



FLUXO DE CO₂ NO CERRADO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ASSIS (ASSIS-SP) NO ANO DE 2013

EDSON XAVIER FERNANDES¹
JONAS TEIXEIRA NERY²

Resumo: O último relatório do IPCC apresenta o aquecimento global antropogênico como fato iminente, tendo nas emissões excessivas de CO₂ pela ação humana sua causa principal. Diante disso, muitos estudos têm buscado compreender e quantificar as trocas deste gás entre a atmosfera e os principais ecossistemas vegetados terrestres do planeta com intuito de identificar o potencial que tais ecossistemas possuem em absorver o carbono atmosférico excedente, minimizando assim os efeitos do aquecimento. O presente trabalho apresenta uma análise do fluxo de carbono na interface vegetação-atmosfera em um importante remanescente de Cerrado localizado no interior do estado de São Paulo. Ao longo do ano predomina a absorção de carbono pela vegetação, todavia em decorrência de déficit hídrico a vegetação diminui tal capacidade, deixando de assimilar ou mesmo passando a emitir carbono para a atmosfera.

Palavras-Chave: Carbono; cerrado; fluxos.

Abstract: The latest IPCC report presents the anthropogenic global warming as an imminent fact, considering the excessive CO₂ emissions from its main causes human action. Therefore, many studies have sought to understand and quantify the exchange of this gas between the atmosphere and the main terrestrial vegetated ecosystems on the planet with the intention of identifying the potential that such ecosystems have to absorb the excess atmospheric carbon, thereby minimizing the effects of warming. This paper presents an analysis of the flow of carbon in vegetation-atmosphere interface in an important remnant Cerrado located within the state of São Paulo. Throughout the year dominated by carbon absorption by vegetation, however, due to water deficit decreases vegetation such capacity, failing to assimilate or even going to emit carbon into the atmosphere.

Keywords: Carbon; cerrado; fluxes.

1 – Introdução

Segundo a hipótese vigente, a Terra enfrentará nos próximos anos um aquecimento excessivo em função da emissão intensa de gases de efeito estufa em sua atmosfera desde a Revolução Industrial, de modo que esta emissão é oriunda da ação antrópica sobre o ambiente, seja pela queima de combustíveis fósseis, seja pelas alterações no uso do solo

¹ Mestrando em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). E-mail: edsonxfernandes@ige.unicamp.br / exf_geografia@hotmail.com.

² Professor Assistente Doutor do Curso de Geografia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Ourinhos. E-mail: jonas@ourinhos.unesp.br.



como os desmatamentos, por exemplo, (IPCC, 2013)³. Segundo Marengo (2007), a temperatura média global poderá aumentar até o final do século XXI entre 1,4°C (cenário otimista) e 5,8°C (cenário pessimista).

A respeito dos efeitos deste aquecimento sobre a população planetária, Mendonça (2006) atenta para o fato de que nenhum local encontra-se isento de suas repercussões e enfatiza que no contexto atual da era moderna os fenômenos ligados à natureza são compreendidos em escala global e possuem sincronia com o processo de globalização. Diante da complexidade que os sistemas terrestres possuem (em função da própria dinâmica natural que os lugares possuem e da dinâmica social que se impõe em face do modelo político-econômico mundial dominante), algumas áreas são mais vulneráveis que outras (MENDONÇA, 2006).

Diante deste quadro, cientistas e políticos têm se preocupado em criar e/ou estudar medidas mitigadoras ou mesmo adaptativas frente aos processos desencadeados pela intensificação do efeito-estufa, que resulta no aquecimento global. Algumas destas medidas são relativas à emissão de gases de efeito estufa pela ação antrópica, como o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂), por exemplo.

Considerado o principal gás intensificador do aquecimento global em função da quantidade com que é emitido para a atmosfera, o CO₂ atingiu sua maior concentração dos últimos 800 mil anos, conforme reportou o quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, em setembro de 2013. A ação humana resultou, desde o início da era Industrial, em um aumento de 40 % nos níveis atmosféricos de CO₂ que passou de 278 ppm, em 1750, para 390,5 ppm em 2011 (IPCC, 2013).

