

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE**

**ESTUDO DA RESPIRAÇÃO DO SOLO EM FLORESTA DE  
TRANSIÇÃO NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA**

**MARINA MEIRA COELHO**

**PROF. DR. JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA  
ORIENTADOR**

**CUIABÁ - MT, OUTUBRO DE 2005.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo do Carbono .....	8
Figura 2-- Mapa dos estados brasileiros que compreendem a Amazônia Legal.....	23
Figura 3 - Medidas do Efluxo de CO <sub>2</sub> no solo .....	25
Figura 4 - Transecto das caixas de coleta de serrapilheira.....	26
Figura 5 - Gráfico de Efluxo de CO <sub>2</sub> no solo 2003 e2004.....	29
Figura 6 - Gáfico de Efluxo e umidade.....	34
Figura7- Variação do Efluxo em relação á umidade para o ultimo mês e estação seca-úmida.....	34
Figura 8 - Gráfico de Efluxo e temperatura do solo.....	35
Figura 9-Variação do Efluxo em relação á temperatura do solo para o ultimo mês de estação seca e estação seca úmida.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Precipitação.....	24
Tabela 2 – Coleta de dados micrometeorológicos.....	26
Tabela 3 – Média do efluxo de CO <sub>2</sub> no solo nos meses coletados .....	28
Tabela 4 – Estudos realizados de efluxo do CO <sub>2</sub> no solo na região Amazônica.....	31
Tabela 5 – Média de umidade do solo nas datas coletadas .....	32
Tabela 6- Efluxo medido e calculado por modelo linear.....	36

## RESUMO

COELHO, M. M. **Estudo da respiração do solo em floresta de transição no Sudoeste da Amazônia.** Cuiabá, 2005. 46p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

Ao longo dos últimos anos, o avanço do conhecimento sobre o efeito dos ecossistemas, cultivos e da magnitude das mudanças do uso da terra no clima regional e global fez com que a função de um ecossistema de emitir e seqüestrar carbono crescesse em importância. Na escala local, os ecossistemas possuem componentes que estocam e trocam carbono entre si e com a atmosfera. Neste contexto, no presente trabalho buscaram-se medições de respiração do solo, umidade e temperatura na Estação de Transição Seca-Úmida do ano de 2004 (Setembro a Novembro), entre 10:00 e 12:00 em 20 pontos, em uma floresta de transição denominada de Cerradão, localizada no município de Sinop, que faz parte da Amazônia Legal. Os dados brutos do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo foram coletados com um aparelho medidor de CO<sub>2</sub> por infravermelho (EGM-1/WA-2-GÁS ANALIZER). Para os dados de temperatura foi utilizado um termômetro digital e para a retirada do solo um trado holandês. O solo foi seco em estufa e fez-se a umidade gravimétrica do solo em 10 pontos aleatórios dentro do transecto localizado próximo à torre de coleta de dados micrometeorológicos. As medidas de efluxo foram comparadas com temperatura e umidade do solo. Como nesta Estação há muita variabilidade entre os dados e foram poucos dados, foi feita uma comparação com os dados de VALENTINI (2003), concluindo-se que o fator que mais influenciou o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo foi a umidade do solo, porém os resultados são mais significativos quando se trabalha conjuntamente com a umidade e temperatura

**Palavras - chave:** Cerradão, Efluxo de CO<sub>2</sub>, Temperatura do solo e Umidade do solo.

## ABSTRACT

COELHO, M .M. **Under consideration of the breathing from the soil in the forest of transition in the southwest of Amazonian.** Cuiabá, 2005.46p. Institute of Accurate Sciences and the Land. Federal University of Mato Grosso.

At long last the years the advance of the effect of ecosystem, cultivate and magnitude of the change in the use of the regional soil and global climate did the function from ecosystem to emit and catch growing in importance. In the local scale the ecosystem have components that itself and atmosphere . In this context , present , work the measurements were done about the breathing from the soil humid and the temperature in time dry and humid in the year 2004( from September to November ) between 10:00 and 12:00, in 20 place in transition forest so called cerrado located Sinop , municipality , Mato Grosso of Amazon Legal . The efflux of CO<sub>2</sub> from the soil were withdraw a machine of measurements of CO<sub>2</sub> by infrared( EGM-1/WA-2-GAS ANALIZER. ) for the date of temperature were used a digital thermometer and to withdraw the soil were used a Dutch drill. The humid soil were dry in a store , and did the measurements of the soil from 10 place at random near the tower where were withdraw date of micrometeorology . The date of efflux were compared with the temperature and humidity from the soil , since, in this time there are a lot of variable among the date , were compared with the date from VALENTINI (2003), concluding that the factor more importance to the efflux of CO<sub>2</sub> were the humidity of the soil. The results more significant were works with the humidity and temperature

**Key-words:** Beating from the soil, Cerradão, Efflux of CO<sub>2</sub>, temperature from the soil and humid from the soil.

# 1 INTRODUÇÃO

Uma função comum a todos os ecossistemas terrestres é a sua capacidade de emitir e seqüestrar carbono atmosférico. Embora, durante séculos, as sociedades tenham alterado drasticamente os ecossistemas terrestres indiferentes a essa função que tem ganhado crescente importância ao longo das últimas décadas. Talvez isto se deva ao avanço do conhecimento sobre as mudanças climáticas globais provocadas por origem antrópica, decorrentes em grande parte da emissão elevada de um conjunto de gases para a atmosfera desde a Revolução Industrial, dentre os quais, o dióxido de carbono ocupa um lugar de destaque.

As alterações no clima são acontecimentos naturais porém durante o último século as alterações registradas têm sido mais pronunciadas do que em qualquer período registrado até o momento. Uma das conclusões do último relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001) indica que estas alterações resultam de intensas intervenções humanas sobre o meio natural com repercussões no clima e que se reflete em uma escala regional e global. O IPCC prevê que as temperaturas médias globais aumentem entre 1 e 3,5 °C até 2100 e que o nível médio das águas do mar aumente entre 15 e 95 cm. Estas alterações climáticas a nível regional e global terão impacto direto sobre as florestas e na qualidade de vida das pessoas.

As emissões de carbono pela queima de combustíveis fósseis e o desflorestamento nas regiões tropicais têm sido as causas principais do aumento dessas emissões.

A capacidade dos ecossistemas de emitir ou seqüestrar carbono atmosférico é determinada por uma grande variedade de processos físicos, químicos e bióticos, atuando em direções ou intensidades diferentes. Para

realmente entender o papel atual dos ecossistemas no futuro do balanço do carbono atmosférico, seria necessário também conhecer e entender todos esses processos, sua direção e importância relativa. Este conhecimento está longe de ser alcançado para a maioria dos ecossistemas e assim torna-se necessária a hierarquização destes processos, que se acredita, sejam as chaves para a compreensão do ciclo do carbono nestes ecossistemas terrestres.

O cerrado é um bioma predominantemente savânico que ocupa dois milhões de km<sup>2</sup> na região central do Brasil. A ocupação humana vem se acelerando ao longo dos últimos tempos, e hoje é considerada a principal fonte de distúrbios deste bioma. A formação de pastagens plantadas e lavouras comerciais são as principais atividades econômicas na região, sendo a primeira a mais significativa em extensão equivalendo a 25% do cerrado (KLINK & MOREIRA, 2002).

Os solos estocam três vezes mais carbono do que existe na atmosfera como CO<sub>2</sub> e a liberação deste carbono depende da velocidade da decomposição de matéria orgânica que é influenciada por características da vegetação e do clima. O fluxo de carbono do solo é resultado de processos pedobiológicos através de produção de CO<sub>2</sub> pelo solo (principalmente a respiração microbiana e de raízes) e de processos físicos através do transporte de CO<sub>2</sub> da atmosfera ou difusividade (SOUZA, 1995). Este processo é um dos componentes chave do ciclo do carbono, sendo a maior fonte do ecossistema terrestre para a atmosfera (WALKER, 1983)

A quantificação do efluxo de carbono do solo diretamente no campo fornece a real emissão de CO<sub>2</sub> do solo da floresta e esta informação pode ser utilizada, por exemplo, para cálculos de sequestro carbono do ecossistema (JORDAM, 1985).

Desta forma, estudar o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em floresta de terra firme na Amazônia Legal é de fundamental importância para a melhor compreensão da dinâmica do carbono neste ecossistema. Diversos estudos estão sendo feitos na Amazônia Legal, para se tentar entender essa dinâmica do carbono e qual sua influência no clima regional e global a curto e em longo prazo.

O estudo aqui apresentado é uma pequena contribuição dessa dinâmica do carbono e tem como objetivo principal fornecer estimativas do efluxo de CO<sub>2</sub> do

solo na estação seca e na estação de transição seca-úmida, que é um período onde ocorrem rápidas variações na liberação e acúmulo do efluxo no solo. Para isso foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a precipitação e temperatura do solo no final da estação seca e estação de transição seca-úmida;
- Estimar o conteúdo de água no solo (umidade do solo) no final da estação seca e estação de transição seca-úmida;
- Verificar o comportamento do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em função das variáveis meteorológicas (temperatura do solo, umidade do solo e precipitação) no final da estação seca e estação de transição seca-úmida.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 FLORESTAS TROPICAIS**

As florestas tropicais são formações naturais caracterizadas por uma vegetação densa constituída principalmente por espécies arbóreas, algumas podendo chegar a mais de 30m de altura, com uma complexa diversidade de flora e fauna. Ocorre nos três grandes continentes da faixa intertropical e sua distribuição é diretamente determinada pela ocorrência de alta pluviosidade, que de maneira geral é causada pelo encontro de ventos alísios que trazem umidade do oceano.

Enquanto a maior parte da floresta Amazônica é constituída por uma floresta de terra firme, esta floresta nunca está alagada e se espalha sobre uma grande planície de 1300 a 2000 metros de altitude, até os sopés das montanhas, sendo que uma grande planície corresponde aos sedimentos deixados pelo lago Belterra, que ocupou a maior parte da Bacia Amazônica durante o mioceno e o plioceno, entre 25 mil e 18 milhões de anos atrás. O silte e as argilas depositados neste antigo lago foram submetidos a um suave movimento de elevação epirogenético, enquanto os Andes se ergueram e os modernos rios começaram a cavar os seus leitos. Assim, surgiram três tipos de florestas: as florestas montanhosas, Andinas, as florestas de terra firme e as florestas fluviais alagadas, as duas últimas na Amazônia Brasileira (FRANCIS et al., 2004).

