



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA

VARIAÇÕES NO FLUXO DE CO₂ DO SOLO NUMA ÁREA DE CERRADO EM ALTER-DO-CHÃO

JOSÉ DOS REIS BANDEIRA FILHO

Santarém, Pará
setembro, 2013

JOSÉ DOS REIS BANDEIRA FILHO

**VARIAÇÕES NO FLUXO DE CO₂ DO SOLO NUMA ÁREA DE
CERRADO EM ALTER-DO-CHÃO**

Prof. Dr. Rodrigo da Silva
Prof. Dr. José Mauro Sousa Moura

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera.

Santarém, Pará
setembro, 2013

VARIAÇÕES NO FLUXO DE CO₂ DO SOLO NUMA ÁREA DE CERRADO EM ALTER-DO-CHÃO

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera. Aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível de mestrado, da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, em 29 de setembro de 2013.

Prof^o. Dr. Luis Reginaldo Ribeiro Rodrigues – UFOPA
Coordenador do PGRNA

Apresentada à Comissão Examinadora, integrada pelos Professores:

Prof^o. Dr. Troy Patrick Beldini – UFOPA
Examinador 01

Prof^a. Dra. Cintya de Azambuja Martins Khader – UFOPA
Examinadora 02

Prof^o. Dr. David R. Fitzjarrald – University at Albany
Examinador 03

Prof^o. Dr. Rodrigo da Silva
Orientador

Prof. Dr. José Mauro Sousa Moura
Co-orientador

Santarém, 29 de setembro de 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO
E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS RONDON -
UFOPA

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: _____

0000 Bandeira Filho, José dos Reis.
VARIAÇÕES NO FLUXO DE CO₂ DO SOLO NUMA ÁREA DE CERRADO
EM ALTER-DO-CHÃO. – Santarém, 2013.
55 páginas.

Bibliografia.

Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Oeste do Pará, 2013.

Orientador: Rodrigo da Silva.

1. Fluxo 2. CO₂ 3. Cerrado 4. Amazônia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus Pais, irmãos, sobrinhos e a minha esposa, pois sem o apoio de meus queridos familiares, talvez este trabalho jamais se tornasse uma realidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois, julgo que Ele é o dono do conhecimento e tudo o que nós, cientistas fazemos e tentamos desvendar os segredos da sua Criação.

E agradeço, aos meus familiares: minha mãe Isaura, meu pai José, meus irmãos Joel e Janaína e a minha esposa Adelene pelo apoio, em alguns momentos até logístico.

Agradeço também ao meu orientador, Professor Dr. Rodrigo da Silva, pelo seu direcionamento e compartilhamento de informações indispensáveis.

Agradeço ainda aos professores Dr. José Mauro, co-orientador deste trabalho, Dr. Troy Beldini, pelas suas importantes contribuições logísticas e conceituais, Dr. Rodrigo Fadini, pela preocupação em fornecer material bibliográfico e as Dras. Michela e Cristina por suas contribuições conceituais na qualificação.

Agradecimento muito especial devo manifestar às pessoas que tiveram participação ativa na logística de campo, são eles: Wilde, Alírio, Diego, Bruno, Edmundo, Ronildo, Railson, Breno e Radiles.

Agradeço ainda a CAPES pela concessão da Bolsa que foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

Ao Laboratório TE-02 LBA/UFOPA pela disponibilização de equipamento e espaço físico de trabalho.

Ao PG-CLIAMB/INPA pela aceitação de minha matrícula como aluno especial em seu Programa de Mestrado e a Sra. Jercyra do Valle por ceder sua propriedade para o estudo.

Enfim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a execução e conclusão deste trabalho.

Muito obrigado.

EPÍGRAFE

“Só há duas maneiras de viver a vida: a primeira é vivê-la como se os milagres não existissem. A segunda é vivê-la como se tudo fosse milagre.”
Albert Einstein

BANDEIRA FILHO, José dos Reis. **VARIAÇÕES NO FLUXO DE CO₂ DO SOLO NUMA ÁREA DE CERRADO EM ALTER-DO-CHÃO**. 2013. 55 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2011.

RESUMO

Amazônia sendo um bioma terrestre tropical é vista como um ícone de importância mundial principalmente no que se refere à contribuição dos fluxos de dióxido de carbono (CO₂) no cenário das mudanças globais. Existem pesquisas que apoiam a ideia de que a Amazônia deverá passar por uma transformação podendo se tornar um ambiente com características semelhantes a uma savana ou cerrado. A literatura existente apresenta poucas informações e dados relacionados às manchas de cerrado amazônico. Existe uma importante necessidade de se estudar o cerrado Amazônico. Com o fim de Avaliar a variação do fluxo de CO₂ do solo em uma área de Cerrado na Região de Alter-do-Chão correlacionando à variáveis climáticas, foram feitas estimativas de fluxo de CO₂ a partir de dois métodos de cálculos distintos e correlacionados com as variáveis umidade relativa do ar e do solo e temperatura do ar. Concluiu-se que o fluxo de CO₂ na área é inferior ao da floresta tropical; a umidade relativa do solo tem influência no fluxo de CO₂ do solo no Cerrado estudado e a umidade relativa e temperatura do ar não tem influência no fluxo. Topografia também influenciou no fluxo que, logo após uma chuva, é mais elevado. Observou-se uma metodologia de cálculo mais eficiente.

Palavras-chave: fluxo, CO₂, Cerrado, Amazônia.

BANDEIRA FILHO, José dos Reis. **VARIAÇÕES NO FLUXO DE CO₂ DO SOLO NUMA ÁREA DE CERRADO EM ALTER-DO-CHÃO**. 2013. 55 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2011.

ABSTRACT

Amazon being one tropical terrestrial biome is seen as an icon of global importance especially with regard to the contribution of the fluxes of carbon dioxide (CO₂) in the scenario of global change. There are studies that supports the idea that Amazon will undergo a transformation can become an environment with similar characteristics will a savanna or Cerrado. The existing literature provides little information and data related to patches of savanna Amazon. There is an important need to study the Amazonian Cerrado. In order to evaluate the variation of soil CO₂ flux in an area of the Cerrado region of Alter-do-Chão correlating to climatic variables, we estimated CO₂ flux from two different calculation methods and correlated with the variable relative humidity and soil and air temperature. It was concluded that the CO₂ flow in the area is lower than the rainforest, the humidity of the soil influences the soil CO₂ flux in the Cerrado studied and the relative humidity and air temperature has no influence on the flow. Topography also influenced the flow that soon after a rain is higher. There was a more efficient method of calculation.

Key-Words: flow, CO₂, Cerrado, Amazon.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1.1.1. A AÇÃO ANTRÓPICA NO CENÁRIO DAS MUDANÇAS GLOBAIS.....	3
1.1.2. O DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) E AS MUDANÇAS GLOBAIS.....	4
1.1.4. O CERRADO	9
1.1.5. CERRADO NA AMAZÔNIA.....	11
1.1.6. ESTUDOS SOBRE O CERRADO AMAZÔNICO	13
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. Geral.....	14
1.2.2. Específicos	14
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
2.1. Descrição da Área de Estudos	15
2.2. Coleta de Dados.....	16
2.3. Análise dos dados	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
3.1. CONCLUSÕES	34
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
5. ANEXOS	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da concentração de CO₂ a partir de dados de núcleo do gelo, medidas diretas e projeções. Adaptado de UNEP/GRID, 2005.

Figura 2 – Divisão Geográfica dos Biomas brasileiros. Adaptado de IBGE, 2008.

Figura 3 – Georeferência da área a estudada.

Figura 4 – Área Amostral onde os pontos de aquisição de amostras de concentração CO₂ serão definidos.

Figura 5 – Esquema da montagem dos equipamentos de coleta do fluxo de CO₂.

Figura 6 – Foto das câmaras montadas em diferentes pontos.

Figura 7 – Perfil esquemático da câmara inserida no solo.

Figura 8 – Esquema de aquisição das variáveis: umidade do solo e do ar, temperatura ambiente e do solo.

Figura 9 – Diferentes metodologias de cálculo de fluxo de CO₂ no Ponto **P1** do dia 09/02/2012.

Figura 10 – Comparação da temperatura ambiente com a temperatura no interior da câmara no momento de amostragem feito por CARDOSO (2012).

Figura 11 – média de fluxo de CO₂ obtida a partir de métodos de cálculo distintos.

Figura 12 – Média do Fluxo de CO₂ em cada dia válido de amostragem.

Figura 13 – Fluxo de CO₂ e Umidade Relativa do solo em médias mensais.

Figura 14 – Correlação entre fluxo de CO₂ e as demais variáveis ambientais.

Figura 15 – Distribuição dos fluxos médios diários de CO₂ nos pontos P1 e P2.

Figura 16 – Dados de concentração da Câmara C1 no ponto P2 no dia 09/02/2012.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Já é do conhecimento de grande parte da população as questões do clima e mudanças globais. Nesse contexto, a Amazônia sendo um bioma terrestre tropical é vista como um ícone de importância mundial, pois há um amplo interesse científico no entendimento de processos físicos e biológicos no sistema superfície-atmosfera tanto nos ecossistemas amazônicos quanto em nosso planeta, principalmente no que se refere à contribuição dos fluxos de dióxido de carbono (CO₂) no cenário das mudanças globais (ANDRADE *et al.*, 2006).

Entre as correntes de projeções para cenários futuros está o processo de savanização da Amazônia. Esta teoria apresenta a conversão do ecossistema de floresta tropical em um savânico, semelhante ao bioma que se vê no Brasil central, o Cerrado. Contudo, a efetivação dessa transformação seria dependente do efeito combinado de alguns fatores como períodos de pouca precipitação, ocorrência de fogo e pastagens, solos, geomorfologia, atuação do homem, entre outros. (ANAYA *et al.*, 2009; SAN JOSE & MEDINA, 1975).

Diante dessas informações e visando um futuro quase eminente do bioma amazônico, se faz necessária a consideração de maiores esforços para implementar estudos relacionados ao cerrado amazônico. E considerando as questões sobre mudanças climáticas, estudos voltados para essa temática revela ainda mais destaque em relação ao interesse científico, social e econômico.

O estudo do Cerrado Amazônico, que já compreende cerca de 11% do território do bioma Amazônia, ainda se apresenta de forma tímida. É importante notar que diante das tensões econômicas mundiais, principalmente no que se refere ao crescimento populacional e a produção de alimentos tendo como foco territórios agrícolas brasileiros e, mais precisamente, Amazônicos, o estudo deste componente do mosaico de ecossistema amazônicos tem grande relevância para o eminente cenário futuro.

Deste modo, o advento das mudanças globais, principalmente aquelas relacionadas ao clima, deve ser apresentado aos chamados “tomadores de

decisões”, para que assim o papel da ciência cumpra seu objetivo final. Neste sentido, um substancial conhecimento de fenômenos e processos que engrenam o sistema terrestre e o papel da ação antrópica ou não nesse contexto é indispensável. E isso se concretiza, principalmente, a partir de iniciativas pioneiras.

O progresso que traz vantagens para poucos, pode gerar, ou está gerando um novo cenário na Amazônia. E ao contrário do que muitos pensavam, a floresta possui determinado limite de recuperação. Ao mesmo tempo em que esforços devem ser feitos no sentido de reverter tal situação é preciso, também, buscar entender a dinâmica desse novo ambiente que pode surgir.

Existem pesquisas que apoiam a ideia de que a Amazônia deverá passar por uma transformação podendo se tornar um ambiente com características semelhantes a uma savana ou cerrado (PELLEGRINO; ASSAD & MARIN, 2007). Portanto, é importante que se entenda melhor o funcionamento do ecossistema de cerrado, pois se esse realmente for o futuro da Amazônia então é preciso estar familiarizado com conhecimentos amadurecidos de tal ambiente.

A literatura existente apresenta poucas informações e dados relacionados às manchas de cerrado amazônicos. A expansão silenciosa e evidente desse tipo de paisagem é um fato que leva à reflexões sobre as projeções para futuros cenários na região. O entendimento mais consistente da dinâmica desse ecossistema é necessário e útil, uma vez que os esforços por reverter o processo de conversão da cobertura vegetal tem não tem tido muito sucesso.

Os poucos trabalhos sobre essa temática se concentram no extremo norte da amazonia, na região do Estado de Roraima. Entretanto, em Santarém, e mais precisamente em Alter-do-chão e entornos, se observa a frequente ocorrência de fragmentos de cerrado. Contudo, a literatura gerada a partir de estudos na região não é suficiente para uma caracterização da dinâmica dessas áreas em termos de microclima local ou mesmo regional.

A maioria dos estudos na região são relacionados à botânica, além de caracterização e identificação de espécies animais. A investigação de trocas gasosas na interface biosfera-atmosfera deve ser mais encorajada e aplicada para um entendimento mais abrangente da região. Este estudo busca suprir esta

carência, além chamar atenção para questões relacionadas à teoria de savanização e suas implicações futuras regionais e globais.