Sob esta perspectiva, trabalhos que busquem quantificar as trocas líquidas de carbono entre a vegetação e atmosfera têm ganhado notoriedade, pois conforme assinala Négron - Juárez (2004), além dos oceanos, a biota terrestre atua como sumidouro funcional de carbono. Ao atuar como sumidouro de CO₂ a vegetação pode atenuar os efeitos do aquecimento global, ao capturar da atmosfera o carbono excedente oriundo da ação antrópica (Sá et al. 2012).

Silveira *et al.* (2008), sobre esta questão escreveram que:

³ É necessário ressaltar que, embora a teoria que defende o chamado “aquecimento global antropogênico” é a que domina a grande maioria das discussões sobre o futuro climático do planeta, um grupo de cientistas tem se posicionado contrário a tal ideia. Tal grupo defende que o planeta enfrentará, na verdade, um processo inverso e que a participação humana nos processos de mudanças climáticas globais é ínfima (MOLION, 2007). Este impasse de ideias, segundo Mendonça (2006) evidencia a necessidade de se aprofundar o debate em torno desse assunto.



Por acumular, na estrutura carbônica das árvores, elementos poluentes nocivos à qualidade de vida, cresce a cada dia que passa o interesse pelos estudos de biomassa e conteúdo de carbono em florestas. [...] Assim sendo, a quantificação do carbono nos ecossistemas tropicais tem recebido mais atenção [...], pois será de grande relevância o conhecimento de carbono fixado nos ecossistemas naturais, uma vez que as florestas contribuem para estabilidade ambiental, por exemplo, *com a mitigação das temperaturas extremas*, aumentando as precipitações regionais, prevenindo a erosão e deterioração do solo e tendo *papel fundamental no ciclo do carbono* (SILVEIRA *et al.* 2008, p. 186, grifo nosso).

Todavia, neste processo reside uma questão importante. Sabendo que o metabolismo e crescimento das plantas são influenciados direta e indiretamente pelas condições climáticas, em face das alterações climáticas globais que estão previstas resta saber como a vegetação reagirá a tais mudanças. Appenzeller (2011) chamou a atenção para o fato de os cientistas ainda não estão certos de que, com o aumento da temperatura média do planeta, as florestas continuariam a sequestrar carbono ou se passariam a emitilo.

Giuliano Masseli Locosselli, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, em entrevista a Fioravanti (2013), da revista Pesquisa Fapesp, quando refere-se a influência do CO₂ no crescimento das árvores, aponta que o aumento da temperatura oriunda da maior concentração de carbono na atmosfera pode significar (para algumas espécies) um menor crescimento para as árvores, pois altas temperaturas contribuem para uma maior perda de água pela evapotranspiração. Assim, o sequestro de carbono também é afetado, pois com a diminuição do crescimento há uma absorção menor do gás, tendo em vista uma fotossíntese menos intensa.

Silveira *et al.* (2008) com base em Watzlawick (2002), apontam que com o aumento da temperatura média global entre 1,5 °C a 4,5 °C, previstos para até 2050, o desenvolvimento dos povoamentos florestais seria comprometido. Costa *et al.* (2011) usando o modelo de interação biosfera-atmosfera SIB 2, simularam cenários de aquecimento e concluíram que a partir de aumento de 2,0 °C na temperatura parte da Floresta Amazônica deixaria de atuar como sumidouro de carbono, mas atuaria como fonte deste gás para a atmosfera.

Além disso, pouco se sabe sobre a ciclagem e os estoques do carbono nos ecossistemas vegetais terrestres tropicais. No Brasil, graças a grandes projetos como o *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (LBA), coordenado por pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), os estudos são concentrados em torno do papel da grande floresta tropical no regime climático e no



sequestro de carbono. Todavia, outros biomas como o Pantanal e o Cerrado, mesmo que em menores proporções, também têm chamado a atenção (ARRUDA, 2011).