As flutuações climáticas do pleitoceno se manifestaram numa sucessão repetida de clima frio - seco - quente - úmido - quente - seco, sendo que a última fase fria - seca data de 18 mil a 12 mil anos atrás, quando o clima era semi-árido com a temperatura média rebaixada em até 5 °C. Em seguida, houve um retorno

do clima quente-úmido, que chegou ao máximo em torno de 7 mil anos atrás, desde então com várias oscilações de menor porte, mantendo-se um clima relativamente seco (FRANCIS et al., 2004).

Um fato muito importante foi que nas fases semi-áridas, as grandes florestas de terra firme se encontravam divididas e fragmentadas por formações vegetais abertas do tipo cerrado, caatingas e campinaras, todas melhor adaptadas ao clima seco. A floresta sobrevivia em refúgios situados em áreas de solo mais altos e com melhor abastecimento hídrico. Ao voltar ao clima mais úmido, a floresta expandiu-se novamente, em detrimento da vegetação do cerrado. Hoje, o cerrado sobrevive em seus próprios refúgios, dentro da imensidade das matas de terra firme. Este processo flutuante vai se repetir sem dúvida, a não ser que o homem interfira na situação (FONSECA, 2004).

A floresta de terra firme tem inúmeras adaptações á pobreza em nutrientes dos solos argilosos e podzólicos. As árvores que a compõem são capazes de se abastecer de nitratos através de bactérias fixadoras de nitrogênio que são ligadas a suas raízes. Além disso, uma grande variedade de fungos, também simbioses das raízes chamados de micorrizas recicla rapidamente o material orgânico antes de ser lixiviado. A serrapilheira (formada por folhas, galhos, flores e outros detritos que caem nos solos vegetais) é reciclada rapidamente pela fauna rica de insetos especialmente besouros, formigas e cupins. Os insetos constituem a maior parte da biomassa animal na floresta de terra firme (FRANCIS, 2004).

A floresta de terra firme, especialmente rica em aráceas epífitas, foi comparada á mata Atlântica, relativamente pobre em bromélias e orquídeas, entre estas plantas epífitas.

A grande diversidade animal encontra-se nas copas das árvores de 30 a 50 metros de altura onde a fauna é rica de aves, como papagaios, tucanos e pica-paus. Hoje, o desmatamento descontrolado está fragmentando a floresta de terra firme, onde, sem os cuidados necessários, províncias funísticas inteiras e antigos centros de especialização correm riscos de serem obliterados para sempre.

## **2.2 BALANÇO GERAL DE CO<sub>2</sub>**

A floresta Amazônica possui uma área estimada de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, sendo que aproximadamente 5 milhões, em território brasileiro e o restante são divididos em outros territórios. A Amazônia Legal é uma área que corresponde a 9% do território brasileiro com aproximadamente 5,5 milhões de km<sup>2</sup> que compreende os estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Roraima, Tocantins, Mato Grosso e parte dos estados de Goiás e Maranhão. Cerca de 70% são de florestas (38% são florestas densas e 36% florestas não-densas), 13% de cerrados e campos e 13% de áreas desmatadas (MIRAMONTES, 1999).

Imagens de satélite analisadas pelo Inpe estimaram em 126.000 km<sup>2</sup> a área já desmatada até 1991, com uma taxa de desmatamento de 21.000 km<sup>2</sup>. ano<sup>-1</sup> durante o período de 1978-1989 e 11.130 km<sup>2</sup>. ano<sup>-1</sup> durante os anos de 1990-1991. As áreas que sofreram as maiores consequências foram: Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e partes do sul e leste do Pará (INPE, 1992).

O peso da Amazônia na luta contra o aumento do efeito estufa, o aquecimento excessivo do clima da terra, pode ser menor do que se pensava. Novos cálculos do fluxo do principal composto atmosférico responsável pelo aumento da temperatura média do planeta, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), revelaram que a quantidade desse gás absorvido naturalmente por esse ecossistema tropical é igual ou apenas ligeiramente maior do que a emitida e não absurdamente maior como estudos prévios indicaram (ARTAXO, 2004).

Balancos anteriores, alguns conduzidos dentro do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), chegaram a indicar a absorção líquida, descontando o que foi emitido de 5 a 8 toneladas de carbono por hectare, sendo possível que este valor esteja até mesmo próximo de zero (ARTAXO, 2004).

Para cada 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub>, também conhecido como gás carbônico, há uma tonelada do elemento químico carbono. Em linhas gerais, pode-se dizer que quanto mais CO<sub>2</sub> uma floresta absorve, maior deve ser a sua biomassa, medida na forma de carbono, visto que a fotossíntese da vegetação se intensifica, em outras palavras, a grande absorção de CO<sub>2</sub> equivale teoricamente ao grande crescimento de um ecossistema (ARTAXO, 2004).

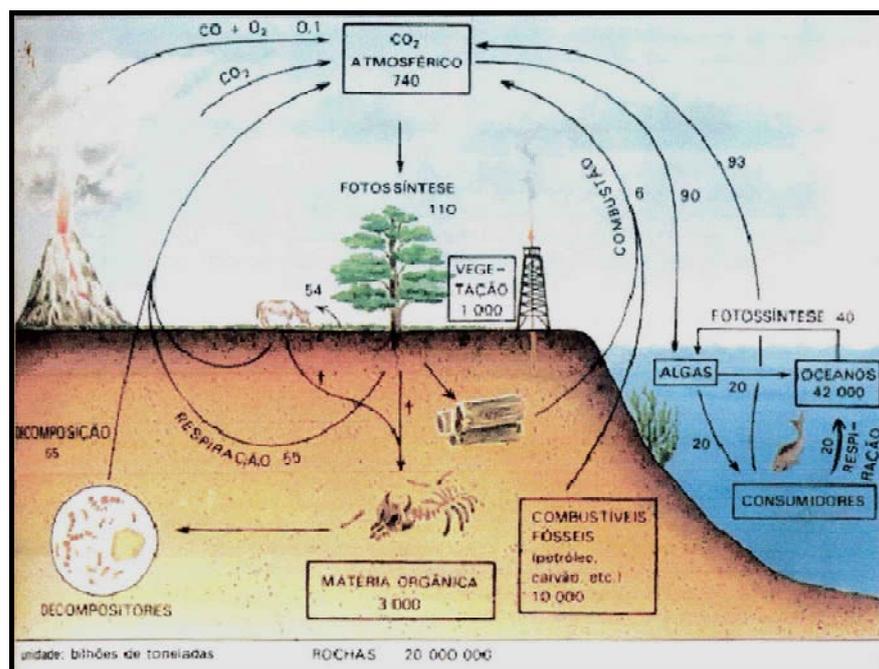
Segundo SCHELINSIGER et al. (1997), de acordo com a nova contabilidade, somadas todas as fontes conhecidas de entrada e saída de CO<sub>2</sub> da floresta, a Amazônia parece retirar do ar uma quantidade relativamente modesta desse gás por hectare de floresta preservada. Ainda assim, como a região amazônica é imensa (500 milhões de hectare, dos quais cerca de 80% são florestas nativas), seu impacto no balanço mundial de dióxido de carbono não pode ser desprezível.

Um cálculo de uma taxa de fixação anual de CO<sub>2</sub> em torno de duas toneladas anuais por hectare de floresta, mostra que a Amazônia brasileira que engloba 70% desse ecossistema, seria capaz de retirar da atmosfera algo entre 400 a 800 milhões de toneladas de carbono a cada 12 meses. Isso equivale a algo entre 5% a 10% das emissões globais de carbono no mesmo período em razão da ação do homem (basicamente devido à queima de combustíveis fósseis, ao desmatamento e às queimadas), sendo assim, a floresta não representaria a salvação do planeta. (SCHELINSIGER et al., 1997).

Para NOBRE (2004), todo ano a Amazônia é responsável por despejar no ar cerca de 200 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, em razão do desmatamento de áreas antes preservadas e da prática de queimadas, sobretudo nos meses de seca de julho a novembro.

### **2.3 CICLO DO CARBONO**

O carbono, na forma de CO<sub>2</sub>, é movimentado por processos naturais entre a atmosfera e os continentes. Os processos naturais envolvidos são a fotossíntese, a respiração e a dissolução. Esta movimentação pode ser encarada como um processo cíclico, sendo geralmente denominada como ciclo de carbono (figura 1).



Fonte: SANTOS (1999).

**Figura 1** - Ciclo do Carbono.

Um consenso foi atingido tanto entre os cientistas como entre os governos, que as emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> e outros gases traço estão aumentando o efeito estufa e causando o aquecimento global (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001).

Conseqüentemente, existe um interesse crescente sobre a ciclagem global de carbono e no manejo do fluxo entre a atmosfera, o oceano e os ecossistemas terrestres, com o intuito de minimizar o incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico (GRACE, 2001).

Apesar do CO<sub>2</sub> ser mais estudado em relação a seu possível papel na regulação do clima global, outros gases também possuem propriedades de retenção de calor, e também vem alterando sua concentração na atmosfera ao longo das últimas décadas, como vapor d'água, metano e o óxido nitroso. Nos últimos milhares de anos, tem havido uma estreita relação entre a temperatura média global e a concentração atmosférica destes gases (WOODWELL et al, 1998).

O papel da vegetação terrestre na troca de material entre a crosta e a atmosfera vem ganhando atenção crescente por parte da comunidade científica,

devido à importância potencial destes ecossistemas como fonte ou captadores de carbono atmosférico. Além disto, a perda de vapor pela superfície destes ecossistemas, afeta um grande número de processos terrestres, do ciclo biogeoquímico de elementos até o desenvolvimento e a mudança dos próprios padrões climáticos (SHULZE et al, 1994).

As previsões sobre as mudanças climáticas globais em decorrência da ação antrópica, requerem a criação de um outro nível hierárquico nos estudos em ecologia que transcende indivíduos, populações, comunidades e ecossistemas. Estas mudanças só podem ser compreendidas em uma escala que é chamada de ecologia global (LBA, 1996; SHULZE et al, 1994).

Um dos grandes entraves nos estudos das causas e efeitos destas mudanças deve-se a que fenômenos muito importantes para a predição de como os ecossistemas terrestres afetam e são afetados pelas mudanças globais só podem ser caracterizados e quantificados na escala individual (SHUGART, 1992). Ao contrário do ciclo da água, onde o impacto da atividade humana se dá principalmente na alteração dos fluxos já existentes, no ciclo global de carbono, assim como o de nitrogênio, a atividade humana gera novos fluxos anteriormente inexistentes ou insignificantes, como no caso da adição do carbono atmosférico através da queima de combustível fóssil.

