Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Emissão de N_2O pela palha da cana-de-açúcar na região de Iracemápolis, SP

Luisa Lorentz Magalhães Pissioni

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2011

Luisa Lorentz Magalhães Pissioni
Engenheiro Agrônomo

Emissão de N_2O pela palha da cana-de-açúcar na região de Iracemápolis, SP

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS EDUARDO PELLEGRINO CERRI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Pissioni, Luisa Lorentz Magalhães
Emissão de N_2O pela palha da cana-de-açúcar na região de Iracemápolis, SP/ Luisa Lorentz Magalhães Pissioni . - - Piracicaba, 2011.
74 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.
Bibliografia.

1. Aquecimento global 2. Cana-de-açúcar 3. Colheita 4. Efeito estufa 5. Etanol 6. Gases I. Título

CDD 633.61
P678e

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

OFEREÇO

Às pessoas mais importantes da minha vida, minha família...

Minha mãe, Wanessa...
Porque para ela, sempre com um sorriso no rosto, tudo é possível,
prova disso é que cheguei até aqui e sou assim.

Meu pai, Mário...
Se pensássemos todos iguais, seria ótimo, quando estivéssemos corretos, porém não quando estivéssemos errados. Pensando diferente, melhor ainda, porque quando eu erro, tenho a felicidade de você estár certo.

Aos meus irmãos, Mário Júnior, Giovanni e Beatriz...
São minha inspiração para ser cada dia uma pessoa melhor.

À minha Avó Célia...
Cuja fé me trouxe até aqui.

Minha Dindinha Luciene, Tia Nana, Tia Paty e Tia Cely (*in memorian)*...
Nunca mediram esforços por mim. Pessoas de bem com a vida, pensamento positivo e não me deixa esquecer que tudo tem um lado, a VIDA.

Ao meu Príncipe, Paulo Eduardo...
Pelo amor, carinho, dedicação, que em tudo é paciente, espera, crê, colabora, torce e é minha melhor companhia.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que se faz presente em minha vida nas formas mais agradáveis possíveis. Capacitou-me a tudo que foi necessário até aqui e que em meio ao desespero, me fez sorrir sozinha.

A Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, que me socorreu de todos os perigos e todos os males.

A minha linda família que não me deixa perder a alegria de viver.

Ao meu namorado, pessoa maravilhosa que tenho maior orgulho e prazer de dividir a vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP pela oportunidade de realização do mestrado.

A Universidade Federal de Viçosa que abriu as portas do mundo para mim.

Ao CNPq e CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Professor Dr. Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, pela orientação, opotunidades, convivência, ensinamentos transmitidos, amizade, confiança, paciência e por ter expandido meus horizontes.

A professora Dra. Brigitte Feigl pelas contribuições, ensinamentos e disponibilidade sempre que solicitada.

Ao professor Dr. Carlos Clemente Cerri, pelo pioneirismo que nos ofereceu um leque de oportunidades, pelas brilhantes idéias e bom humor.

Aos colegas de orientação: Rodrigo Vianei Czycza, Gilma Amparo Reina Sanchez, Carolina Brandani, Thalita Abbruzzini e em especial à minha amiga Diana Signor pelas incondicionais, competentes, sábias contribuições ao longo desse trabalho, além do prazer da convivência, orgulho da amizade e admiração pela pessoa maravilhosa e profissional competente que é.

A Eleusa Cecília Bassi, técnica do Laboratório de Matéria Orgânica do Solo (ESALQ/USP), aos estagiários Hugo Damasceno Filliage, Matheus Andia e em especial à Aline Paladini porque foi muito mais que uma estagiária. Pessoa determinada, motivada por resultados, comprometida, competente, profissional e foi fundamental em todas as etapas deste trabalho, inclusive nas etapas que nada tinham haver com trabalho. Foi mais que amizade, foi onde encontrei uma família em Piracicaba.

Aos técnicos do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, em especial à Sandra, Ralph e Lílian pelo envolvimento e comprometimento com este trabalho.

À Usina Iracema, atravéz dos Srs. Paulo de Aguiar e Silva e Fabiano, pela permissão de uso das áreas de estudo e auxílio durante as coletas.

Ao Marcos pelo auxílio nas coletas de campo.

À Marta e Camila pelo auxílio nas questões burocráticas e administrativas.

Ao Pingim pela disponibilidade todas as vezes que solicitado, muito além do material emprestado foi o tempo dedicado, sempre com máximo interesse em transmitir conhecimento e prezar pelo bem estar.

A minha pequena grande amiga, desde os primeiros dias de Piracicaba! Dona de uma admirável alegria de viver, com quem pude contar em todas as horas, que além de contribuir com este trabalho, cuidou e se preocupou comigo, Maísa Honorio Belizario.

A minha amiga linda e competente Suzana Romeiro, pela adorável convivência, pelas conversas, cafés de final de tarde, companhia, consolos e colaboração neste trabalho.

A Adriana Guirado por muito mais que a colaboração neste trabalho. Pelos ensinamentos, não só em relação ao mestrado. Pelas atividades extras, pelo estreitamento de nossa amizade e por todas as coisas que vivemos juntas. Admiro sua competência e habilidade de desenvolver múltiplos projetos ao mesmo tempo.

Meninas espero que nossa amizade vá além do nosso período em Piracicaba!

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e participaram do meu crescimento pessoal e profissional!

Se chorei ou se sorri, o importante é que emoções eu vivi!

Muito Obrigada!

"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim."

Francisco Cândido Xavier

SUMÁRIO

RESUMO..... 11
ABSTRACT..... 13
1 INTRODUÇÃO..... 15
Referências..... 18
2 EMISSÕES DE N_2O E CO_2 PELA DEPOSIÇÃO DE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM COMDIÇÕES DE LABORATÓRIO..... 21
Resumo..... 21
Abstract..... 21
2.1 Introdução..... 22
2.2 Material e métodos..... 24
2.2.1 Experimento 1 - quantidades de palha de cana-de-açúcar e emisão de N-N_2O..... 24
2.2.2 Experimento 2 - emissão de C-CO_2 em função da temperatura, incorporação ou não da palha de cana-de-açúcar, adição de fertilizante e alteração pH do solo..... 28
2.3 Resultados e discussão..... 30
2.4 Conclusões..... 41
Referências..... 41
3 EMISSÕES DE N_2O, CO_2 e CH_4 PELA DEPOSIÇÃO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO CAMPO..... 45
Resumo..... 45
Abstract..... 45
3.1 Introdução..... 46
3.2 Material e métodos..... 48
3.3 Resultados e discussão..... 53
3.4 Conclusões..... 68
Referências..... 68
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 73

RESUMO

Emissão de N_2O pela palha da cana-de-açúcar na região de Iracemápolis, SP

O Brasil é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa (GEE) do mundo. Uma das formas de reduzir a emissão desses gases é a substituição dos combustíveis fósseis por biocumbústíveis, sobretudo etanol oriundo da cana-de-açúcar. A adoção do sistema de colheita da cana-de-açúcar sem queima prévia de sua parte aérea vem crescendo nos últimos anos. Há a deposição sobre a superfície do solo de quantidades variando de 10 a 18 Mg ha^{-1} de matéria seca. A decomposição desse material pode emitir GEE para a atmosfera. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi verificar a contribuição da deposição da palha da cana-de-açúcar, colhida sem queima, na emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. As primeiras investigações ocorreram por meio de incubações em laboratório com o intuito de entender as dimensões e o padrão das emissões. Para a avaliação dos fluxos de N_2O foram testadas quantidades variadas de palha de cana-de-açúcar. Para as emissões de CO_2 os tramentos, em um total de oito, foram constituídos associando temperatura de incubação, forma de aplicação de palha de cana-de-açúcar, adição de fertilizante e alteração do pH. Com base nesses experimentos em laboratório, a adição de quantidades diferentes de palha de cana-de-açúcar ocasionou diferenças significativas nas emissões acumuladas de N_2O. O sistema de manejo com incorporação ou não da palha da superfície, a adição de fertilizantes ou mudança no pH não resultaram em alterações na liberação de carbono. Levando-se em consideração os resultados obtidos do experimento em condições de laboratório, implantou-se um experimento para avaliar, em condições de campo, as emissões de N_2O, CO_2, e CH_4. As avaliações foram efetuadas em função do tempo após a colheita e diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar depositada sobre o solo. Para tanto, as seguintes situações foram avaliadas: controle (sem palha), 50% e 100% da quantidade de palha depositada sobre o solo. O experimento foi conduzido sobre três variações de Latossolo, no município de Iracemápolis, SP. A magnitude das emissões de N_2O do solo e da palha neste estudo está abaixo das verificadas para outros sistemas de manejo de culturas no Brasil. Houve efeito do tempo após a colheita sobre as emissões de N_2O. Já para o CO_2 houve diferença significativa em função das diferentes quantidades de palha e de tempo após a colheita, mas não de interação desses dois fatores. As emissões de CH_4 não foram afetadas nem pela quantidade de palha na superfície e nem pelo tempo após a colheita. Deve-se ressaltar que as emissões de CH_4 estao abaixo daquelas observadas para os outros GEE avaliados nesta pesquisa. Pode-se concluir que a hipótese desta pesquisa foi confirmada. Todavia, os resultados foram mais expressivos para as incubações realizadas em laboratório do que para as obtidas em condições de campo, dadas a heterogeneidade e a complexidade do meio.