No caso do cerrado brasileiro, Aduan *et al.* (2003) chamam a atenção para o fato de que o conhecimento sobre os estoques e fluxos de carbono no bioma ainda são incipientes e que os poucos resultados estão fragmentados e dispersos pela literatura sobre o assunto. Sawyer (2002) defende um papel significativo do bioma cerrado na ciclagem global do carbono, principalmente em função do seu sistema radicular bem desenvolvido que, segundo o autor, forma uma verdadeira “floresta subterrânea” responsável por um armazenamento considerável de carbono. Na defesa desta função ecológica do bioma, o autor enfatiza:

No cerrado, seria possível sequestrar bilhões de toneladas de carbono a custos reduzidos por meio da conservação de formações de cerrado, cerradão, matas secas e matas de galeria e controlando o fogo para favorecer a regeneração das espécies lenhosas. Este processo natural implicaria a captação de muitas toneladas por hectare a custos reduzidos e com benefícios sociais (SAWYER, 2002, p. 287).

Neste sentido, tornam-se importantes estudos que busquem quantificar e compreender os processos de trocas gasosas no bioma cerrado, atentando para como os fatores climáticos podem influenciar tais trocas resultando em maior ou menor sequestro de carbono atmosférico, tendo em vista que a interação biosfera-atmosfera, por meio das trocas de CO₂, representa um equilíbrio entre vários processos e é um fator determinante nas alterações do clima.

Assim, o presente trabalho objetiva analisar como se deram as trocas de carbono entre vegetação de um remanescente de cerrado e a atmosfera, no interior do estado de São Paulo, para o ano de 2013. Buscou-se estabelecer uma relação entre o comportamento das variáveis climáticas e o comportamento do fluxo de carbono entre o dossel das árvores e a atmosfera (medido pelo sistema de Covariância de Vórtices Turbulentos, *Eddy Covariance*) ao longo do ano. A partir de inferência de como as condições climatológicas afetaram o ambiente, se avaliou em que condições foram propícias o sequestro e/ou a emissão de carbono.

2 – Matérias e Métodos

Os dados utilizados neste trabalho referem-se a séries horárias de medidas registradas entre 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013 pela estação micrometeorológica instalada no interior da Estação Ecológica de Assis (coordenadas: Lat: 22°34'47”; Long: 50°24'38”; Alt: 533m), em meio à vegetação do cerrado, onde predomina a fitofisionomia de



cerradão (Figura 01). A estação conta com duas torres, em uma delas estão os sensores responsáveis pela medição dos dados referentes a variáveis meteorológicas (Figura 01A) e na outra estão os sensores responsáveis pelas medidas dos fluxos de energia e massa entre a superfície e a atmosfera através do sistema *eddy covariance* (Figura 01B).



Figura 01 – Torres da estação micrometeorológica instalada no cerrado da Estação Ecológica de Assis.

Os dados das variáveis meteorológicas (precipitação pluvial e temperatura do ar) foram medidos minuto a minuto e as médias registradas a cada hora, enquanto os dados de fluxos de carbono foram medidos segundo a segundo e as médias registradas a cada meia-hora pelo sistema de *eddy covariance*. O sistema de *eddy covariance* ou covariância de vórtices turbulentos realiza medidas a partir da covariância entre as flutuações na velocidade do vento na vertical e a razão de mistura de CO₂ presente na atmosfera (BALDOCHI, 2003). No presente estudo foi utilizado um analisador de gás infravermelho (modelo LI-7500, *Licor/Campbell*) instalado a dois metros acima do dossel nas medidas do fluxo de carbono (Figura 02).