A superfície terrestre funciona como um reservatório de carbono, onde a maior parte ( $8.06 \times 10^{22}$  g) está contida em rochas sedimentares, como carbono e compostos orgânicos. Estes reservatórios, contudo são de ciclagem extremamente lenta e geralmente não são levados em conta no estudo do ciclo global do carbono, principalmente quando se está interessado nas mudanças climáticas globais de origem antrópica. O conteúdo de combustível fóssil disponível para a captação humana foi estimado em 4.000 PgC, os outros são reservatórios superficiais de carbono (estimado em 38.000 PgC). Estes reservatórios possuem uma importante propriedade de tampão das 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; SHLENSIGER et al., 1997).

Dois tipos de atividade humana são fundamentalmente os maiores causadores da liberação de dióxido de carbono para a atmosfera: uso de combustível fóssil e o desflorestamento e queimadas de florestas, em sua maioria tropicais, para o uso agrícola e pastoril. Atualmente não existem dúvidas de que a queima de combustível fóssil seja responsável pelo incremento antropogênico de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (aproximadamente 6 PgC.ano<sup>-1</sup>), já as emissões de carbono para a atmosfera advinda das mudanças de uso da terra são de menores magnitudes (estimados 0,9 PgC.ano<sup>-1</sup>) como observou VITOUSEK (1992), porém sujeitas a consideráveis incertezas e divergências (HUNGHTON, 2003; GRACE, 2001; SCHLESINGER et al., 1997).

Quando se soma todos os fluxos de entrada e saída de carbono entre a atmosfera e outros reservatórios, percebe-se um equilíbrio que seria responsável por um acúmulo de carbono na atmosfera da ordem de 4,5 PgC anuais. Contudo, quando se mede a variação anual na concentração de carbono na atmosfera, observa-se um acúmulo da ordem de 3,2 PgC.ano<sup>-1</sup>. Acredita-se que a diferença entre o acúmulo total estimado e o observado, seja retirado por um fluxo ainda não muito bem definido, que já foi denominado como um misterioso reservatório de carbono. A procura pelo responsável por este fluxo e pelo reservatório onde o carbono está sendo estocado domina grande parte da literatura recente sobre o ciclo global do carbono.

## **2.4 SOLO**

Por definição, o solo é uma mistura de sólidos orgânicos e inorgânicos, ar, água e microorganismos, que se encontram na superfície (crosta) terrestre. Todos esses elementos interagem entre si, devendo-se lembrar, que os microorganismos catalisam muitas das reações, considerando-se o solo como um meio de crescimento para as plantas determinado por sua fertilidade. Sua química depende muito de um filme aquoso fino envolvendo partículas do solo, ou seja, da química do solo depende muito da química da superfície (colóides), da geoquímica, da mineralogia do solo, assim como da microbiologia do solo ou bioquímica. Para diversos elementos, em particular o carbono, o nitrogênio e o enxofre, o papel dos

micróbios determina de maneira quase total as taxas de reação no solo (GOMES et al., 2000).

O efeito da vegetação na superfície do solo é descrito pela dependência da porosidade não capilar associada à biomassa abaixo do solo. O fluxo vertical da água é o único meio de arraste para transporte de solutos, sendo que os efeitos térmicos no movimento de soluto não são considerados (GOMES, 2001).

A alcalinização do solo foi atribuída à substituição de  $\text{Ca}^{2+}$  (alcalino terroso), pelo cátion de sódio  $\text{Na}^{+}$  na superfície das partículas do solo. Na região de interesse para este estudo, as maiores fontes de álcalis são  $\text{Na}^2\text{CO}_3$  e  $\text{NaHCO}_3$ . Apenas o movimento e a troca destes dois cátions são considerados aqui:

a) As implicações de água no solo e dos álcalis da superfície na assimilação do carbono pelas plantas, são descritos pela função unimodal de seus argumentos ligados a água de superfície e álcalis no solo. Faz-se a hipótese de que existe um conteúdo ótimo de água, assim como um conteúdo otimizado de álcalis, para cada espécie de planta, de maneira a se obter o máximo de assimilação. Desvios na quantidade de água e de álcalis, com relação à dose otimizada, reduzem a taxa de assimilação. Estas funções definem, pois um nicho para cada espécie, determinando parcialmente a competição entre espécies.

b) A variável de estado da planta é definida por duas quantidades: a biomassa abaixo do nível do solo e a biomassa acima do nível do solo. Os materiais absorvidos são divididos de tal forma, que devem obedecer a estratégia seguinte: para ter a sua maior durabilidade assegurada, as plantas necessitam que os materiais sejam absorvidos pela parte da biomassa acima do solo nos estados iniciais do crescimento; nos estágios de crescimento posteriores, a assimilação concentra-se nas raízes, para armazenar energia para a germinação ou rejuvenescimento no ano seguinte (LARCHER, 2001).

A respiração das plantas deve ser considerada proporcional à biomassa (respiração de conservação ou proporcional a taxa de crescimento da morte do tecido da planta) e provocada pelo desbalanceamento entre a respiração e a assimilação. A biomassa em excesso deve morrer de forma a preservar o equilíbrio assimilação-respiração (GOMES, 2001).

Os solos florestais devem ser aceitos como organismos dinâmicos nos quais os processos de intemperismo estão sempre atuando, constituindo-se, portanto, nos agentes de reabastecimento em nutrientes (PRICHET, 1979).

#### **2.4.1 Perfil edáfico do solo**

A face vertical exposta, de um barranco ou de uma trincheira, mostra que o solo é composto de camadas distintas que muitas vezes diferem de cor. Estas camadas são chamadas de horizontes edáficos e a seqüência de horizontes da superfície para baixo são chamados de perfil edáfico. O horizonte do solo tem tipicamente três camadas: o horizonte A, o horizonte B e o horizonte C. O horizonte A é a máxima acumulação de material orgânico. O horizonte B consiste de partículas inorgânicas misturadas com nutrientes minerais providos do horizonte. O horizonte C é constituído da rocha solta que se estende até o leito de rocha subjacente (CURTIS, 1977).

A fase líquida do solo compreende uma fração mineral, inorgânica proveniente da decomposição da rocha-mãe (material-matriz), pela meteorização e intemperização e outra orgânica, proveniente da decomposição de restos de organismos animais e vegetais, processo esse denominado de mineralização e humificação (LUCHESE et al, 2001).

Dessa forma, durante a formação do solo, acontecem muitas reações químicas, permanecem os minerais primários (existentes na rocha original) menos solúveis ex: argilas. Aparecem os nutrientes em formas disponíveis, os elementos, as substâncias tóxicas e a matéria orgânica (REZENDE, 2004).

A fase gasosa do solo chamada também de ar do solo, ocupa os espaços vazios da fase sólida do solo que não estiverem preenchidos pela fase líquida. Seus volumes são inversamente proporcionais. Num momento de capacidade máxima de retenção de água, por um solo, o teor de ar do solo tende a zero (ODUM1998).

A presença de ar no solo é importante, pois leva ao ambiente o O<sub>2</sub> (gás) para a respiração da biota e conseqüentemente mineralização da matéria orgânica, a presença de CO<sub>2</sub> é também importante para os organismos autotróficos 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.

Os fatores que influenciam na troca de ar do solo segundo LUCHESE et al. (2001) são:

a) Difusão: Fator que predomina na renovação do ar do solo. A difusão de um gás consiste na transferência ou deslocamento das moléculas através de espaço livre à temperatura e pressão constantes.

b) Variação de temperatura: Um aquecimento da superfície do solo aquece também o ar. Este quando quente, tem menor densidade e sobe, descendo o ar frio que é mais denso.

c) Variação de pressão: Determina também a renovação do ar, principalmente em macroporos onde o ar se encontra preso ou bloqueado por partículas de água, devido à tensão superficial.

d) Ação dos ventos: O vento, que é um deslocamento horizontal do ar sobre a superfície do solo, constitui uma renovação do ar por ações de pressão e sucção.

e) Ação das chuvas: Atua de duas formas na renovação do ar do solo: no primeiro instante, a água expulsa o ar dos poros e ocupa o seu lugar, depois pela ação da gravidade é drenada no seu lugar. A água dissolve o  $O_2$  do ar da atmosfera e o leva junto para o solo.

## **2.5 EFLUXO DE CARBONO E VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS**

### **2.5.1. Efluxo de $CO_2$**

O solo recebe matéria orgânica produzida pela comunidade das plantas acima dele e, de diversas maneiras, converte muito dessa matéria orgânica para  $CO_2$ . Este processo de respiração do solo libera energia para a comunidade do solo e resulta na liberação de nutrientes para o uso das plantas. O metabolismo da matéria orgânica do solo depende do total de plantas (TURIALBA, 1985).

A medida de efluxo de CO<sub>2</sub> da superfície do solo é provavelmente o sistema mais amplamente usado de estimativa da taxa de respiração do solo *in situ*. No entanto, respiração do solo e efluxo de CO<sub>2</sub>, não são sinônimos, embora sejam freqüentemente usados como tal. A respiração do solo vem a ser a oxidação da matéria orgânica do solo, e inclui a respiração das raízes e organismos do solo. O efluxo de CO<sub>2</sub> é a liberação de CO<sub>2</sub> para 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 (difusão).

A liberação de CO<sub>2</sub> dependerá da decomposição da matéria orgânica, que é influenciada por características da vegetação e do clima, pelos gradientes de temperatura, concentração de dióxido de carbono no sistema solo-atmosfera, pelas propriedades físicas do solo e pelas flutuações de pressão do ambiente (RAICH, 1985).

Os mecanismos de respiração estão associados além das condições de temperatura, à umidade do solo, portanto, dependentes da variabilidade temporal e espacial destas variáveis. Estudos têm mostrado na taxa de respiração do solo um indicador de atividade microbológica do solo, aumentando exponencialmente ou linearmente com a temperatura. BEKI et al (2003) consideraram que a produção de CO<sub>2</sub> dentro do solo é basicamente um processo bioquímico e responde fortemente às variações de temperatura do solo, sendo que isto pode mudar com a idade de matéria orgânica do solo e também com disponibilidade de água para as reações bioquímicas relevantes.

FANG & MONCRIEF (2001) observaram que a altas temperaturas, a sensibilidade da respiração do solo pode ser reduzida, pois nestas condições as enzimas podem ser desativadas ou mortas.

TANG et al (2003) também relataram em seu estudo que a decomposição microbiana pode ser constringida pelo aumento de temperatura e diminuição da umidade.

Nos trópicos, as variações de temperatura são relativamente pequenas, e considerando-se que em solos de florestas tropicais apresentam baixa variação, este fator não explica a grande variação de efluxo de CO<sub>2</sub>. No entanto, como a umidade apresenta maior variação, tem sido mostrada como um dos mais

importantes fatores para definir o ritmo da atividade biológica e, portanto, determinante no efluxo de CO<sub>2</sub> (VANHALA, 2002; ESCALA JR et al., 2000)

Após o evento da chuva, ocorre um aumento do efluxo de CO<sub>2</sub>, isto porque quando a água é drenada para o solo força a saída de CO<sub>2</sub>, presente nos poros e logo após, uma queda nos dados de efluxo devido a uma camada de proteção que a água faz no solo evitando a emissão para a atmosfera (ZANCHI et al., 2003).