Palavras-chave: Gases do efeito estufa; Aquecimento global; Etanol de cana-de-açúcar, Oxido nitroso; Sistema de colheita da cana-de-açúcar

ABSTRACT

N_2O emission from sugarcane straw in the region of Iracemápolis, SP, Brazil

Brazil is one of the largest emitters of greenhouse gases (GHGs) in the world. One way to reduce GHG emissions is the replacement of fossil fuels by biofuels, mainly ethanol derived from sugarcane. The adoption of the unburning sugarcane harvesting system is increasing in recent years. There is a deposition on the soil surface of sugarcane straw ranging from 10 to 18 Mg dry matter ha^{-1}. The decomposition of this material may emit GHGs to the atmosphere. Therefore, the objective of this research was to assess the contribution of the sugarcane straw deposition on the GHG emissions to the atmosphere. The first investigations were carried out through laboratory incubations in order to understand the dimensions and patterns of GHG emissions. For the N_2O flux evaluations, different amounts of sugarcane straw were tested. For the CO_2 emissions, a total of eight treatments was applied, including temperature, surface or incorporated sugarcane straw, fertilizer addition and pH alteration. Based on these laboratory experiments, the addition of different amounts of sugarcane straw had a significant effect on N_2O cumulative emissions. The management system with straw incorporation or in the soil surface, fertilizer addition or change in pH resulted in no change in carbon release. Taking into account the results obtained from the laboratory incubation, an experiment in the field was carried out to assess emission of N_2O, CO_2, and CH_4. The evaluations were done in function of the time after sugarcane harvesting and different quantities of sugarcane straw deposited on the ground. Therefore, the following conditions were evaluated: control (without straw), 50% and 100% of the trash deposited on the soil surface. The experiment was conducted on three variations of Oxisol in the municipality of Iracemápolis, Sao Paulo State, Brazil. The magnitude of N_2O emissions from soil and straw in this study are below those observed for other crop management systems in Brazil. There was a significant effect of time after sugarcane harvesting on N_2O emissions. For the CO_2 emissions, there were significative effects not only for different straw quantities but also for time after harvesting, but not for their interaction. CH_4 emissions were not affected neither by the amount of straw on the surface nor by time after harvesting. It should be pointed out that CH4 emissions are below those observed for the other GHG evaluated in this study. It is possible to conclude that the hypothesis of this research was confirmed. However, the results were more expressive for the incubations carried out in the laboratory than the emissions found in field conditions, due to the heterogeneity and complexity of the environment.

Keywords: Greenhouse gases; Global warming; Sugarcane ethanol; Nitrous oxide; Sugarcane harvesting system

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa (GEE) do mundo. Diferente dos outros países que o acompanham no topo da lista, a principal fonte desses gases não é a queima de combustível fóssil, mas sim o desmatamento e o uso da terra para agricultura e pecuária (CERRI et al., 2009). Estima-se que 20% do incremento anual do aquecimento global são devidos ao setor agrícola considerando-se o efeito dos gases metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e gás carbônico (CO_2), dentre esses gases, o CH_4 e o N_2O são os principais gases emitidos pelo setor agropecuário, e contribuem com 15% e 6%, respectivamente, para o aquecimento global (COTTON; PIELKE, 1995).

O modelo de desenvolvimento econômico atual não ajuda em reduzir as emissões globais (LOVELOCK, 2009), pelo contrário, aponta na direção de um crescimento nas próximas décadas, ou seja, o aumento da temperatura do planeta é inevitável e o risco ambiental permanece, fazendo com que a adoção de políticas e acordos internacionais se torne prioridade e urgente. Solomon et al. (2009) afirmam que, mesmo que se pare de emitir GEE, as alterações climáticas deverão permanecer ainda por 1.000 anos, porque parte do CO_2 emitido ainda continuará na atmosfera e alguns danos já são considerados irreversíveis. Dessa maneira, os esforços no sentido de elucidar a contribuição do setor agrícola para o aumento da concentração dos GEE na atmosfera, e o potencial de mitigação das emissões, são crescentes.

Uma das formas para reduzir a emissão dos GEE, é a substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis , sobretudo etanol oriundo da cultura da cana-de-açúcar (OMETTO; HAUSCHILD; ROMA, 2009). O Brasil dispõe de área, solos e clima adequados para o desenvolvimento da cultura. Nesse sentido, a cana-de-açúcar representa um potencial mitigador das emissões de gases, uma vez que o manejo de colheita sem a queima prévia do canavial, uma parte do que seria emitido durante a queima fica retido na palha no solo, permitindo que a cultura possa desempenhar papel importante na busca da diminuição do efeito estufa.

No Brasil, a área de cana-de-açúcar colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na safra 2010/2011, foi estimada em torno de 8 milhões de ha. Do total de cana processada (625 milhões de t), 54% foram destinados à produção de etanol,

gerando um volume de 28 bilhões de litros e 46% foram destinados à produção de açúcar, gerando em torno de 39 milhões de toneladas do produto (CONAB, 2011).

O sistema de cultivo de cana-de-açúcar colhida crua, sem queima prévia de suas folhas, foi desenvolvido com a finalidade de evitar a queimada, a mobilizaçao superficial dos solos e depositar sobre a superfície do solo uma quantidade considerável de resíduos vegetais denominados palha ou palhada (folha seca, ponteiro e pedaços de colmo). A deposição de material vegetal ao solo diminui a erosão e aumenta o teor de matéria orgânica (MOS). Esse material orgânico no solo pode ser facilmente decomposto quando se realizam práticas de manejo não conservacionistas, causando agravamento no efeito estufa, devido à liberação de GEE, como CO_2, CH_4 e N_2O (CERRI et al., 2007). De acordo com Moreira e Siqueira (2006), para elevar o teor de MOS de 3 para 4%, em um sistema que recebe 2 Mg ha^{-1} de resíduo por ano, são necessários aproximadamente 100 anos.

Diversos autores relatam efeitos significativos da manutenção da palha da cana-de-açúcar nos atributos físicos do solo (DOURADO-NETO et al., 1999), crescimento e ciclagem de raízes (ALVAREZ; CASTRO; NOGUEIRA, 2000), velocidade de infiltração de água (GRAHAM; HAYNES; MEYER, 2002), dinâmica do nitrogênio do solo (MEIER et al., 2006) e na densidade do solo (TOMINAGA et al., 2002).

O carbono (C) constituinte da palha da cana-de-açúcar foi retirado da atmosfera e fixado fotossinteticamente, sendo assim, o CO_2 emitido pela decomposição da palha não é responsável pelo aumento da concentração atmosférica desse gás. O mesmo não se pode afirmar quando o gás em questão é o óxido nitroso (N_2O), que tem potencial de aquecimento global (PAG) 298 vezes maior do que o CO_2 (IPCC, 2007). Em sistema onde não há absorção de N_2O da atmosfera, havendo uma constante emissão, este se apresenta como potencial contribuinte para o aumento das concentrações atmosféricas de N_2O que vem acontecendo desde a Revolução Industrial.

Desde 1988, o incremento anual na concentração de N_2O é de 0,8 ppb ano^{-1} e em 2004 a concentração era de 318,6 ppb (WORD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2006), excedendo a concentração da era pré-industrial em 18% (270 ppb).

O N_2O emitido durante o cultivo da cana-de-açúcar colhida sem queima é resultado da adição de nitrogênio (N) no sistema palha-solo tanto pelos adubos

nitrogenados quanto pela mineralização do N contido nos resíduos. Mori et al. (2005) e Potthoff et al. (2005), mostraram que a adição de resíduos agrícolas ao solo tem aumentado a emissão de N_2O, visto que esse gás é em geral produzido pelos processos microbianos de nitrificação e desnitrificação que ocorrem no solo. O impacto do N_2O no balanço radiativo é direto, já que este gás participa numa variedade de reações que afetam os níveis troposféricos de ozônio (causando a sua degradação).

Segundo o guia para elaboração de inventário de gases do efeito estufa do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), o fator de emissão de óxido nitroso para solos manejados, tanto pela adição de adubo mineral quanto pela deposição de resíduos orgânicos, é de 1%. A emissão de óxido nitroso é influenciada por diversos fatores edafoclimáticos justificando a necessidade de se utilizar um fator mais específico para cada situação e região em estudo, assim como para cada cultura de acordo com as características dos resíduos depositados.

A “pegada do carbono” do etanol é uma medida dos GEE emitidos ao longo de sua cadeia produtiva até atingir o consumidor final, onde acontecem as últimas emissões nos escapamentos dos seus carros. Quanto menor a pegada, menos o produto contribui para aumentar o aquecimento global. Avaliar as emissões dos principais GEE é importante porque determinadas práticas podem aumentar o influxo de um gás, como o CO_2, e ao mesmo tempo aumentar o efluxo de outros, como o N_2O, resultando em um balanço de GEE neutro ou até mesmo negativo do ponto de vista ambiental, uma vez que o PAG do N_2O é muito superior ao do CO_2. Existe um potencial para restaurar os níveis de C orgânico e reduzir as emissões de GEE dos solos através de mudanças nas práticas agrícolas incluindo métodos de preparo do solo, manutenção da fertilidade com uso de fertilizantes inorgânicos e adubação orgânica, uso de dejetos de animais, rotação de culturas, culturas de cobertura e manejo dos resíduos de culturas (LI,1995).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA) classificou o etanol de cana-de-açúcar como um biocombustível avançado, capaz de reduzir as emissões de GEE em pelo menos 50% comparado com a gasolina. O etanol brasileiro apresenta maior eficiência do que muitos outros biocombustíveis, como por exemplo, o etanol do milho que permite redução das

emissões de GEE de somente 20% em comparação com a gasolina (EPA, 2010). Esses valores foram obtidos através de um balanço de GEE incluindo emissões diretas e indiretas dentro da "análise de ciclo de vida" do combustível. Foram computadas desde a emissão de GEE ocorridas pela mudança de uso da terra para fins de produção da matéria prima para o biocombustível, até as emissões devido à entrega e utilização do combustível pelo consumidor final. Dentro de análise tão abrangente algumas incertezas são atribuídas, como por exemplo, a emissão de N_2O pela decomposição da palha da cana-de-açúcar. Portanto, o etanol brasileiro, considerado um biocombustível avançado, pode ser considerado mais avançado ainda, quanto menor forem as emissões de N_2O.

Nesse sentido a presente pesquisa baseia-se na hipótese de que há emissão significativa de N_2O oriundo da palha de cana-de-açúcar colhida sem queima. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi verificar a contribuição da deposição da palha da cana-de-açúcar, colhida sem queima, na emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera.

Referências

ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C.; NOGUEIRA, M.C.S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 653-659, 2000.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, p. 83-99, 2007.

CERRI, C.C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p. 831-843, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, janeiro/2011.** Brasília, 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/ OlalaCMS/uploads/arquivos/ 110106091450_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011..pdf. Acesso em: 28 jan. 2011.

COTTON, W.R.; PIELKE, R.A. **Human impacts on weather and climate**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 288p.

DOURADO-NETO, D.; TIMM, L.C.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M. State-space approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, p. 1215-1221, 1999. Suplemento.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J; MEYER, J.H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retentation on a long term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, p. 589-598, 2002.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories:** Agriculture, Forestry and Other Land Use. National Greenhouse Gas Inventories Program. v.4, Hayama, 2006. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N_2O&CO_2.pdf >. Acesso em: 28 dez. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANNEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. **Climate Change 2007:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, p. 104.