Os dados foram tabulados em planilhas do Excel (pacote *Microsoft Office 2007*). Foram calculadas médias diárias (temperatura do ar e fluxo de carbono) e totais diários (precipitação pluvial). Conforme orientação recebida de pesquisadores do Instituto de



Pesquisas da Amazônia (INPA), para as séries de dados dos fluxos de carbono foram considerados espúrios e retirados dos cálculos os dados cujos valores fossem maiores que $1 \text{ mg/m}^2/\text{s}$ e menores de $-1,5 \text{ mg/m}^2/\text{s}$.



Figura 02 – Analisador de gás infravermelho, modelo LI-7500 (Campbell).

3 – Discussão dos Resultados

Valores negativos no fluxo de CO_2 evidenciam o processo de absorção de carbono pela vegetação, ao passo que valores positivos representam emissão de carbono para atmosfera. Todavia, valores positivos também podem significar que em função de determinadas condições ambientais a vegetação diminui sua capacidade de assimilação apenas, de modo que uma parcela maior do gás fica em suspensão na atmosfera sem, necessariamente, significar que há um fluxo emissivo na direção da vegetação para a atmosfera. Este segundo caso parece ser o que aconteceu na área de estudo, em 2013, conforme se mostrará a seguir.

O gráfico que mostra as médias mensais de fluxos de CO_2 na interface vegetação-atmosfera no cerrado apresenta o predomínio dos fluxos negativos ao longo do ano, sendo que apenas nos meses de setembro e outubro é possível observar valores positivos, (Figura 03).

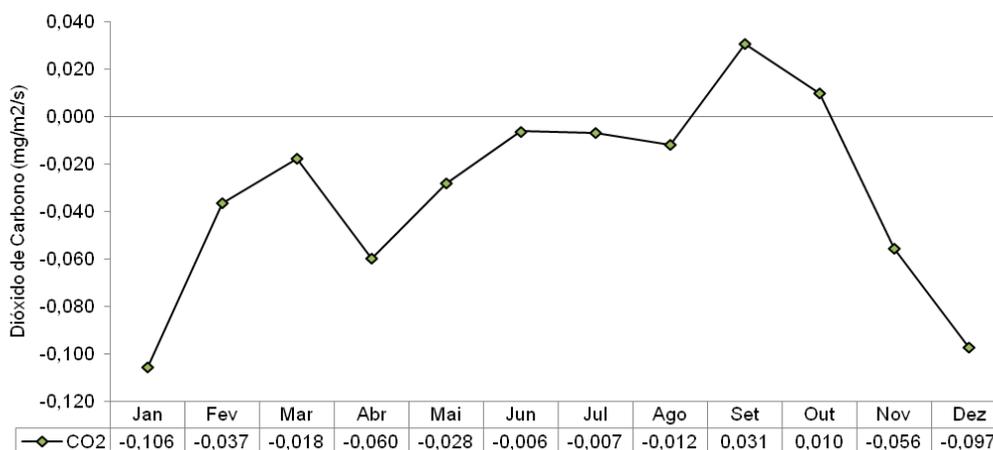


Figura 03 – Médias mensais do fluxo de CO₂ no cerrado.

A análise trimestral dos totais diários de chuva, temperatura do ar média diária e fluxo diário médio de CO₂ (Figura 04) permite inferir que no período seco, de abril a setembro, e principalmente nos meses de inverno, há uma diminuição da assimilação (fluxo negativo) de carbono e um aumento dos fluxos positivos que denotam emissão de carbono. É este aumento no período seco que acaba por influenciar os resultados observados nos referidos meses de setembro e outubro, levando em consideração o tempo de resposta da vegetação às condições hidroclimatológicas do ambiente.

No primeiro trimestre, quando há abundância de chuvas (com boa distribuição ao longo do tempo) e uma temperatura média com pouca variação, os fluxos negativos são mais intensos, o que sugere que as condições climáticas favorecem o metabolismo da vegetação, possibilitando um processo fotossintético mais intenso, consequentemente maior absorção de carbono. Neste caso, pode-se dizer que os poucos fluxos positivos são compensados ao longo do tempo pela absorção mais intensa no período.