1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apesar da frequente apresentação do tema mudanças climáticas pelas mídias nos últimos anos, segundo MARENGO (2006), há certa imprecisão nas informações passadas ao público. O autor afirma que além da população, os tomadores de decisão, tem tipo dificuldades em discernir as certezas e os equívocos com relação às variações do clima contemporâneo e, especialmente, do futuro.

Essas mudanças climáticas têm sido cada vez mais associadas à condição da floresta amazônica (LAURANCE et al., 2001; GULLISON et al., 2007). Entretanto, apesar da desmitificação da Amazônia no papel das mudanças globais vista antes como “pulmão do mundo”, a atenção da comunidade científica para o bioma amazônico ainda é evidente, e isso se deve, entre outros fatores, a complexidade de ecossistemas reunidos num só lugar possibilitando os mais diversos estudos na busca por respostas relacionadas às questões ambientais atuais (ANDRADE *et al.*, 2006).

1.1.1. A ação antrópica no cenário das mudanças globais

A origem do papel antrópico no contexto das mudanças globais teve origem na metade do século XVIII a partir de quando se observou crescimento da concentração de CO₂ na atmosfera, a qual passou de uma média de 280 ppmv (partes por milhão por volume) para algo próximo de 370 ppmv (KEELING & WHORF, 1999 *in* SILVA JÚNIOR *et al.*, 2004).

ICHKAWA (2004) fala sobre essas mudanças e as coloca como sendo provocadas por ação antrópica, o autor baseia sua colocação a partir de dados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e de pesquisas japonesas. Da mesma forma, HANSEN (2005), confirma e apoia este fato. E estudos

mostram evidências de impactos resultantes de tais mudanças, como, redução das geleiras acumuladas no topo de montanhas (como as do Himalaia), redução da espessura do gelo na região ártica e desmoronamento de geleiras na Antártica (BINDSCHADLER & BENTLEY, 2005; STURM et al., 2005 & JAUK, 2005).

Nesse cenário o Brasil, se considerado como um país em desenvolvimento é posto entre aqueles que estão mais vulneráveis às mudanças climáticas. Isso é complementado pelo IPCC que, segundo POPPE e ROVERE (2005), prevê maiores esforços de países nessa categoria para se adaptarem às novas condições climáticas se tal país tiver dificuldade em lidar com a variabilidade natural do clima e com seus eventos extremos.

Segundo NOBRE et al, (2004, 2005) e NOBRE (2005), essas mudanças climáticas alteram o ciclo hidrológico e geram fenômenos extremos afetando principalmente a agricultura e as áreas florestais brasileiras. Em alguns lugares com precipitação maximizada e em outros o contrário, precipitação minimizada desregulando, assim, ciclos hidrológicos sazonais favorecendo entre outros processos previstos, a “savanização” da Amazônia.

1.1.2. O Dióxido de Carbono (CO₂) e as Mudanças Globais

O Dióxido de Carbono (CO₂) sempre teve um papel importante no sistema terrestre. Desde os primórdios da formação do planeta, esse gás, juntamente com outros chamados de gases do Efeito Estufa tem proporcionado aquecimento ao planeta do modo a sustentar a vida como, quimicamente, conhecemos. Mas sua concentração sofreu um notável aumento, tendo início a partir do advento das máquinas (MARENGO, 2006).

Contudo, considerando a relativa contribuição do CO₂ para o EE (Efeito Estufa) de 60%, e seu tempo de permanência na atmosfera que varia de 50 a 500 anos (KRUPA, 1997 *in* SILVA JÚNIOR *et al.*, 2004), este gás do EE se destaca quando comparado a outros gases potenciais como o vapor d'água (H₂O), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Entretanto, apesar de não ser o gás mais potente do

EE, o CO₂ é o que apresenta maior taxa de aumento de sua concentração na atmosfera do planeta revelando que é preciso atentar para esse gás.

Tabela 1 – Evolução da concentração média de gases do EE e seu tempo de residência na atmosfera.

GÁS	Concentração pré-industrial (ppmv)	Concentração em 1998 (ppmv)	Residência atmosférica (anos)
H₂O	1 a 3	1 a 3	Poucos dias
CO₂	280	365	Variável (50 – 500)
CH₄	0,7	1,75	12
N₂O	0,27	0,31	114
CHF₃	0	0,000014	260
CF₃CH₂F	0	0,0000075	13,8
CH₃CHF₂	0	0,0000005	1,4
CF₄	0,00004	0,00008	> 50.000
C₂F₆	0	0,000003	10.000
SF₆	0	0,0000042	3.200

Fonte: UNEP/GRID Arendal

Nesse sentido o CO₂ tem papel importante no processo natural de aquecimento do planeta, o EE. Tal processo ocorre por que a Radiação solar que chega diariamente ao planeta é refletida e difundida e também absorvida por todos os elementos que compõe sua superfície (atmosfera, solo, corpos d'água, etc) e em seguida é reemitida da forma de radiação térmica, a qual interage com gases do EE presentes na atmosfera planetária que, por sua vez, retém o calor num ciclo de absorção e remissão da radiação térmica promovendo, assim, a manutenção da temperatura média do planeta (DIAS, 2006).

Este mecanismo natural sempre manteve a temperatura média do planeta entre 14 a 16 °C. Com a atual e evidente interferência antrópica no equilíbrio do ambiente natural pode-se observar que as concentrações dos gases do EE tem sido alteradas (YOUNG, 2002). Contudo, a maior preocupação não é necessariamente com a concentração em si desses gases, e sim com o aumento da mesma, fato ligado à grande demanda por energia, alimento e produção industrial.

O CO₂ atmosférico é gerado pela queima de combustíveis fósseis, desmatamentos, em especial das florestas tropicais úmidas, e isso faz com que a processos como absorção de CO₂ pelos oceanos e pela biosfera por meio da fotossíntese, mecanismos naturais de regulação da concentração de CO₂ na

atmosfera, não sejam suficientes para equilibrar o aumento das emissões de CO₂ de origem antropogênica (MELO, 2009).

Para MOUTINHO (2006), falar sobre um aquecimento da atmosfera terrestre em escala global já não é mais apenas uma presunção, é agora um fenômeno real observado através dos mais sofisticados e rigorosos métodos científicos. O INCT (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia) para Mudanças Climáticas de 2010 apresenta o seguinte:

“...o 4º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC AR4) concluiu que ‘o aquecimento do sistema climático é inequívoco...’, atribuindo-o às atividades humanas: ‘A maior parte do aumento observado nas temperaturas médias globais desde meados do século XX é muito provavelmente – grau de certeza superior a 90% - devida ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa antropogênicos”.

Deste modo, a responsabilidade ambiental atribuída às ações antrópicas são colocadas como uma problemática a ser mitigada, e não mais discutida à luz da veracidade ou não de tal fato.

MOSS et al., (2000) afirma que haverá, até 2030, um aumento na temperatura média do planeta na ordem de 0,5 °C a 2,5 °C. Por outro lado, o painel das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), é mais otimista, e apresenta esta variação na temperatura como 4,0 °C mais elevada, porém isso até 2100 (IPCC, 2007 b) em modelos climáticos mais pessimistas.

Além disso MOSS et al., (2000) ainda afirma que esse aumento da temperatura média global poderá levar há um aumento médio do nível do mar na ordem de 26 a 27 cm até 2030. Sendo tal elevação no nível do mar e consequente expansão térmica da água dos oceanos resultado principal do derretimento da Antártica e do Ártico.

Nos últimos anos, com o aumento da concentração dos gases do EE, em particular do CO₂ (fig. 1), o EE foi potencializado dando origem a um aquecimento anormal da atmosfera que ficou popularmente conhecido como aquecimento global. E os cenários futuros apontam para um notável aumento da concentração média desse gás na atmosfera (NOBRE, 2001). Contudo, o CO₂ é uma molécula de gás

formada por dois átomos de oxigênio unidos por ligação covalente com duas duplas ligações e a um átomo de carbono que tem principal importância nessa espécie química, pois este elemento tem relação com processos de trocas que ocorrem entre litosfera, hidrosfera e atmosfera.

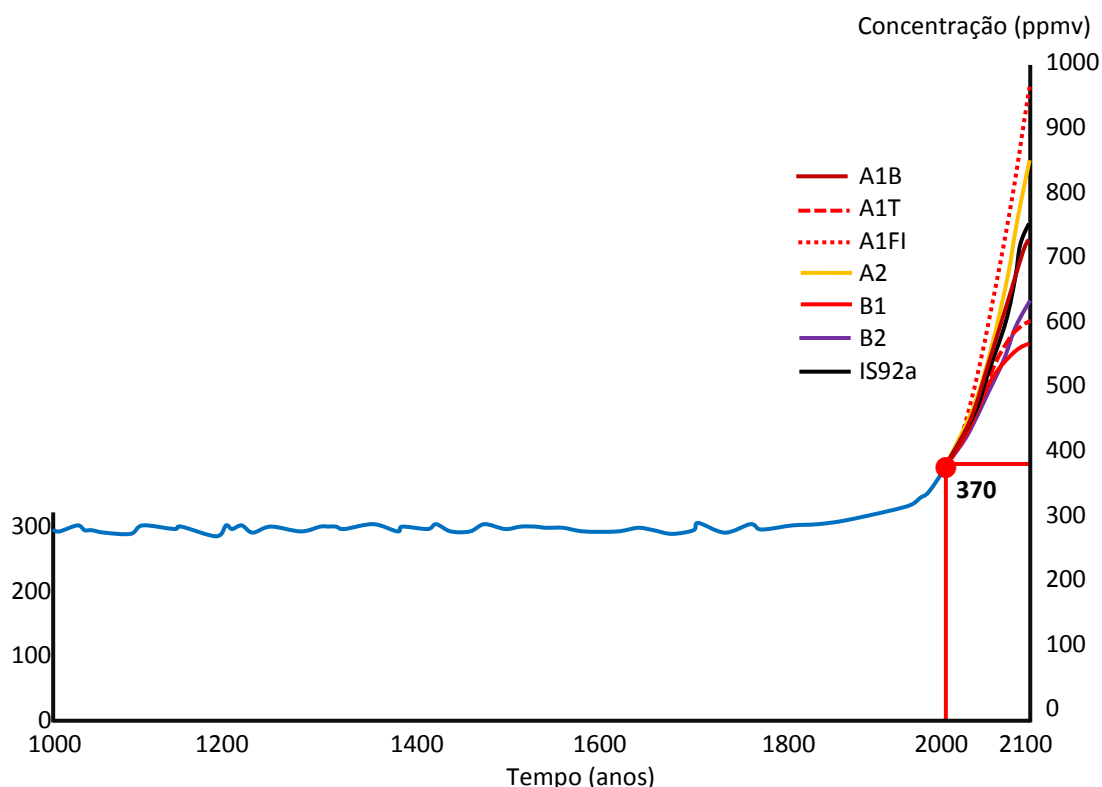


Figura 1 – Evolução da concentração de CO₂ a partir de dados de núcleo do gelo, medidas diretas e projeções. Adaptado de UNEP/GRID, 2005.

Nas últimas décadas, as mudanças de uso da terra e a queima de combustíveis fósseis têm contribuído para um aumento na presença de CO₂ na atmosfera (IPCC, 2007). Nos ciclos biogeoquímicos, a biosfera tem papel de fundamental importância, pois é nela que o carbono tomará destinos decisivos para formação de espécies químicas que influenciarão processos físicos e químicos relacionados à regulação do clima (LOVELOCK, 1991).

1.1.3. CO₂ no Solo

Em nosso Planeta este elemento químico (o carbono) encontra-se distribuído em quatro reservatórios gerais, são eles: oceanos, atmosfera, ecossistemas terrestres e formações geológicas. Do ponto de vista teórico, tais reservatórios encontram-se em equilíbrio e qualquer alteração em um deles gera alterações nos demais (LAL *et al.*, 1995 *in* FERREIRA *et al.*, 2005). O solo apresenta uma das maiores reservas de carbono da biosfera na forma de matéria orgânica derivada de decomposição. A quantidade de carbono presente no solo é 2,5 vezes maior que na vegetação e 2 vezes maior em relação a atmosfera (BATJES, 1998 *in* FERREIRA *et al.*, 2005).

O solo é constituído de um considerável número de diferentes organismos que associam-se de diversas maneiras entre si e à matriz do solo. Tais organismos, juntamente com as raízes, também presentes no solo, são responsáveis pela chamada respiração do solo, que integra a respiração de todos os agentes metabolizantes presentes neste (ADUAN *et al.*, 2003).

COELHO (2005) não difere em sua definição para a produção de CO₂ do solo, segundo ele este seria basicamente um processo bioquímico e FERREIRA *et al.* (2005) complementa, afirmando que a respiração do solo se dá com a liberação de CO₂ proveniente de todos os agentes biológicos presentes no mesmo. A autora cita ainda que o fluxo de CO₂ resultante da respiração do solo tem um importante efeito nas mudanças climáticas globais através de sua contribuição na concentração de CO₂ na atmosfera. Esse gás, em combinação com outros gases como NO, N₂O e CH₄, além do vapor de água influenciam nas propriedades físico-químicas da atmosfera (SHINE *et al.*, 1990 *in* FERREIRA *et al.*, 2005).