Segundo RAICH et al. (2003), globalmente, as maiores contribuições de carbono provêm das florestas subtropicais, o que corresponderia a 80PgC ano<sup>-1</sup> (um peta grama Pg = 10<sup>-15</sup> gramas ou 1 bilhão de toneladas).

Medidas da taxa de respiração para a Floresta Amazônica, mostraram um intervalo entre um 3,2 e 6,2 μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> e temperaturas do solo entre 22 e 25 °C (MEIER et al, 1996).

O efluxo de CO<sub>2</sub> do solo é resultado de dois processos: produção de CO<sub>2</sub> do solo principalmente nas raízes e na respiração de microorganismos e o transporte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (FANG & MONCRIEF, 1999).

Em condições tranquilas, o transporte é exercido pela difusão gasosa e pelo fluxo de massa, embora outras formas de transporte possam ocorrer (THORSTENSONE & POLLOCK, 1989).

A difusão do efluxo é dirigida pelo gradiente de concentração entre o solo e a atmosfera, enquanto o fluxo de massa depende do balanceamento feito pelas as flutuações da pressão atmosférica ou pelas turbulências (KIMBALL & LEMON, 1971).

### **2.5.2 Medidas de efluxo de CO<sub>2</sub> no solo**

Existem muitos métodos para medir o efluxo de CO<sub>2</sub> no solo com grande diferença na precisão, devido à resolução espacial e temporal e aplicabilidade, portanto, a escolha de uma técnica específica, pode ser muitas vezes um mau procedimento entre o que se deseja (precisão, resolução, viabilidade, aplicabilidade e execução). Além disso, não existe um padrão ou referência para testar a precisão e a considerável incerteza caracteriza todos os tipos de medições (DAVIDSON et al.,2000).

Tradicionalmente, o efluxo de CO<sub>2</sub> tem sido medido com câmaras que abrangem pequenas quantidades de solo, mas, o uso destes sistemas é muitas vezes criticado por não serem adequados como amostra da heterogeneidade inerente do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, e também da chamada câmara de efeitos (RAICH et al,1985). A câmara de efeitos inclui: perturbação do solo durante a colocação da câmara, causando a liberação de CO<sub>2</sub> dos poros do solo compacto; a temperatura e a troca de umidade do solo com o ar sob a câmara, possivelmente afeta a composição e a taxa de respiração, há alteração da concentração do gradiente de CO<sub>2</sub> entre o solo e a câmara influenciando na taxa de difusão, eliminação ou alteração das flutuações da pressão turbulenta do ambiente dentro da câmara, reduzindo o fluxo de massa de CO<sub>2</sub> e afetando o desenvolvimento viscoso da camada próxima do solo (MEIER et al., 1996).

A sensível diferença de pressão entre a câmara e a atmosfera foi encontrada para produzir um importante fluxo de massa de CO<sub>2</sub> dentro ou fora do solo, abaixo da câmara, resultando num erro para mais ou para menos. Na medição do verdadeiro fluxo, a colocação da câmara no solo modifica o movimento do ar e gera variações da pressão em torno da câmara especialmente em lugares e solos porosos (FANG & MONCRIEF, 1996).

### **2.5.3 Temperatura do solo**

A energia radiante que atinge a superfície terrestre será destinada a alguns processos físicos principais e dentre esses, um está relacionado ao aquecimento do ar (convecção) e outro ao aquecimento do solo (condução), portanto, responsáveis pelas variações de temperatura nestes meios. A temperatura é um índice que expressa a quantidade de calor sensível de um corpo. Chama-se calor sensível ao calor trocado (ganho ou perdido) por um corpo e que acarreta mudança de temperatura do corpo, mas sem mudar a forma de ligação de suas moléculas (formas sólida, líquida ou gasosa). Chama-se calor latente ao calor ganho ou perdido por um corpo e que acarreta mudança de forma de ligação das moléculas do corpo (mudança de estado), mas sem mudar a temperatura. O regime térmico de um solo é determinado pelo aquecimento de sua superfície pela radiação solar e transporte de calor sensível ao seu interior, pelo processo de condução. Durante o

dia, o aquecimento da superfície origina um fluxo que transporta calor da superfície para o interior do solo, aumentando o armazenamento de energia e conseqüentemente elevando sua temperatura. À noite, o resfriamento da superfície por emissão de radiação terrestre, diminui a temperatura nas camadas próximas a superfície e isto inverte o sentido do fluxo de calor, que se torna ascendente, retornando o calor armazenado para a superfície. Esse processo tenta minimizar a queda da temperatura na superfície visto que o processo radioativo de perda de energia é muito mais eficiente (GERSON et al, 1996).

A variação de temperatura do solo, ao longo do dia e da profundidade pode ser estudada a partir da elaboração de perfis de variação de temperatura (MOTTA, 1983).

A variação temporal e espacial da temperatura de um solo depende de sua condutividade térmica, e de seu calor específico, e de sua emissividade (poder emissor da superfície), os quais irão depender de sua textura, densidade e umidade, além disso, essa variação decorre da inter-relação com uma série de fatores. Os fatores externos estão relacionados aos elementos meteorológicos que afetam o balanço de energia na superfície, também sua posterior partição, ou seja, irradiância solar global, temperatura do ar, nebulosidade, vento e a chuva. Neste contexto, esses elementos meteorológicos passam a condicionar a temperatura do solo, tornando-se fatores intrínsecos, que são aqueles determinados pelo tipo de solo, de cobertura da superfície e pelo relevo do solo. O tipo de cobertura do solo é um fator microclimático (SENTELLAS, 2001).

O tipo de solo é um fator intrínseco e está relacionado á sua textura, estrutura e composição. Assim, desconsiderando-se os outros fatores, os solos arenosos tendem a apresentar maior amplitude térmica diária nas camadas superficiais e menor profundidade de penetração das ondas de calor, em função de sua maior condutividade térmica. Fisicamente, a condutividade térmica ( $\text{cal.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ) representada na faixa de transporte de calor é a densidade de partículas ( $\text{CO}_2$ ) que passam através de uma área num segundo ( $\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ) significando a velocidade em que o calor atravessa o material, esta variação chama-se gradiente de temperatura ( $-\Delta T/\Delta z$ ) sendo igual a  $1 \text{ grau.m}^{-1}$ , ou seja a condutividade térmica

expressa a facilidade ou dificuldade com que um corpo transporta calor (FIN et al 1972).

A condutividade térmica é maior em solos ricos em quartzo e menor em solos orgânicos. A porosidade do solo também afeta a condutividade térmica do solo, pois ela substitui o ar dos poros e sua condutividade térmica é muito maior do que a do ar. Solos barrentos e argilosos têm a maior condutividade térmica, conduzindo calor a maiores profundidades resultando em menor amplitude térmica em camadas superiores (SENTELLAS, 2001).

#### **2.5.4 Umidade do solo**

Regiões do planeta nem muito seca, ou nem excessivamente úmidas, estudadas por pesquisadores britânicos, apresentaram uma significativa conexão entre quantidade de chuva e umidade do solo. Na África Equatorial, abaixo do deserto do Saara, as planícies da América do Norte e o norte da Índia foram três regiões do planeta onde se constatou uma correlação positiva entre as águas do solo e as que caem em forma de chuva. Para chegar a esses resultados os cientistas do centro de pesquisa Ambiental para ecologia e hidrologia do reino unido compararam modelos independentes de chuva e umidade do solo.

Segundo TAYLOR (2004), o principal autor das pesquisas em regiões muito úmidas ou bastante secas, essa relação não foi detectada. Correlações menos fortes foram percebidas na América do Sul, China e Ásia Central, para os pesquisadores que desenvolveram estes projetos. Enquanto a ciência tem um conhecimento bem sedimentado das relações que existem entre os oceanos e o clima global, como o efeito El Niño, por exemplo, pouco se sabe da influência da superfície da terra no regime de chuvas. A descoberta da importância da umidade do solo para a chuva pode acarretar novos projetos de pesquisa nesse setor. Ainda existe um grau de incerteza, mas sem dúvida os modelos aplicados para várias regiões analisadas, mostraram que o regime de chuvas afeta a umidade do solo.

GEVAERD (2003) afirmou que as propriedades do solo se limitam ao armazenamento e perda de água para a atmosfera, além de regular a infiltração nas várias camadas do solo (condutividade e difusividade hidráulica). Características, como capacidade de campo e ponto de murcha permanente devem estar ajustadas

para garantir valores de umidade relativa para cada região, conforme o tipo do solo predominante.

A diferenciação dos diversos biomas e respectivas propriedades biofisiológicas constitui fator fundamental para o cálculo da umidade do solo. A introdução de um mapa de vegetação incorpora os efeitos da evapotranspiração e a interceptação pelo dossel (parcela de precipitação que fica retida nas folhas e caules das plantas evaporando antes de haver infiltração e diminuindo a quantidade que efetivamente atinge o solo). A evapotranspiração possui importância destacada, uma vez que o perfil de raízes comanda a retirada de umidade de camadas do solo, determinando o perfil vertical de umidade. É necessário considerar que apenas parte do volume de água precipitada entra em contato direto com a superfície do solo, estando disponível para a infiltração. Esta parcela é denominada precipitação efetiva que abastece a camada superficial em primeiro momento e posteriormente, através da infiltração, abastece perfis mais profundos (ADUAM, 2003).

A parte de precipitação que não atinge o solo e fica retida em obstáculos, sobretudo em partes das plantas, retorna para a atmosfera por evaporação direta. Este processo é tratado como interceptação, podendo representar uma perda considerável em função da espécie da cobertura vegetal predominante, além de depender do ecossistema presente. A parcela da água da chuva que é interceptada pela vegetação é componente importante do ciclo hidrológico (NOBRE, 2004) e também no balanço hídrico de uma área (ARTAXO, 2004).

No caso de florestas onde predomina a heterogeneidade, quer seja pela biodiversidade, como nas florestas tropicais e equatoriais quer seja pela diferença de idade de algumas poucas espécies predominantes, como nas florestas temperadas, a interceptação da chuva pela vegetação é bastante variável, oscilando desde 7% até mais de 50% em função de diversos fatores (NOBRE, 2004).

A transpiração das plantas é o principal processo de remoção de umidade. Dos três biomas considerados, a floresta remove umidade preferencialmente de níveis mais profundos do solo, pois possui perfil de raízes igualmente profundo, a pastagem apresenta um perfil raso retirando a umidade, sobretudo da camada

superficial e no caso do cerrado, o perfil de raízes é considerado uniforme na profundidade, estando presente em todas as camadas e proporcionando uma retirada homogênea de umidade no perfil do solo (MANZI, 1996).

