup> a 3,45 Mg ha<sup>-1</sup>, não foi observado diferença estatística  $p < 0,05$  entre as estações conforme Figura 22.

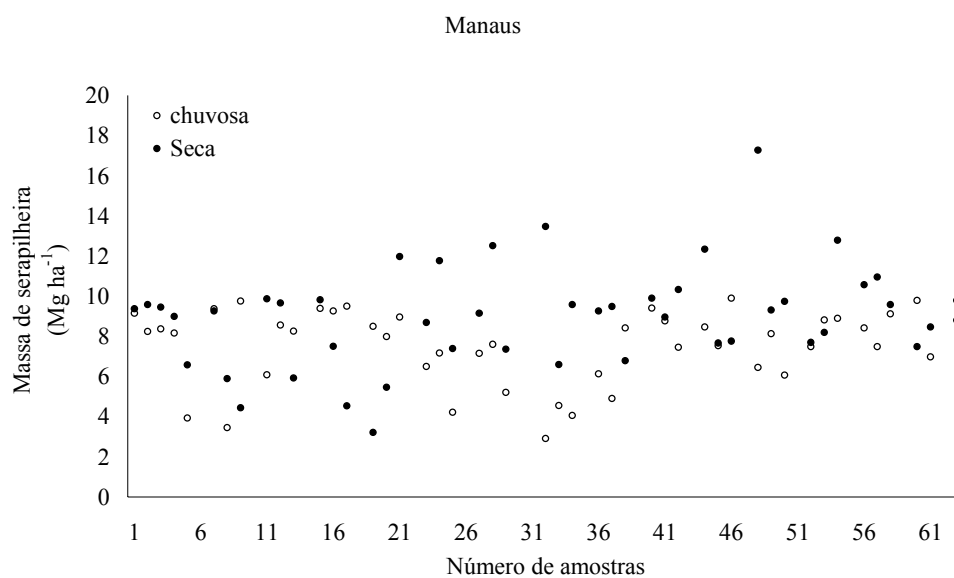


Figura 22 - Variação espacial do estoque de serapilheira nos pontos amostrais em (Manaus)

Paras a região de Santarém os valores oscilaram entre 15,26 Mg ha<sup>-1</sup> a 4,58 Mg ha<sup>-1</sup> durante a estação seca, e durante a estação chuvosa a variação foi de 9,48 Mg ha<sup>-1</sup> a 3,60 Mg ha<sup>-1</sup>, não foi observado diferença estatística  $p < 0,05$  entre as estações Figura 23.

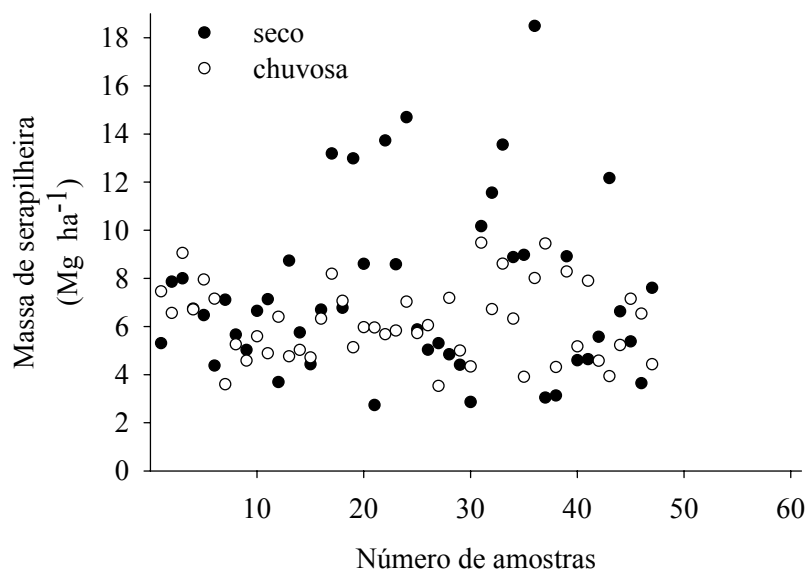


Figura 23 - Variação sazonal do estoque de serapilheira nos pontos amostrais em Santarém

### 2.3.5 Composição isotópica da serapilheira, %C, %N, e relação C/N

Para região de Sinop, observou-se diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na porcentagem de carbono entre as estações seca e chuvosa. Para a mesma região, o conteúdo percentual de nitrogênio não apresentou diferença entre as estações. Porém, a relação C/N teve efeito sazonal ( $p < 0,05$ ). Não foi observada diferença significativa para os valores da composição isotópicas  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  entre as estações. Em Caxiuanã, a porcentagem de carbono diferiu significativamente entre as estações; o mesmo não foi observado para porcentagem de nitrogênio, relação C/N,  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ . Na região de Manaus, foi encontrada a maior porcentagem de carbono na estação seca, diferindo significativamente da estação chuvosa (Tabela 5,  $p < 0,05$ ), o mesmo não encontrado para o percentual de nitrogênio e relação C/N, no entanto, foi à região que apresentou maior valor

tanto na estação seca como chuvosa. Não foi observada diferença significativa dos valores da composição isotópicas  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ . Em Santarém a porcentagem de carbono não apresentou nenhuma diferença significativa entre as estações seca e chuvosa, assim como para os valores percentuais de nitrogênio, relação C/N,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ . Porém, os maiores valores percentuais de nitrogênio e de  $\delta^{15}\text{N}$  foram encontrado tanto na estação seca como na estação chuvosa.

Tabela 5 - Percentagem de carbono (%C), percentagem de nitrogênio (%N), razão C/N, composição isotópica do Nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) e do Carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da serapilheira durante as estações seca e chuvosa

Estação	Sítio	%C	%N	C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Seca	Sinop	46,8 ± 2,0 <sup>a</sup>	1,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	29,4 ± 4,1 <sup>a</sup>	3,9 ± 0,8 <sup>a</sup>	-30,7 ± 0,4 <sup>a</sup>
	Caxiuanã	47,8 ± 1,2 <sup>a</sup>	1,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	23,4 ± 3,0 <sup>a</sup>	2,7 ± 2,0 <sup>a</sup>	-29,3 ± 0,5 <sup>a</sup>
	Manaus	48,8 ± 1,7 <sup>a</sup>	1,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	34,0 ± 5,5 <sup>a</sup>	2,5 ± 2,1 <sup>a</sup>	-30,9 ± 0,6 <sup>a</sup>
	Santarém	43,9 ± 2,5 <sup>a</sup>	1,9 ± 0,2 <sup>a</sup>	22,1 ± 3,2 <sup>a</sup>	7,0 ± 0,6 <sup>a</sup>	-29,5 ± 0,7 <sup>a</sup>
Chuvosa	Sinop	44,8 ± 0,7 <sup>b</sup>	1,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	25,2 ± 2,9 <sup>b</sup>	4,0 ± 0,7 <sup>a</sup>	-30,8 ± 0,7 <sup>a</sup>
	Caxiuanã	44,6 ± 2,0 <sup>b</sup>	2,2 ± 0,3 <sup>a</sup>	22,4 ± 2,4 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,9 <sup>a</sup>	-30,5 ± 0,6 <sup>a</sup>
	Manaus	45,6 ± 3,1 <sup>b</sup>	1,4 ± 0,1 <sup>a</sup>	33,7 ± 6,8 <sup>a</sup>	2,9 ± 1,9 <sup>a</sup>	-30,4 ± 0,8 <sup>a</sup>
	Santarém	44,2 ± 1,9 <sup>a</sup>	2,1 ± 0,2 <sup>a</sup>	21,8 ± 2,5 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	-30,4 ± 0,6 <sup>a</sup>

\* Letras diferentes entre períodos significam diferenças significativas para cada parâmetro (Test Tukey;  $p < 0,05$ ).

### 2.3.6 Fitomassa de raízes

A maior concentração de massa de raízes, de um modo geral, foi durante a estação seca para todas as áreas em estudo, sendo maior na área de Sinop e menor em Manaus. Já na estação chuvosa, Santarém obteve a maior massa raiz e Manaus, a menor (Tabela 6).

Tabela 6 - Média e desvio padrão da massa de raízes ( $\text{g m}^{-2}$ ), nas diferentes regiões durante as estações seca e chuvosa

Local	Estação seca	Estação chuvosa
Sinop	391 ± 0,91 <sup>a</sup>	274 ± 0,57 <sup>b</sup>
Caxiuanã	311 ± 1,10 <sup>a</sup>	231 ± 0,68 <sup>a</sup>
Manaus	194 ± 1,32 <sup>a</sup>	160 ± 1,19 <sup>a</sup>
Santarém	375 ± 0,86 <sup>a</sup>	277 ± 0,82 <sup>b</sup>

\* Letras diferentes significam diferenças significativas entre valores na mesma linha (Test Tukey;  $p < 0,05$ ).

Os maiores estoques de fitomassa das raízes foram observadas em Sinop e Santarém durante as estações seca e chuvosa diferindo significativamente entre si, e o menor estoque foi observado em Manaus tanto para seca como para a estação chuvosa, conforme mostra a Figura 24.