Outra questão inerente ao CO₂ no solo é que logo após uma chuva o fluxo de CO₂ deve sofrer um aumento. ZANCHI *et al.*, (2003) sugere que isto se deve ao processo de infiltração da água no solo, em que a água força a saída de CO₂ para a atmosfera. Além disso, a disponibilidade de água no solo favorece o processo de decomposição a partir da ação da fauna Microbiana existente no mesmo, o que contribui para a respiração.

1.1.4. O Cerrado

Em solos de cerrado, caracterizados como formações tropicais e subtropicais com vegetação composta, quase que de forma contínua, por gramíneas e lenhosas (COUTINHO, 1978), a dinâmica do fluxo de CO₂, bem como os processos físicos e bioquímicos envolvendo esta espécie química ainda é pouco conhecida. Esse bioma é o segundo maior do Brasil em extensão territorial (fig. 2), perdendo apenas para a Amazônia (RIBEIRO & WALTER, 1998). As áreas de cerrado Nativo (ecossistema não perturbado) e alterados tem determinadas funções nas trocas entre superfície e atmosfera cujo conhecimento é deficiente (FERREIRA *et al.*, 2005).



Figura 2 – Divisão Geográfica dos Biomas brasileiros. Adaptado de IBGE, 2008.

O Cerrado ocupava, há alguns anos, cerca de 25% do território brasileiro com uma área de aproximadamente 200 milhões de ha compreendendo toda sua área de bioma propriamente dito na Região Centro-Oeste, e outras áreas presentes em biomas distintos nas regiões Sul, Sudeste, Norte e Nordeste (ALVIN e ARAÚJO, 1952; RIZZINI, 1979 e CÂMARA, 1993).

A área ocupada pelo Cerrado sofreu uma diminuição ao longo dos últimos anos, com relação à sua composição vegetal característica natural, sendo apresentada por autores de forma decrescente partindo dos 25% já apresentados para 24% (RIBEIRO e WATER, 1998) e mais recentemente 21% (BORLAUG, 2002) do território nacional.

Um estudo realizado por MACHADO et al. (2004) a partir de análises de imagens de satélite em 2002, revelou que 55% do Cerrado já foram efetivamente desmatados ou transformados pela ação humana. Esta área equivale a quase três vezes a área desmatada na Amazônia brasileira naquele período.

Apesar de ser um dos principais ecossistemas tropicais da Terra e foco para preservação de biodiversidade no planeta (MYERS et al. ,2000), o Cerrado teve e têm sido ocupado pelo homem chegando a destacar-se como fronteira agropecuária brasileira, além de coexistir em meio a uma das áreas de composição mineral mais ricas do país (DIAS,1992).

Aliado aos fatos supracitados tem-se ainda que o Cerrado foi colocado na lista dos 25 biomas de alta diversidade mais ameaçados do mundo devido, principalmente, a baixa quantidade de áreas desse bioma protegidas até 2001 (LEWINSOHN & PRADO, 2002). Considerando ainda ações antrópicas nesse ecossistema, VARELLA et al. (2004) afirmam que em relação ao Cerrado nativo, nos pastos plantados os fluxos de CO₂ para a atmosfera são mais rápidos e sazonalmente mais variáveis.

HAO & WARD (1993) e ANDREAE (1996) sugeriram que queimadas em savanas seriam responsáveis por aproximadamente 40% de toda a biomassa global queimada a cada ano. Assim o Brasil com as áreas do cerrado central e as manchas dessa paisagem distribuídas pela Amazônia ganha destaque devido a agricultura presente nessas áreas (KLINK *et al.*, 1993).

Considerando ainda a questão das queimadas, FANG & MONCRIEF, 2001; SALIMOM, 2003 afirmam que na presença de condições com temperaturas elevadas, a exemplo, no caso de uma queimada, a respiração do solo é reduzida, devido à redução, inativação ou mesmo morte de enzimas nessa situação. Contudo,

a queima de biomassa, compensa esta redução da respiração propriamente dita do solo.

Existem muitas variações para a definição nominal do bioma cerrado. Alguns autores o chamam de Cerrado mesmo, outros de Savana, mas esse termo Cerrado é basicamente utilizado quando se refere ao conjunto de ecossistemas existentes na região central Brasil, entre esses ecossistemas está a Savana (EITEN, 1977; RIBEIRO *et al.*, 1981 *in* KLINK & MACHADO, 2005).

1.1.5. Cerrado na Amazônia

Ao contrário do que muitos pensam o cerrado é um ecossistema que ocorre com frequência na Amazônia (BRAGA, 1979). Cerca de 13% a 17% de toda a região da Amazônia Legal brasileira é caracterizada por Cerrados (FEARNSIDE & FERRAZ, 1995; SKOLE & TUCKER, 1993). Algumas áreas no entorno de Santarém e, mais precisamente, as regiões próximas à zona urbanizada apresentam manchas de savana, que caracterizam cerrado.

A frequente ocorrência desse bioma na região pode ser atribuída a diversos fatores, dentre os quais podem ser citados as importantes transformações demográficas, culturais e ambientais relacionados com a intensificação da exploração do território nos últimos 40 anos (FARELLA, 2005 *in* BÉLIVEAU *et al.*, 2009). Atualmente, a agricultura familiar é o principal meio de subsistência nas zonas rurais e é um dos fatores de destaque nos processos de desmatamento (FARELLA, 2005 *in* BÉLIVEAU *et al.*, 2009).

Uma das teorias que explica a ocorrência dessas manchas de Cerrado na Amazônia é a Teoria dos Refúgios Florestais em que, segundo VIADANA (2000), durante o degelo, na última glaciação, flutuações climáticas na mudança da fase mais seca e fria para a uma mais úmida e quente, condicionaram alguns fragmentos da biota de florestas tropicais deixando-os retraídos resultando em um degelo mais demorado excluindo-os, assim, de áreas com permanência da umidade, constituindo certos refúgios e sofrendo, deste modo, um desenvolvimento diferenciado característico como resultado direto deste isolamento ambiental.

Além disso, outros autores atribuem à formação de paisagens de cerrado a, entre outros fatores, climas com períodos de pouca precipitação, ocorrência de fogo e pastagens (ANAYA *et al.*, 2009). SAN JOSE & MEDINA (1975), confirmam essa ideia dizendo que a origem de ecossistemas que caracterizam Cerrado se deve a fatores como precipitação sazonal, solos, geomorfologia, fogo e atuação do homem. Além disso, estudos mostram a limitação de Nitrogênio em savanas tropicais, o qual é competido pela biomassa de vegetação e minhocas (DECAENS *et al.*, 1994 *in* MARICHAL *et al.*, 2011), contribuindo para a caracterização da paisagem vista nesse tipo de bioma.

Entre os principais fatores inerentes a caracterização da cobertura vegetal e produção de cerrados é o fogo (FROST *et al.*, 1986 *in* FERNANDES & FERNANDES, 2002). Tal elemento está ligado à sazonalidade própria da área onde está estabelecido esse tipo de ecossistemas. A biomassa seca é o combustível básico para o fogo que ocorre no final da estação seca e início da estação chuvosa, quando se observa ocorrência de chuvas com raios catalizadores de fogo, (SARMIENTO, 1984 *in* FERNANDES & FERNANDES, 2002). Além das causas naturais existem as origens antrópicas do fogo, que há muito tempo estão presentes nas composições vegetais de Cerrado. As populações nativas do Cerrado brasileiro usavam fogo na caça antes mesmo da chegada dos colonizadores portugueses no século XVI (COUTINHO, 1990 *in* FERNANDES & FERNANDES, 2002).

Estudos mostram que a combinação dos efeitos da mudança climática, exploração madeireira, construção de estradas, a intensificação do uso da terra de forma desordenada, e queimadas na Bacia Amazônica apontam para a conversão efetiva da floresta em savana (NEPSTAD *et al.*, 1999;. COX *et al.*, 2004; HUTYRA *et al.*, 2005 *in* VELDMAN *et al.*, 2009; NOBRE *et al.*, 1991; NOBRE, 2001). Além disso, a exploração de madeira na Amazônia, nos cerrados e no que restou de Mata Atlântica é integralmente predatória, explica LUTZENBERGER (2006).

PASSOS, PRADO e SANTOS (2010) explicam que se o desmatamento e as influências antrópicas no ambiente natural continuarem nesse ritmo, a paisagem típica de cerrados tomará o lugar da exuberante cobertura vegetal da Amazônia em menos de 50 anos. Ainda segundo os autores, após 20% de perda da cobertura

vegetal alterações significativas devem começar, e tal proporção está muito próximo de ser atingida e sob um olhar pessimista, isto já pode ser observado.

1.1.6. Estudos sobre o Cerrado Amazônico

Este tipo de cobertura do solo (Cerrado) tem sido pouco estudado e suas contribuições para o clima amazônico e, de certa forma, global é considerável em virtude das vastas áreas de cerrado abundantes no mosaico de biomas amazônicos. Isso é preocupante, pois muitas vegetações que caracterizam cerrado, algumas de grande extensão, constituem regiões de importância biológica, mas são pouco compreendidas (QUESADA et al., 2009).

Além de estudos envolvendo esse tema, tal questão permeia a esfera política. Sobre isso CARVALHO & BUSTAMANTE (2007) dizem:

“O monitoramento dos fluxos de gases de efeito estufa no solo é fundamental para atender às demandas constantes por inventários e práticas mitigadoras das emissões de gases em agroecossistemas no Cerrado. p. 20-21”

Assim, existe uma importante necessidade de se estudar o bioma cerrado, precisamente o cerrado Amazônico, de forma a minimizar as deficiências no conhecimento destas paisagens, sobretudo no que se refere à influência dos fluxos gasosos no clima local e em talvez até regional. E como este microclima pode estar interagindo com as mudanças globais.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Geral

Avaliar a variação do fluxo de CO₂ do solo em uma área de Cerrado na Região de Alter-do-Chão correlacionando tal fluxo à variáveis climáticas.

1.2.2. Específicos

Medir o fluxo de CO₂ em dois pontos distintos P1 (relativamente mais elevado) e P2 (transição);

Testar Três metodologias distintas para o cálculo do fluxo de CO₂, sendo uma destas caracterizada como nova proposta empírica para obtenção do fluxo de CO₂;

Medir as variáveis climáticas: temperatura e umidade do ar e do solo e verificar qual seu perfil de correlação com o fluxo de CO₂.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição da Área de Estudos

A região de cerrado estudada (limite amostral) ocupa uma área de 920.400 m² na comunidade de São Pedro próximo à vila de Alter-do-chão / PA / Brasil, distante cerca de 25 km de Santarém, localizada da janela geográfica que fica entre 2°31'51,15" a 2°31'44,22"S e 54°54'18.25" a 54°54'19.44"O.

O acesso ao local faz-se por via rodoviária através da PA 457. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (clima tropical com chuvas de verão). A estação seca ocorre de julho a novembro e a estação chuvosa de dezembro a março.

A figura 3 situa a localização de tal área no globo de modo a se ter uma melhor visualização da escala dimensional. É importante citar que a propriedade que engloba a mancha de cerrado a ser estudada pertence à senhora Jercyra Maria Carneiro do Valle que gentilmente concedeu o acesso e a realização da pesquisa em seu patrimônio particular (ver Apêndice B).

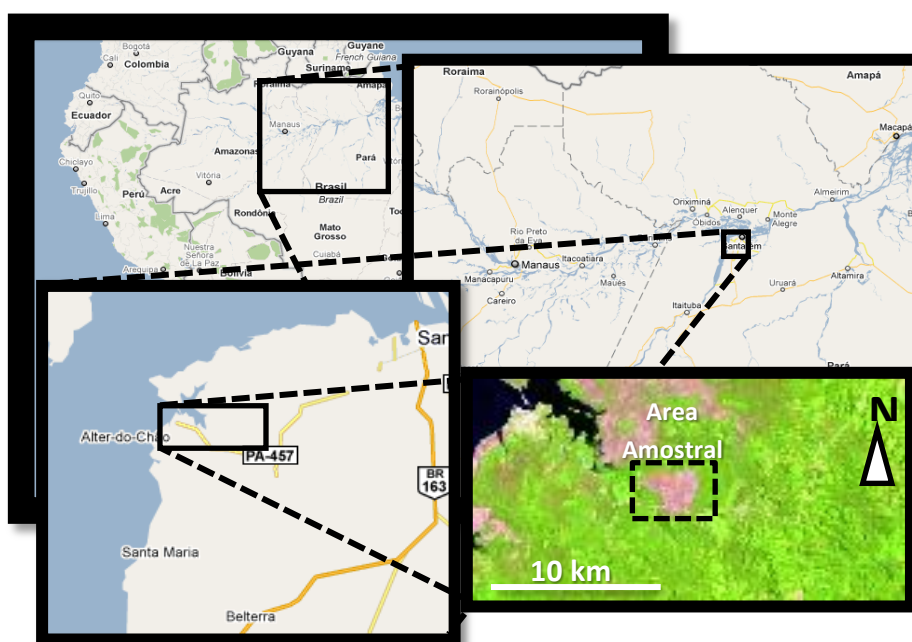


Figura 3 - Georeferência da área a estudada.