LI, C. Modeling impact of agricultural practices on soil C and N_2O emissions. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Advances in Soil Science. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. p. 101-112.

LOVELOCK, J. **Gaia**: Alerta Final. Rio de Janeiro :Editora Intrínseca, 2009. 264p.

MEIER, E.A.; THORBURN, P.J.; WEGNER, M.K.; BASFORD, K.E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Quensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 75, p. 101-114, 2006.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MORI, A.; HOJITO, M.; KONDO, H.; MATSUNAMI, H.; SCHOLEFIELD, D. Effects of plant species on CH_4 and N_2O fluxes from a volcanic grassland soil in Nasu, Japan. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokio, v. 51, p. 19–27, 2005.

OMETTO, A.R.; HAUSCHILD, M.Z.; ROMA, W.N.L. Lifecycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Brazil. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Berlin, v. 14, p. 236-247, 2009.

POTTHOFF, M.; DYCKMANS, J.; FLESSA, H.; MUHS, A.; BEESE, F.; JOERGENSEN, R.G. Dynamics of maize (*Zea mays* L.) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availability of nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 1259–1266, 2005.

SOLOMON, S.; PLATTNER, G.K.; KNUTTI, R.; FRIEDLINGSTEIN, P. **Irreversible climate chance due to carbon dioxide emissions.** The National Academy of Science of the USA, v. 106, p. 1704-1709, 2009.

TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M.; BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; TIMM, L.C. Variability of soil water content and bulk density in a sugar cane field. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 40, p. 605-614, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA lifecycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable, 2010.** Disponível em: http://www.epa.gov/otaq/renewablefuels/index.htm. Acesso em: 18 mar. 2010.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Annual Greenhouse Gas Bulletin**. Geneve: WMO-GAW, 2006.

2 EMISSÕES DE N_2O E CO_2 PELA DEPOSIÇÃO DE PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO

Resumo

A deposição da palha de cana-de-açúcar colhida sem queima pode emitir gases do efeito estufa durante o processo de decomposição. Todavia, não há resultados conclusivos sobre este assunto até o momento. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as emissões de N_2O e CO_2 pela deposição de palha de cana-de-açúcar em condições de laboratório. Dois experimentos foram conduzidos em condições de laboratório. O solo utilizado nos experimentos foi classificado como Latossolo Vermelho escuro. Para o experimento 1- quantidades de palha de cana-de-açúcar e emissão de N-N_2O, os tratamentos consistiram de incubação com 100% da palha coletada no campo (massa seca = 817 g m^{-2}); com 50% da palha coletada no campo (massa seca = 408,5 g m^{-2}) e recipientes apenas com solo (controle). Enquanto o experimento 2- emissão de C-CO_2, os tramentos, em um total de oito, foram constituídos associando temperatura de incubação, forma de aplicação de palha de cana-de-açúcar, adição de fertilizante e alteração do pH. Com base nesses experimentos, conclui-se que a adição de quantidades diferentes de palha de cana-de-açúcar teve efeito significativo sobre as emissões acumuladas de N_2O. No tratamento controle houve fluxo líquido negativo de N_2O nos primeiros dias de incubação. O sistema de manejo com incorporação ou não da palha da superfície, a adição de fertilizantes ou mudança no pH do meio não resultou em alteração na liberação de carbono.

Palavras-chave: Resíduo orgânicos; Gases do efeito estufa; Sistema de colheita da cana-de-açúcar

Abstract

The deposition of sugarcane straw, harvested without burning, may emit greenhouse gases during decomposition process. However, there are no studies with conclusive results on this issue. Therefore, the aim of this research was to evaluate the N_2O and CO_2 emissions from the sugarcane straw deposition in laboratory conditions. To do so, two experiments were carried out. The soil used in the experiments was classified as Latossolo Vermelho escuro (Oxisol). For the experiment 1 (levels of sugarcane straw and N-N_2O emission), the treatments consisted of: soil incubation with 100% straw collected in the field (817 g dry mass m^{-2}); 50% of straw collected in the field (408,5 g dry mass m^{-2}) and containers with soil without straw (control treatment). For the experiment 2 (C-CO_2 emission), the treatments, in a total of eight, were set up to assess the effects of temperature, forms of sugarcane straw application, fertilizer addition and pH alteration. It is possible to conclude that the addition of different amounts of sugarcane straw had a significant effect on accumulated N_2O emission. In the control treatment there was a negative N_2O flow in the first days of incubation.The management system with straw incorporation or deposition at the soil surface, fertilizer addition or a pH alteration do not resulted in modification of carbon release.

Keywords: Organic residues; Greenhouse gases; Sugarcane harvesting system

2.1 Introdução

As discussões sobre mudanças climáticas fecharam o ano de 2010 com a realização da COP16. Simultaneamente, um decreto de regulamentação da Política Brasileira sobre Mudanças Climáticas (Decreto 7.390/2010) foi assinado definindo que o Brasil deve chegar a 2020 emitindo no máximo 2,1 bilhões de toneladas de CO_2 por ano e terá que publicar anualmente as estimativas para o total de emissões do País (Brasil, 2010). Diminuir as incertezas quanto aos fatores de emissão de gases do efeito estufa (GEE) se fazem cada vez mais necessárias quando compromissos dessa natureza são assumidos.

A metodologia para inventário de GEE do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) contabiliza as emissões de N_2O de solos agrícolas como diretas e indiretas. A primeira é decorrente da adição aos solos de fertilizantes sintéticos e adubos orgânicos, do cultivo de plantas fixadoras de N_2, da deposição de resíduos de colheita, e da mineralização do nitrogênio associada ao cultivo de solos orgânicos, além do N oriundo de dejetos animais depositados diretamente em pastagens. As emissões indiretas de N_2O são calculadas em função da porção do N adicionado aos solos como fertilizantes, adubos orgânicos e dejetos animais depositados em pastagens que é volatilizada como NH_3 e NOx, e também daquela perdida por lixiviação e escoamento superficial (IPCC, 2006).

Fatores de emissão de N_2O decorrente da adição de fertilizantes sintéticos à um solo culticado com cana-de-açúcar, foram calculados após incubação em laboratório. Em função de fontes e quantidades de N os fatores de emissão obtidos durante o período de incubação variaram entre 0,24 ± 0,02 % e 0,78 ± 0,03 %. Todos os valores obtidos encontram-se abaixo do valor (1%) proposto pelo IPCC (SIGNOR, 2010).

Para as condições brasileiras ainda não existem informações sobre emissões de N_2O devido à deposição dos resíduos da colheita da cana-de-açúcar, a palha. A média anual da palha depositada por oito variedades comerciais de cana-de-açúcar avaliadas em estudo conduzido na Embrapa Agrobiologia, durante um ciclo completo (cana-planta mais 4 socas) variou de 10 a 18 Mg de matéria seca ha^{-1} (XAVIER, 2006).

A palha de cana-de-açúcar possui, em média, 390 a 450 g de C kg^{-1} de MS e 4,6 a 6,5 g de N kg^{-1} de matéria seca (TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUÊS, 1995). O

nitrogênio orgânico da palha é absorvido por microorganismos na forma de aminoácidos ou outros monômeros produzidos pela ação das enzimas extracelulares. Dentro das células essas pequenas moléculas sofrem desaminação, sendo parte do grupo amino excretado como amônia (NH_3) que entra em equilíbrio formando amônio (NH_4^+) no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Em solos sob cultivo agrícola, a desnitrificação e a nitrificação são os principais processos microbianos responsáveis pela produção de N_2O (FIRESTONE; DAVIDSON, 1989), embora esse gás não seja o principal produto final desses processos. A nitrificação, que requer condições aeróbias e está diretamente relacionada ao suprimento de NH_4^+, é mediada principalmente por bactérias autotróficas. A desnitrificação, que ocorre em condições anaeróbias, é realizada por bactérias heterotróficas anaeróbias facultativas, as quais dependem da disponibilidade de carbono orgânico e de nitrato (NO_3^-). Ambos os processos podem ocorrer simultaneamente no solo, haja visto que no interior dos agregados podem desenvolver-se microssítios de aerobiose e anaerobiose.

Tecnologias estão sendo propostas para desenvolver novos processos de fabricação do etanol, além da destilação e fermentação. No momento, a hidrólise e a gaseificação da biomassa são as mais promissoras para a produção do etanol de segunda geração. No caso da hidrólise, busca-se a conversão da celulose e hemi-celulose existentes na biomassa, em açúcares que possam ser fermentados e transformados em etanol. Na gaseificação, a biomassa é transformada termicamente em gás, que é sintetizado e pode ser convertido em diversos produtos dentre eles, o etanol.

Nesse contexto, várias matérias-primas vêm sendo avaliadas para uso nos novos processos, incluindo a palha da cana-de-açúcar. Quando tais tecnologias forem utilizadas em escala comercial, a cana-de-açúcar poderá ser colhida sem que 100% da palha permaneça no campo, como ocorre atualmente.

Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho é estimar as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, oriundos da deposição de quantidades variadas de palha da cana-de-açúcar sobre a superfície do solo, em condições de laboratório.

2.2 Material e métodos

Para a avaliação das emissões de N-N_2O e C-CO_2 foram realizados dois experimentos de incubação com palha de cana-de-açúcar retirada de uma área representativa do cultivo no estado de São Paulo, (22° 33,105' S e 47° 30,865' W). O solo utilizado nos experimentos foi classificado como Latossolo Vermelho escuro e a amostra foi coletada na profundidade de 0 a 10 cm. A amostra de solo foi seca, destorroada, passada em peneira com 2 mm de abertura de malha e homogeneizada, Adicionalmente, uma subamostra foi coletada para caracterização química e granulométrica. As determinações de pH em água e em cloreto de cálcio seguiram metodologia descrita em Anderson e Ingram (1989), obtendo-se os seguintes resultados: pH em H_2O = 6,4 e pH em $CaCl_2$ = 5,7. Os atributos químicos do solo determinados de acordo com métodos descritos em Raij et al. (2001) foram os seguintes: C = 26,2 mg kg^{-1}; N = 1,8 mg $kg^{-1;}$ K = 140,7 $mmol_c$ kg^{-1}; P resina =75 mg kg^{-1}; Ca = 56 $mmol_c$ kg^{-1}; Mg = 23 $mmol_c$ kg^{-1}; Soma de bases (SB) = 148,6 $mmol_c$ kg^{-1}; Acidez potencial (H+Al) = 42 $mmol_c$ kg^{-1}; CTC a pH 7 = 190, 2 $mmol_c$ kg^{-1}, saturação por bases (V) = 78 % e saturação por Al^{+3} (m) = 1%. A palha da cana-de-açúcar submetida à análise bromatológica resultou em: celulose (417,2 g kg^{-1} de matéria seca), hemicelulose (308,1 g kg^{-1} de matéria seca) e lignina (82,9 g kg^{-1} de matéria seca). Os teores iniciais de C e N da palha eram de 410 g kg^{-1} e 6,5 g kg^{-1}, respectivamente. A granulometria do solo utilizado, determinada conforme Camargo et al. (1986), revelou 37%; 23% e 41% de argila, silte e areia, respectivamente.