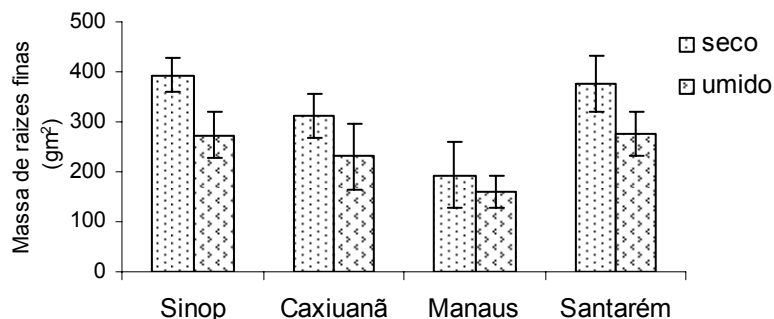


Figura 24 - Variação sazonal na fitomassa de raízes nos de Sinop, Caxiuanã, Manaus, Santarém, durante a estação seca e chuvosa.

Observou-se maior quantidade de raízes vivas na região de Sinop e Caxiuanã e de raízes mortas nas áreas de Sinop e Santarém, não foi verificada diferença significativa entre raízes vivas e mortas, conforme são mostradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Média e desvio padrão da fitomassa de raízes vivas e mortas Mg ha<sup>-1</sup> estação seca

Local	Viva	Morta
Sinop	4,25 ±0,89 <sup>a</sup>	3,33 ±0,67 <sup>a</sup>
Caxiuanã	3,62 ±0,53 <sup>a</sup>	2,80 ±1,26 <sup>a</sup>
Manaus	2,22 ±0,47 <sup>a</sup>	3,05 ±2,44 <sup>a</sup>
Santarém	3,42 ±0,48 <sup>a</sup>	3,91 ±0,99 <sup>a</sup>

\* Letras iguais na mesma linha significam que não há diferenças significativas entre valores (Test Tukey; p< 0,05).

Variação sazonal no estágio de fitomassa de raízes vivas e mortas, foi de 3,00 a 5,90 e de 2,28 a 4,22 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente em Sinop; de 3,21 a 4,36 e de 1,26 a 5,26 Mg ha<sup>-1</sup> em Caxiuanã; de 1,96 a 3,26 e de 0,77 a 8,70 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente em Manaus; de 2,65 a 4,21 e

de 2,98 a 5,26 Mg ha<sup>-1</sup> em Santarém. Houve maior quantidade de raízes mortas do que vivas durante a estação seca nas regiões de Manaus e Santarém. Não foram observadas diferenças estatísticas entre as regiões (ANOVA <0,05) (Figura 25).

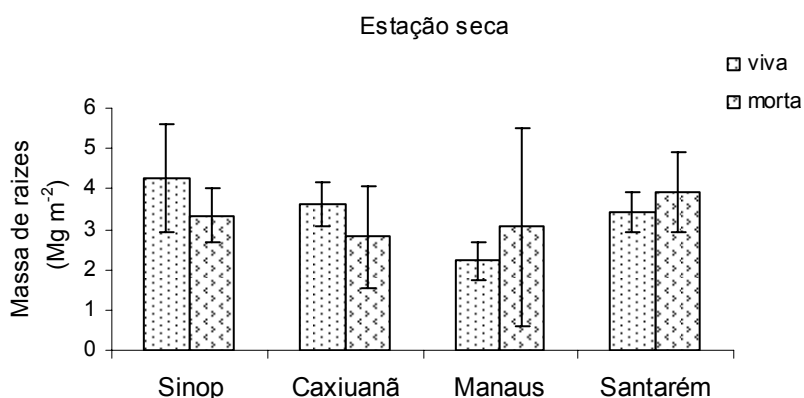


Figura 25 - Variação sazonal no estágio de fitomassa de raízes Sinop, Caxiuanã Manaus, Santarém, (estação seca)

Nas áreas de Manaus e Sinop, foram verificadas maiores quantidades de raízes vivas. E maiores quantidades de raízes mortas nas áreas de Santarém e Sinop como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Média e desvio padrão da fitomassa de raízes vivas e mortas Mg ha<sup>-1</sup> estação chuvosa

Local	Viva	Morta
Sinop	2,77 ±0,36 <sup>a</sup>	2,70 ±0,75 <sup>a</sup>
Caxiuanã	2,66 ±0,39 <sup>a</sup>	2,09 ±0,75 <sup>a</sup>
Manaus	3,80 ±1,88 <sup>a</sup>	1,52 ±0,42 <sup>b</sup>
Santarém	2,73 ±0,46 <sup>a</sup>	2,80 ±1,11 <sup>a</sup>

\* Letras diferentes significam diferenças significativas entre valores na mesma linha (Test Tukey; p< 0,05).

A variação sazonal da fitomassa de raízes vivas e mortas variaram em Sinop de 2,31 a 3,23 e 1,87 a 3,75 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente; em Caxiuanã de 2,35 a 3,15 Mg ha<sup>-1</sup> e 1,36 a 3,25 Mg ha<sup>-1</sup>; Manaus de 1,01 a 2,06 e de 7,63 a 2,37 Mg ha<sup>-1</sup> e Santarém de 2,65 a 3,25 e 1,26 a 4,26 Mg ha<sup>-1</sup> indicando que houve maior quantidade de raízes vivas do que mortas durante a estação

chuvosa exceto em Santarém. Os dados obtidos em Manaus mostraram diferença estatística  $p < 0,05$ , porém, não foi observado diferenças estatísticas nas demais regiões (ANOVA  $< 0,05$ )

Figura 26.

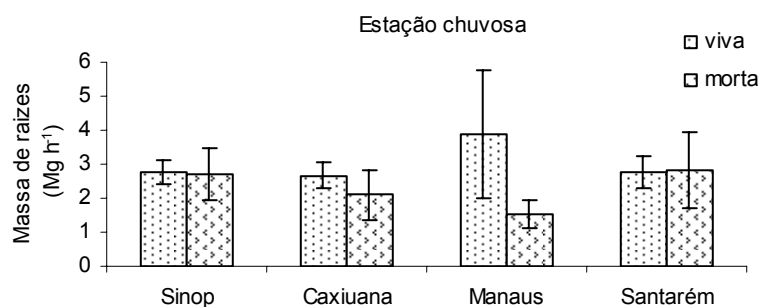


Figura 26 - Variação sazonal no estágio de fitomassa de raízes Sinop, Caxiuana, Manaus, Santarém, (estação chuvosa)

A fitomassa de estoque de raízes em Sinop (Figura 27) nos pontos amostrais variou entre 590 a 286  $\text{gm}^2$  durante a estação seca. Durante a estação chuvosa a variação foi entre 368 a 187  $\text{gm}^2$ , não foi observada diferença estatística ( $P = < 0,05$ ) entre as estações.

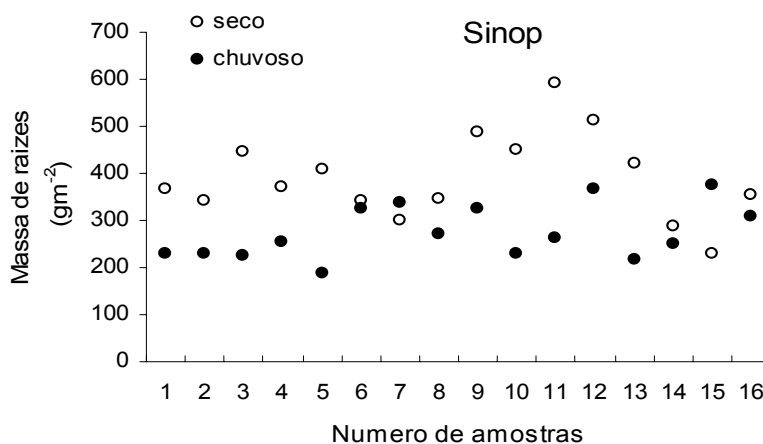


Figura 27 - Variação espacial no estoque de raízes nos pontos amostrais (Sinop)



Em Caxiuanã, durante as estações seca e chuvosa os valores da fitomassa de raízes oscilaram entre 526 a 126  $\text{gm}^2$  e 326 a 136  $\text{gm}^2$ , respectivamente não foi observado diferença estatística ( $P < 0,05$ ) Figura 28.

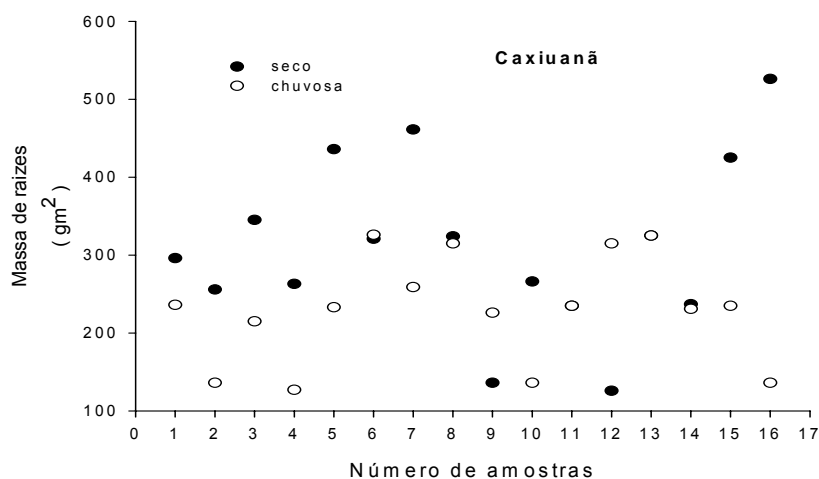


Figura 28 - Variação espacial na fitomassa de raízes nos pontos amostrais (Caxiuanã)

Em Manaus os valores do estoque de raízes oscilaram de 870 a 116  $\text{gm}^2$  durante a estação seca e de 763 a 104  $\text{gm}^2$  na chuvosa. Não foram observadas diferenças estatísticas entre as estações Figura 29.