2.2. Coleta de Dados

Na área de estudo foi definido um transecto inicialmente com três pontos de modo a configurar um gradiente relativo de elevação (fig. 4a). Em cada um desses pontos foram feitas três medidas de aumento de concentração de CO₂ para cálculo dos fluxos. Em seguida, optou-se por uma mudança metodológica devida a observação de uma variação pouco notável em relação ao ponto central do transecto.

No novo desenho amostral, foi excluído o ponto médio e considerado apenas os dois pontos das extremidades deste transecto, um na parte alta do cerrado, outro na parte mais baixa caracterizada como área de transição entre cerrado e floresta. Assim, em cada ponto foram realizadas, de 5 a 6 coletas em cada um (fig. 4b). Os fluxos de CO₂ do solo foram obtidos com medidas nos mesmos pontos numa média de uma vez por semana (a cada 7 dias) com cerca de 10 leituras em cada amostra, de fevereiro a outubro de 2012 abrangendo a estação seca e chuvosa.

Devido a algumas questões que envolvem logística, em alguns momentos houve um período superior a uma semana entre uma amostragem e outra. E em casos particulares as amostras tiram que ser desprezadas devido a detecção de falhas oriundas de instrumentação.

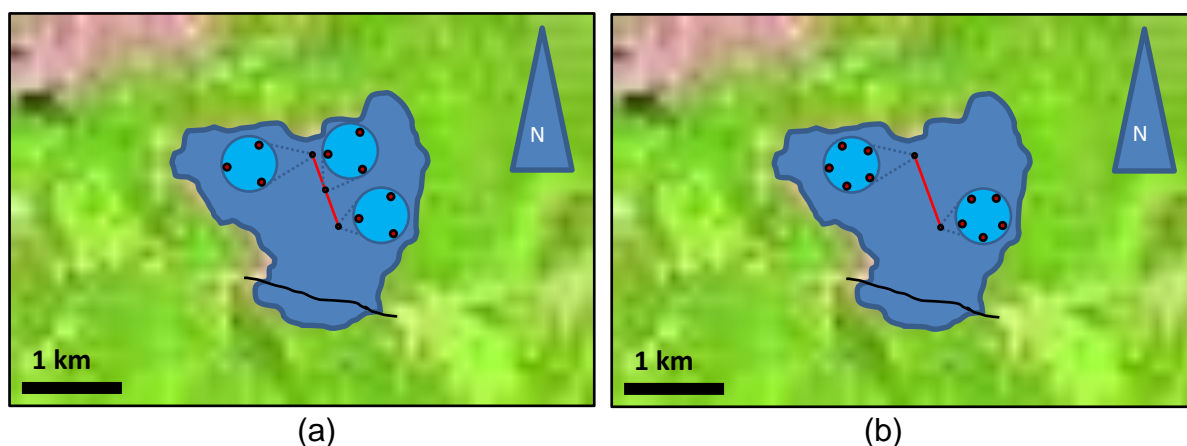


Figura 4 – Área Amostral onde os pontos de aquisição de amostras de concentração CO₂ serão definidos.

Nas coletas de campo foi utilizado um equipamento portátil com três a seis anéis, uma câmara de respiração do solo, um analisador de gás infravermelho (IRGA) que opera através de um sistema digital de armazenamento de dados (LI-COR) modelos LI-820, LI-840 e/ou LI-6262, bomba de sucção, tubo de teflon, termômetro digital, Régua milimétrica (Para aquisição de alturas dos colares), Sensor capacitivo de Humidade do solo (HydroSense CS620), sensores capacitivos de umidade (psicrômetro) e temperatura do ar (HOBO® Pro V2).

A câmara armazena os gases provenientes da respiração do solo em que está presente o CO₂ (fig. 5), o qual terá um comportamento de aumento da concentração estimada pelo IRGA e salva em um arquivo TXT no computador para posterior cálculo de seu fluxo.

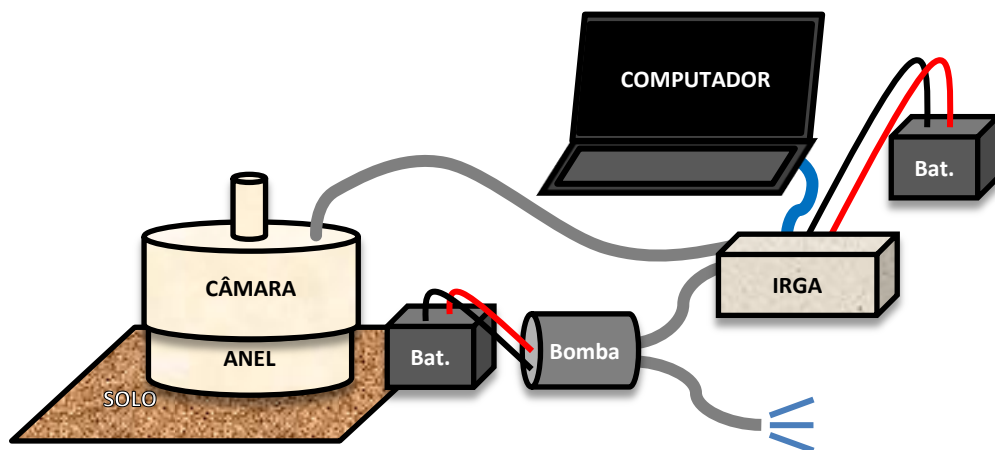


Figura 5 – Esquema da montagem dos equipamentos de coleta do fluxo de CO₂.

Deste modo, a quantificação do fluxo de CO₂ na conexão solo-atmosfera se deu pelo método de câmaras estáticas, usado para medir concentração dos fluxos de CO₂ do solo. Esse fluxo é calculado com a taxa de variação de concentração de CO₂ dentro do volume de controle da câmara por unidade de tempo e área sobre a região coberta pela câmara, tal que:

$$R_s = \left(\frac{C_n - C_{n-1}}{T_n - T_{n-1}} \right) \cdot \left(\frac{V}{A} \right)$$

Onde R_s é o fluxo emergente de CO₂ do solo (g.m⁻².s⁻¹); C_{n-1} é a concentração (g.m⁻³) de CO₂ no tempo T_{n-1} ; C_n é a concentração (g.m⁻³) de CO₂ no

tempo n ; V é o volume da câmara (m^3); A é a área de cobertura (m^2); os tempos T_n e T_{n-1} são os instantes das coletas (s).

A concentração de CO_2 aumenta no tempo devido à circulação do ar dentro da câmara (fig. 5. e fig. 6.). Cada colar foi instalado de forma a minimizar as perturbações do sistema, ou seja, de 15 a 20 minutos antes do início da coleta dos dados (fig 5.).



Figura 6 – Foto das câmaras montadas em diferentes pontos.

Os dados sobre a área e o Volume da Câmara foram obtidos a partir das seguintes equações:

$$A = \pi R_1^2$$

$$V = V_1 + V_2$$

$$V_1 = \frac{\pi h_1}{3} (R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2)$$

$$V_2 = Ah_2$$

Onde, observado a figura 5, A é a área da base do colar e da câmara, R_1 é o raio da circunferência desta base e R_2 é o raio da circunferência superior da câmara. O volume V da câmara é a soma dos volumes V_1 da tampa da câmara e V_2 do colar. h_1 é a altura da câmara que é conhecida e h_2 a altura do anel em relação ao solo que será obtida em campo no ato das coletas.

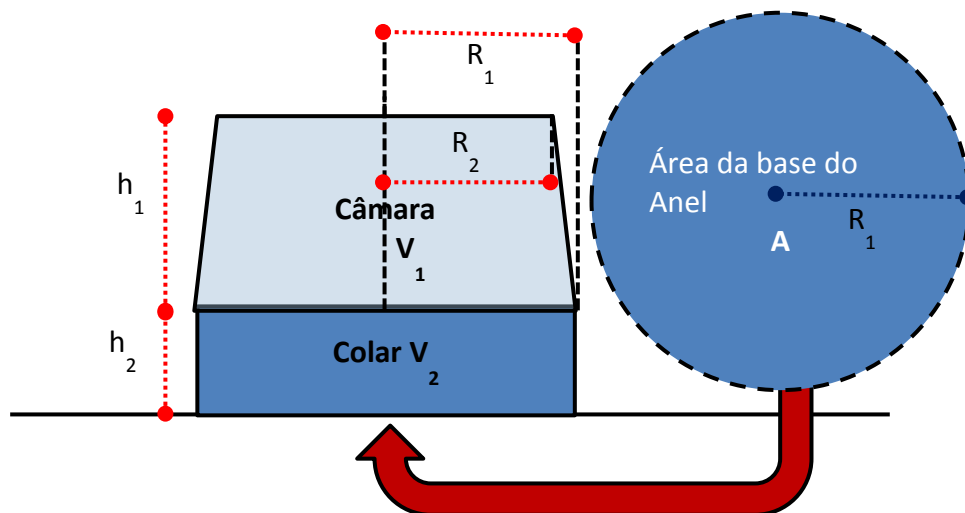


Figura 7 – Perfil esquemático da câmara inserida no solo.

A altura h_2 foi padronizada após algumas medições (como já foi dito) para 9 cm de modo que em cada amostragem o colar era fixado ficando com esta altura através do auxílio de uma régua. O solo do Cerrado proporciona esta possibilidade, assim, nos cálculos esta metodologia minimiza o trabalho e a possibilidade de um erro na passagem de dados obtidos analogicamente (anotação à mão) para o formato digital.

Em cada coleta foram feitas medições de outras variáveis controladores do clima com os instrumentos supracitados, são elas: umidade do solo e do ar (a um metro de altura), temperatura do ar (a um metro em relação ao solo) e do solo.



Figura 8 – Esquema de aquisição das variáveis: umidade do solo e do ar, temperatura ambiente e do solo.

2.3. Análise dos dados

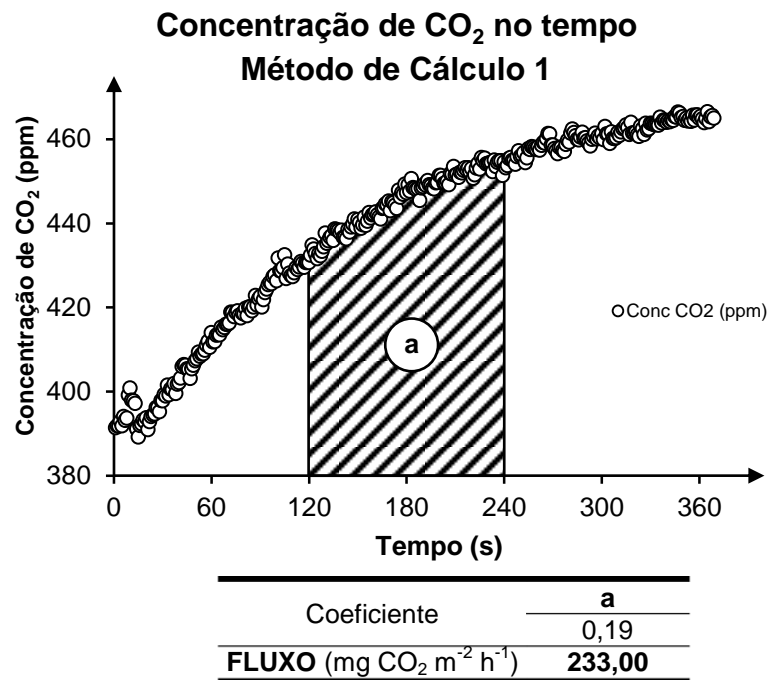
Inicialmente os dados anotados em campo foram colocados em formato digital e junto com os dados em arquivo TXT foram organizados em planilhas num formato padronizado (Tab. 2) para que um algoritmo de cálculo desenvolvido pudesse fazer a leitura dos dados e interpolá-los em suas referidas etapas no cálculo.

Para os devidos cálculos dos fluxos de CO₂ adotaram-se dois tipos distintos de metodologias, uma baseada na escolha de um intervalo de tempo que define a melhor reta e outra que usa a média dos melhores coeficientes angulares (aqueles que possuem a distância, em módulo, da média igual ou inferior ao desvio padrão dos coeficientes angulares) das retas aproximadas nos intervalos do segundo, terceiro e quarto minutos, uma vez que já se conhece a faixa de tempo confiável, em que se exclui o primeiro minuto, devido à instabilidade logo após o fechamento da tampa e o último minuto, devido à estabilização da concentração por conta da saturação volumétrica da câmara.