2.2.1 Experimento 1 – quantidades de palha de cana-de-açúcar e emissão de N-N_2O

O experimento foi conduzido em condições de laboratório, no Departamento de Ciencia do Solo (ESALQ/USP), durante o mês de dezembro de 2009. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito repetições e os tratamentos avaliados foram:

- 100% da palha coletada no campo (massa seca = 817 g m^{-2}, equivalente a 8,17 ton ha^{-1});
- 50% da palha coletada no campo (massa seca = 408,5 g m^{-2});
- Controle (sem palha).

Adicionalmente, um recipiente sem solo e sem palha ('branco") foi mantido nas mesmas condições dos demais, durante todo o período do experimento para avaliação da concentração de GEE do ambiente (conhecida como "background emission"). A quantidade de palha de cana-de-açúcar aplicada em cada tratamento foi calculada com base no peso correspondente ao material vegetal coletado dentro de um quadrante de 1 m^2 disposto de forma aleatória no campo (Figura 1).

Figura 1 – Coleta da palha da cana-de-açúcar no campo utilizando quadrante de 1m^2

Cada unidade experimental foi constituída por um recipiente de incubação com capacidade para 5 L (Figura 2). Foram adicionados, em cada um dos recipientes, 1400 g de solo, previamente passadas em peneiras de 2 mm, foram homogeneizadas e transferidas para os recipientes de incubação. A umidade do solo, devido às chuvas no período de coleta, já se encontrava a 60% da capacidade de retenção de água. Sobre a camada de solo, adicionou-se palha de cana-de-açúcar referente aos tratamentos anteriormente mencionados.

Os recipientes experimentais foram vedados hermeticamente com massa de calafetar e mantidos estáticos sobre a bancada de Laboratório de Matéria Orgânica do Solo em temperatura média de 22ºC, por um período de 14 dias. Foram efetuadas

coletas de gás diariamente a partir do primeiro dia de incubação das amostras, exceto no 11° dia em função da não operação do mini cromatógrafo gasoso. A coleta das amostras foi efetuada com auxílio de seringas BD de 20 mL e agulha hipodérmica, de modo a perfurar o septo contido na tampa dos recipientes experimentais. Após as coletas das amostras, os recipientes foram abertos e sofreram ventilação forçada, por um período de 30 a 40 minutos, para que fosse restabelecida a atmosfera normal (processo conhecido como “flush-out”), evitando a saturação do mesocosmo. Em seguida, os recipientes eram fechados novamente até a próxima coleta.

Figura 2 – Vista geral dos recipientes contendo solo, solo+palha e “branco” (sem solo e sem palha) utilizados na incubação de quantidades variadas de palha de cana-de-açúcar para avaliação das emissões de N_2O

As concentrações de N_2O nas amostras coletadas durante o período de 14 dias foram determinadas em cromatógrafo GC-mini 2 Shimadzu, conectado a um computador por meio de um módulo de comunicação (CBM – 102 Shimadzu).

Os resultados dos fluxos diários de N-N_2O foram tabulados em planilha eletrônica para estimativa da emissão acumulada ao longo do tempo. Com o auxílio do programa "Statistical Analysis System" (SAS Institute, 2000), as emissões totais de N-N_2O g^{-1} de solo foram submetidas à análise de variância e para os casos em que se verificou efeito significativo dos tratamentos sobre as emissões de N-N_2O, foram efetuadas análise de regressão não linear para as emissões de gases em função das quantidades de palha aplicadas. As emissões acumuladas de N-N_2O foram plotadas em gráficos e ajustadas a um modelo exponencial, de acordo com a seguinte equação geral (SIT; POULIN-COSTELLO, 1994):

$$y = a\, e^{b/x}$$

Em que:

y = emissão acumulada N-N_2O ao longo do tempo, em μg N-N_2O g^{-1} solo;

x = dias após o início da incubação; e

a e b = coeficientes ajustados para cada tratamento.

2.2.2 Experimento 2 – emissão de C-CO_2 em função da temperatura, incorporação ou não da palha de cana-de-açúcar, adição de fertilizante e alteração pH do solo.

Para a determinação da emissão de C-CO_2, foi conduzido um experimento em condições de laboratório, no Departamento de Ciencia do Solo (ESALQ/USP), durante o mês de março de 2009. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha e homogeneizadas e, em seguida, foram pesadas subamostras de 80 g de solo e corrigida a umidade para que todos os tratamentos atingissem 50% da capacidade de retenção de água com base no peso da amostra. Essas amostras foram incubadas em frascos de vidro com capacidade para 800 mL, os quais foram fechados com tampas metálicas. Cada tampa possuía um septo de borracha para permitir a coleta das amostras de gases.

Os tratamentos, em um total de oito, foram constituídos associando temperatura de incubação, forma de aplicação de palha de cana-de-açúcar, adição de fertilizante e alteração do pH (Quadro1), em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 repetições.

Os tratamentos mantidos a 24 °C foram acondicionados na incubadora, o mantido a 45 °C na estufa e o refrigerado a 6 °C na geladeira. As avaliações das emissões de CO_2 se deram após 1, 5, 6, 8, 11, 13, 15, 18, 21, 25, 27 e 29 dias após a instalação do experimento. Para a coleta dos gases contidos nos frascos foram utilizadas seringas com agulhas hipodérmicas. O gás foi analisado imediatamente após a coleta pelo equipamento IRGA-LICOR modelo LI-7000 CO_2/H_2O Analyser. Após a coleta do gás, os frascos eram abertos periodicamente, sob ventilação forçada para que fosse restabelecida a atmosfera normal, evitando a saturação do microcosmo e em seguida tampados novamente.

Tratamentos	Temperatura (°C)	Palha[#]	Adicional
I	24	Ausente	-
II	24	Superfície	-
III	24	Incorporada ao solo	-
IV	24	Superfície e seca	-
V	6	Superfície	-
VI	45	Superfície	-
VII	24	Superfície	pH alterado[¶]
VIII	24	Superfície	Fertilizante[§]

Quadro 1 - Distribuição dos tratamentos aplicados ao solo

[#]correspondente a 817 g m^{-2};
[¶]aumento de uma unidade no valor do pH;
[§]equivalente a 100 kg ha^{-1} de N na forma de uréia.

Os fluxos diários e as emissões acumuladas de CO_2 nos tratamentos I, II, III, IV, VII e VIII foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Os tratamentos com adição de palha na superfície, II, V e VI, incubados às temperaturas de 24; 6 e 45ºC, respectivamente, foram submetidos a análise de variância e as médias foram ajustadas aos modelos de regressão. As emissões acumuladas de C-CO_2 foram plotadas em gráficos e ajustadas ao modelo exponencial (SIT; POULIN-COSTELLO, 1994):

$$y = a\, e^{b/x}$$

Em que:

y = emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do tempo, em μg C-CO_2 g^{-1} solo;

x = dias após o início da incubação, e

a e *b* = coeficientes ajustados para cada tratamento.

Modelos de regressão linear expressam a qualidade de seu ajuste através do coeficiente de determinação, também conhecido como R^2, mas em regressões não lineares este parâmetro não é definido facilmente, já que há necessidade de um intercepto, inexistente em muitos destes modelos. Uma medida correspondente ao R^2 em modelos não lineares é o Pseudo-R^2, que pode ser calculado por (SIT; POULIN-COSTELLO, 1994):

$$\text{Pseudo} - R^2 = 1 - (\text{Soma de quadrados do resíduo/Soma de quadrados total})$$

2.3 Resultados e discussão

Experimento 1 – quantidades de palha de cana-de-açúcar e emissão de N-N_2O

A adição da palha de cana-de-açúcar teve efeito significativo sobre as emissões acumuladas de N_2O, assim como constatado por Huang (2004). A partir dos três tratamentos estudados e as emissões totais de N_2O ao final do experimento,foi efetuada uma análise de regressão linear (Figura 3). Segundo os dados apresentados na Figura 3, pode-se considerar que para um aumento de 1% na quantidade de palha que permanece na superfície do solo após a colheita de cana-de-açúcar, haverá um aumento de 0,97 μg N-N_2O g^{-1} $solo^{-1}$ na emissão de N_2O.