### **2.5.5 Precipitação**

Na região Amazônica, a chuva ou precipitação, é a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para a superfície terrestre após os processos de evaporação e condensação, completando assim, o ciclo hidrológico. A quantidade e a distribuição de chuvas que ocorrem anualmente em uma região determinam o tipo de vegetação natural e também o tipo de exploração agrícola possível (SENTELLAS et al, 2001).

Porque o sistema de chuvas na Amazônia se parece mais com o do oceano Pacífico do que com o de florestas? Por que as árvores da floresta Amazônica absorvem mais gás carbônico do que produzem? Se a mata funciona como sugadora de gás, o Brasil não teria direito de cobrar dos países desenvolvidos pela poluição que a Amazônia elimina?

Parece um paradoxo, mas a maior reunião já realizada de investigação científica sobre a Amazônia produziu mais perguntas do que respostas. No final de junho de 2003 mais de 300 pesquisadores apresentaram trabalhos sobre o clima global, estocagem de carbono, química atmosférica, hidrometeorologia e os efeitos do desmatamento e das queimadas sobre a Amazônia

Segundo ARTAXO (2004), a sua pesquisa sobre o efeito dos aerossóis (partículas sólidas) expelidos no ar da Amazônia durante o período de queimadas, descobriu que nos meses de fogaréu, a poluição no ar de Mato Grosso é cinco vezes maior que nos piores dias de inversão térmica em São Paulo. Há tantos aerossóis, que a composição das nuvens no período de seca (quando ocorrem as queimadas), é completamente diferente do período de chuvas. Como as nuvens distintas têm o potencial pluviométrico diferente, em longo prazo isto pode ter um efeito enorme no fluxo de chuvas na região. As nuvens da floresta Amazônica fascinam os cientistas, são a base da teoria embrionária do ‘‘oceano verde’’, que compara a atmosfera da floresta com a dos mares, há motivos fortes para essa comparação oceânica. Embora, a região Amazônica tenha mais de 500 milhões de

hectares de terra firme, suas nuvens têm um formato parecido com aquelas que ficam sobre oceano. As nuvens Amazônicas possuem carga elétrica negativa, assim como as formações sobre os mares. O índice de chuvas, a produção de raios e a altura da suspensão das nuvens estão mais próximos dos índices oceânicos que dos da floresta Africana, por exemplo, como não se sabia disso alguns meses atrás, todos os sistemas de previsão de tempo para a região estão baseados em modelos equivocados (NOBRE, 2004).

Uma pista encontrada está na relação de aerossóis e de ozônio na atmosfera Amazônica com as queimadas e o índice de chuvas. A série de pancadas diárias na estação das chuvas faz uma faxina no ar da floresta, enxaguando-a de aerossóis. No período de seca, há mais partículas suspensas no ar, fruto da falta de chuva e da fumaça, na época das queimadas, o carbono liberado na atmosfera não reflete a luz e provoca uma reação química que dificulta a formação da chuva. Para conseguir fazer chover, a nuvem tem de subir a uma altitude maior, onde a temperatura baixa faz a água se cristalizar. Nesse processo, gasta uma energia tremenda e chove menos (ARTAXO, 2004).

Sabe-se que dificilmente uma floresta que recebe alguns milímetros de chuva por semana pega fogo. Porém, descobriu-se que a mata que já foi queimada uma vez tem o dobro de inflamabilidade da floresta virgem. Isso significa uma queda nos índices de precipitação podendo implicar uma série de queimadas, muitas em lugares que já foram incendiados durante a seca de 97. Em condições ideais de preservação, a floresta amazônica tem novidades até no seu processo de respiração (NEPSTAD, 2004).

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1.1 Localização da área de estudo**

A área de estudo está localizada na Amazônia Legal (figura 2), a aproximadamente 50 km da cidade de Sinop, Mato Grosso, Brasil e todas as medições foram realizadas em um local de coordenadas ( $11^{\circ} 24.75'S$ :  $55^{\circ}19.50'O$ ) pertencente à fazenda Maracaí que fica a 423 m acima do nível do mar, onde está situada uma torre micrometeorológica, pertencente ao Mestrado em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e que foi financiada pelo projeto Experimento de Grande Escala da Biosfera Atmosfera na Amazônia (LBA), que monitora os fluxos de  $CO_2$  e de água naquele ecossistema desde 1999.



**Fonte:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (1997).

**Figura 2** - Mapa dos Estados brasileiros que compreendem a Amazônia Legal

### 3.1.2 Vegetação e Solo

Esta área de estudo é constituída por uma floresta tropical de transição (cerradão), que ocupa o ecótono entre floresta Amazônica e o cerrado. Segundo o RADAM Brasil, numa escala de 1:1.000.000 esta floresta é classificada como uma transição da Ombrófila para a estacional. As árvores são características das florestas de transição com altura média de 20-30m. As principais espécies identificadas no local são *Tovomita sp*, *Brosimum sp*, *Casearia sp*, *qualea sp*, *Volchysia sp*, *Dinizia Excelsa sp*, *Quina pteridophilla*, *Mezilaurus itauba* (VOURLITIS et al., 2001; VOURLITITS et al., 2002).

O solo desta área, segundo a classificação feita pelo laboratório da UFMT, é um neossolo quartzarênico órtico típico 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).

### 3.1.3 Clima

Segundo a classificação de Köppen o clima da região é quente e úmido, com a temperatura média anual em torno de 24 °C, com pequenas variações nas estações e uma precipitação média anual em torno de 2000 mm (tabela 1), com 3 meses de estação seca (Junho a Agosto), 3 meses de estação úmida (Dezembro e Fevereiro), 3 meses de estação de transição úmida-seca (Março a Maio) e 3 meses de estação de transição seca-úmida (Setembro a Novembro), as características climatológicas da floresta de transição são semelhantes 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 que o cerrado (VOURLITIS et al., 2002).

Aproximadamente metade da precipitação acumulada anualmente cai entre Dezembro e Fevereiro, enquanto cerca de 1% ocorre historicamente entre Junho e Agosto, conforme pode ser visto na tabela 1 (PRIANTE FILHO et al., 2004).

**Tabela 1** - Precipitação mensal para o local de estudo.

MÊS (m)	2001(mm)	2002(mm)	2003(mm)	2004(mm)
Janeiro	165	388	600	462
Fevereiro	255	334	271	453
Março	0	326	382	135
Abril	0	23	276	138
Mai	0	0	70	16
Junho	0	0	0	0
Julho	10	0	0	19
Agosto	5	0	0	19
Setembro	177	62	25	18
Outubro	189	172	273	51
Novembro	365	218	382	160
Dezembro	484	338	365	273
<b>Total Anual</b>	<b>1650</b>	<b>1861</b>	<b>2644</b>	<b>1744</b>

**Fonte:** Estação meteorológica fazenda Continental e fazenda Tupi, próximas da área de estudo.

### 3.1.4 Métodos

Para realização do presente trabalho, foram efetuadas medidas de efluxo de CO<sub>2</sub>, umidade do solo e coletas de dados meteorológicos para o final da

estação seca e da estação de transição seca-úmida, que é um período em que há muita variação nos dados do efluxo de  $\text{CO}_2$  do solo ocasionado por rápidas mudanças na umidade do solo, provocada pelo início das chuvas na região de estudo. A metodologia de coleta de dados foi descrita a seguir:

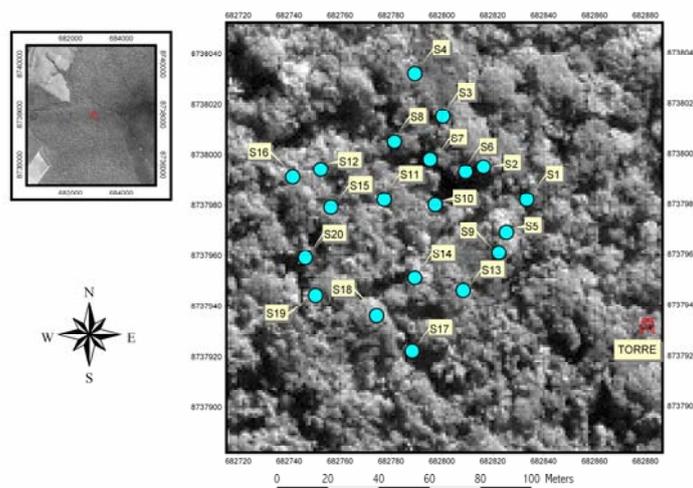
#### 3.1.4.1 Coleta de dados de efluxo de $\text{CO}_2$

As medidas de efluxo de  $\text{CO}_2$  foram realizadas mensalmente sobre o acúmulo de serrapilheira do solo, no período de Julho a Novembro de 2004, utilizando-se o aparelho portátil de absorção de  $\text{CO}_2$  por infravermelho EGM-1/WMA-2; GAS ANALIZER, que estava acoplado em uma câmara de retenção de  $\text{CO}_2$  com  $1170 \text{ cm}^3$ , que cobre uma área do solo de  $78,5 \text{ cm}^2$  (figura 3).



**Figura 3** - Medidas do Efluxo de  $\text{CO}_2$  no solo, utilizando o aparelho EGM.

As medidas de efluxo de  $\text{CO}_2$  foram efetuadas em um transecto que parte da torre micrometeorológica, em 20 pontos localizados próximos de coletores de madeira da produção de serrapilheira, sendo representados por  $P_1$  a  $P_{20}$  (figura 4).



**Fonte:** Composição RGB de imagem do sensor IKONOS.

**Figura 4** - Transecto onde estão localizadas as 20 caixas de coleta de produção de serrapilheira.

#### 3.1.4.2 Coleta de dados micrometeorológicos

Para relacionar a variação do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo com o microclima da região foram realizadas coletas de temperatura do solo, umidade do solo e precipitação conforme pode ser visto na tabela 2, conforme descrição a seguir:

**Tabela 2** - Coleta de dados micrometeorológicos

Variável	Equipamento	Local de coleta	Frequência
Temperatura do solo	Termômetro digital	Pontos P1 a P20	Mensal
Umidade do solo	Trado Holandês para coleta de solo.	Adjacente às caixas de coleta	Mensal
Precipitação	Pluviômetro	Fazendas Tupi e Continental	Diária

Para as medidas de temperatura do solo, foi utilizado um termômetro digital que foi introduzido no solo à profundidade de 5 cm, próximo à câmara do aparelho analisador de gás por infravermelho (EGM), nos mesmos pontos em que foi feita a coleta do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo.