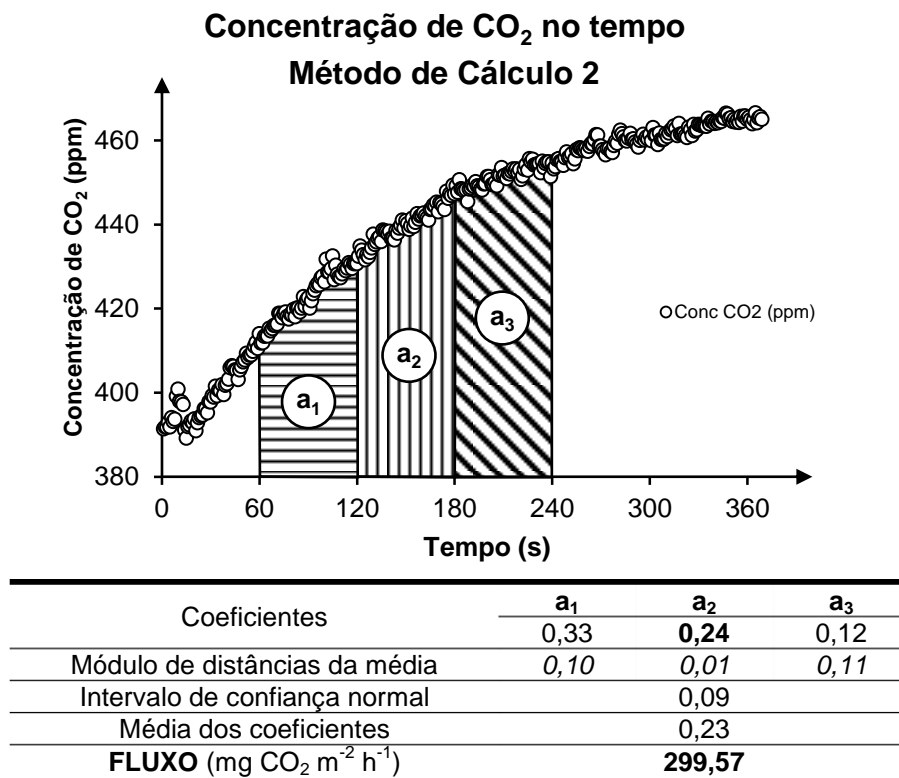
Tabela 2 – Dias de amostragem usados

Mês	Fevereiro			Março	Abril		Maio	Junho	Julho			Agosto		Outubro		
	Dia	09	17	24	24	08	27	06	01	12	19	27	02	16	05	12

O Sensor que mede a concentração de CO₂ (IRGA) opera a partir da conversão pulsos elétricos em ppm. Deste modo, flutuações elétricas, podem gerar medidas superestimadas do parâmetro e assim, por efeitos físicos inerentes ao funcionamento do equipamento, por vezes, há a necessidade de se eliminar dados anormais baseados no padrão de normalidade esperado.



(a) Metodologia de cálculo de fluxo em que se determina o intervalo de tempo para obtenção da inclinação da melhor reta aproximada na curva de crescimento da concentração de CO₂ no tempo.



(b) Metodologia de cálculo de fluxo usando os três minutos centrais na curva de crescimento da concentração de CO₂ no tempo para obtenção de inclinação média da reta aproximada.

Figura 9 – Diferentes metodologias de cálculo de fluxo de CO₂ no Ponto **P1** do dia 09/02/2012.

Na figura 9(a) observa-se um exemplo prático da primeira metodologia de cálculo em que está indicado o intervalo adotado e o respectivo valor do fluxo de CO₂ obtido neste ponto. Por outro lado, na figura 9(b) tem-se a aplicação da segunda metodologia de cálculo com a indicação do intervalo, agora, pré-estabelecido, além do fluxo resultante deste procedimento.

O único mês que ficou sem amostragem foi o mês de setembro devido a questões de logística de campo. Contudo, cada mês, mesmo com os problemas instrumentais observados posteriormente, possuem representação na média geral como se observa na Tabela 3. Apesar de todos os dias possuírem representação amostral, em alguns deles só foi feita medição em um ponto por problemáticas de campo que inviabilizaram o prosseguimento das amostragens.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores do fluxo de CO₂ do solo foram normalizados para uma mesma altura da câmara, a partir de certo período de idas a campo, uma vez que se observou o fato de o solo arenoso do Cerrado ser de fácil controle na instalação dos colares e isso minimizou a complexidade dos processos envolvidos nos cálculos dos fluxos.

A temperatura do solo, medida próximo à câmara na camada mais superficial do solo (primeiros 8 a 10 cm), foi usada nos cálculos de fluxos considerando-se esta como a mesma temperatura no interior da câmara onde se concentrava o gás. CARDOSO (2012) verificou num estudo sobre emissões de gases de EE em pastagens no Brasil Central que alguma diferença entre as temperaturas dentro e fora da câmara só é observada após longos períodos sem precipitação.

O autor fez uma comparação entre as flutuações no diferencial de temperaturas e verificou que esses valores só se distanciam na falta de umidade no ar. Este fato é explicado pela mudança no calor específico do ar, na baixa concentração do vapor de água, tornado a perda ou ganho de energia pelo fluido de ar mais eficiente.

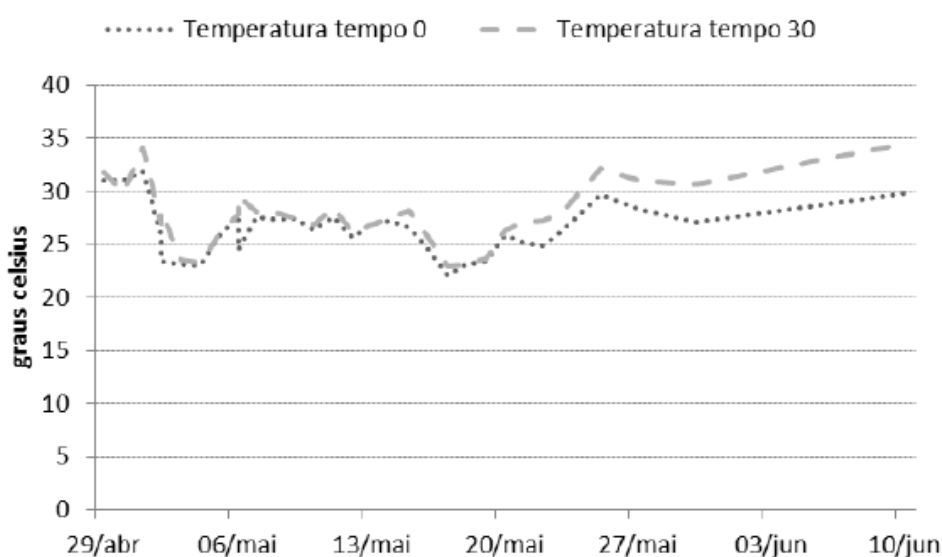


Figura 10 – Comparação da temperatura ambiente e a do interior da câmara no momento de amostragem feito por CARDOSO (2012).

A área estudada, apesar de ser um Cerrado, situa-se em uma região onde há período chuvoso e seco, bem definidos, possibilitando relativa confiança no uso da temperatura próximo a câmara para os cálculos de fluxo, pois, como esperado de uma região com bastante umidade relativa do ar, se observou baixa variação nesta variável entre as estações.

Os outros parâmetros ambientais medidos apresentam ao longo do tempo correlações com fluxo de CO₂ que permite algumas considerações.

As diferenças entre as metodologias de cálculo não foram tão relevantes para os meses de Junho, Julho, Agosto e Outubro. Contudo, nos meses de fevereiro, março, abril e maio observou-se certa diferença sugerindo que nesses meses houve maior flutuação na curva de crescimento das concentrações de CO₂ e, conseqüentemente, nos valores obtidos para o fluxo nesse período (fig. 11).

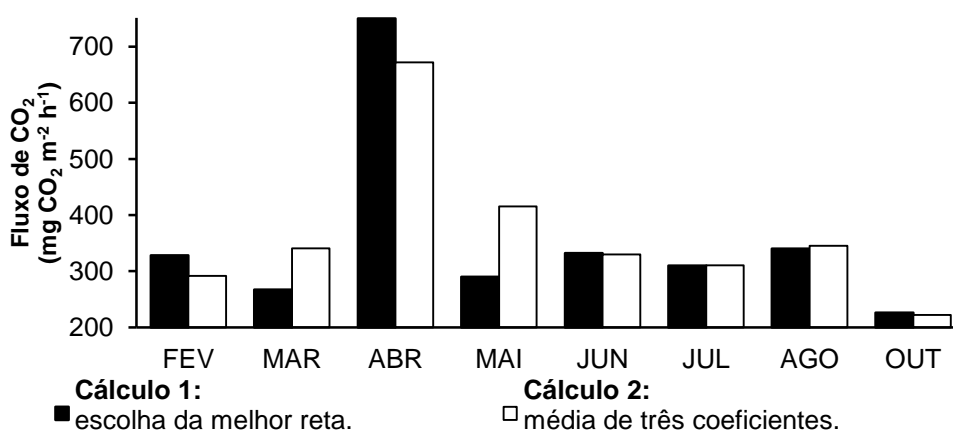


Figura 11 – média de fluxo de CO₂ obtida a partir de métodos de cálculo distintos

Se for observada a média mensal no período chuvoso nota-se um fluxo, em média, menor que no período seco em relação ao chuvoso (excluído o mês de abril onde se tem um pico) e isto não seria algo esperado (fig. 12). Contudo, ao analisar o fluxo diário, e excluindo o dia que representa o mês de abril, em que houve um pico de fluxo devido às medidas terem sido feitas logo após uma forte chuva, percebe-se o contrário.

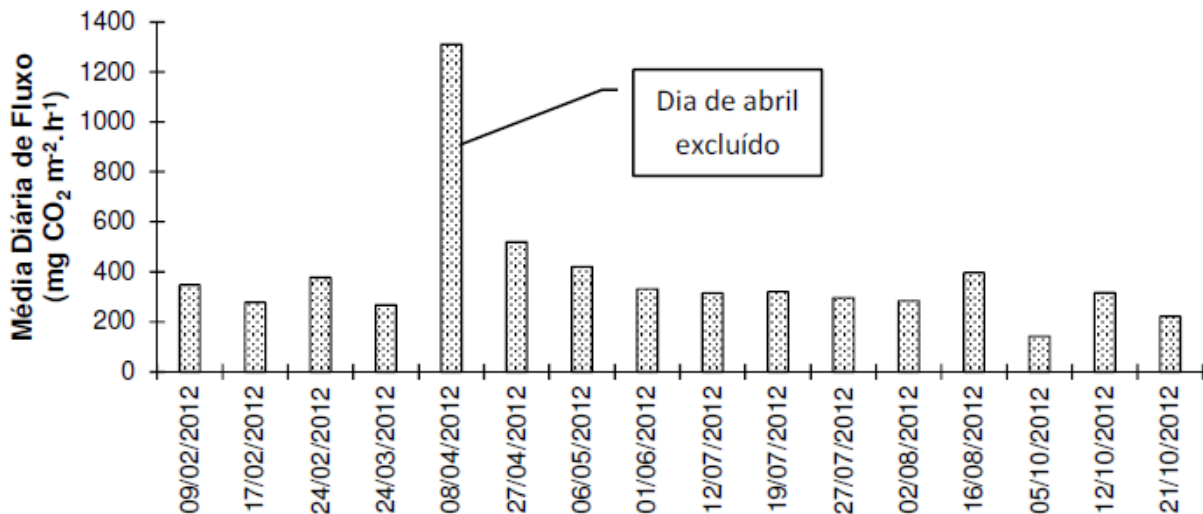


Figura 11 – Média do Fluxo de CO₂ em cada dia válido de amostragem

Assim, no período chuvoso, que em 2012 foi tardado devido a este ter sido um ano atípico, foi observado entre os meses de fevereiro à abril um fluxo médio de 357,92 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ com maior representação amostral do mês de fevereiro. Já no período seco, visto nas amostras que estão no intervalo de meses de julho à outubro, a média do fluxo foi de 286,20 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ com uma representação equilibrada em cada mês.

Outras variáveis controladoras do clima medidas juntamente com a concentração de CO₂ apresentaram valores já esperados. No período chuvoso as umidades relativas do solo e do ar foram, numa média aritmética geral representativa de cada estação, respectivamente, 5,09 % e 67,67 %. No mesmo período a temperatura média do ar teve um valor de 31,44 °C. Na estação seca as umidades relativas do solo e do ar foram, na média, de 4,49 % e 71,20 %, respectivamente, e a temperatura do ar esteve em 30,69 °C em média.

A temperatura do ar sofreu uma leve variação da estação chuvosa para a seca diminuindo cerca de 0,75 °C. Mesmo se tratando de um ecossistema característico de Cerrado isso se deve ao fato de o limite amostral estar localizado em uma região tropical. Assim a elevada umidade do ar é proporcional à baixa variação de temperatura entre as estações.

Como se trata de um Cerrado tropical, em que se tem uma considerável quantidade de radiação solar ao longo de todo o ano interagindo diretamente com o solo. Isso explica também o aumento da umidade relativa do ar da estação chuvosa para a seca ser discreto com ordem de apenas 3,52 % de aumento.

Do mesmo modo a umidade relativa do solo teve uma tímida variação entre as estações, somente 0,60 % menor na estação seca. Isso sugere que o solo deste Cerrado tem uma boa absorção de água. Pois, na camada superficial do solo (onde foram feitas as medidas), mesmo no período chuvoso a umidade se manteve bem próxima da observada no período seco. Além disso, a vegetação característica do Cerrado, com arbustos distribuídos de forma espaçada permite a passagem de bastante radiação promovendo a evaporação direta da água acumulada da superfície.