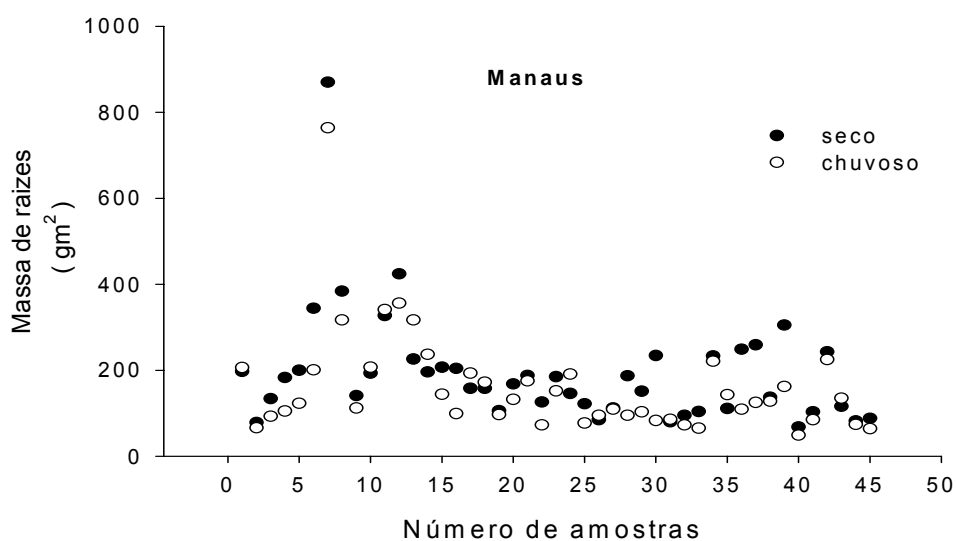


Figura 29 - Variação sazonal na fitomassa de raízes nos pontos amostrais (Santarém)

Os valores médios da fitomassa de raízes para a região de Santarém, oscilaram entre 526 a 236  $\text{gm}^2$  durante a estação seca, e durante a estação chuvosa de 426 a 126  $\text{gm}^2$ , (Figura 30). Não observado diferenças estatística entre si ( $p < 0,05$ ).

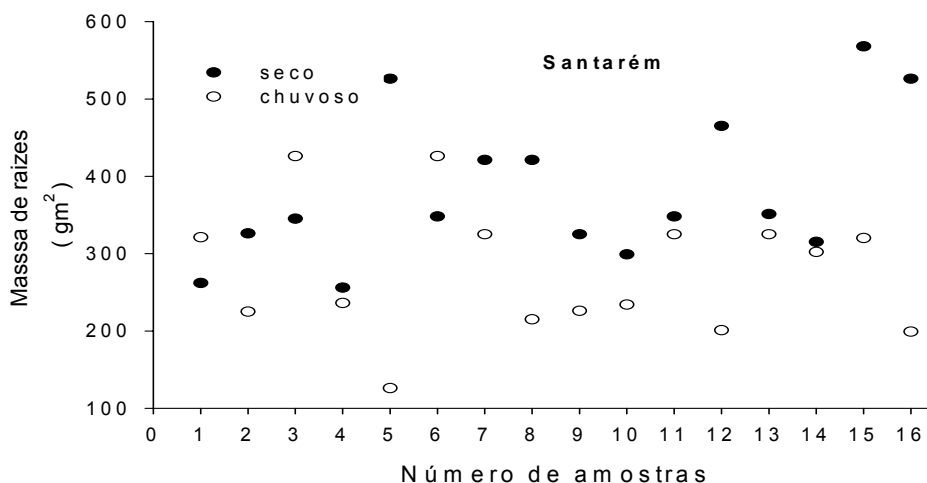


Figura 30 - Variação sazonal na fitomassa de raízes nos pontos amostrais (Santarém)

## 2.4 Discussão

### 2.4.1 Variação da sazonal dos fluxos de CO<sub>2</sub>

Neste estudo, os trabalhos foram feitos em épocas e locais deferentes, e os fluxos se comportaram bem distintos seguindo a peculiaridade de cada região. Os maiores fluxos foram encontrados durante estação chuvosa (novembro – maio) com picos de fevereiro a março. Nas áreas mais secas (Sinop e Santarém) o fluxo de CO<sub>2</sub> chegou a dobrar em relação à estação chuvosa. Portanto, é nítida a variação espacial e sazonal dos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo em resposta às mudanças na temperatura e umidade do solo, refletindo alterações químicas que compõem os processos respiratórios que ocorrem simultaneamente em diferentes profundidades dentro do perfil do solo. O mesmo padrão foi observado por DAVIDSON et al., (2000), e também por

FERNANDES et al., (2002) que, segundo a variação espacial do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, pode ser explicada provavelmente pela distribuição das raízes nas camadas do solo.

Em comparação aos locais de estudo, houve influência marcante da sazonalidade. No entanto, nenhuma diferença foi observada nos fluxos medidos em Manaus nas estações seca e chuvosa (Figura 9). Isso pode ser explicado porque a estação seca foi marcada por altos índices pluviométricos (dados não mostrados). Neste caso, Chambers et al. (2000) estudaram os fluxos de CO<sub>2</sub> na estação seca bem definida e encontraram valores 1,7 vezes menores que o observado no presente trabalho. Os resultados também são semelhantes às médias encontradas por TRUMBORE et al., (1995), MEIR et al., (1996), DAVIDSON et al., (2000), e CHAMBERS et al., (2004). Nestes, a respiração de solo (R<sub>s</sub>) para uma temperatura entre 22°C e 25°C variou entre 3,2 e 6,2 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, sugerindo que 50 - 80% da respiração total vem do solo (MEIR et al., 1996; MALHI et al., 1998; CHAMBERS et al., 2004), tornando-se um grande componente de respiração do ecossistema na floresta Amazônica.

A região de Manaus apresenta peculiaridade marcante diferente das demais regiões - a topografia. Comparando-se as diferentes topografias, o solo de vertente emitiu maior fluxo de CO<sub>2</sub> (6,04 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), similar ao encontrado por Souza (2004), (6,11 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), que segundo esse autor, reflete as melhores condições físicas do solo (melhor drenagem), que aquelas do platô e baixio, e desta forma, propiciam um melhor ambiente à atividade aeróbica. Entretanto, o solo de baixio apresentou valores maiores que as demais posições topográficas na estação seca (5,84 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Segundo Souza (2004), a existência de uma floresta de campinarana neste local, caracterizado por árvores com folhas coreáceas de alta relação C/N (baixa decomposição), forma uma espessa camada de material orgânico e de raízes sobre a superfície do solo, contribuindo desta forma para esse aumento. E de acordo com Raich;

Sclesinger (1992) há uma correlação muito próxima entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e esse tipo de vegetação.

Conforme os dados apresentados na Tabela 1 ficam evidentes as diferenças regionais nos fluxos de CO<sub>2</sub>. Durante a estação seca, Santarém e Sinop apresentaram os menores valores quando comparados às outras regiões. Tal diferença pode ser explicada pela diferença na qualidade do material orgânico depositado no solo, que são determinadas por características intrínsecas da região e da vegetação local.

Em Caxiuanã os resultados estão próximos aos encontrados por Sotta et al., (2002) (4,17 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e são semelhantes aos fluxos obtidos em Manaus durante a estação seca. Além disso, essa região apresenta topografia menos acidentada que Manaus.

Ao compararmos os resultados obtidos neste estudo com outros autores (Tabela 9) que fizeram trabalhos semelhantes na Amazônia, mesmo com metodologias diferenciadas, locais e anos diferentes, podemos observar que há variações do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo entre as diferentes áreas da Amazônia.

Os resultados do presente estudo para as regiões de Sinop (MT), Manaus (AM), Santarém (PA) estão próximos aos encontrados (SOUZA; 2004 VALENTINE; 2004; MEIR et al., 1996) e são maiores que encontrados por (WOFSY et al., 1998; NUNES 2003; CHAMBER et al., 2002). Entretanto, foram menores do que os observados por (TRUMBORE et al., 1995; SOTTA et al., 2004). Para a região de Caxiuanã, observou-se neste estudo fluxo médio de 6,09 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, semelhantes aos encontrados por (TRUMBORE et al., 1995; SOTTA et al., 2004); no entanto, maiores que os observados por (WOFSY et al 1998; NUNES 2003; CHAMBER et al., 2002; MEIR et al., 1996).