No segundo trimestre a absorção também predomina. Contudo, um período de estiagem entre a segunda quinzena de abril e os primeiros 20 dias de maio, ajuda a compreender a diminuição dos fluxos negativos neste período e nos dias posteriores, quando também se registraram também fluxos positivos consideráveis dentro do contexto do trimestre, mesmo depois do retorno das chuvas.

O terceiro trimestre apresentou chuvas pouco intensas e mal distribuídas ao longo do tempo, caracterizando um período de estiagem prolongado (típico do inverno na região), além de oscilações maiores na temperatura, registrando temperaturas baixas em função da atuação maior de frentes frias e sistemas pós-frontais que são mais intensos na região neste período do ano. Em resposta, é possível observar que há uma sensível diminuição nos



valores dos fluxos, tanto positivos quanto negativos, o que denota uma desaceleração do metabolismo vegetal em função das condições ambientais de um modo geral.

Neste trimestre, apesar dos fluxos menores, é possível perceber que os valores positivos de carbono predominam sobre os negativos, principalmente na segunda quinzena de setembro, mesmo após o retorno das chuvas. Este quadro caracterizado pela maior emissão ou menor capacidade de absorção de carbono pela vegetação se estende por parte do mês de outubro, no quarto trimestre, porém de uma forma menor. Com o retorno das chuvas no quarto trimestre e a temperatura caminhando para uma estabilização maior, o metabolismo da vegetação torna-se mais vigoroso novamente e a absorção de carbono também aumenta (denotada pelos valores negativos dos fluxos).

Assim, o quadro que contribuiu para que em setembro e outubro a “emissão” fosse predominante relaciona-se com a falta de chuvas durante o inverno. Este tempo de resposta dos fluxos às condições ambientais (déficit hídrico), evidenciado pelos valores positivos do fluxo de carbono predominante mesmo após o retorno das chuvas em setembro, está relacionado a como a falta de água afetou a abertura e o fechamento dos estômatos das plantas que é o principal canal de trocas gasosas entre a vegetação e a atmosfera adjacente.

O déficit hídrico induz ao fechamento estomático, reduzindo as trocas gasosas, inclusive as de CO₂, de modo que há uma parcela maior do gás presente na atmosfera sem ser incorporada pela vegetação (como mostram os valores positivos). Sobre o tempo de resposta da vegetação às condições do ambiente, considerando neste caso a falta de chuvas, Vieira *et al.* (2010) explicam que:

Quando a taxa de transpiração supera a de absorção de água pelas raízes, desenvolve-se um estado de deficiência ou déficit hídrico que, geralmente, causa o fechamento estomático. (...) O efeito é direto, pois afeta o potencial parede ou de turgência das células guardas. Após uma situação de deficiência hídrica, em plantas murchas, os estômatos permanecem fechados, ou não se abrem totalmente por vários dias depois que as folhas tenham recuperado a turgência (VIEIRA *et al.* 2010, p. 54-55).

Além deste fato, a vegetação do cerrado possui a característica de senescência, isto é, perda de sua área foliar ao longo do período seco. Uma das muitas adaptações deste tipo de vegetação às condições ambientais como a falta de água. Reduzindo-se o número de folhas as trocas gasosas entre a atmosfera e a vegetação são alteradas, já que há uma diminuição dos canais por onde se efetuam tais trocas. A Figura 05 apresenta fotos da vegetação da área de estudo em cinco momentos diferentes ao longo do ano de 2013, de modo que pode se perceber como se alterou ao longo do ano o estado da vegetação.