O fluxo de CO₂ teve uma variação de 71,72 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ diminuindo na estação seca. Assim, para este estudo pode-se estabelecer que em relação aos demais parâmetros (fig. 14a), o fluxo de CO₂ é diretamente proporcional à umidade relativa do solo ($R^2 = 0,62$ com $p = 0,01$) e esta variável tem influência significativa no fluxo. Para consolidar esta observação, pode-se citar o caso do mês de abril, em que foi feita uma amostragem logo após uma forte chuva que deixou o solo bastante úmido (fig. 13a). Na ocorrência da alta umidade relativa do solo de 87,29 % o fluxo de CO₂ foi de 1309,99 mg CO₂ m⁻² h⁻¹.

Contudo, a emergência do CO₂ a partir do solo está relacionada de forma significativa com o transporte dos gases no solo, assim como também na interface solo-atmosfera, nesta última condição, o fluxo do gás é afetado pela fração de poros do solo preenchidos com ar ou água. Além de a presença da água ocasionar uma saída forçada dos gases, ela também favorece a atividade da fauna microbiana, já que o calor específico da água impede grandes variações de temperatura aumentando o fluxo do CO₂ conseqüentemente (SOTTA, 1998).

Além disso, segundo VAN BREEMEN & FEIJTEL (1990) *in* SOTTA (1998), grande parte do CO₂ do solo emerge para a atmosfera sob a influência das perturbações temporais na temperatura e na umidade do solo, e esse fluxo de saída

se dá por convecção e por difusão. Há, porém, uma outra pequena porção que é perdida por drenagem, a exemplo o CO₂ dissolvido na solução do solo.

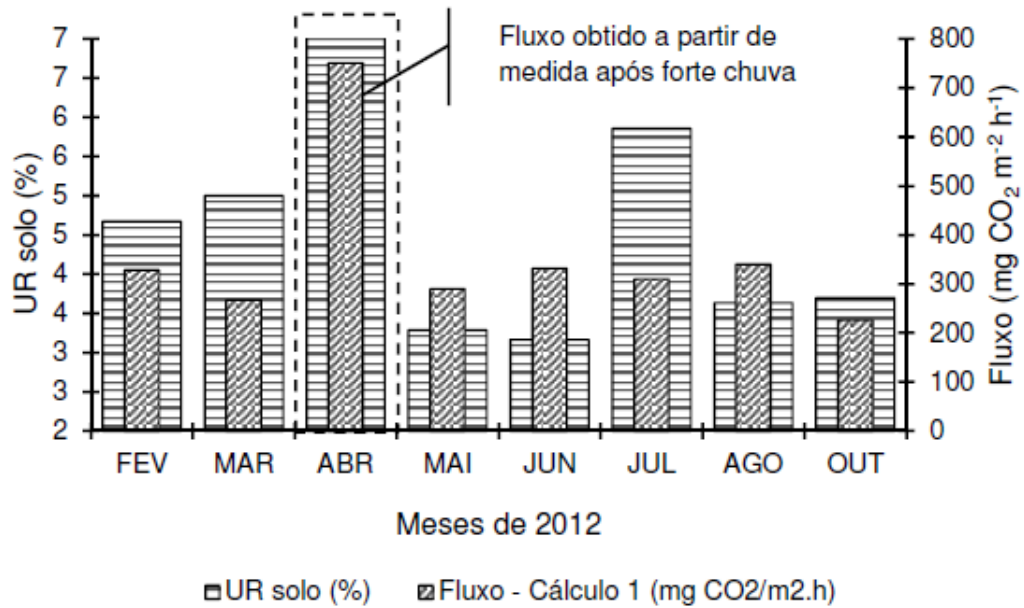
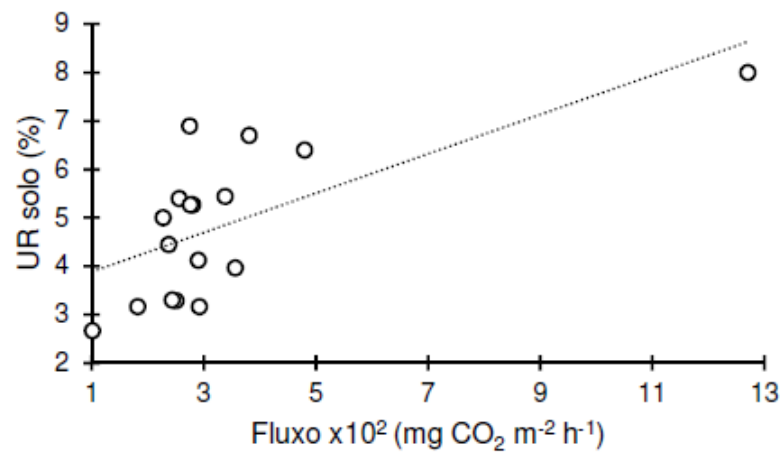


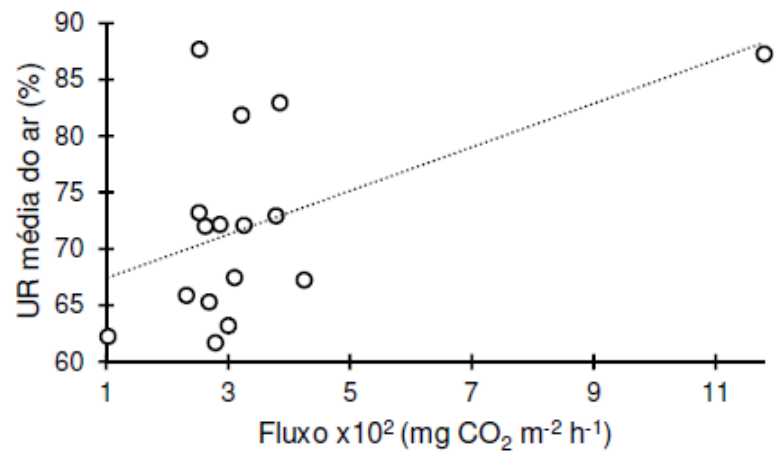
Figura 12 – Fluxo de CO₂ e Umidade Relativa do solo em médias mensais

Em relação à temperatura do ar, apesar de parecer que do fluxo de CO₂ teve alguma relação de proporcionalidade (fig. 14c), isto não caracterizou fenômeno confiável estatisticamente ($R^2 = 0,26$ com $p = 0,35$). Com isso, o que se pode dizer, a partir das análises é que a temperatura do ar não tem influência significativa no fluxo de CO₂ do solo na mancha de Cerrado estudada.

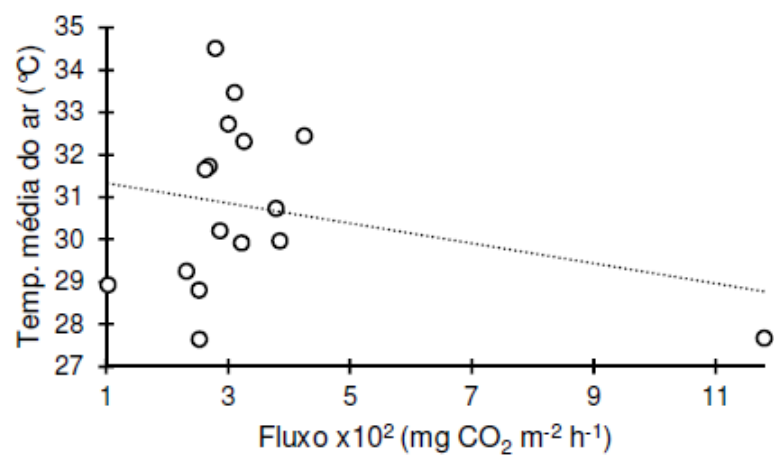
Do mesmo modo, a umidade relativa do ar, comportando-se de maneira inversamente proporcional ao fluxo de CO₂ (fig. 14b), considerando (como nos casos anteriores) a variação da estação chuvosa para a seca, não teve influência significativa no fluxo do gás ($R^2 = 0,26$ com $p = 0,35$). Todas as informações estatísticas sobre esta e as análises anteriores encontram-se na matriz de correlação simples de Pearson entre as variáveis, a qual foi obtida utilizando o software R[®] v2.15.2 (ver Apêndice A).



(a)



(b)



(c)

Figura 13 – Correlação entre fluxo de CO₂ e as demais variáveis ambientais

Além das variáveis analisadas neste estudo, existem outras que podem ter correlações significativas com o fluxo de CO₂. Micro raízes, fauna microbiana, ocorrência de queimadas, precipitação, radiação solar, entre outros fatores, são exemplos de variáveis que podem, também, promover variações do fluxo de CO₂ do solo da área de Cerrado estudada. Parâmetros como propriedades bioquímicas e biológicas do solo, atividade enzimática, a diversidade e a biomassa microbiana, são fatores que influenciam diretamente do na respiração do solo vista na forma de fluxo de CO₂ (TURCO et al., 1994; SANTANA & BAHIA FILHO, 1998; DORAN & PARKIN, 1996). Portanto, estes parâmetros devem ser investigados em uma continuação do presente trabalho.

Outra questão importante a ser observada neste sentido é com relação ao sequestro de Carbono pelo solo, CARVALHO (2009) observou uma acumulação média de 0,46 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ no solo, em uma área não alterada com condições de cobertura vegetal semelhantes as do cerrado estudado. Já em um ambiente alterado com a presença de pastagem num solo de baixa fertilidade, houve emissão de Carbono para atmosfera, com taxas de perda variando de 0,15 para área inalterada e 1,53 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ para a área degradada. Segundo o autor, o potencial de perdas depende do grau de degradação da área.

Durante as idas a campo, para medições das variáveis, foi possível presenciar a ação antrópica na área. Em um dos transectos, na parte mais baixa do cerrado, houve uma parcial abertura de uma estrada, o que trás uma reflexão a cerca da influência que isso pode ter tido nas medidas de concentração. Contudo, esta seria uma vertente para investigação futura.

Como já explicado, no primeiro mês (fevereiro) de amostragem, o transecto esteve composto por três pontos. O primeiro na parte mais alta do Cerrado, o segundo em um local de altura intermediária e o terceiro na parte mais baixa, em uma zona de transição de cobertura vegetal. A partir do mês seguinte (março) em diante com a exclusão do ponto médio o ponto P3, passou a assumir ser definido como ponto P2 devido a questões logísticas.

Neste período, o ponto P1 teve um fluxo médio de 229,95 mg CO₂ m⁻² h⁻¹ enquanto que para o ponto P2 obteve-se a média de 322,60 mg CO₂ m⁻² h⁻¹, e por

fim, no ponto P3, um esperado alto fluxo de 446,04 mg CO₂ m⁻² h⁻¹. Na área de transição, além da mudança de solo, tem-se uma região com raízes mais robustas.

Contudo, apesar desta mudança no procedimento metodológico, as informações sobre o ponto médio revelaram um aumento do fluxo de CO₂ proporcional à diminuição da elevação topográfica. Entretanto, não há como determinar com certeza se isso é homogêneo em toda a área, pois uma série de outros fatores podem estar envolvidos, como: a presença de um corredor de drenagem próximo a área mais baixa, sugerindo que o alto fluxo esteja ligado a um solo mais úmido; a própria variação de textura do solo no local; a questão do *run-off* que diminui a taxa de infiltração de água no solo nas áreas com topografia mais elevada; atividade microbiana do solo; a maior presença de raízes na parte mais baixa, próximo ao ponto P2 e P3 entre outros.

Além disso, muitas propriedades do solo variam espacialmente, significando que os valores observados no fluxo de CO₂ numa posição definida na área de estudo variam de acordo com a direção e a distância de separação entre as amostras vizinhas. Como consequência, medidas mais próximas tendem a ser mais parecidas do que valores observados em locais mais distantes. Neste sentido as observações não podem ser consideradas independentes, e faz-se necessário um tratamento estatístico e metodológico diferenciado (WEBSTER & OLIVER 1990).

Para a análise do fluxo ao longo de todo o período de amostragem o ponto P3 do primeiro mês foi considerado como ponto P2 na série temporal geral. Assim, a média do fluxo no período de amostragem no ponto P1, na região mais alta do Cerrado foi de 266,52 mg CO₂ m⁻² h⁻¹, e no ponto P2, região de transição, onde ocorre mudança de cobertura vegetal, bem como mudança de textura no solo, foi de 362,33 mg CO₂ m⁻² h⁻¹.

A partir de uma visão geral os valores dos fluxos no ponto P1 sempre estiveram abaixo dos valores de fluxo no ponto P2 (fig. 15). Em alguns dias do período de amostragem, por motivos inerentes à logística de campo só foi possível obter medidas em um dos pontos (somente no P1 ou somente no P2). Contudo, na figura 15 podem-se observar apenas os dias em que foram realizadas coletas em ambos os pontos.