Tabela 9 - Médias comparativas de fluxos de CO<sub>2</sub> do solo desenvolvidos em diversas áreas da região Amazônia

FONTE: Adaptado de Nunes (2003) e Sotta (2004)

<b>Autor</b>	<b>Local</b>	<b>Médias (<math>\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}</math>)</b>	<b>Metodologia</b>
Coutinho & Lamberti (1971)	Barcelos, AM, Brasil	7,64	SoluçãoKOH 0,5 N
Martins & Matthes (1978)	Manaus, AM, Brasil	3,80	SoluçãoKOH 0,5 N
Medina et al., (1980)	San Carlos Venezuela	7,20	SoluçãoKOH 0,5 N
Kleper et al., 1990	Manaus, AM, Brasil	4,70	IRGA câmara estática
Wofsy et al., (1998)	Reserva Ducke, AM, Brasil	4,50	IRGA câmara dinâmica
Meir et al., (1996)	Reserva Jarú, RO, Brasil	5,50	IRGA câmara dinâmica
Trumbore et al., (1995)	Paragominas PA Brasil	6,10	IRGA câmara dinâmica
Chamber et al., (2002)	Manaus, AM, Brasil	3,20	IRGA câmara dinâmica
Nunes (2003)	Juruena MT Brasil	4,25	IRGA câmara dinâmica
Sotta et al., (2004)	Manaus, AM, Brasil	6,40	IRGA câmara dinâmica
Souza 2004 (Tese de Mestrado)	Manaus, AM, Brasil	5,76	IRGA câmara dinâmica
Valentine 2004 (Tese de Mestrado)	Sinop MT Brasil	5,30	IRGA câmara dinâmica
Presente estudo	Sinop MT Brasil	5,76	IRGA câmara dinâmica
Presente estudo	Caxiuanã PA, Brasil	6,09	IRGA câmara dinâmica
Presente estudo	Manaus, AM, Brasil	5,44	IRGA câmara dinâmica
Presente estudo	Santarém, PA, Brasil	5,64	IRGA câmara dinâmica

#### **2.4.2 Relação entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e temperatura do solo**

Considerando que a temperatura é um fator determinante na respiração do solo, pelo fato de acelerar as atividades microbianas do solo, terá por sua vez, forte influência na emissão de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera. No presente estudo, as correlações entre a temperatura e fluxo de CO<sub>2</sub> foram evidentes em todas as áreas estudadas. A temperatura do solo teve relação significativa com os fluxos ( $p < 0,05$ ) em Sinop, onde foi encontrada temperatura mais elevada em comparação às outras regiões, onde o solo é bastante arenoso e a baixa fertilidade natural do solo implica em uma dinâmica diferenciada na ciclagem de nutrientes. Sendo assim, a temperatura pode estar atuando de forma mais efetiva acelerando o processo de decomposição, implicando em um retorno nutricional mais rápido para garantir a sustentabilidade do ecossistema.

Para as demais áreas estudadas, no geral, foi observado que a temperatura se altera em curtos intervalos de tempo, onde as variações diurnas dos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo seguem os mesmos padrões observados por Singh; Gupta (1978), que atribuem para as flutuações diárias no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, principalmente às mudanças de temperatura. Outro importante fator observado foi o efeito da cobertura vegetal da superfície do solo que foi capaz de modificar o regime térmico do solo, tanto para aumentar quanto para diminuir a temperatura do solo.

Assim como neste estudo, outros estudos encontraram relação significativa entre a temperatura e fluxo de CO<sub>2</sub> (CHAMBER et al., 2004; KANG et al., 2003; PUMPANEM 2003). Entretanto, (LA SCALA jr. et al., 2000; YIM; JOO; NAKANE 2002) não encontraram relação significativa por causa da baixa variabilidade de temperatura. Como Yim; Joo; Nakane (2002)

avaliaram a variabilidade espacial, propuseram que a temperatura do solo estaria correlacionada com a variabilidade temporal do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo.

### **2.4.3 Relação entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e umidade do solo**

No presente estudo a umidade do solo foi um fator responsável pelo controle da respiração do solo, pois ajuda a regular a atividade dos organismos e a limitar a distribuição destes. Estes fatores são importantes para que aconteça o fluxo de CO<sub>2</sub>, em decorrência das reações químicas de decomposição de matéria orgânica, tendo também uma grande influência na emissão de outros gases do solo para atmosfera Kang et al., (2003).

Em Manaus observa-se que a umidade acompanha o regime de chuvas na região ao longo do período, porém, a ausência de sazonalidade nos fluxos de CO<sub>2</sub> mostra que o solo sofreu estresse por excesso de água, uma vez que os valores que melhor correlacionaram o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo com a umidade foram observados entre 30 e 40% do conteúdo de água no solo. Não foram observadas diferenças estatísticas entre as estações, isso porque, a estação seca não foi bem característica. Da mesma forma, a respiração do solo pode ser afetada, uma vez que as variações na umidade do solo (tanto por falta como por excesso de água no solo) podem também influenciar nos fluxos (CHAMBERS et al., 2004).

Em Santarém, os fluxos foram marcantes e são condizentes com a umidade. O efeito da água foi determinante para que ocorresse maior emissão durante o período úmido, porém seu efeito foi inverso ao fluxo, diferente dos resultados encontrados por (KELLER et al., 2005).

Em Sinop observou-se que, com a redução da umidade, os fluxos de CO<sub>2</sub> do solo aumentam, tanto na estação seca como chuvosa. Foi encontrada relação significativa na estação chuvosa quando o fator “estação” foi considerado. Entretanto, essa relação foi contrária, podendo

ser explicado porque o solo de Sinop apresenta boa aeração e favorece níveis ideais de umidade, exercendo maior influência nos fluxos de CO<sub>2</sub> emitido do solo.

Para Caxiuanã as análises mostraram variações no conteúdo de água do solo, podendo ser explicado pela variação em sua drenagem, que vai de moderadamente drenados a bem drenados. A melhor correlação foi observada quando a umidade atingiu 40%, que é encontrado no solo argiloso onde o conteúdo de água é maior.

Foi realizada a determinação da umidade gravimétrica do solo (% umidade do solo) em todas as áreas estudadas como demonstrado nas Figuras 15 a 18. Foram observadas que 40 % do conteúdo de água no solo parece ser a quantidade ideal para explicar a relação inversa da umidade com fluxo de CO<sub>2</sub> emitido nos solos das demais regiões estudadas. Notou-se também que o aumento da umidade foi inverso ao fluxo de CO<sub>2</sub> do solo em todas as áreas estudadas, podendo em parte, ser explicada porque o aumento da umidade do solo, apesar de favorecer a atividade microbiana, diminui a quantidade de gases no solo em consequência da ocupação dos poros pela água, expulsando também o O<sub>2</sub> da atmosfera. Sotta et al., (2004). Desta forma, o alto conteúdo de água do solo interferirá no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, tanto através de um efeito físico de real impedimento à passagem do CO<sub>2</sub> até atingir a interface solo-atmosfera, como também a redução da atividade respiratória aeróbica, que é a principal responsável pela produção de CO<sub>2</sub> nos solos (ROSS, 1989).

#### **2.4.4 Biomassa de serapilheira e o fluxo de CO<sub>2</sub>**

A serapilheira ou liteira, como também é conhecida, é particularmente importante por atuar na superfície do solo como um sistema de entrada e saída de nutrientes e matéria orgânica provenientes da vegetação, que se decompõem e suprem o solo e as raízes, sendo essencial na



restauração da fertilidade do solo. A decomposição dos resíduos orgânicos que formam a serapilheira é o principal processo de ciclagem de nutrientes em um ecossistema florestal (MONTGNINI; JORDAN, 2002).

Neste trabalho o estoque de serapilheira em Manaus, situa-se dentro da faixa média para florestas tropicais encontrada por (LUIZÃO SCHUBART, 1987) sobre platô na ZF-2. Para Santarém, sua maior deposição foi observada durante a estação seca, porém, seu estoque foi menor do que as demais regiões, isso porque a estrutura vertical da floresta de Santarém apresenta diferença quando comparada com outras áreas (Manaus e Caxiuanã, por exemplo). Nelas, uma considerada quantidade de luz penetrante alcança o chão da floresta, isto é, decorrente de um dossel mais estratificado, tornando-se um fator explicativo de como árvores com alta demanda luminosa podem regenerar no sub-bosque da floresta e proporcionando assim maior acúmulo de serapilheira (COOMES; GRUBB, 1996).

Na região de Caxiuanã a dinâmica da serapilheira foi sazonal, assim como para todas as áreas de estudo o maior estoque ocorrendo na estação seca, mas a taxa de decomposição é muito acelerada durante a estação chuvosa. Sendo a estrutura do solo mais compacta, e menos poroso, retém mais água, o que podem favorecer a atividade da biota do solo (BARROS et al., 2003) quando a ação da macrofauna e da microfauna do solo é mais intensa. Em Sinop, área considerada de transição, a baixa qualidade nutricional da serapilheira e umidade, são os fatores determinantes no seu estoque, que podem também justificar os valores encontrados nesta região.