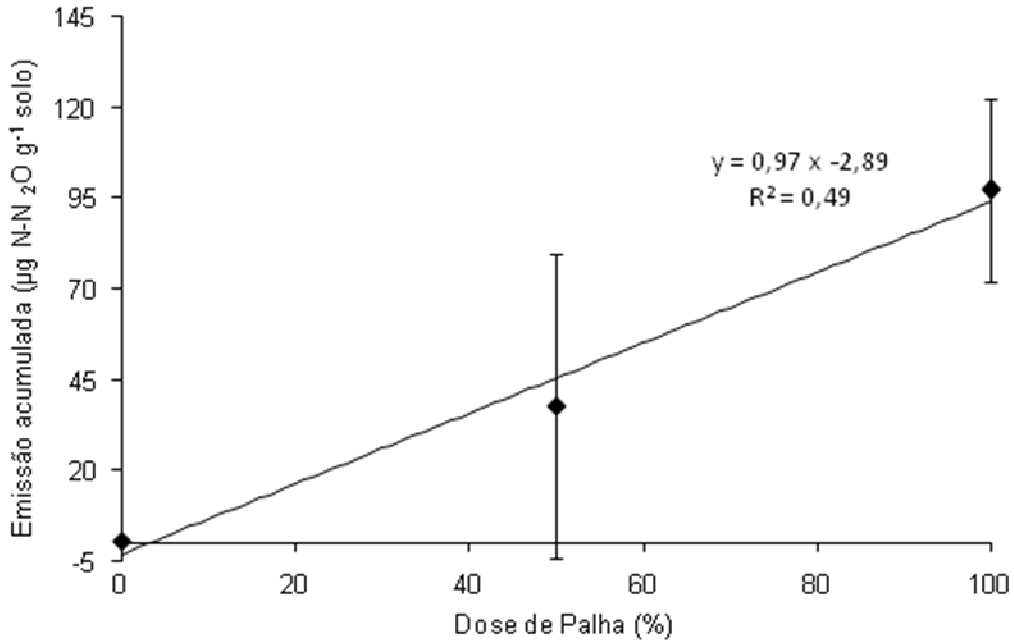

Figura 3 - Emissão de N-N_2O ao final do experimento em função de quantidades de palha adicionadas ao solo, em condições controladas. Barras verticais indicam o erro-padrão da média (n = 8)

Com a adição de 100% da palha da cana-de-açúcar, as emissões acumuladas de N_2O após 14 dias de incubação foram de 97,54 µg N-N_2O g^{-1} $solo^{-1}$, no tratamento com a adição de 50% de palha a emissão acumulada foi de 38,11 µg N-N_2O g^{-1} solo, sendo que no tratamento controle a emissão foi de 0,79 µg N-N_2O g^{-1} solo (Figura 4). As emissões acumuladas do tratamento controle, atribuídas exclusivamente ao solo, representam 0,81% do valor acumulado no tratamento 100% de palha. Os valores da amostra em branco se mantiveram em torno da atual concentração atmosférica de N_2O de 319 ppb (IPCC, 2007).

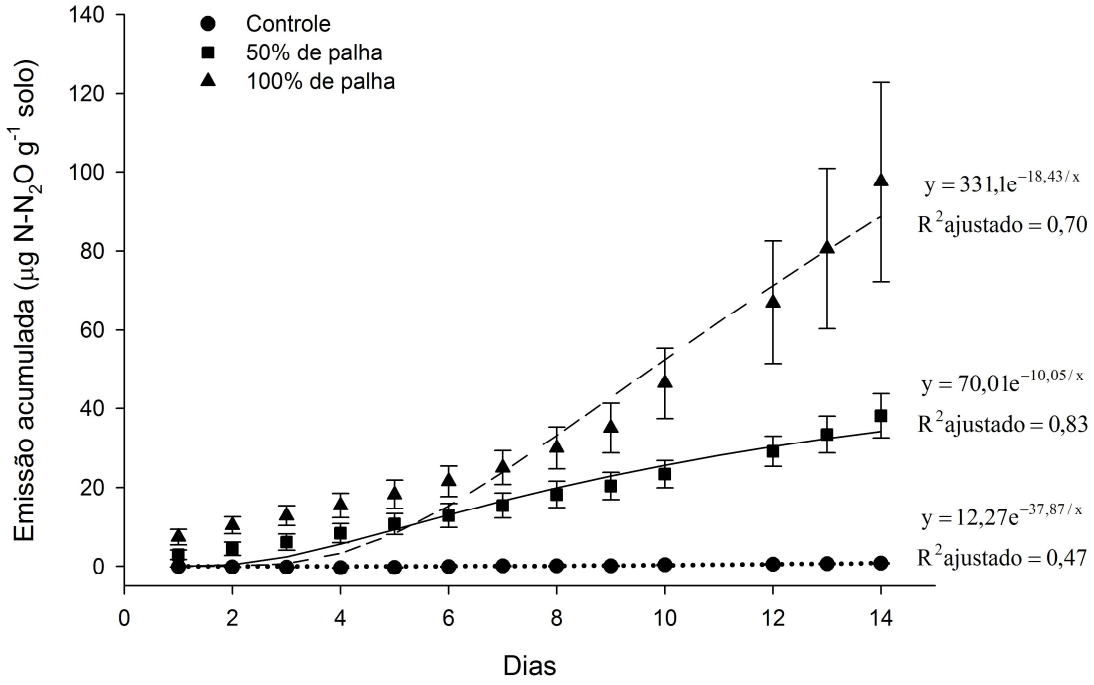

Figura 4 - Emissão acumulada de N-N_2O ao longo do período de incubação para a adição de palha de cana-de-açúcar. Barras verticais indicam o erro-padrão da média (n = 8)

Do primeiro ao sexto dia de incubação houve predomínio de consumo de N_2O no tratamento controle. Quase 30 anos atrás, Blackmer e Bremner (1976) demonstraram em experimentos de laboratório que a capacidade do solo de consumir N_2O, em certos solos, era maior que sua capacidade de produção. Relataram que para nove solos cultivados houve redução nos níveis de N_2O, mais ou menos contantes (entre -0,57 e –1,11 µg N g solo^{-1}) durante 14 dias. Algumas publicações posteriores indicaram absorção de N_2O em estudos de campo e apoiou fortemente a hipótese sobre o potencial do solo como um sumidouro de N_2O na atmosfera (CICERONE et al., 1978; FRENEY; DENMEAD; SIMPSON, 1978; RYDEN, 1983). Vários autores têm relatado a relação entre os fluxos líquidos negativos de N_2O na superfície do solo e baixas concentrações de N inorgânico, mesmo em solos com um apreciável teor de N total (RYDEN, 1983; CLAYTON et al., 1997; WAGNER-RIDDLE et al., 1997; KHALIL et al., 2002). O N_2O atmosférico e/ou do solo pode ser o único aceptor de elétron para a desnitrificação quando a concentração de NO_3 no solo for muito baixa (BUTTERBACH-BAHL et al., 1998; GOOSSENS et al., 2001; ROSENKRANZ et al., 2005). Elevados

teores de C podem estimular a respiração, levando a microssíteos de anaerobiose onde a desnitrificação normalmente acontece (CHAPUI S – LARDY et al. 2007). Uma possível explicação para o consumo de N_2O nos primeiros dias da incubação no tratameto controle é, além do ciitado anteriormente, a movimentação do solo. Ao retirá-lo da camada superior na área produtora de cana-de-açúcar, para acondicioná-lo nos recipientes de incubação, passando pela etapa de peneiramento, pode-se ter exposto maior quantidade de C ao ataque dos microorganismos, elevando a taxa de respiração que provocou microssíteos de anaerobiose e conseqüente consumo de N_2O.

Para os tratamentos com adição de palha observou-se fluxo líquido positivo de N_2O em todos os dias do experimento, sendo que este foi maior, onde havia maior quantidade de palha. Logo, se houve consumo de N_2O nesses tratamentos, este foi menor que as emissões. Existe a possibilidade do efeito significativo das quantidades de palha para a emissão de N_2O estar ligado ao fato de que quanto maior a quantidade de palha adicionada ao sistema estar-se-ia adicionando (além de uma maior quantidade de substrato), também uma quantidade maior de microorganismos. Os mencionados organismos podem ser encontrados na superfície das folhas e representarem centenas de espécies de bactérias organizadas em comunidades (LAMBAIS, 2006). Potthoff et al. (2004) concluiu que o processo de decomposição da folha do milho não dependia, mas era favorecido pela presença de solo e que microorganismos da filosfera (superfície das folhas das plantas) colonizando resíduos vegetais, são obviamente de grande importância para a decomposição e mineralização dos mesmos.

Experimento 2 – emissão de C-CO_2 em função da temperatura, incorporação ou não da palha de cana-de-açúcar, adição de fertilizante e alteração pH do solo.

No tratamento controle (I) foram obtidos os menores resultados de liberação de carbono quando comparado aos demais tratamentos, acumulando 178,65 µg C-CO_2 g solo^{-1} após 27 dias de incubação (Figura 5). A dependência da emissão de C-CO_2, decorrente da ação decompositora de microorganismos do solo, com o conteúdo de matéria orgânica e a disponibilidade de resíduos vegetais é bem conhecida e já foi estudada por muitos autores como Vargas e Scholles, (2000); Costa

et al. (2003); Ciotta et al. (2004) e Costa et al. (2008), sendo esperado que se tenha menor emissão de C-CO_2 em um sistema sem adição de carbono. Nas Figuras 4a e 4b observa-se o fluxo diário e a emissão acumulada de C-CO_2, após 27 dias de incubação, em função dos tratamentos utilizados.

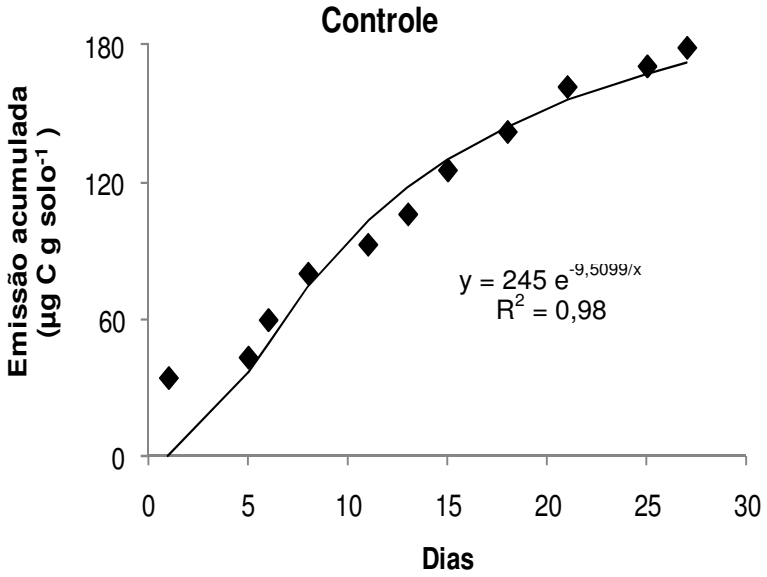

Figura 5 – Emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do período de incubação para o tratamento controle (sem adição de palha). Os pontos indicam os valores medidos e a linha representa o modelo matemático ajustado aos dados

Com relação ao manejo dos resíduos da cana-de-açúcar, a manutenção da palha na superfície ou a sua incorporação ao solo, tratamentos II e III, respectivamente, não foram observados efeitos significativos na emissão diária e acumulada de C-CO_2 (Figuras 6a e 6b). Costa et al. (2008), em experimento à campo, observaram que o sistema de manejo, convencional (com incorporação) ou plantio direto (sem incorporação), proporcionaram iguais emissões de carbono, concordando com os resultados encontrados neste experimento. Nos tratamentos II e III foram observadas emissões acumuladas de 2325,38 e 2452,26 µg C-CO_2 g^{-1} $solo^{-1}$, respectivamente (Figura 6b), após 27 dias de incubação. As emissões acumuladas de C-CO_2 nesses tratamentos ao longo do tempo foram ajustadas a modelos exponenciais (Figuras 7a e 7b).