Para a umidade, foram escolhidos 10 pontos aleatórios, selecionados entre alguns pontos do transecto onde foram feitas as medidas do efluxo. Nesses pontos, com auxílio de um trado Holandês, retiraram-se amostras do solo a 20 cm de profundidade que eram colocadas logo em seguida em sacos plásticos hermeticamente fechados, após as coletas do solo, no final da tarde eram pesados em uma balança de precisão modelo Metler P1210, para obter o peso úmido de cada amostra de solo. Para obtenção do peso seco foi utilizado o método de secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, resultando na umidade gravimétrica do solo, ou seja, o percentual de água no solo que era dado pela equação:

$$Umidade(\%) = \left( \frac{PU - PS}{PU} \right) \times 100$$

Onde: PU = Peso úmido

PS = Peso seco

A precipitação foi um dado fornecido parte pela fazenda Tupi e parte pela Fazenda Continental que se localizam próximas do local de estudo, devido a falhas nos equipamentos da torre micrometeorológica.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

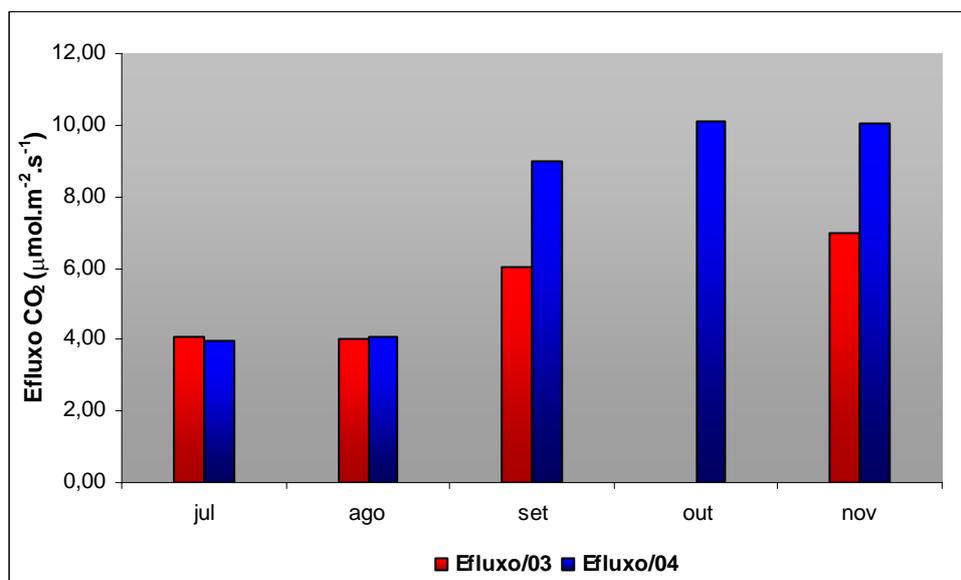
### 4.1 VARIAÇÃO DO EFLUXO DE CO<sub>2</sub>

A tabela 3 mostra a média mensal do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo para o local de estudo, cujos valores foram obtidos dos dados coletados, no período utilizado para a análise que foi nos dois últimos meses da estação seca (Julho e Agosto) e na estação de transição seca-úmida (Setembro a Novembro).

**Tabela 3** - Média do efluxo de CO<sub>2</sub> no solo para os meses coletados.

<b>2004</b>	<b>Efluxo (<math>\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}</math>)</b>
Julho	3,99
Agosto	4,05
Setembro	8,97
Outubro	10,08
Novembro	10,03
<b>Média</b>	<b>7,42 ± 3,14</b>

No presente estudo, para o final da estação seca e estação de transição seca-úmida do ano de 2004 a média do efluxo de CO<sub>2</sub> para a floresta de transição foi de aproximadamente  $7,42 \pm 3,14 \mu\text{molm}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (Figura 5).



**Figura 5** - Comparação entre o efluxo do solo de 2003 e 2004, no final da estação seca e estação de transição seca-úmida.

A média encontrada para o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo neste estudo, foi maior que a média para o mesmo período de VALENTINI (2003) realizada no mesmo local, que foi de aproximadamente  $5,27 \pm 1,47 \mu\text{molm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , conforme pode ser visto também na tabela 3, apesar dos valores do efluxo de CO<sub>2</sub> para a estação seca estarem compatíveis com VALENTINI (2003).

Para a estação de transição seca-úmida do ano de 2004, os valores do efluxo de CO<sub>2</sub>, foram muito maiores do que para o ano de 2003. Isto pode ter ocorrido porque no início desta estação a precipitação e a umidade foram menores que em 2003, o que pode ter acarretado naquela ocasião, uma saturação do solo impedindo assim, a liberação do efluxo de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

A tabela 4 mostra alguns estudos realizados na Amazônia por diversos pesquisadores utilizando diversos métodos e os valores de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo encontrado por cada um, para períodos que variaram de dois anos inteiros de coleta a apenas uma estação, demonstrando assim, que diversos estudos estão sendo feitos, para se tentar quantificar o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, para em conjunto com outros trabalhos buscar um fechamento do balanço do carbono na Amazônia e verificar qual sua influência real no clima global. Comparando-se os valores

médios de efluxo de CO<sub>2</sub> citados nesta tabela e os obtidos no presente estudo verifica-se que foram compatíveis.

Tabela 4 – Estudos realizados de efluxo do CO<sub>2</sub> do solo na região Amazônica.

Autor	Período	Localização	Efluxo de CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	Metodologia
Coutinho & Lamberti (1971)	Seca (Agosto-Setembro)	Barcelos, AM, Brasil	7,64*	Solução Aquosa 0,5 N KOH
Marthins & Mathes (1978)	Seca (Julho)	Manaus, AM, Brasil, São Carlos do Rio Negro	3,8 ± 1,4*	Solução Aquosa 0,5 N KOH
Medina et al. (1980)	2 anos inteiros	Venezuela	7,2 ± 1,5*	Solução Aquosa 0,5 N KOH
Kepler et al. (1980)	2 anos inteiros	Manaus, Am, Brasil, Reserva Ducke	4,7*	IRGA câmara estática
Wofsy et al. (1988)	2 anos inteiros	Manaus, Am, Brasil, Reserva Ducke	4,5	IRGA câmara dinâmica
Meir et al. (1996)	2 anos inteiros	Manaus, Am, Brasil	5,5 ± 0,7	IRGA câmara dinâmica
Chambers et al. (2002)	Ano inteiro	Manaus, Am, Brasil	3,8	IRGA câmara dinâmica
Nunes (2003)	Ano inteiro	Juruena, MT, Brasil	4,25	IRGA câmara dinâmica
Sotta et al. (2004)	Final estação chuvosa	Manaus, AM, Brasil	6,4 ± 0,25	IRGA câmara dinâmica
Valentini (2003)	Estação seca	Sinop, MT, Brasil	4,04 ± 0,04	IRGA câmara dinâmica
Valentini (2003)	Estação transição Seca-úmida	Sinop, MT, Brasil	6,5 ± 0,68	IRGA câmara dinâmica
Estudo Presente	Final estação seca	Sinop, MT, Brasil	4,02 ± 0,04	EGM Analisador de gás CO <sub>2</sub> por infravermelho
Estudo Presente	Transição seca-úmida	Sinop, MT, Brasil	9,69 ± 0,63	EGM Analisador de gás CO <sub>2</sub> por infravermelho

\*Esses valores foram apresentados em  $\text{mgm}^{-2}.\text{h}^{-1}$ , sendo convertido pra  $\mu\text{molm}^{-2}.\text{s}^{-1}$  pelo fator 0,00631313

**Fonte:** Adaptado NUNES (2003), SOTTA (2004) e VALENTINI (2003)

## 4.2 RELAÇÃO ENTRE EFLUXO DE CO<sub>2</sub> E UMIDADE NO SOLO

A umidade do solo é um fator importante para que aconteça o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, pois acompanha o regime de chuva da região, sendo um fator limitante na ocorrência das reações químicas de decomposição de matéria orgânica, segundo VALENTINI (2003), quando observou esta influência da umidade no efluxo de CO<sub>2</sub> do solo para esta região. Vale ressaltar ainda, que VALENTINI (2003) utilizou o método volumétrico para a medida de umidade do solo (m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>O x m<sup>-3</sup> de solo) e no presente estudo, foi usado o método gravimétrico (% de água no solo).

Outros estudos como SOTTA (2004), MANZINI (2002), CASTRO & KAUFFMAN (1998), NEPSTED (1994) também mencionaram a importância da umidade do solo para a liberação ou retenção do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo.

É importante ressaltar que não se deve fazer a coleta de efluxo de CO<sub>2</sub> do solo logo após a ocorrência de chuva, pois o aumento da umidade pode causar o aumento do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo ou o excesso de água no solo pode provocar uma barreira para a troca de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, ou ambos, entre solo e atmosfera, subestimando-se o valor do efluxo (BUNNELL, 1977).

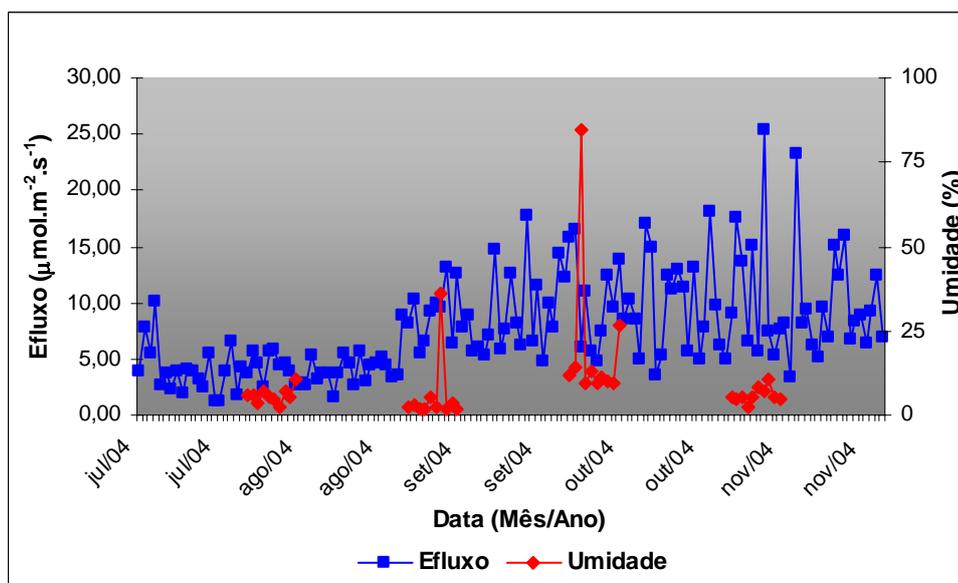
A tabela 5 mostra os valores da umidade média registrada entre Julho a Novembro de 2004, durante o período de coleta no final da estação seca e estação de transição seca-úmida, o que mostra que a umidade do solo realmente acompanha o regime de chuvas da região, quando comparado com a tabela 1, que mostra os valores da precipitação para a região de estudo. A umidade para o mês de julho/04, não foi feita, devido à baixa umidade neste mês.