Como neste estudo, foi encontrada uma relação positiva entre o fluxo de CO<sub>2</sub> do solo com estoque de serapilheira por La Scala jr. et al. (2000) desta forma, o C que é incorporado no solo via decomposição é perdido na forma de dióxido de carbono para a atmosfera, pela ação da biomassa microbiana que necessita obter energia para seu crescimento e conseqüentemente,

reaproveitando os nutrientes da vegetação. Pôde-se notar ainda que, apesar de ter havido uma maior estoque de serapilheira na estação seca para todas as áreas, houve nesta estação menor fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, pois sendo a umidade um fator determinante, ocorre uma limitação para as atividades de microorganismos decompositores. Normalmente esta situação é normalizada com o restabelecimento das primeiras chuvas (BARROS et al., 2003).

#### **2.4.5 Concentração de C e N, relação C/N, Composição isotópica de C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e N ( $\delta^{15}\text{N}$ )**

Os menores valores da porcentagem de carbono (%C) foram observados em Sinop e Santarém na estação seca, sugere que estas áreas produzem serapilheira de baixa qualidade, justificando os valores encontrados neste estudo. Ao contrario das regiões de Caxiuanã e Manaus onde tiveram os maiores valores.

Entre as regiões estudadas, os valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  da serapilheira não apresentaram diferenças significativas entre as estações, ao contrário do que se esperava, pois a resposta da vegetação ao baixo teor de água no solo ocorre pelo fechamento estomático, evitando maiores perdas de água e esgotando o suprimento de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, o excesso na precipitação pode influenciar o fechamento dos estômatos de plantas arbóreas de floresta de terra-firme na Amazônia, indicando um provável estresse por excesso de água (OMETTO et al., 2002).

Os valores encontrados neste estudo para porcentagem de nitrogênio %N, relação C/N e  $\delta^{15}\text{N}$  nas regiões de Sinop, Caxiuanã e Manaus (Tabela 5) podem ser explicada por apresentarem um ecossistema pobre em N, onde as plantas crescem mais vagarosamente, usam N de forma mais eficiente e produzem uma serapilheira de baixa qualidade (i.e. alto conteúdo de lignina e relação C/N alta). Em áreas pobres em N, não somente a decomposição é mais lenta, como também uma menor proporção do N da serapilheira é mineralizada e removida. A serapilheira

com uma alta relação C/N favorece a retenção de N pelos organismos decompositores, o que reduz a disponibilidade de N no solo podendo ser considerado como sistema fechado, ou seja, evita as perdas de N.

Em Santarém os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  na serapilheira foram mais elevados que as demais regiões, apresentado também uma maior concentração de N na serapilheira e menor razão C/N. Segundo Nardoto (2005), a maior concentração de N na camada superficial do solo em Santarém, e os valores elevados de  $\delta^{15}\text{N}$  na vegetação e serapilheira, sugerem que a ciclagem de N é mais aberta nessas, onde uma importante fração de compostos nitrogenados perdidos do sistema deve ser menos enriquecida em  $^{15}\text{N}$ . Assumindo-se que essa vegetação encontra-se em áreas ricas em N (sistema aberto), estas produziram serapilheira com altos teores de N, o que sugere rápidas taxas de decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) e mineralização de N. Com isso, a relação C/N é baixa e os organismos decompositores não são limitados por N, o que resulta em uma liberação líquida de N inorgânico para o solo. Alguns estudos feitos na FLONA do TAPAJOS em Santarém mostraram que as taxas de nitrificação são elevadas (SILVER et al., 2000) e uma grande quantidade de  $\text{N}_2\text{O}$  e NO são liberadas para a atmosfera (KELLER et al., 2005), o que corroboram os dados deste trabalho.

#### 2.4.6 Biomassa de raízes e o fluxo de CO<sub>2</sub>

O CO<sub>2</sub> emitido pelo solo é proveniente principalmente da atividade de respiração de raízes e de sua decomposição e representam uma fonte de matéria orgânica e nutrientes para o solo de igual ou maior importância que a serapilheira.

Nesse estudo as áreas de Sinop e Santarém tiveram maior estoque total de biomassa de raízes que as demais regiões durante a estação seca. Os fluxos médios de CO<sub>2</sub> emitidos do solo foram menores que na estação chuvosa, e fica evidente que a proporção de biomassa de raízes contribui para emissão deste gás. Entretanto, na região de Sinop e Caxiuanã, a fitomassa de raízes vivas é maior que a de mortas e é geralmente inversamente proporcional ao decréscimo da fertilidade do solo, ou seja, quanto mais pobre o solo maior a biomassa de raízes, devido à necessidade de otimização do sistema radicular em relação à exploração de nutrientes (BRUENING, 1996; SILVER, et al., 2000). Observou-se que nas áreas de Santarém e Sinop, durante a estação seca a maior mortalidade de raízes finas (< 5mm) é ocasionada por déficit hídrico, conseqüentemente, a respiração da raiz pode contribuir relativamente menos à respiração do solo do que a respiração heterotrófica (HANSON et al., 2000). O estresse limitaria a fotossíntese e reduziria a assimilação atual do carbono, tendo por resultado uma diminuição em respiração da raiz viva (HÖGBERG et al., 2001, SHAH; PAULSEN, 2003). Isso implica que a respiração heterotrófica pode se tornar relativamente mais importante do que a respiração da raiz durante a estação seca. Logo que as primeiras chuvas ocorrem o C presente na biomassa de raízes mortas é perdido para atmosfera sob a forma de CO<sub>2</sub>. Em parte, isso explicaria a contribuição das raízes no aumento do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo durante a estação chuvosa como visto no presente trabalho, onde maiores atividades dos microrganismos ocorrem na camada de 0-10 cm de profundidade, camada considerada com alta variabilidade de nutrientes.

### 3 CONCLUSÕES

A hipótese levantada cuja combinação dos parâmetros temperatura e a umidade do solo são fatores ambientais que determinam o controle da emissão de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera, influenciam diretamente a atividade microbiológica do solo, decomposição da matéria orgânica, e a respiração das raízes foi confirmada neste estudo.

Os resultados também mostraram que houve influência sazonal e espacial na dinâmica do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, demonstraram que houve armazenamento de CO<sub>2</sub> durante a estação seca que mais tarde foram liberados para atmosfera durante a estação chuvosa, indicando que a disponibilidade de água é um fator importante no seu controle. No entanto, considerando as áreas individualmente, como a ocorrência constante de chuva na Amazônia é uma característica da região, a temperatura do solo foi também determinante no acréscimo dos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera.

De certa forma, o estoque de serapilheira e de raízes tiveram participações extremamente importantes nos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo. Uma vez que, cada região tem sua peculiaridade tanto na dinâmica de nutrientes, relevos, textura do solo, heterogeneidade da floresta, micro e macroclima singular, sem dúvida nenhuma, são capazes de gerar distintas concentrações de CO<sub>2</sub> do solo para atmosfera. E como de fato, este estudo apresentou.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.M. Responses of soils to climate-change. **Advances in Ecological Research**, Washinton, v.22, p.163-210, May 1992.
- ASNER, G.P.; KELLER, M.; PEREIRA, J.R.; ZWEEDE, J.C. Canopy damage recovery after selective logging in amazônia: field and satellite studies. **Zeitschrift Fur Anorganische und Allgemeine Chemie**, Nebraska, v. 631, n. 11, p. 2115-2120, Sept. 2004.
- BALL, A.S.; DRAKE, B.G. Stimulation of soil respiration by carbon dioxide enrichment of marsh vegetation. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.30, n.8-9, p.1203-1205, Aug 1998.
- BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A.; LAVELLE, P. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. **Geoderma**, Minnesota, v.100, n.1- 2, p.193-213, Mar 2001.
- BASSATA, E.; AGREN, G. I. Soil organic matter quality interpreted thermodynamic Soil **Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 31, p.1889-1891, Apr. 1999.
- BEKKU, Y.; KOIZUMI, H.; OIKAWA, T.; IWAKI, H. Examination of four methods for measuring soil respiration. **Applied Soil Ecology**, Belfield, v.5, n.3, p.247-254, June 1997.
- BEKKU, Y. S.; NAKATSUBO, T.; KUME, A.; ADACHI, M.; KOIZUMI, H. Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils. **Applied Soil Ecology**, Belfied, v.22, n.3, p.205-210, mar. 2003.
- BOULET, R.; LUCAS, Y.; CHAUVEL, A.; RANZINI, G; SCATOLINI, F. Transição latossolos-espodossols sobre a formação barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.325-335, Mar. 1984.
- BRAVARD, S.; RIGHI, D. Characteristics of clays in an oxisol - spodosol toposequence in Amazonia - Brazil. **Clay Minerals**, New York, v.23, n.3, p.279-289, Abr. 1988.
- BRINKMANN, W. L. F. Ground water in water resources planning. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOR PROGRAME INTERNATIONAL HYDROLOGICAL,1993., Koblenz. Koblent: Ed., Blackwell, 1993. p.67-83.
- BRUENING, E. F. **Conservation and management of tropical rainforest**. Wallingford: CAB International, 1996. 339 p.
- CHAMBERS, J. Q.; TRIBUZY, E. S.; HIGUCHI, N.;TRUMBORE, S. E. Carbon sink for a century. **Oecology**, New York, v.122, p.380-388, Mar. 2000.