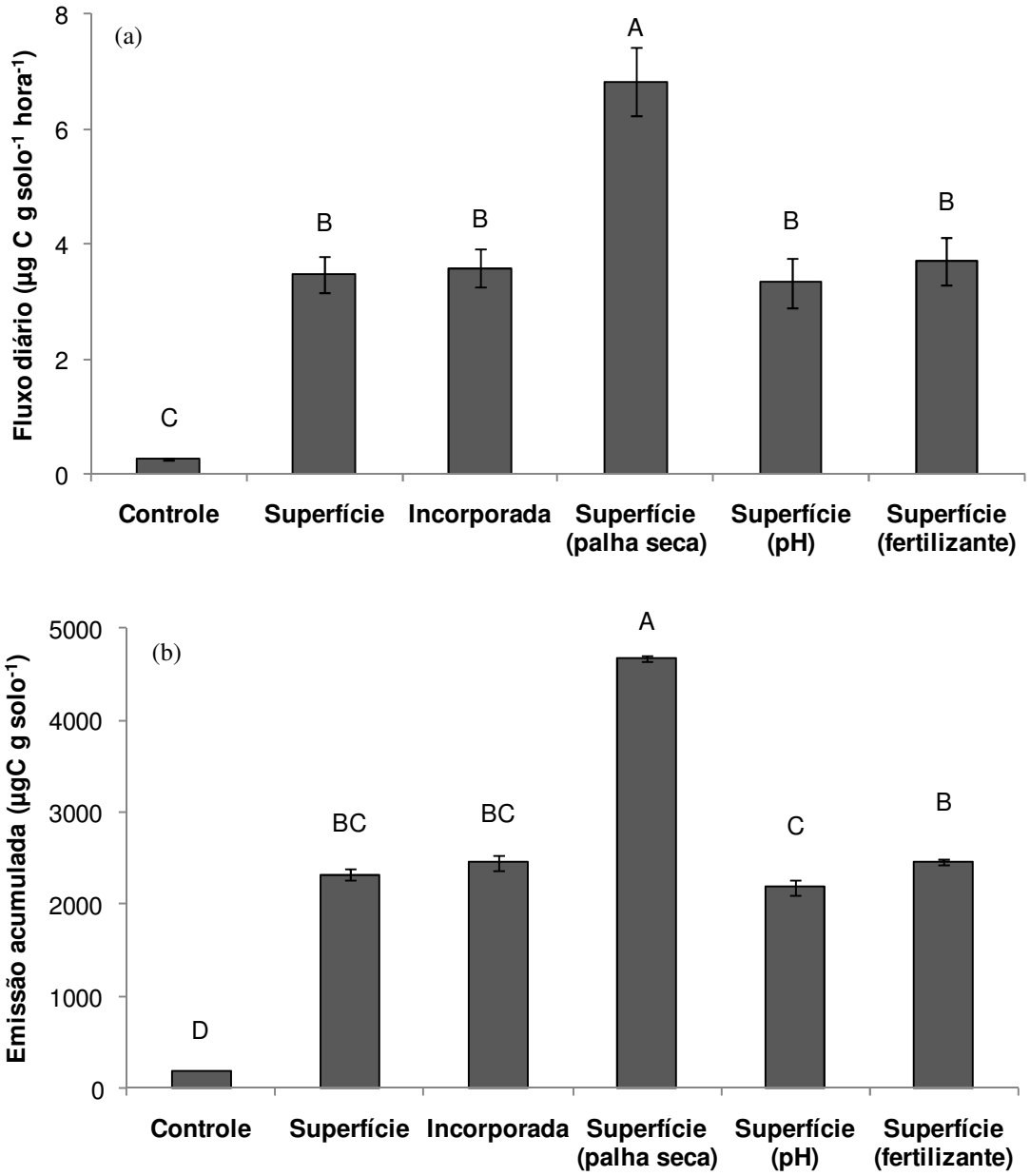

Figura 6 – Fluxo diário de C-CO_2 (a) e emissão acumulada de C-CO_2 (b) ao longo do período de incubação para a adição de palha de cana-de-açúcar para os tratamentos controle; superfície; incorporada; superfície (palha seca); superfície (pH) e superfície (fertilizante). Barras verticais indicam o erro-padrão da média (n = 4). Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (α = 0,05)

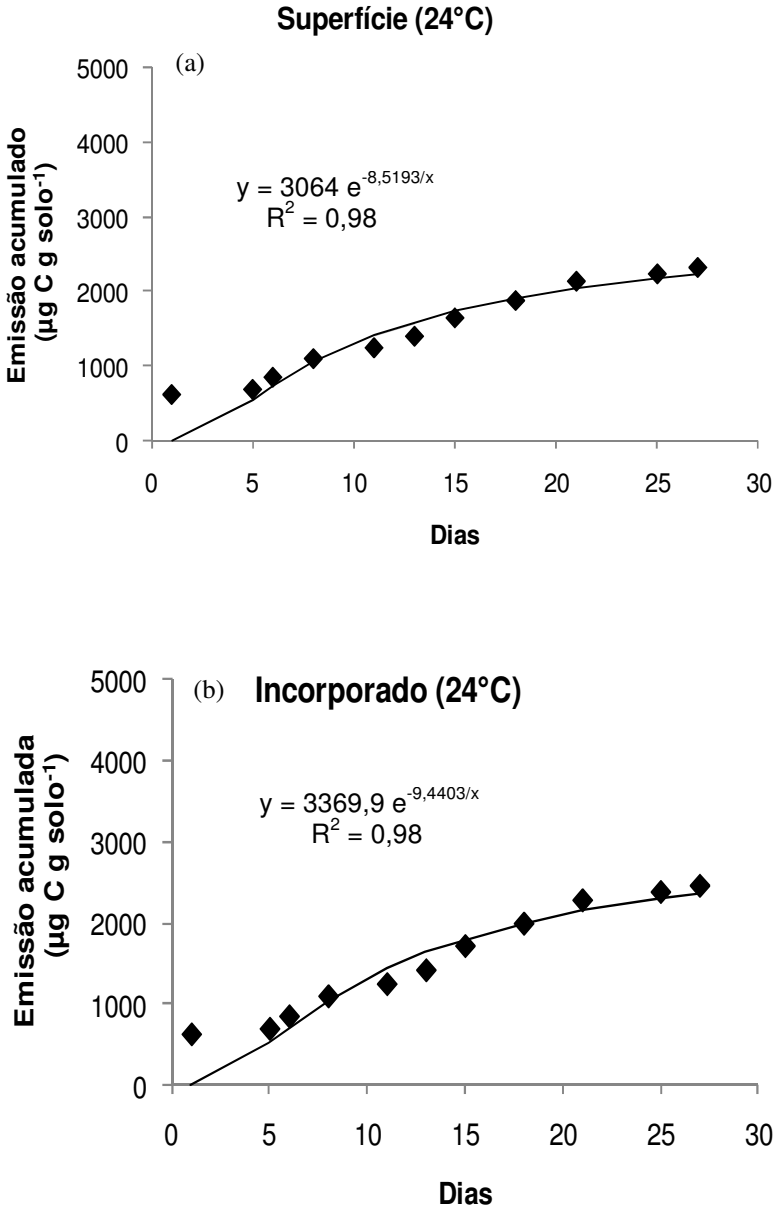

Figura 7 - Emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do período de incubação para a adição de palha de cana-de-açúcar em superfície (a) e incorporada ao solo (b). Os pontos indicam os valores medidos e a linha representa o modelo matemático ajustado aos dados

A adição de nitrogênio ao meio (tratamento VIII) visando mudar a relação C/N não resultou em mudanças na emissão de carbono pelos microorganismos. A emissão média acumulada após 27 dias de incubação foi de 2465,04 µg C-CO_2 g solo^{-1} (Figura 3b). Costa et al. (2008) observaram que a adição de resíduos vegetais ricos em

C e N resultou em maior fixação de carbono no solo (sendo menor, portanto, sua liberação). Na figura 8 observa-se aumento na emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do tempo segundo ajuste ao modelo exponencial.

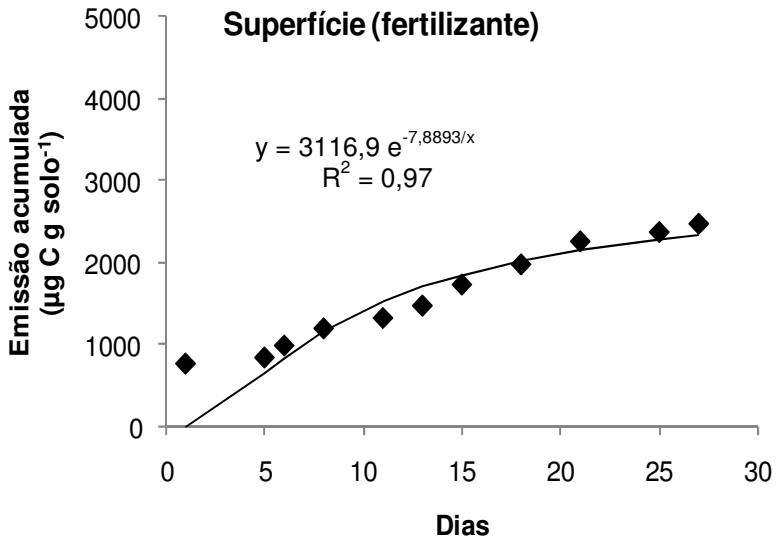

Figura 8 – Emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do período de incubação para a adição de palha de cana-de-açúcar em superfície com fertilizante. Os pontos indicam os valores medidos e a linha representa o modelo matemático ajustado aos dados

O tratamento com alteração de pH (VII) não diferiu significativamente dos demais tratamentos em relação às emissões diárias de C-CO_2 (Figuras 6a). Com relação a emissão média acumulada, observou-se valor menor (2182,92 µg C-CO_2 g solo^{-1}, Figuras 6b) do que aqueles obtidos para os demais tratamentos avaliados, com exceção do controle. Isso pode ser explicado pela curta duração do experimento de incubação da palha de cana-de-açúcar ou pelo fato de que a alteração de pH em uma unidade não foi suficiente para alterar significativamente a atividade da biomassa microbiana do solo e a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo. Estudos envolvendo a alteração do pH pela adição de ácidos ou bases são comumente de curta duração, e dessa forma, a biomassa microbiana do solo não possui tempo suficiente para adaptar-se a condições drasticamente modificadas (KEMMITT, 2005). Na figura 9 observa-se o aumento na emissão acumulada C-CO_2 ao longo do tempo, segundo ajuste ao modelo exponencial.