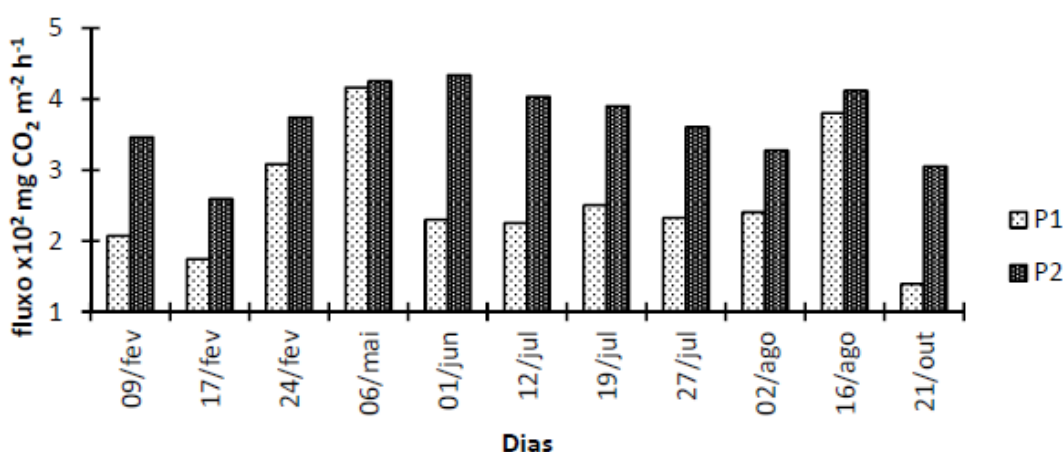


Figura 14 – Distribuição dos fluxos médios diários de CO₂ nos pontos P1 e P2

Os métodos de cálculos 1 e 2 não apresentaram distinção significativa na média geral. Esta consideração se fundamenta a partir do teste - f estatístico com obtenção de $R^2 = 0,68$ para verificação da não ocorrência de diferença entre as amostras. Na média, esta diferença foi de $10,40 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e o procedimento de cálculo 2 obteve maior valor de fluxo com $365,94 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para $355,53 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ resultante do processo de cálculo 1. Contudo, estatisticamente, o método de cálculo 2 é o mais apropriado, pois, através dele, é possível considerar uma amplitude amostral maior da curva de crescimento da concentração CO₂ no tempo para o cálculo do fluxo.

Em geral o primeiro minuto após o fechamento da câmara é desprezado devido a flutuações inerentes resultantes da inevitável interferência no sistema ao fechar a tampa. O simples ato de se caminhar próximo à câmara pode promover um fluxo involuntário do gás e superestimar as condições naturais.

Além disso, no último minuto se observa uma estabilização da concentração de CO₂ revelando que a câmara já está atingindo a saturação volumétrica em seu interior. Assim, este minuto também deve ser desprezado (fig. 16).

Por fim, restam apenas os 3 minutos centrais, uma vez que o tempo em que a câmara ficou em coleta foi de 5 minutos (fig. 16). Mas, ainda há o problema das flutuações que podem ocorrer no intervalo desses 3 minutos validos. O algoritmo do cálculo 2 faz uma análise no intervalo de confiança normal (teste de normalidade) e verifica qual a distância, em módulo, que os coeficientes a_1 , a_2 e a_3 estão em relação

a média geral **a** dos três coeficientes (fig. 9). Em seguida, o algoritmo exclui o(s) coeficiente(s) que possui(em) uma distância maior do que a estabelecida pelo intervalo de confiança normal. Deste modo, o coeficiente angular usado no cálculo é uma média dos coeficientes considerados “confiáveis”.

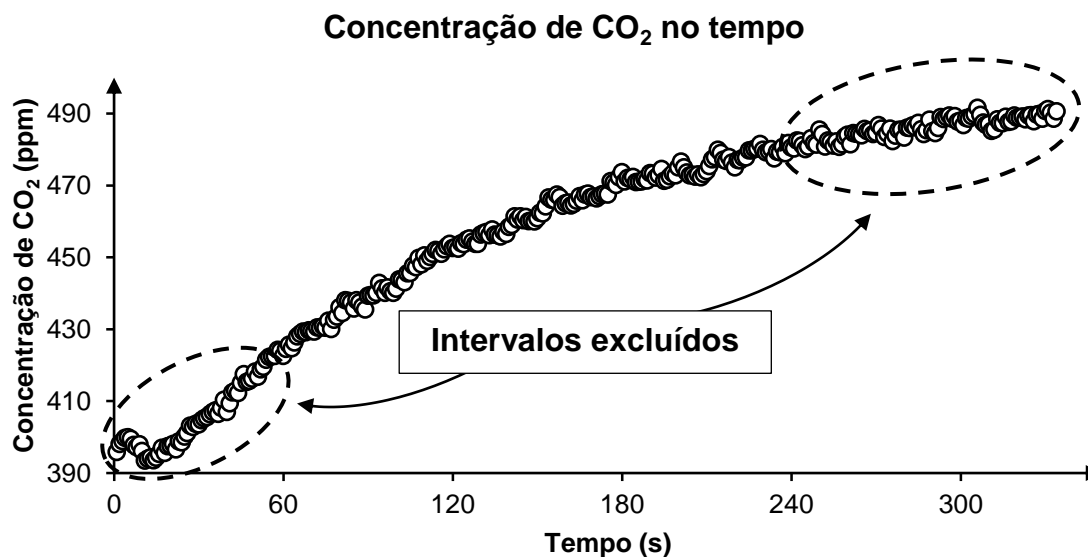


Figura 16 – Dados de concentração da Câmara C1 no ponto P2 no dia 09/02/2012.

Como no primeiro método de cálculo para o fluxo, adotam-se apenas intervalos bem definidos de concentrações para determinação de um coeficiente angular, isso exclui uma banda de dados que, estatisticamente pode gerar resultados superestimados.

Observou-se que o fluxo de CO₂ no Cerrado certamente é inferior se comparado ao fluxo desse gás na floresta tropical. Em contrapartida, isso mostra que a capacidade do solo do cerrado em agregar carbono tornando-o um reservatório é deficiente. Por outro lado, a facilidade que se tem em manipular este tipo de cobertura vegetal para uso do solo na agricultura e pecuária tornam esse ecossistema um dos mais ameaçados pela ação antrópica.

Para se ter uma ideia o cerrado na parte central do Brasil possui 54 milhões de hectares de pastagens (SANO et al., 2008), sendo a maioria dessa área ocupada por bovinos de corte, cujos solos podem acumular ou perder carbono, dependendo do uso e do manejo aplicado à pastagem.

A ação do homem é um fator preocupante neste contexto, pois no período do estudo observou-se uma razoável densidade de empreendimentos no entorno da área estudada. Além da presença marcante da construção civil, há ainda outras áreas com a conversão da vegetação nativa em pastagens, que segundo estudos, com baixa produtividade e mal manejadas apresentam redução dos teores de carbono orgânico agregado ao solo (CARVALHO, 2009; FEARNside & BARBOSA, 1998; CERRI et al., 1999). Isso é válido tanto para o bioma amazônico quanto para o cerrado, e conseqüentemente para as manchas de cerrado amazônico.

Segundo dados do IBGE (2011) 53% da produção nacional de grãos, entre eles soja, de milho, de arroz e de feijão são provenientes das áreas de Cerrado, além de contar com aproximadamente 100 milhões de cabeças do rebanho bovino do País. Contudo, estas práticas agrícolas e pecuárias, em geral, são aplicadas de forma inadequadas, sem a devida preocupação com seus impactos no ambiente e têm influenciado diretamente na redução da fertilidade do solo, estoques de carbono, aumento da erosão, degradação de pastagens e, conseqüentemente, no aumento dos custos de produção e impactos negativos sobre o meio ambiente (CARDOSO, 2012).

Imaginar o bioma amazônico parcialmente convertido em Cerrado gera implicações dignas de atenção. Além de questões que envolvem mudanças climáticas, existem ainda questões como: o que aconteceria com o patrimônio biológico contido nesse bioma? Quais as diferenças relacionadas à dinâmica de trocas gasosas em um Cerrado alterado, um natural e um resultante da conversão de floresta tropical? Os dados e as análises aqui apresentados, apesar de consistentes, são bastante pontuais, mas já ajudam a ter um norte na busca pelo melhor entendimento deste ecossistema dentro do ambiente amazônico.

Por fim, entender os fenômenos e processos envolvidos em um ecossistema natural não é uma tarefa simples. Graças às vantagens tecnológicas podemos estimar variáveis, minimizar erros, maximizar a precisão e resolução em dados amostrais. Contudo, o maior desafio do cientista que investiga o meio ambiente ainda é a escolha do melhor procedimento metodológico a adotar. Seja em campo, no laboratório ou mesmo em processos analíticos analógicos e/ou digitais. Uma simples decisão metodológica pode comprometer toda a pesquisa; uma leve falta de

calibração de equipamentos pode superestimar variáveis e resultados ou torná-los inúteis. Por isso, é preciso cuidadoso planejamento e plena certeza de onde se quer chegar.

3.1. Conclusões

3.1.1. A variável umidade do solo tem influência significativa no fluxo de CO₂ do solo na mancha de Cerrado estudada.

3.1.2. As variáveis umidade relativa e temperatura do ar não tem influência significativa no fluxo de CO₂ do solo na mancha de Cerrado estudada.

3.1.3. As variáveis umidade relativa e temperatura do ar não tem influência significativa no fluxo de CO₂ do solo na mancha de Cerrado estudada.

3.1.4. O fluxo de CO₂ do solo na área estuda logo após uma chuva é elevado.

3.1.5. Os métodos de cálculo para fluxos adotados apresentam maior distinção quando as flutuações no aumento da concentração no tempo é bastante heterogênea.

3.1.7. A metodologia de cálculo com média dos coeficientes angulares compreendidos em intervalos de confiança normal é, estatisticamente mais eficiente em relação à simples escolha de uma reta característica, além de ser menos trabalhosa.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____ **INCT para Mudanças Climáticas**, 2009.2010, Relatório de Atividades. São José dos Campos, 2010. 96p. ISSN: 2179-5754.

_____ **IPCC 2001**. HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; XIAOSU, D. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom, p. 944.

ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de Carbono em Ecossistemas Terrestres**. Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 105. 2003: ISSN 1517-5111.

ANAYA, J. A.; CHUVIECO, E.; PALACIOS-ORUETA, A. **Aboveground biomass assessment in Colombia: A remote sensing approach**. *Forest Ecology and Management*, 257. 2009: 1237–1246.

ANDREAE, M. O. **Emissions of trace gases and aerosols from southern African savannas fires**. In: WILGEN, B. W. et al. *Ecological and Atmospheric Perspectives*. Witwaterstrand University Press. Ed. *Fire in Southern African Savannas* Johannesburg, África do Sul. p. 161-183. 1996.

ANDRADE, V. M. S.; COSTA, A. C. L.; COSTA J. M. N.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JÚNIOR, J. A.; MALHI, Y. **Análise Sazonal dos Fluxos de CO₂ e Respiração em Área de Floresta Alagada na Costa Norte do Brasil**. Departamento de Engenharia Agrícola. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa. *Magister Scientiae*, 2006.

BÉLIVEAU, A.; LUCOTTE, M.; DAVIDSON, R.; LOPES, L. O. C.; PAQUET, S. **Early Hg mobility in cultivated tropical soils one year after slash-and-burn of the primary forest, in the Brazilian Amazon**. *Science of the Total Environment*, 407. 2009: 4480–4489.

BINDSCHADLER, R. A. & BENTLEY, C. R. **Fantasmas do Degelo**. In: *Scientific American Brasil*. nº 12. 2005, p. 26-33.

BORLAUG, N. E. **Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead.** In: BAILEY. R. Global warming and other eco-myths. Competitive Enterprise Institute. Roseville, EUA, 2002. p. 29-60.

BRAGA, P. I. S. **Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico na Amazônia.** Acta Amazonica. n. 9, 1979. p. 53-80.

CARDOSO, A. S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) - Instituto de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Ciência Do Solo. 2012

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C. **Emissões de NO, N2O o CO2 em Agrossistemas do Cerrado.** Documentos 188, Embrapa Cerrados. Planaltina, DF. 2007: INSS 15175111.

CARVALHO, J. L. N. **Dinâmica do carbono e fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado.** 141p Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; MAIA, S. M. F.; CERRI., C. E. P.; JUNIOR, C. C.; FEILG, B. J.; FRAZÃO, L. A.; MELLO, F. F. De C.; GALDOS, M. V.; MOREIRA, C. S.; CARVALHO, J. L. N. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Sci. Agric. Piracicaba**, v. 67, n. 1, p. 102-116, 2010.

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 do Mato Grosso.

COUTINHO, L. M. **O Conceito de Cerrado.** Revista Brasileira de Botânica. nº 1, 1978. p. 17-23.

DIAS, J. D. **Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia.** Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 2006.

DIAS, L.E.; VENEGAS, V.H.A. **Introdução à fertilidade do solo**. Apostila da disciplina SOL 375-Fertilidade do Solo, v.1. Departamento de Solos da UFV, 1996. p.10-28.