CHAMBERS, J. Q.; TRIBUZY, E.S.; TOLEDO, L. C.; CRISPIM, B.F.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; ARAUJO, A. C.; KRUIJT, B.; NOBRE, A. D.; TRUMBORE, S. E. Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency. **Ecological Applications**, Washington, v.14, n.4, p. S72-S88, Aug. 2004.

CHAUVEL, A. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. Suplemento, **Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n.3, p.47-60, Mar. 1982.

CLARK, D.A.; CLARK, D.B. Climate-induced annual variation in canopy tree growth in a Costa-Rica tropical rain-forest. **Journal of Ecology**, New Delhi, v.82, n.4, p.865-872, Dec. 1994

COLEMAN, D. C.; ANDREWS, R; ELLIS, E. R.; SINGH, J. S. Energy flow and partitioning in selected man-managed and natural ecosystems. **Agro-Ecosystems**, New York, v. 3, p. 45-54, Mar. 1976.

COOMES, D.A.; GRUBB, P. J. Amazonian caatinga and related communities at La Esmeralda, Venezuela: Forest structure, physiognomy and floristics, and control by soil factors. **Vegetation**, v.122, n.2, p.167-191, Feb. 1996.

COÛTEAUX, M. M.; BERG, P. B. B. Litter decomposition climate and litter quality trends in **Ecology and Evolution**, London, v. 10, p. 63-66, Aug. 1995.

DAVIDSON, E. A.; ISHIDA, F. Y.; NEPSTAD, D. C. Effects of an experimental drought on soil emissions of carbon dioxide, methane, nitrous oxide, and nitric oxide in a moist tropical forest. **Global Change Biology**, Oxon, v.10, n.5, p.718-730, May 2004.

DAVIDSON, E. A.; TRUMBORE, S. E.; AMUNDSON, R. Biogeochemistry . Soil warming and organic carbon content. **Nature**, London, v. 408, n. 6814, p. 789-790, Dec. 2000.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; BOLSTAD, P.; CLARK, D. A.; CURTIS, P. S.; ELLSWORTH, D. S.; HANSON, P. J.; LAW, B. E.; LUO, Y.; PREGITZER, K. S.; RANDOLPH, J. C.; ZAK, D. Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, San Andreans, v.113, n.1/4, p.39-51, Dec. 2002.

DIXON, R. K.; S. BROWN, S.; HOUGHTON, R. A ; SOLOMON, A.M; TREXLER, M. C.; WISNIEWSKI, I. J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems, **Science**, New York, v. 263, p. 185– 190, 1994.

DREWITT, G. B.; BLACK, T. A.; NESIC, Z.; HUMPHREYS, E. R.; JORK, E. M.; SWANSON, R.; ETHIER, G. J.; GRIFFIS, T.; MORGENSTERN, K. Measuring forest floor CO<sub>2</sub> fluxes in a Douglas-fir forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, New York , v.110, p.299-317, 2002.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux on temperature. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.33, n.2, p.155-165, Feb. 2001.

FEARNSIDE, P. M. Biomass of Brazil Amazonian Forests - reply. **Interciencia**, Rio de Janeiro v.18, n.1, p.5-7, Jan./Fev. 1993.

FEARNSIDE, P. M. Brazil Amazon Forest and the global carbon problem - reply. **Interciencia**, Rio de Janeiro. v.11, n.2, p.58-64, mar / abr. 1986.

FEIGL, B. J.; MELILO, J.; CERRI, C. C. Change the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (Brazil). **Plant and Soil**, Melbourne, v. 175, p. 227-241, 1995.

FERNANDES, S. A. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C. Seasonal variation of soil chemical properties and CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultisol of the Brazilian Amazon. **Geoderma**, Minnesota, v. 107, n. 3/4, p. 227-241, June 2002.

FERRAZ, J.; OHTA, S.; SALES, P. C. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao Norte de Manaus (AM). In: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. **Pesquisas Florestais para a conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas da Amazônia**. Manaus, 1998. p. 109-143.

GARCIA-MONTIEL, D. C.; STEUDLER, P. A.; PICCOLO, M. C.; MELILLO, J. M.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Controls on soil nitrogen oxide emissions from forest and pastures in the Brazilian Amazon. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 15, n. 4, p. 1021-1030, Mar. 2001.

GOREAU, T. J.; DE MELLO, W. Z. Effect of deforestation on source and sinks of atmospheric carbon dioxide, nitrous oxide and methane from some Amazonian biota and soil. In : WORKSHOP ON BIOGEOCHEMISTRY OF TROPICAL RAIN FORESTS: PROBLEM FOR RESEARCH USP AND WWF , 1987, Piracicaba: FEALQ, 1987. p. 104 – 130.

GRACE, J. Carbon cycle. **Encyclopedia of Biodiversity**, New York, v.1, p. 69-629, Mar. 2001.

GRACE, J. Understanding and managing the global carbon cycle. **Journal of Ecology**, New Delhi, v. 92, n. 2, p. 189-202, Apr. 2004.

HANSON, P. J.; EDWARDS, N. T.; GARTEN, C. T.; ANDREWS, J. A. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. **Biogeochemistry**, Oregon, v. 48, n. 1, p. 115-146, Jan. 2000.

HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; CÖIC, A. MINETTE, L. J. Crescimento e incremento de uma floresta Amazônica de terra-firme manejada. In: Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia. **Biomassa de nutrientes florestais**. Manaus: INPA; DFID, 1997. p.89-132.



HOGBERG, P., A. NORDGREN, N; BUCHMANN, A. P. S; TAYLOR, A. EKBLAD, M. N; HOGBERG, G; NYBERG, M; OTTOSSONL OF VENIUS, D.J. READ. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. **Nature**, London, v. 411, p. 789-792, 2001.

HOUGHON, R.; SKOLE, D; NOBRE, C. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, London, v. 403, p. 301-304, 2000.

HOUGHON, R.A. The future role of tropical forest in affecting the carbon dioxide CO<sub>2</sub> : concentration of the atmosphere. **Ambio**, Sweden, v. 3, n. 2, p. 204 - 209, 1996.

HOUGHON, R.A. Forest and the global carbon cycle: current storage and emission. In: WORKSHOP EMISSÃO VERSOS SEQÜESTRO UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGOCIO PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Ed. Campus,1994. p.12 - 13.

HOUGHON, R. A; HOBBIE J. E.; MELLILO, J .M; MOORE, B.; PETERSON. B .J; SHAVER, G. R.; WOODWELL, G. M.Changes in the carbon content of terrestrial biota and soil between 1860 and 1980: a net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. **Ecological Monographs**, Oslon, v. 53, p. 235-262, 1983.

HOWARD, D. M.; HOWARD, P. J. A. Relationships between CO<sub>2</sub> evolution, moisture-content and temperature for a range of soil types. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 11, p.1537-1546, Nov. 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 22 jun. 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DA AMAZÔNIA. **Os solos da área de Manaus – Itacoatiara**: Manaus, 1969. 177 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC**: the scientific basis – 2001. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc-tar/wg1/index.htm>. Acesso em: 25 set. 2005.

IRITZ, Z.; LINDROTH, A; GARDENAS, A. Open ventilated chamber system for measurements of H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes the soil surface. **Soil Technology**, Baltimore v.10, p.169-184, Apr. 1997.

JANSSENS, I. A.; KOWALSKI, A. S.; LONGDOZ, B.; CEULEMANS, R. Assessing forest soil CO<sub>2</sub> efflux: an in situ comparison of four techniques. **Tree Physiology**, Berkeley, v.20, n.1, p.23-32, Jan. 2000.

KANG, S.Y.; DOH, S.; LEE, D.; JIN, V.L.; KIMBALL, J.S. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. **Global Change Biology**, Oxon, v. 9, n. 10, p. 1427-1437, Oct. 2003.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E.; BABBITT, R. Fire in the Brazilian Amazon, .1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. **Oecologia**, New York, v. 104, n. 4, p. 397-408, Dec. 1995.

KELLER, M.; KAPLAN, W. A.; WOFSEY, S. C. Emissions of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from tropical forest soils. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, v. 91, n.11, p. 1791-1802, Oct. 1986.

KELLER, M.; VARNER, R.; DIAS, J D.; SILVA, H.; CRILL, P.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; ASNER, G P. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, methane, and carbon dioxide in logged and undisturbed forest in the Tapajós National Forest, Brazil. **Earth Interactions**, Washington, v. 9 p. 1 Mar. 2005.

KIRSCHBAUM, M. U. F. The temperature-dependence of soil organic-matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic-C storage. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 6, p. 753-760, June 1995.

KÖNIG, F. G; BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J. Devolução de nutrientes via serapilheira em um fragmento de floresta de Santa Maria, RS. **Brasil Florestal**, Viçosa, v. 74, p. 45-52, apr. 2002.

KURASAR, T. A. Evaluation of soil respiration in the soil CO<sub>2</sub> concentration in a lowland moist forest in Panama. **Plant and Soil**, Melbourne, v. 113, p. 21-29, Apr. 1989.