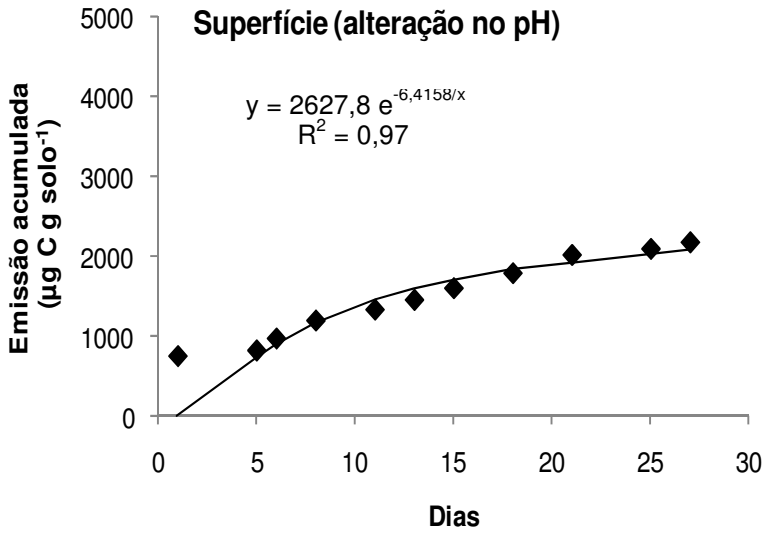

Figura 9 – Emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do período de incubação para a adição de palha de cana-de-açúcar em superfície com alteração no pH. Os pontos indicam os valores medidos e a linha representa o modelo matemático ajustado aos dados

Para a aplicação de palha seca na superfície (tratamento IV) foi verificado aumento significativo da liberação de carbono ao meio, sendo a emissão média acumulada de 4670,48 µg C-CO_2 g solo^{-1} (Figura 4b). Isso pode ser explicado pelo fato de que na palha seca o carbono ficou mais disponível para ser utilizado pelos microorganismos. Costa et al. (2008) observaram que em períodos mais úmidos ocorria menor liberação de C-CO_2 devido ao fato do carbono ficar menos disponível aos microorganismos decompositores. Seguindo modelo de ajuste exponencial, verificou-se aumento na emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do tempo pelo tratamento com palha seca em superfície (Figura 10).

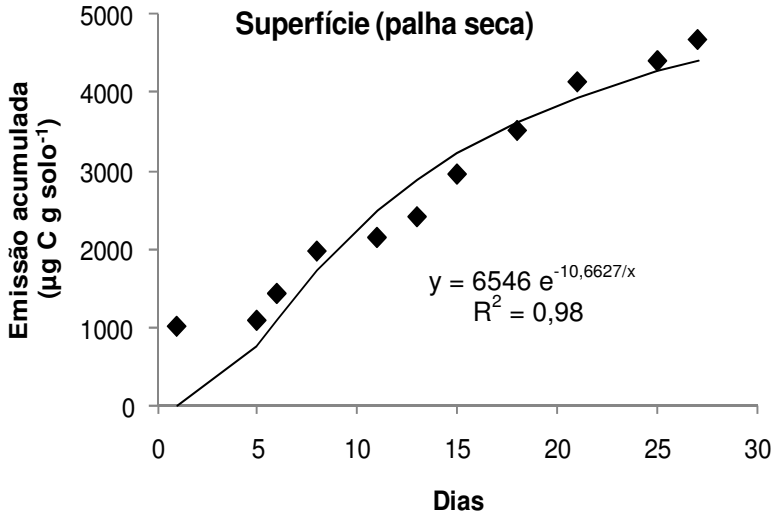

Figura 10 - Emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do período de incubação para a adição de palha de cana-de-açúcar seca em superfície. Os pontos indicam os valores medidos e a linha representa o modelo matemático ajustado aos dados

A emissão média acumulada pelo tratamento com palha na superfície, submetido à temperatura de 6°C (tratamento V) foi de 1031,95 µg C-CO_2 g solo^{-1}, para a temperatura de 24°C (tratamento II) foi de 2325,38 e sob temperatura de 45°C (tratamento VI) foi de 3726,67 µg C-CO_2 g solo^{-1} (Figuras 11a, 11b e 11c, respectivamente). Dentre os tratamentos II, V, VI a emissão acumulada foi menor à baixa temperatura e maior à alta temperatura, sendo que para cada 1°C de aumento na temperatura, ocorreu aumento de 69,03 µg de C g solo^{-1} (Figura 12). Isso pode ser explicado pelo fato de que a altas temperaturas há maior atividade microbiana. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa et al. (2008) e La Scala et al. (2009) em condições de campo, sendo as emissões de carbono correlacionada positivamente com a temperatura do solo. As emissões acumuladas de C-CO_2 para a palha de cana-de-açúcar sobmetidas a temperatura de 6, 24 e 45 °C aumentaram ao longo do tempo seguindo modelo exponencial (Figuras 11a, 11b e 11c, respectivamente).

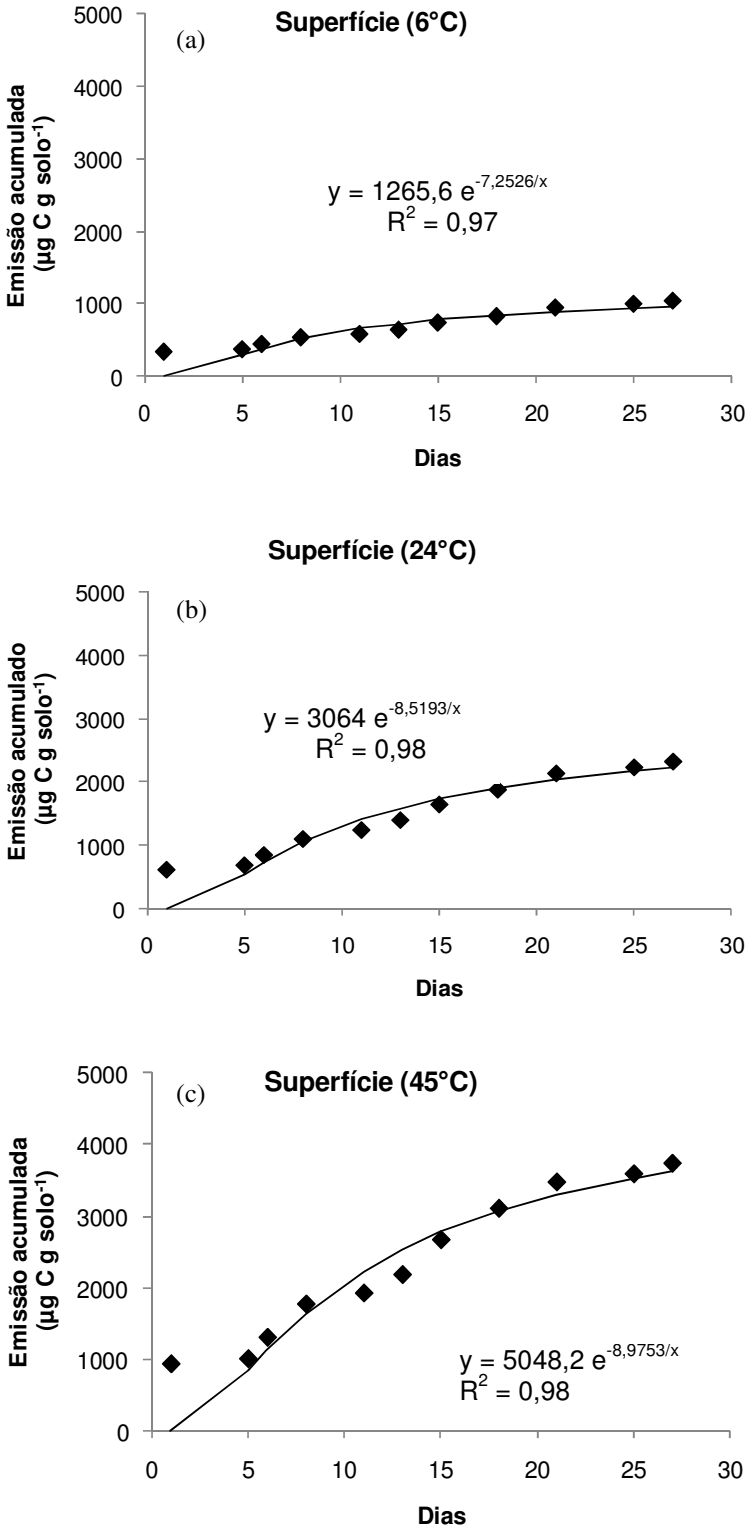

Figura 11 - Emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do período de incubação para a adição de palha de cana-de-açúcar em superfície submetida às temperaturas de 6, 24 e 45°C (a, b e c, respectivamente). Os pontos indicam os valores medidos e a linha representa o modelo matemático ajustado aos dados

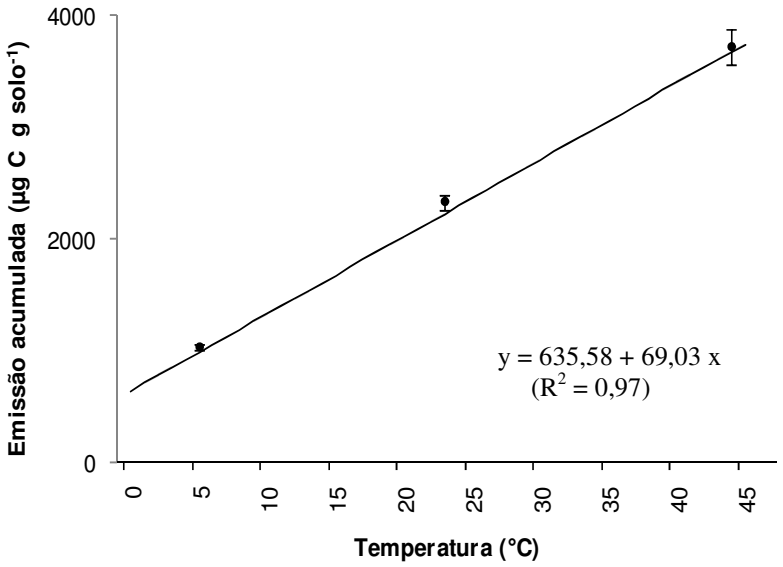

Figura 12 - Emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do período de incubação para a adição de palha de cana-de-açúcar em superfície submetida às temperaturas de 6, 24 e 45°C. Barras verticais indicam o erro-padrão da média (n = 4)

2.4 Conclusões

A adição de quantidades diferentes de palha de cana-de-açúcar teve efeito significativo sobre as emissões acumuladas de N_2O.