**Tabela 5** - Média de umidade do solo para a estação seca e estação de transição seca-úmida.

<b>Mês/ano</b>	<b>Umidade do solo (%)</b>
Julho/04	-
Agosto/04	5,77
Setembro/04	2,76
Outubro/04	4,39
Novembro/04	6,02
<b>Média</b>	<b>4,74 ± 1,50</b>

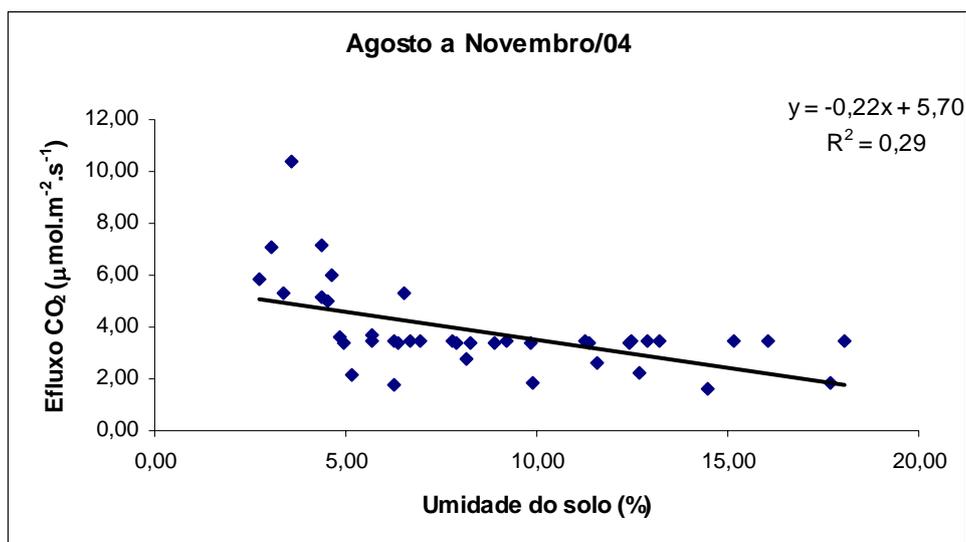
A figura 6 mostra o comportamento do efluxo de CO<sub>2</sub>, durante o período de coleta, sendo o efluxo para os 20 pontos do transecto e a umidade para 10

pontos aleatórios escolhidos dentro deste mesmo local. Verifica-se nesta figura que o efluxo do solo realmente acompanha o regime de chuvas da região, como explicitado pelos autores citados acima, quando há o início das chuvas, o efluxo aumenta, quando o solo satura, há uma diminuição do mesmo.



**Figura 6** - Umidade e Efluxo de  $\text{CO}_2$  do solo.

Na figura 7, apesar da baixa correlação existente entre efluxo de  $\text{CO}_2$  do solo e umidade do solo, verifica-se que com o aumento da umidade há um decréscimo da liberação do efluxo de  $\text{CO}_2$ , talvez provocado pela saturação do solo, que substitui o conteúdo de ar dos poros por água e forma uma barreira para a saída de  $\text{CO}_2$  advindo da decomposição de matéria orgânica e da respiração das raízes.

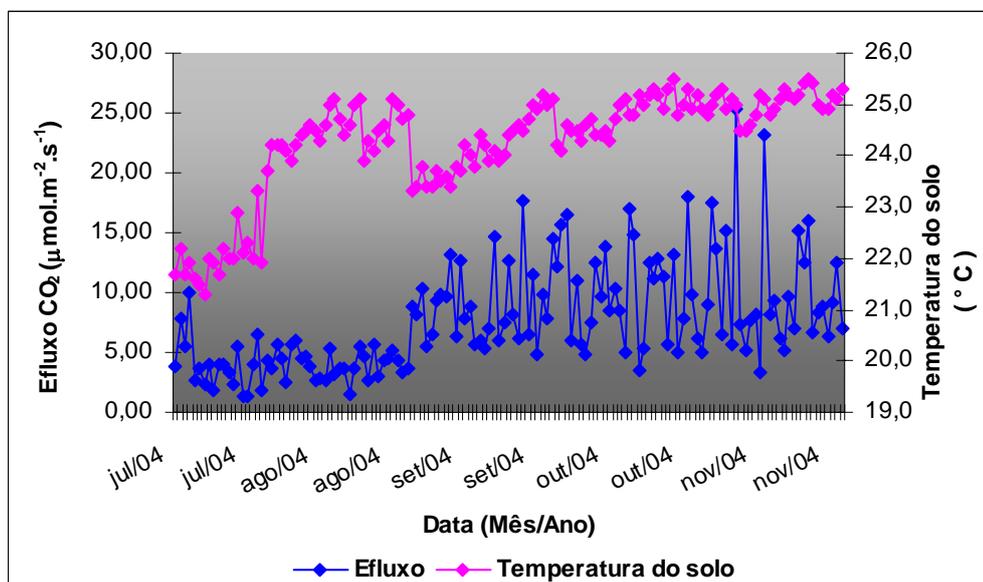


**Figura 7** – Variação do efluxo de CO<sub>2</sub> em relação à umidade para o último mês da estação seca e estação de transição seca-úmida.

### 4.3 RELAÇÃO ENTRE EFLUXO DE CO<sub>2</sub> E TEMPERATURA DO SOLO

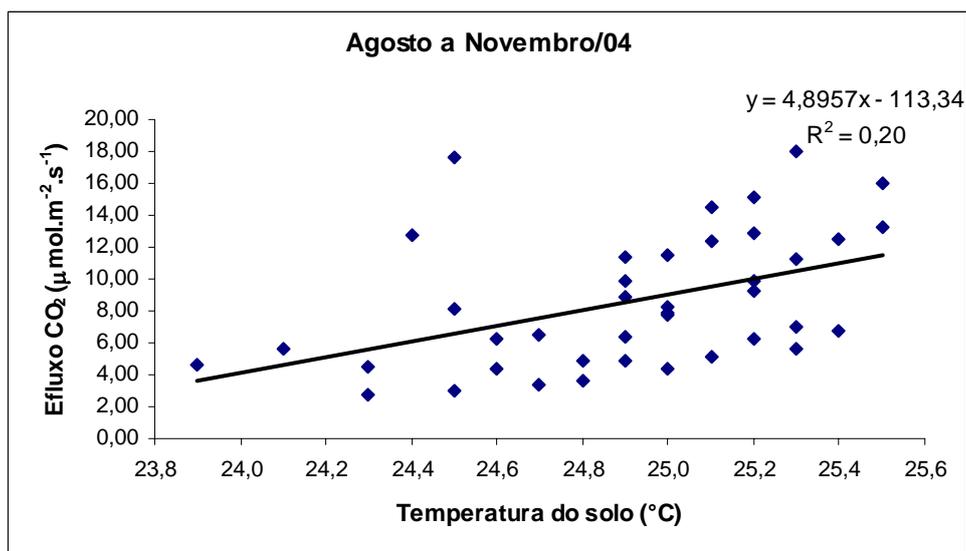
Para analisar a variação do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo com a temperatura, foi realizada análise comparativa e reta de regressão para procurar entender como seria o comportamento do efluxo em relação ao final da estação seca e da estação de transição seca-úmida do ano de 2004.

A temperatura do solo durante o período de coleta variou de 23,3 a 25,5°C, com uma média de 24,4°C, ficando acima da média já registrada para a região de 24°C. Podendo também ser um fator a influenciar a maior liberação do Efluxo de CO<sub>2</sub> neste período, pois a amplitude da variação ficou em 2,2°C, fornecendo uma maior quantidade de energia para transformar a água da chuva em vapor d'água, liberando assim, a saída de efluxo para a atmosfera pois o solo permanece saturado por um período menor de tempo (figura 8).



**Figura 8** - Efluxo do solo e temperatura do solo.

Na figura 9, apesar da fraca correlação entre efluxo de CO<sub>2</sub> e temperatura do solo, verifica-se que a temperatura pode ser um fator a influenciar a liberação de CO<sub>2</sub>, pois à medida que aumenta a temperatura aumenta a liberação de CO<sub>2</sub>.



**Figura 9** – Variação do efluxo de CO<sub>2</sub> em relação à temperatura do solo para o último mês da estação seca e estação de transição seca-úmida.

#### 4.4 MODELOS QUE ESTIMAM O CÁLCULO DE EFLUXO DE CO<sub>2</sub>

O efluxo de CO<sub>2</sub> do solo sofre a influência de diversas variáveis, como mostrado em trabalhos como o feito por GALLON (2005), que demonstra que o fluxo de CO<sub>2</sub>, na estação seca sofre a influência de no mínimo 6 variáveis e na estação úmida, até 7 variáveis. Para demonstrar a influência da temperatura na liberação do efluxo de CO<sub>2</sub>, utilizamos um modelo testado por HELBER (2001), comprovando que a temperatura não é o único fator a influenciar o efluxo de CO<sub>2</sub>. O efluxo de CO<sub>2</sub>, medido “*in situ*”, a cada mês e nos diferentes pontos do transecto, inclusive pontos aleatórios no meio do transecto diferem dos valores calculados por modelos, conforme se pode conferir na tabela 6.

Tabela 6. Efluxo de CO<sub>2</sub> (μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) medido e calculado por modelos linear (com a<sub>1</sub> = 0,192 e a<sub>2</sub> = -1,407) e exponencial (com a<sub>1</sub> = 0,057 e a<sub>2</sub> = -0,262).

Mês/04	Efluxo Medido (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	Efluxo Calculado por HELBER (2001) $R_s = a_1 T_s + a_2$	Efluxo Calculado por HELBER (2001) $R_s = e^{a_1 T_s + a_2}$
JULHO	3,99 ± 2,21	2,82 ± 0,09	2,70 ± 0,07
AGOSTO	3,87 ± 1,08	3,32 ± 0,07	3,13 ± 0,06
SETEMBRO	8,97 ± 3,17	3,22 ± 0,11	3,04 ± 0,10
OUTUBRO	10,08 ± 4,05	3,36 ± 0,07	3,17 ± 0,7
NOVEMBRO	10,03 ± 5,19	3,40 ± 0,05	3,21 ± 0,05

Os modelos linear e exponencial utilizados nesta tabela foram adaptados de HELBER (2001), utilizando os valores de a<sub>1</sub> e a<sub>2</sub>, encontrados pelo autor para as condições especificadas em seu trabalho. Comparando-se os valores encontrados pelos modelos com o medido no campo, pode-se concluir que a temperatura não é um fator isolado a influenciar na liberação do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, pois os valores calculados, principalmente na estação de transição seca-úmida quando ocorrem eventos de chuva estiveram muito abaixo dos valores medidos. Nos dois meses da estação seca apresentados na tabela, a temperatura pode ter sido um dos fatores mais importantes a influenciar na liberação do efluxo

de CO<sub>2</sub>, pois neste período a umidade do solo é muito baixa, tendo ocorrido nos dois meses apenas 38 mm de chuva.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

A partir das análises dos resultados obtidos, fizeram-se as seguintes considerações:

Houve uma variação do efluxo de CO<sub>2</sub> no decorrer de Julho a novembro de 2004, na estação seca e de transição seca-úmida.