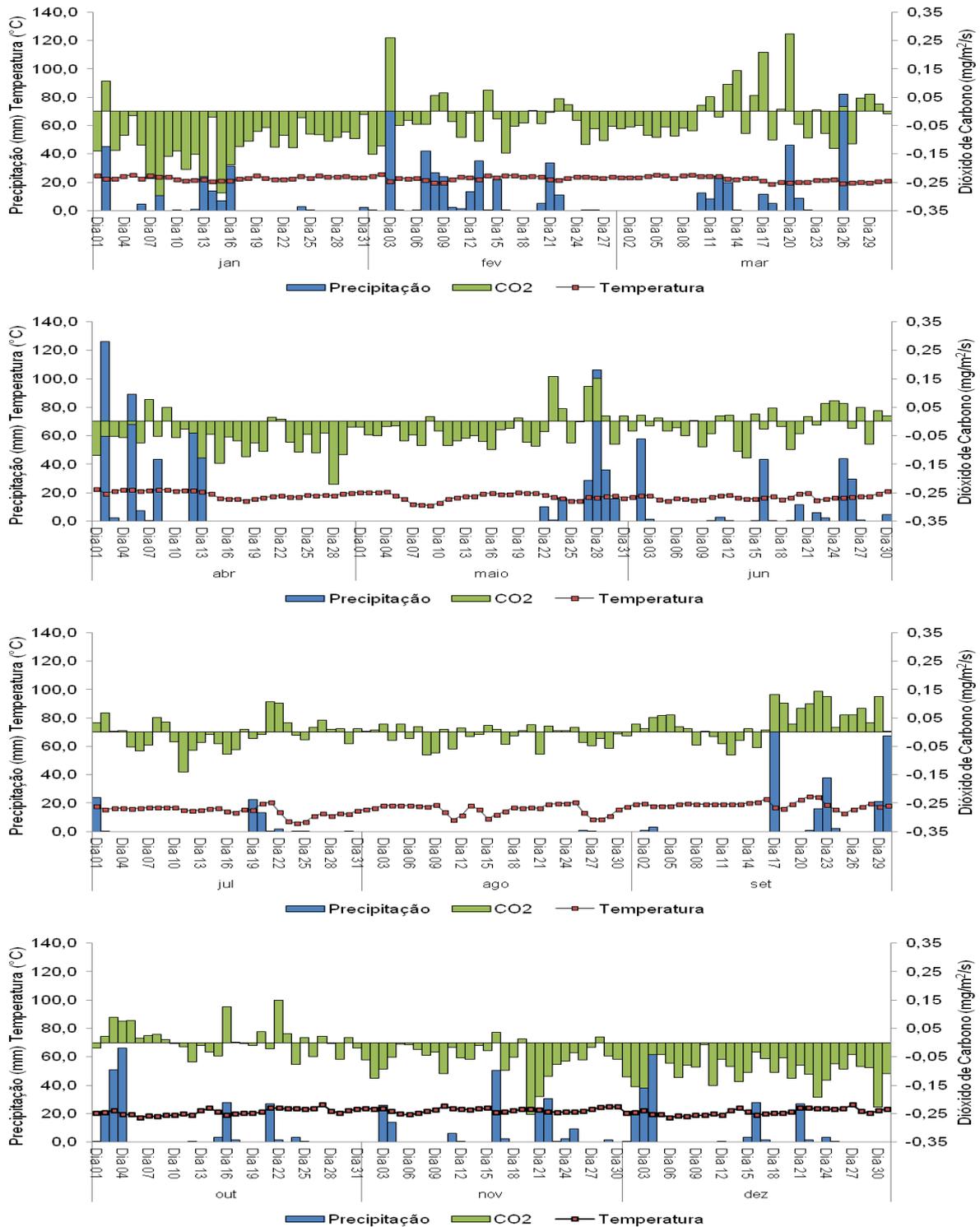


Figura 04 – Totais diários de precipitação, temperaturas médias diárias e fluxo médio diário de carbono no cerrado organizados por trimestre no ano de 2013.



Figura 05 – Fotos da vegetação do cerrado tiradas ao longo do ano. As fotos foram tiradas em: 1) 28/02/2013, 2) 06/05/2013, 3) 30/07/2013, 4) 07/10/2013 e 5) 16/12/2013.