DIAS, M. A. F. S. **Efeito estufa e mudanças climáticas regionais**. Revista USP, São Paulo–SP, n.71, p. 44-51. 2006.

ICHIKAWA, A. **A Report of Japan's Global Warming Initiative**. Springer, Ed. Global Warming: The Challenges, USA. 2004.

FEARNSIDE, P. M.; FERRAZ, J. **A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation**. *Conservation Biology*, 9(5): 1-14. 1995.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, p. 147-166, 1998.

FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. **Características Químicas do Solo em Área de Pastagem Nativa Recém Queimada no Pantanal Arenoso, MS**. Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 36. 2002: ISSN 1517-1981.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. **Medidas de Fluxo de CO₂ de Solos pelos Métodos da Absorção Alcalina e Analisador de Gás Infravermelho em Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado**. Embrapa, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 151. 2005: ISSN 1676-918X.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. **The dependence of soil CO₂ efflux on temperature**. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 33, p. 155-165, 2001.

GULLISON, R. E. et al. **Tropical forests and climate change**. *Science*, New York, v. 316, n. 5827, p. 985-986, 2007.

HAO, W. M.; WARD, D. E. **Methane production from global biomass burning**. *Journal of Geophysical Research*, 98(D11): 20657-20661. 1993.

HANSEN, J. **Desarmando a Bomba-Relógio do Aquecimento Global**. In: *Scientific American Brasil*. nº 12. 2005, p. 16-25.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2010**. Fundação IBGE. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/default.shtm>

JAUK, G. **Caos no Topo do Mundo**. In: Scientific American Brasil. nº 12. 2005, p. 42-49.

KLINK. C. A.; MACHADO. R. B. **A conservação do Cerrado brasileiro**. MEGADIVERSIDADE, Vol 1. Nº 1, 2005.

LAURANCE, W. F. et al. **The future of the Brazilian Amazon**. Science, New York, v. 291, n. 5503, p. 438-439, 2001.

LEWINSOHN, T.M., PRADO, P.I. **Biodiversidade Brasileira: síntese do estado atual do conhecimento**. São Paulo: Ed. Contexto, 2002. LOPES, A.S. Solos sob Cerrado: características, propriedades, manejo. Piracicaba: Ed.Potafos, 1984.

LOVELOCK, J. E. **Gaia: Medicine for an Ailing Planet**. Gaia Books, Octopus Publishing Group Ltd. 192 p. 1991.

LUTZENBERGER, José. **Manual de Ecologia do Jardim ao Poder**. Porto Alegre: L&PM, 2006.

MACEDO, J. **Os solos da região dos cerrados**. In: AVAREZ,V.V.H., FONTES, L.E.F.V.; FONTES, M.P.F.(Eds.). Os solos nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS; UFV, 1996.135-167p.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D.; SANTOS, N.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Conservation International do Brasil, Brasília. 2004.

MARENCO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade**: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI. Série Biodiversidade v. 26. Brasília – DF, 2006: ISBN 85-7738-038-6.

MARICHAL, R.; MATHIEU, J.; COUTEAUX, M.-M.; MORA, P.; ROYC, J.; LAVELLE, P. **Earthworm and microbe response to litter and soils of tropical forest plantations with contrasting C:N:P stoichiometric ratios**. Soil Biology & Biochemistry, 43. 2011: 1528–1535.

MELO, G. C. B. **CO₂ a Moeda do Futuro**: créditos de carbono indicam valores monetários para a poluição. 13 jun. 2009. Disponível em: <<http://georgianadesa.blogspot.com/2009/06/co2-moeda-do-futuro.html>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

MOSS, A. R; JOUANY, J. P & NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. **Ann. Zootech.**, 49: 231-253. 2000.

MOUTINHO, P. **Desmatamento Tropical e Mudança Climática**. 2006. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/esp/desmatamento/site/mudancas_climaticas/artigo_marcio_santilli_etc>. Acesso em: 16 mar. 2011.

NOBRE, C. A.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G. S.; MARENGO, J.A.; SALATI, E. **Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America**. First International CLIVAR Conference, Baltimore, USA, 21-25 June 2004.

NOBRE, C. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima**. In: Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Nº 3. Mudança do Clima. Vol I. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação do Governo e Gestão Estratégica. 2005. 250 pp.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. **Mudança Ambiental no Brasil**: O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. In: Scientific American Brasil. Nº 12. Set-2005.

NOBRE, C. A. **Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país**. Parcerias Estratégicas. nº 12, 2001.

PASSOS, M. G.; PRADO, G. P.; SANTOS, K. B. **Mudanças Climáticas: uma reflexão do contexto atual**. Unoesc & Ciências – ACET, Joaçaba, v. 1, n. 2, 2010. p. 175-180.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. **Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil**. Embrapa Informática Agropecuária, 2007.

POPPE, M. K.; LA ROVERE, E. L. **Mudanças climáticas. Brasília: Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica.** Presidência da República, 2005. p.198-206.

QUESADA, M.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; ALVAREZ-AÑORVE, M.; STONER, K. E.; AVILA-CABADILLA, L.; CALVO-ALVARADO, J.; CASTILLO, A.; ESPÍRITO-SANTO, M. M.; FAGUNDES, M.; FERNANDES, G. W.; GAMON, J.; LOPEZARAIZA-MIKEL, M.; LAWRENCE, D.; MORELLATO, L. P. C.; POWERS, J. S.; NEVES, F. S.; ROSAS-GUERRERO, V.; SAYAGO, R.; SANCHEZ-MONTOYA, G. **Succession and management of tropical dry forests in the Americas: Review and new perspectives.** Forest Ecology and Management, 258. 2009: 1014–1024.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado.** In: SANO, S. M. & ALMEIDA, S. P. Cerrado: ambiente e flora. Embrapa. Brasília. 1998. p. 89-166.

SAN JOSE, J.J. & MEDINA, E. **Effects of fire on organic matter production and water balance in a tropical savanna.** In: GOLLEY, F.B. & MEDINA, E., eds. Tropical ecological systems. New York, Springer-Verlag, 1975. p.251-264.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S. & FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 43, n.1, p. 153-156, 2008.

SILVA JÚNIOR, R. S.; MOURA, M. A. L.; MEIXNER, F. X.; KORMANN, R.; LYRA R. F. F.; NASCIMENTO FILHO, M. F. **Estudo da concentração do CO₂ atmosférico em área de pastagem na região amazônica.** Rev. Bras. Geof. vol. 22 nº 3 São Paulo Set./Dec. 2004.

SOTTA, E. D. **Fluxo de CO₂ entre Solo e Atmosfera em Floresta Tropical Úmida da Amazônia Central.** INPA/UA. Manaus – AM, 1998.

SKOLE, D.; TUCKER, C. **Tropical Deforestation and habitat fragmentation in the Amazon satellite data from 1978 to 1988.** *Science*, 260: 1905-1910. 1993.

STRUM, M., PEROVICH, K. e SERREZA, M. C. **O Acelerado Derretimento do Norte.** In: Scientific American Brasil. nº 12. 2005, p. 34-41.

TURCO, R.F.; KENNEDY, A.C. & JAWSON, M.D. **Microbial indicators of soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.73-90.

UNFCCC, 2008. Disponível em: <http://unfccc.int> acessado em 28 de março de 2011

VALE JÚNIOR, J.F.; LEITÃO SOUSA, M.I. **Caracterização e Distribuição dos solos das Savanas de Roraima**. In: BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; SOUZA, J. M. C. SAVANAS DE RORAIMA – Etnoecologia, Biodiversidade e Potencialidades Agrossilvipastoris. FEMACT. Boa Vista – Roraima, 2005. 201p.

VAN BREEMEN, N.; FEIJTEL, T.C.J. 1990. **Soil Processes and Properties Involved in the Production of Greenhouse Gases, with Special Relevance to Soil Taxonomic Systems**. In: A.F. Bouwman (ed) Soils and the Greenhouse Effect. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., p. 195-223.

VARELLA, R.F., M. BUSTAMANTE, A. PINTO, K. KISSELLE, R. SANTOS, R. BURKE, R. ZEPP & L. VIANA. **Soil fluxes of CO₂, CO, NO, and N₂O from an old pasture and from native savanna in Brazil**. Ecological Applications 14 (supplement): S221-S231. 2004.

VELDMAN, J.W.; MOSTACEDO, B.; PEÑA-CLAROS, M.; Putz, F.E. **Selective logging and fire as drivers of alien grass invasion in a Bolivian tropical dry forest**. Forest Ecology and Management, 258. 2009: 1643–1649.

VIADANA, A.G. **A teoria dos refúgios florestais aplicada ao estado de São Paulo**. Edição do autor. Rio Claro, 2002.

WEBSTER, R.; OLIVER M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. New York: Oxford University Press, 1990. 328 p.

WOLF, S.; EUGSTERA, W.; POTVIN, C.; BUCHMANN, N. **Strong seasonal variations in net ecosystem CO₂ exchange of a tropical pasture and afforestation in Panama**. Agricultural and Forest Meteorology, 2011.

YOUNG, B. A. Greenhouse gases and the animal industries. **Proceedings of the 1st International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture**. Obihiro, Japan. November, 2001 p 9-14. 2002.

ZANCHI, F. B.; ROCHA, H. R.; KRUIJT, B.; CARDOSO, F. L.; DEUS, J. A.; AGUIAR, L. J. G. **Medição do fluxo de CO₂ 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.

5. ANEXOS

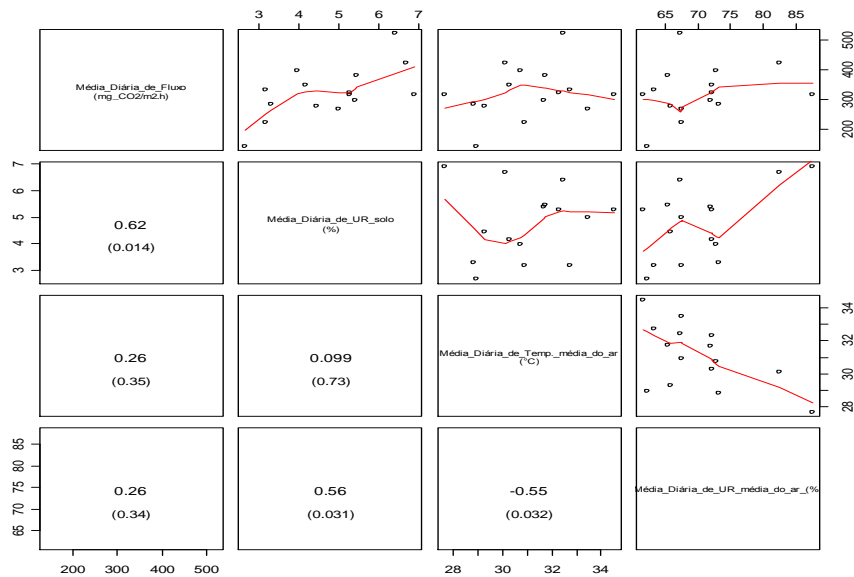
APÊNDICE A - Matriz de Correlação: Pearson

Matriz de Correlação: Pearson

	Média Diária de Fluxo (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	Média Diária de UR solo (%)	Média Diária de Temp. média do ar (°C)	Média Diária de UR média do ar (%)
Média Diária de Fluxo (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	1,00	0,62	0,26	0,26
Média Diária de UR solo (%)	0,62	1,00	0,10	0,56
Média Diária de Temp. média do ar (°C)	0,26	0,10	1,00	-0,55
Média Diária de UR média do ar (%)	0,26	0,56	-0,55	1,00

Matriz de P-valores

	Média Diária de Fluxo (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	Média Diária de UR solo (%)	Média Diária de Temp. média do ar (°C)	Média Diária de UR média do ar (%)
Média Diária de Fluxo (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	1,00	0,01	0,35	0,34
Média Diária de UR solo (%)	0,01	1,00	0,73	0,03
Média Diária de Temp. média do ar (°C)	0,35	0,73	1,00	0,03
Média Diária de UR média do ar (%)	0,34	0,03	0,03	1,00



APÊNDICE B – Carta de Autorização para execução da pesquisa na área estudada.

Carta de Autorização

Eu, **Jercyra Maria Carneiro do Valle**, professora inativa, portadora do RG nº 5154011 e CPF nº 414.164.902-30, viúva, residente e domiciliada a Travessa dos Mártires nº 111, Centro, neste município, Santarém – PA; autorizo José dos Reis Bandeira Filho, físico ambiental, acadêmico do Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Amazônia PGRNA-UFOPA, para a execução de seu projeto de Pesquisa para dissertação de mestrado, intitulado: **VARIAÇÕES NO FLUXO DE CO₂ DO SOLO NUMA ÁREA DE CERRADO EM ALTER-DO-CHÃO** a ser desenvolvido no período de dezembro de 2011 a dezembro de 2012 em minha propriedade rural situada na rodovia PA-457 Santarém – Alter-do-Chão, Comunidade de São Pedro.

Por ser verdade, dato e firmo o presente.

Santarém, 09 de dezembro de 2011.

Jercyra Maria Carneiro do Valle