LUCAS, Y.; BOULET, R.; CHAUVEL, A.; VEILLON, L. Systèmes sols ferralitiques-podzols en région amazonienne. In: Righi, D.; Chauvel, A. (Ed.): Podzols et podzolisation: 53-65, 1987

LA SCALA, N.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T.; CORA, J. E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO<sub>2</sub> emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.32, n.10, p.1459-1462, Sept. 2000.

LAL, H. Development of appropriate mechanization for the w-form soil-management system. **Soil & Tillage Research**, Stuttgart, v. 8, n. 1/4, p.145-159, Nov. 1986.

LATHWELL, D. J.; GROVER, T. L. Soil – plant relationships in the tropics. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Stanford v.17, p. 1-16, 1986.

LAURANCE, W. F.; FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, S. G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T. E.; RANKIN-DE MERONA, J.; CHAMBERS, J. Q.; GASCON, C. Relationship between soils and Amazon forest biomass: a landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**, Oxford, v. 118, n. 1- 3, p. 127- 138, June 1999.

LE DANTEC, V.; EPRON, D.; DUFRENE, E. Soil CO<sub>2</sub> efflux in beechforest: comparison of two closed dynamic systems. **Plant and Soil**, Melbourne v. 2 14, p.125- 132 Aug. 1999.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 2004 p509.

- LIETH, H. La producción de sustancia orgánica por la capa vegetal terrestre y sus problemas. **Acta Científica Venezolana**, Cali, v. 12, n. 4/5, p. 107, 1961.
- LLOYD, J.; TAYLOR, J. A. On the temperature-dependence of soil respiration functional **Ecology**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 315-323, June 1994.
- LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001. 182 p.
- LUIZAO, F. J.; SCHUBART, H. O. R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of central amazonia. **Experientia**, New York, v. 43, n. 3, p. 259-265, Mar. 1987.
- MALHI, Y.; BALDOCCHI, D. D.; JARVIS, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forest. **Plant, Cell and Environment**, Washington, v. 22, p. 715 - 740, 1999.
- MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain Forest. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, Washington, v. 103, p. 31593- 31612. 1998.
- MARTINELLI, L. A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 9, n.4, p. 515-528, Dec. 1995.
- MCGRATH, D. A.; SMITH, C. K.; GHOLZ, H. L.; OLIVEIRA, F. D. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazonia. **Ecosystems**, New York, v. 4, n. 7, p. 625-645, Nov. 2001.
- MEDINA, E. Producción de hojas, respiración edáfica y productividad vegetal en bosques deciduos del los llanos centrales de Venezuela. In: UNESCO. **Progreso en biología de suelo** : monografía I. Caracas, 1966, p. 97-108.
- MEDINA, E.; KLINGE, H.; JORDAN, C. F. Soil respiration in Amazonian rain forests in the Rio Negro Basin. **Flora**, New York, v. 170, p. 240-250, 1980.
- MEIER, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.; LLOYD, J. Soil respiration in Amazônia and in cerrado in central Brazil In: GASH, J. C. H.; NOBRE, C. A.; J. M. ROBERTS, J. M.; VICTÓRIA, R. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. p. 319-330.
- MIRANDA, E. E.; COUTINHO, A. C. **Brasil visto do espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por: Satélite, 2004. Disponível em <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 24 jun. 2005.
- MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. F. Reciclaje de nutrientes. In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. H. (Ed.). **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Cartago: Ed. LUR, 2002. p. 167-191.

MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M. U. F.; MCMURTRIE, R. E.; MCGILVRAY, A. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature. **Global Change Biology**, Oxon, v.8, n.2, p.105-123, Feb. 2002.

NARDOTO, G.B. **Abundância natural de <sup>15</sup>N na Amazônia e Cerrado: implicações para a ciclagem de nitrogênio**. 2005, 102 p Tese de (Doutorado) em Ecologia de Agroecossistema - Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NEILL, C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; DE MORAES, J. F. L.; PICCOLO, M. C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, Washington, v. 7, n. 4, p. 1216 -1225, Nov. 1997.

NELSON, F.E.; A. H.; LACHENBRUCH, M. K.; WOO, E. A; KOSTER, T. E.; OSTERKAMP, M. K.; GAVRILOVA, C.; CHENG, G. D.: Permafrost and changing climate. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERMAFROST, Beijing, 1993. proceedings..... Guangzhou: University of Technology Press, Wushan, p. 987-1005. 1993:

NEPSTAD, D. C.; DE CARVALHO, C. R.; DAVIDSON, E. A.; JIPP, P. H.; LEFEBVRE, P. A.; NEGREIROS, G. H.; DA SILVA, E. D.; STONE, T. A.; TRUMBORE, S. E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of amazonian forests and pastures. **Nature**, London, v. 372, n. 6507, p. 666-669, Dec. 1994.

NEPSTAD, D. C.; MOUTINHO, P.; DIAS, M. B.; DAVIDSON, E.; CARDINOT, G.; MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R.; VIANNA, N.; CHAMBERS, J.; RAY, D.; GUERREIROS, J. B.; LEFEBVRE, P.; STERNBERG, L.; MOREIRA, M.; BARROS, L.; ISHIDA, F. Y.; TOHLVER, I.; BELK, E.; KALIF, K.; SCHWALBE, K. The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, aboveground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, v. 107, n. D20, p.102 - 143, Sept/Oct. 2002.

NORDIN, A.; HOGBERG, P.; NASHOLM, T. Soil nitrogen form and plant nitrogen uptake along a boreal forest productivity gradient. **Oecologia**, New York, v.129, n.1, p.125-132, Sept. 2001.

NUNES, P. C. **Inluência do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo na produção de forragem numa pastagem extensiva e num sistema agrosilvopastoril**. 2003. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2003.

OMETTO, J. P. H. B.; NOBRE, A. D.; ROCHA, H. R.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A. Amazonia and the modern carbon cycle: lessons learned. **Oecologia**, New York, v.143, n.4, p.483- 500, May 2005.

PARROTA, J. A.; FRANCIS, J. K.; ALMEIDA, R. R. **Trees of the Tapajos**: a photographic field guide; general technical report IITF-1. Rio Piedras: USDA, 1995, 104 p.

PARTON, W. J. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. **Global Biochemical Cycles**, Washington, v.7, p.785-802, 1993.

PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; VINCETI, B.; BAKER, T.; LEWIS, S. L.; HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; VARGAS, P. N.; MARTINEZ, R. V.; LAURANCE, S.; FERREIRA, L. V.; STERN, M.; BROWN, S.; GRACE, J. Changes in growth of tropical forests: evaluating potential biases. **Ecological Applications**, Washington, v.12, n.2, p.576-587, Apr. 2002.

POST, W. M.; EMAUEL, W. R.; ZINKE, P. J.; STANGEBERGER. Soil carbon pools and word life zones. **Nature**, London, v. 298, p. 156-159, Feb. 1992

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Salesward-Discovery, 1996, 446p.

PRIANTE, F. N.; VOURLITIS, G. L.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. D.; CAMPELO, J. H.; NUNES, P. C.; SOUZA, L. S. E.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; DO PAULO, S. R.; SILVEIRA, M. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. **Global Change Biology**, Oxford, v.10, n.5, p.863-876, May 2004.

PUMPANEN, J.; ILVESNIEMI, H.; PERAMAKI, M.; HARI, P. Seasonal patterns of soil CO<sub>2</sub> efflux and soil air CO<sub>2</sub> concentration in a Scots pine forest: comparison of two chamber techniques. **Global Change Biology**, Oxon, v.9, n.3, p.371-382, Mar. 2003.

RAICH, J.W. Effects of forest conversion on the carbon budget of a tropical soil. **Biotropica**, Malden, v.15, n.3, p.177-184, Oct1983.

RAICH, J.W; SCHLESINGER, W. H. The global carbon dioxide flux in soil respiration relationship to vegetation and climate. **Tellus**, Copenhagen, v.44B, p.81-99, June 1992.

RAICH, J.W; EWEL, J.; OLIVERA, M. Soil CO<sub>2</sub> efflux in simple and diverse ecoystems on a volcanic soil in Costa-Rica. **Turrialba**, San José, v.35, n.1, p.33-42, jan/mar. 1985.

RANZANI, G. Identificação e caracterização de alguns solos da estação de silvicultura tropical do INPA. **Acta Amazônica**, Manaus, v.10, p.7-41, mar. 1980.

RAYMENT, M. B. Closed chamber systems underestimate soil CO<sub>2</sub> efflux. **European Journal of Soil Science**, New Delhi, v. 51, p.107-110, Apr. 2000.

REINERS, W. A. Carbon dioxide evolution from floor of 3 Minnesota forests. **Ecology**, Washington, v. 49, n.3, p. 471, Aug. 1968.

REZENDE, M. O. O. **A importância da matéria orgânica do solo no ciclo do carbono**. (parte I – O ciclo do carbono na natureza e a qualidade do solo do ponto de vista químico). Disponível em: [www.unb.br/iq/enqamb/aimportanciadoC.pdf](http://www.unb.br/iq/enqamb/aimportanciadoC.pdf). Acesso em: 08 abr. 2004.

RIBEIRO, J. E.L. S.; HOPKINS, M. J. C.; 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.; SILVA, C. F.; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. **Flora da Reserva Ducke**: guia de identificação uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus: INPA/DFID, 1999. 816 p.