4 – Considerações Finais

A análise dos fluxos de carbono no cerrado da Estação Ecológica de Assis, em 2012, mostrou que a disponibilidade hídrica parece ser o principal fator que controla as trocas gasosas entre a vegetação e atmosfera, tendo em vista a influência direta no metabolismo e comportamento das plantas. Observou-se que em condições de déficit hídrico a vegetação deixa de assimilar o carbono da atmosfera, devido ao fechamento dos estômatos, de modo que mais CO₂ fica presente na atmosfera, conferindo à vegetação o adjetivo de emissora de carbono. Todavia, é necessária a continuidade de medidas com intuito de garantir a análise dos fluxos sob diversas condições ambientais, no que se refere ao clima, para poder avaliar se outras variáveis como temperatura do ar e/ou radiação solar, por exemplo, podem afetar diretamente os fluxos na interface vegetação atmosfera.



5 - Referências Bibliográficas

ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres**: o caso do cerrado brasileiro. Planaltina/DF: Embrapa Cerrados, 2003, 30 p.

APPENZELLER, T. O ciclo da vida. **National Geographic Brasil**. Edição Especial. [São Paulo]; n. 139, p. 42-45, out. 2011.

ARRUDA, J. C. **Estudos do fechamento do balanço de energia pelo método de covariância de vórtices turbulentos em uma floresta de transição em Mato Grosso**. Cuiabá, 2011, 135 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT, 2011.

BALDOCHI, D. D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide Exchange rates of ecosystems: past, present na future. **Global Change Biology**, n. 9, 2003, p. 479-492.

COSTA, G. B.; ROCHA, H. R.; FREITAS, H. C. Fluxos de CO₂ para cenários de aquecimento em área de floresta através de simulações do modelo SIB2. **Ciência e Natura**. Edição Suplementar (Micrometeorologia). 2011, p. 199-202. Disponível em: < http://cascavel.ufsm.br/revista_ccne/ojs/index.php/cienciaenatura/article/viewFile/678/461> Acesso em: 25 nov. 2013.

FIORAVANTI, C. Os círculos do tempo. **Revista Pesquisa FAPESP**. 213 ed., 2013, p. 40-45.

IPCC. **Climate change 2013**: the physical Science basis – contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/UK: Cambridge University Press, 2013. Disponível em: < http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf> Acesso em: 28 fev. 2014.

MARENGO, 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. 2. ed. Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 212 p.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. V. 2, 2006, pg. 71-86.

MOLION, L. C. B. Desmistificando o Aquecimento Global. **Intergeo**, v. 5, 2007, p. 13-20.

NÉGRON-JUÁREZ, R. I. **Variabilidade climática regional e controle da vegetação**: um estudo da observação sobre cerrado e cana-de-açúcar e modelagem numérica da atmosfera. 2004. 163 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Departamento de Ciências Atmosféricas e Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SÁ, M. O.; LEAL, L. S. M.; CAMPOS, J. G.; ARAÚJO, A. C.; SILVA, P. R. T.; SILVA, M. M.; PAULETTO, D.; OLIVEIRA, M. B. L.; FERNANDES, M. R. P. S.; DINIZ, M. M.; MANZI, A. O. Capítulo 2: Estudo do clima e interações entre a floresta e a atmosfera, no parque nacional do Pico da Neblina, São Gabriel da Cachoeira, Am. In: INSTITUTO DE PESQUISAS DA



AMAZÔNIA. **Projeto Fronteira**: desvendando as fronteiras do conhecimento na região amazônica do alto Rio Negro. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação: Brasília/DF, 2012, pg. 23-36.

SAWYER, D. **População, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável no Cerrado**. In: ____ Migrações e ambiente no Centro-Oeste. Campinas: Núcleos de Estudos de População/UNICAMP: PRONEX, 2002, pg. 278-299.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, , jan.-mar., 2008, p. 185-206.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SILVA, J. S. **Manual de fisiologia vegetal**. São Luís: EDUFMA, 2010, 230 p.