Usou-se análise comparativa, reta de regressão e erro padrão para discussão dos dados.

Houve uma correlação fraca do efluxo de CO<sub>2</sub> de acordo com as retas de regressão com a umidade e temperatura do solo, para o final da estação seca e estação de transição seca-úmida.

Nas condições estudadas a umidade do solo e a temperatura combinados foram os fatores que mais influenciaram a taxa de liberação do efluxo de CO<sub>2</sub>.

A partir dessas considerações finais sugere-se:

- Fazer coleta de respiração de solo a cada quinze dias.
- Para a determinação de umidade e temperatura, escolher dez pontos aleatórios próximos das caixas, em cada ponto onde é medido o efluxo.
- Logo após a coleta do solo para a determinação da umidade imediatamente pesar e levar para a estufa de secagem na temperatura de 105°C durante vinte quatro horas.
- Fazer comparações entre a umidade do TDR, que é acumulada na torre micrometeorológica e a umidade feita “*in situ*” nos dez pontos aleatórios próximos das caixas de coleta.
- Elaborar uma equação que represente a relação entre o efluxo de CO<sub>2</sub> do solo com a umidade e temperatura baseada nos dados analisados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUAM, R. A. **Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil Central**. Tese (Doutorado em Ecologia) - Coordenação dos programas de Pós-graduação em ecologia. Universidade Federal de Brasília. 2003.

ARTAXO, M. O peso da Amazônia tropical contra o aumento do efeito estufa. **O Farol Eletrônico**, p. 22-32-33, 2004.

BEKKU, Y.; NAKATSUBO T.; KUME, A; ADACHI, M.; KOIZUME, H . Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in artic, temperature and tropical soils. **Applied soil ecology**. v. 22, p 205-210, 2003.

BUNNELL, F. L., TAIT, D.E N.;FANAGAN, P.W.;VAN CLEVE, K. Microbial respiration and substrate weight loss - I. A general model of the influences of abiotic variables. **Soil Biology and Biochemistry**.v. 9. p33-40. 1997

Carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest. **Global Change Biology**: p. 209-217, 1996.

CURTIS, H. **Biologia** Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1977. 964p.

CECCON, E.; MIRAMONTES, O. Mecanismos y actores sociales de la deforestation en la Amazônia brasileña. **Interciência** . Mexico, v.24, nº.2, p.112-119. 1999.

COUTINHO, L. M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**. v.12. n°28. p.22-30. 1990.

CASTRO, E. A. & KAUFFMANN, J.B. Ecosystem structure in the Brazilian cerrado: a vegetation gradient of above ground biomass root biomass and consumption by fire. **Journal of tropical Ecology** (1998). v.14. p. 263-238.

DAVISON, E. A. & WOODWELL, G. M. Feedbacks, and understanding the role of terrestrial ecosystems in the global carbon balance. **Biogeochemical Cycles**. v.12. p.25-34, 1998.

DAVISON, E.; TRUNBORE, S.; AMUDSON, R. Soil warming and carbon content. **Nature**. n°408, p.789-790, 2000.

ESCALA JR., N. L. A; MARQUES JR., PEREIRA J. T; CORA, J, E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO<sub>2</sub> emissions from Brazilian bare soil. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 32, p.1459-1462, 2000.

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

FONSECA, V. I.; FRANCIS, D. Simulações climáticas do desmatamento da floresta tropical. **Sink Nature**, p. 18-19-20, 2004.

FREITAS, H. C. DE. **Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em uma pastagem na Amazônia (Rondônia): observações com câmara portátil e simulação do ciclo de carbono com o Modelo SiB2**. 2001. 58p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas- Universidade de São Paulo, 2001.

GALLON, M. M. P. **Um estudo sobre a dinâmica de sistemas complexos a partir de séries temporais de dados microclimatológicos para uma floresta de**

**transição no noroeste de Mto Grosso.** 2005. 115p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra - Universidade Federal de Mato Grosso, 2005.

GRACE, J., MALHI, Y., LLOYD, J., MCINTYRE, J. MIRANDA, A.; MEIER, P. & MIRANDA, H. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide uptake of Brazilian rain forest, **Global Change Biology**, v.2, p.209-217.

GOMES, A. G. & VARRIALE, M. C. **Modelagem de ecossistemas:** Uma Introdução. Santa Maria: UFSM, 2001. 501p.

HERSKOWICKZ G.; PENTEADO P. C. M.; SCOLFARO, V. **Curso Completo de Física.** Editora Moderna, 1991.630p.

HOUGHTON, R. Why are estimates of the terrestrial carbon balance are different? **Global Change Biology.** v.9, p.500-509. 2003.

IPCC, 2001 (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change.** 2001.

INPE, 2001. In LENTINI, M; VERÍSSIMO ,A; SOBRAL, L. **Fatores Florestais da Amazônia.** Belém. Imazon. 2003. 110p.

KLINK, C. A. & MOREIRA, A. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P. S. & MARQUES, R, J. **The cerrados of Brazil.** Columbia University Press, New York. v.11, p. 69-88. 2002.

**LBA (Experimento de grande escala da biosfera - atmosfera na Amazônia) Plano experimental conciso.** Centro de previsão de tempo e estudos climáticos. INPE. São José dos Campos. 1996. 46p.

LLOYD, J.; TAILOR, J. A. On the temperature dependence of soil respiration. **Functional Ecology**. v.8, p.315-323, 1994.

LUCHESE, E. B; FAVERO, L. O. B.; LEZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro, RJ. Freitas Bastos Editora, 2001.182p.

MALHI, Y.; NOBRE, D.; GRACE, J; KRUIJT, B; PEREIRA, .M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. **Journal Geophysical Research**. v. 103, nº D24, p. 31593-31612. 1998.

MANZI, A. Simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with Abracos and Arme. **Amazonian deforestation and climate**. p.13-16, 2002.

MOTTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. Ed. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1983. 376p.

NEPSTAD, D. C. Forest regrowth in abandoned pastures of eastern Amazonia: Limitations to tree seedling survival. **Limitations for tree seedling survival and growth**. PhD thesis - Yale University USA. 70 p. 2002.

NEPSTAD. D. C; CARVALHO, C. R de; DAVISON, E. A. The role of deep roots in the hidrological and carbon cycles of Amzonian forest and pastures. **Nature**. 373. p. 666-669. 1994.

NOBRE, C, A; GASH, J. Desmatamento muda o clima da Amazônia. **Ciência hoje**. V.22, nº.128, p. 33-41, 1997.

NUNES, P. C. **Influência do efluxo de CO<sub>2</sub> no solo na produção de forragem numa pastagem extensiva e num sistema agrosilvopastoril, MT**. 2003. 68p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso.

ODUN, E. P Ecologia. Rio de Janeiro. Editora Guanabara. 1988. 434p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELLAS, P. C. **Agrometeorologia, Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p, 1v.

PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S., NOGUEIRA, J. S. de; CAMPELO JR, J. H., NUNES, P. C.; SANCHES, L.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M.; VOURLITIS, G. L. Comparison of the mass and energy Exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon basin during the wet-dry season transition. **Global Change Biology**, Urbana – IL – USA, v. 10, p. 863-876. 2004.

PRICHET, W. L Proprieties and management of forests soils. New York, John Wiley 500p. 1997. In: MORO, L. Utilização de cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba. Universidade de São Paulo. 53 p.1994.

RAICH, J.; EWEL, J.; OLIVEIRA, M. SOIL CO<sub>2</sub> efflux in simple and diverse ecosystems on vulcanic soil in Costa Rica. **Turrialba**. v.35, n°.1, p.33-42, 1985.

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 no ponto de vista químico. Disponível em: [www.unb.br/iq/engamb/aimportancia do C. Pdf](http://www.unb.br/iq/engamb/aimportancia%20do%20C.pdf). Acesso em 08 de Abril de 2004.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. Dissertação (Mestrado em meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

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

SOUZA, J. S; LUIZÃO, R. C.C.; LUIZÃO, F. J . Fluxo de CO<sub>2</sub> no solo em gradiente topográfico durante a estação chuvosa na Amazônia central. In: VI CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2003. Fortaleza. Anais. Fortaleza-CE, 2003. p. 651-653.

SCHLESINGER, W. H. Carbon balance in terrestrial detritus. **Annual Review of Ecology and Systematic**. v. 8. p.51-81. 1997.

SHUGART, H. H; SMITH, T. M. & POST, W. M. The potential application of individual based models for assessing the effects of global change. **Annual Review of Ecology**. v. 23. p.15-38. 2000.

TOWNSEND, A.R; VITOSEK, P. M & HOLAND, E. A. Tropical soils could dominate the short – term carbon 3-303 cycle feedbacks to increased global temperatures. **Clima change**. (1996), p. 22-29.

TOLEDO, L. O de. **Aporte de Serrapilheira, Fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas florestas secundária no município de Pinheiral-RJ**. 2000. 50p. Monografia submetida como requisito parcial á obtenção do grau de engenheiro florestal. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2000.

VALENTINI. C. M. A. **Efluxo de CO<sub>2</sub> do solo de uma área de Floresta de Transição no Noroeste de Mato Grosso**. 2003. 81p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, 2003.

VITOSEK, P. M. Global environmental change: **An Introduction Annual Review of Ecology and Sistematics**. v. 23. p. 1-14. 1992.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHY, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; JR., J. H. Seasonal Variation in the ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of mature Amazonian transitional tropical forest (cerradão). **British Ecological Society**. v. 15, p. 388-395, 2001.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELLO JR., J. H. Seasonal variations in net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of mature Amazonian transitional tropical Forest (cerradão). **Functional Ecology**. v.15, p.388-395, 2001.

WOODWELL, G. M.; MACKENZIE; HUNGTON, R. A ; APPS, M; GORHAM, E. & DAVIDSON, E. A. Biotic feedbacks in the warming of the earth. **Climate change**. v.40. p. 495-518. 1998.