ROBERTS, J. M. **Effects of temperature on soil respiration**: a brief overview. Wallingford: Center for Ecology and Hydrology, 2000. 45 p.

ROSENZWEIG, C.; HIELLEL, D. Soil and global climate change: challenge and opportunities. **Soil Science**, New York, v.165, p. 47-56, 2000

ROSS, S. **Soil processes a systematic approach**. New York : Routledge, 1989. 444 p.

SALATI, E. **Amazônia**: desenvolvimento, integração e ecologia. Brasília: Editora Brasiliense; CNPq, 1983. 383 p.

SCHIMEL, D. S.; BRASWELL, B. H.; HOLLAND, E. A.; MCKEOWN, R.; OJIMA, D. S.; PAINTER, T. H.; PARTON, W. J.; TOWNSEND, A. R. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.8, n.3, p.279-293, Sept. 1994.

SCHIMEL, D. S.; HOUSE, J. I.; HIBBARD, K. A.; BOUSQUET, P.; CIAIS, P.; PEYLIN, P.; BRASWELL, B. H.; APPS, M. J.; BAKER, D.; BONDEAU, A.; CANADELL, J.; CHURKINA, G.; CRAMER, W.; DENNING, A. S.; FIELD, C. B.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GOODALE, C.; HEIMANN, M.; HOUGHTON, R. A.; MELILLO, J. M.; MOORE, B.; MURDIYARSO, D.; NOBLE, I.; PACALA, S. W.; PRENTICE, I. C.; RAUPACH, M. R.; RAYNER, P. J.; SCHOLES, R. J.; STEFFEN, W. L.; WIRTH, C. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. **Nature**, London, v.414, n.6860, p.169-172, Nov. 2001.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry**: analysis of global change 2nd ed. Oxon: Academic Press, 1997. 234 p.

SCHULZE, E. D. Soil respiration of tropical vegetation types. **Ecology**, Washington, v.48, n.4, p.652, Oct. 1967.

SCURLOCK, J. M. O.; HALL, D. O. The global carbon cycle: a grassland perspective. **Global Change Biology**, Oxon, v.4, p. 229- 233, 1998.

SHAH; N. H.; PAULSEN, G. M. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. **Plant and Soil**, Melbourne, v. 257, p. 219-226, 2003.

SILVER, W. L.; NEFF, J.; MCGRODDY, M.; VELDKAMP, E.; KELLER, M.; COSME, R. Effects of soil texture on belowground carbon and nutrient storage in a lowland Amazonian forest ecosystem. **Ecosystems**, New York, v.3, n.2, p.193-209, Mar/Apr. 2000.

SILVER, W. L.; THOMPSON, A. W.; MCGRODDY, M. E.; VARNER, R. K.; DIAS, J. D.; SILVA, H.; CRILL, P. M.; KELLER, M. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology**, Oxon, v.11, n.2, p.290-306, Feb. 2005.

SINGH, J. S.; GUPTA, S. R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. **Botanical Review**, New York, v.43, n.4, p.499-528, Aug. 1977.

SOTTA, E.D. **Fuxo de CO<sub>2</sub> entre solo e atmosfera em floresta tropical úmida da Amazônia Central**, 1998. 150p. Dissertação de (Mestrado em Ciências Florestais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1998.

SOTTA, E. D.; MEIR, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M.; GRACE, J. Soil respiration in the topography in Caxiuanã Rainforest, Amazonia, Brazil. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF LARGE SCALE BIOSPHERE ATMOSPHERE EXPERIMENT IN AMAZÔNIA (LBA), 2., 2002, Manaus New York: Blackwell, 2002. p.164.

SOTTA, E. D.; MEIR, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M.; GRACE, J. Soil CO<sub>2</sub> efflux in a tropical forest in the central Amazon. **Global Change Biology**, Oxford, v.10, n.5, p.601-617, May 2004.

SOUZA, J. S. **Dinâmica especial e temporal do fluxo de CO<sub>2</sub> do solo de terra firme na Amazônia Central**. 2004. 64 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) - Instituto de Pesquisa na Amazônia - INPA, Manaus, 2004.

SOUZA, J. R. S.; PINHEIRO, F. M. A.; ARAUJO, R. L. C.; PINHEIRO Jr., H. S.; HODNETT, M. G. Temperature and moisture profiles in soil beneath forest and pasture areas in eastern Amazonian. In: **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley, 1996. p. 125-137.

SUBKE, J. A.; REICHSTEIN, M.; TENHUNEN, J. D. Explaining temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in a mature spruce forest in Southern Germany. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.35, n.11, p.1467-1483, Nov. 2003.

TELLES, E. C. C. **Dinâmica do carbono no solo influenciada pela textura, drenagem, mineralogia e carvões em florestas primárias na região centro oriental da Amazônia**. (Doutorado em Ciências Ambientais) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

TELLES, E. C. C.; CAMARGO, P. B. DE; MARTINELLI, L. A.; TRUMBORE, S. E.; COSTA, E. S.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, R. C. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.17, n. 2, p. 1029-2002, May 2003.

TIWARI, S. C.; TIWARI, B. K.; MISHRA, R. R. The influence of moisture regimes on the population and activity of soil-microorganisms. **Plant and Soil**, Melbourne v.101, n.1, p.133-136, July 1987.

TRUMBORE, S. E.; DAVIDSON, E. A.; DE CAMARGO, P. B.; NEPSTAD, D. C.; VANHALA, P. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.34, n.9, p.1375-1379, Sept. 2002.

VALENTINI, C. M. A. **Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo de uma área de floresta de transição no noroeste de Mato Grosso**. 2004. 82p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente)-Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

VARNER, R. K.; KELLER, M.; ROBERTSON, J. R.; DIAS, J. D.; SILVA, H.; CRILL, P. M.; MCGRODDY, M.; SILVER, W. L. Experimentally induced root mortality increased nitrous oxide emission from tropical forest soils. *Geophysical Research Letters*, Washington v.30, n.3, p.290- 306, Feb. 2003.

VARNER, R. K.; KELLER, C. R.; OLIVEIRA, J. D. DIAS; H.;SILVA; P. M. CRILL; G. P. ASNER: Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, methane, and carbon dioxide in logged and undisturbed Forest in the Tapajos National Forest, Brazil. *Earth Interaction* Washington, v.9, p.1, Mar. 2005.

VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; SALATI, E. O ciclo do carbono e sua importância nas mudanças climáticas globais. In: WORKSHOP EMISSÃO VERSOS SEQÜESTRO DE CO<sub>2</sub>: UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGOCIO PARA O BRASIL – CVRD/FBDS, 1994, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Campus, 1994. p. 65- 78.

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

VOLGT, K. A; PERSSON, H. Measuring growth and development of roots. In: LASSOIE, J.P; HINKLEY, T.M. (Ed.). **Ecophysiology of forest trees techniques and methodologies**. Boca Raton: CRC Press, 1991. p. 477-502.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. D.; CASEIRO, F. T.; CAMPELO, J. H. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. *Water Resources Research*, Newcastle, v.38, n.6, p. 96, June 2002.

WAGAI, R.; BRYE, K. R.; GOWER, S. T.; NORMAN, J. M.; BUNDY, L. G. Land use and environmental factors influencing soil surface CO<sub>2</sub> flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.30, n.12, p.1501-1509, Oct. 1998.

WANNER, H. Soil respiration, litter fall and productivity of tropical vegetation types. *Ecology*, Washington, v. 48, p. 652-653, Oct. 1979.

WATSON, R. T; RODHE, H; OESCHGER, H; SIEGENTEHLER, U. I.Greenhouse gases and aerosol In: HOUGHTON, J.T; JENKINS, G. J.; EPHRAUMS, J. J (Ed.). **Climate change**. Cambridge: Univerty Press, 1990. p.128- 142.



WOFSEY, S.C.; KELLER, M.; KAPLAN, W.A. Emissions of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from tropical forest soils. **Journal of Geophysical Research**, New Hampshire, v.91, n. D11, p.11791-802, 1986.

WOFSEY, S.C.; GOULDEN, M.L.; J.W. HARDEN, S.E.; TRUMBORE, P.M.; CRILL, S. T.; GOWER, T.; FRIES, B.C.; DAUBE, S.-M.; FAN, D.J.; SUTTON, A.; BAZZAZ, J.W. MUNGER. Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw. **Science**, Washington, v. 279, p. 214, 1998.

XU, X. N; HIRATA, E. Forest floor mass and litterfall in Pinus luchuensis plantations with and without broad-leaved trees. **Forest Ecology and Management**. Oxford, v. 157, p.165-173, Mar. 2002.

YIM, M. H.; JOO, S. J.; NAKANE, K. Comparison of field methods for measuring soil respiration: a static alkali absorption method and two dynamic closed chamber methods. **Forest Ecology and Management**, Oxford, v.170, n.1-3, p.189-197, Oct. 2002.

ZANCHI, F. B.; ROCHA, H. R.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; DEUS, J. A.; AGUIAR, L. J. G. Medição do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo: monitoramento com câmaras automáticas sobre floresta e pastagem em Rondônia. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6., 2003, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Ed. Betania, 2003. p. 631-632.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)