O sistema de manejo com incorporação ou não da palha da superfície, a adição de fertilizantes ou a mudança no pH do meio não resultou em alteração na liberação de carbono.

Material orgânico em maior estágio de decomposição (palha seca) e o aumento da temperatura resultou em maior emissão de CO_2.

Referências

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J. **Tropical soil biology and fertility programmed:** methods handbook. Oxford: CAB, 1979. 171p.

BLACKMER, A.M, BREMNER, J.M. Potential of soil as a sink for atmospheric nitrous oxide. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 3, p. 739–742, 1976.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil.Subchefia para Assuntos Jurídicos. D*ecreto nº. 7.390/2010.*Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm.

BUTTERBACH-BAHL, K.; GASCHE, R.; HUBER, C.H.; KREUTZER, K.; PAPEN, H. Impact of N-input by wet deposition on N-trace gas fluxes and CH_4-oxidation in spruce forest ecosystems of the temperate zone in Europe. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 32, p. 559–564, 1998.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94 p. (IAC. Boletim Técnico, 106).

CICERONE, R.J.; SHETTER, J.D.; STEDMAN, D.H.; KELLY, T.J.; LIU, S.C. Atmospheric N_2O: measurements to determine its sources, sinks, and variations. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 83, p. 3042-3050, 1978.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J.A. Manejo da calagem e seu efeito sobre componentes da acidez de um Oxisol sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v**.** 28, p. 317-326, 2004.

CHAPUI S – LARDY, L.; WRAGE, N.; METAY, A.; CHOTTE, J-L.; B E RNO U X, M. Soils, a sink for N2O? A review. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, p. 1–17, 2007.

CLAYTON H.; TAGGART I.P.M.; PARKER J. SWAN, L.; SMITH, K.A. Nitrous oxide emissions from fertilised grassland: a 2-year study of the effects of N fertiliser form and environmental conditions. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 25, p. 252-260, 1997.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 323 - 332, 2008.

FIRESTONE, M.K.; DAVIDSON, E.A. Microbial basis of NO and N_2O production an consumption in soils. In: Andrae, M.O.; Schimel, D.S. (Ed.). **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere.** New York: John Wiley, 1989. v. 1, p. 7-21.

FRENEY J.R.; DENMEAD O.T.; SIMPSON J. R. Soil as a source or sink for atmospheric nitrous oxide. **Nature**, London, v. 273, p. 530–532, 1978.

GOOSSENS A.; DE VISSCHER A.; BOECKX P.; CLEEMPUT, O.V. Two-year field study on the emission of N2O from coarse and middletextured Belgian soils with different land use. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 60, p. 23–34, 2001.

HUANG, Y.; ZOU J.; ZHENG, X.; WANG, Y.; XU, X. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 973-981, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANNEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. **Climate Change 2007:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, p. 104.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories:** Agriculture, Forestry and Other Land Use. National Greenhouse Gas Inventories Program. v. 4, Hayama, 2006. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf >. Acesso em: 28 dez 2010.

KEMMITT, S.J.; WRIGHT, D.; GOULDING, K.W.T.; JONES, D.L. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, p. 898-911, 2000.

KHALIL M.I.; ROSENANI A.B.; VAN CLEEMPUT O. FAUZIAH, C.I.; SHAMSHUDDIN, J. Nitrous oxide emissions from an ultisol of the humid tropics under maize-groundnut rotation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 1071-1078, 2002.

LA SCALA, N.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; ARCHER, D.; REICOSKY, D.C. Short-term temporal changes of bare soil CO2 fluxes after tillage described by first-order decay models. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, p. 258-264, 2009.

LAMBAIS, M.R.; CROWLEY, D.E.; CURY, J.C.; BÜLL, R.C.; RODRIGUES, R.R. Bacterial diversity in tree canopies of the Atlantic Forest. **Science**,Washington, v. 312, p. 1917, 2006.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 729 p.

POTTHOFF, M.; DYCKMANS, J.; FLESSA, H.; MUHS, A.; BEESE, F.; JOERGENSEN, R.G. Dynamics of maize (*Zea mays* L.) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availability of nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 1259–1266, 2005.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

ROSENKRANZ P.; BRU¨GGEMANN N.; PAPEN H.; XU, Z.; SEUFERT, G.; BAHL, B.K. NO_2, NO and CH_4 exchange, and microbial N turnover over a Mediterranean pine forest soil. **Biogeosciences,** v. 2, p. 673–702, 2005.

RYDEN J. C. Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium nitrate. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 355–365, 1983.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide, version 8.0. Cary, 2000. 1 CD-ROM.

SIGNOR, D. **Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba.** 2010. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SIT.V.; POULIN-COSTELLO, M. **Catalog of curves for curve fitting**. Victoria: Ministry of Forests, Forests Science Research Branch, Biometrics information, 1994. 110 p. (Biometrics Information Handbook 4).

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L; RODRIGUÊS, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1375-1385, 1995.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO_2 e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 35-42, 2000.

XAVIER, R.P. **Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produção sustentável de cana-de-açúcar.** 2006. 114p. Tese. (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

WAGNER-RIDDLE C.; THURTELL G. W; KIDD G. K. BEAUCHAMP, E.G.; SWEETMAN, R. Estimates of nitrous oxide emissions from agricultural field over 28 months. **Canadian Journal of Soil Science,** Ottawa, v. 77, p. 135–144, 1997.

3 EMISSÕES DE N_2O, CO_2 e CH_4 PELA DEPOSIÇÃO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO CAMPO

Resumo

No Brasil, a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção de etanol. A produção de etanol de segunda geração, aproveitando também as folhas da cana-de-açúcar que atualmente são deixadas sobre o solo, ganhará destaque no futuro. O objetivo deste trabalho foi avaliar em condições de campo, as emissões de gases do efeito estufa, decorrente da deposição dos resíduos vegetais da colheita. As avaliações foram em função do tempo após a colheita e diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar depositada sobre o solo. Para tanto, as seguintes situações foram avaliadas: controle (sem palha), 50% e 100% da quantidade de palha depositada sobre o solo. O experimento foi conduzido sobre três variações de Latossolo, no município de Iracemápolis, SP. A magnitude das emissões de N_2O do solo e da palha neste estudo está abaixo das verificadas para outros sistemas de manejo de culturas no Brasil. Houve efeito do tempo após a colheita sobre as emissões de N_2O. Já para o CO_2 houve efeito de tratamento em relação às diferentes quantidades de palha e de tempo após a colheita, mas não de interação desses dois fatores. As emissões de CH_4 não foram afetadas nem pela quantidade de palha na superfície e nem pelo tempo após a colheita.

Palavras-chave: Gases do efeito estufa; Aquecimento global; Etanol de cana-de-açúcar

Abstract

In Brazil, sugarcane is the main feedstock for ethanol production. Second generation ethanol production, using part of the sugarcane leaves that are currently left on the soil surface, will gain prominence in the future. The aim of this research was to evaluate under field conditions, emissions of greenhouse gases resulting from the decomposition of sugarcane straw deposited on soil surface. The evaluations were done as a function of time after harvesting and different quantities of sugarcane straw. To do so, the following treatments were evaluated: control (without straw), 50% and 100% of the sugarcane straw deposited in the soil. The experiment was carried out using three soils classified as Oxisols, located in the municipality of Iracemápolis, São Paulo State, Brazil. Results of N_2O emissions were lower that those observed for other crop management systems in Brazil. Significant effect of time after sugarcane harvesting was observed for N_2O emissions. For CO_2 it was observed the effect of treatment in relation to different straw quantities and the time after harvesting, but there was no interaction observed between these two factors. The CH_4 emissions were not affected by the amount of sugarcane straw deposited on soil surface neither by the time after sugarcane harvesting.

Keywords: Greenhouse gases; Global warming; Ethanol sugarcane

3.1 Introdução

O solo é uma importante fonte de óxido nitroso (N_2O) para a atmosfera (IPCC, 2007). A emissão de N_2O na superfície do solo é resultado dos simultâneos processos de produção e consumo desse gás. Portanto, pode-se observar emissões líquidas positivas, fluxo no sentido do solo para a atmosfera, assim como emissões líquidas negativas no sentido contrário, da atmosfera para o solo.

A queima de biomassa, em grande parte, resultante da atividade humana é outra importante fonte de N_2O e outros gases do efeito estufa (GEE) para a atmosfera e é resultado da combustão incompleta do material vegetal . Emissões significativas podem ocorrer durante queima de florestas e resíduos de cultura (Lima et al., 2006). Os altos conteúdos de água e nitrogênio de muitos resíduos de cultura indicam que a queima desse material pode produzir uma porcentagem relativamente alta (cerca de 1%) do total de emissões, na forma de N_2O (REAY, HEWITT, SMITH, 2007).

Em geral o N_2O é produzido pela nitrificação e desnitrificação no solo. Como NH_4^+, NO_3^- e C orgânico estão diretamente ligados a esses processos, a aplicação de resíduos de cultura ao solo e sua mineralização geralmente aumentam a produção de N_2O. Além do fato de que a aplicação de resíduos ativa a decomposição aeróbica, em conseqüência aumenta o consumo de oxigênio no solo e este em baixos níveis favorece a desnitrificação e consequente produção do gás em questão (Potthoff et al. 2005).

A disposição de resíduos culturais sobre o solo em plantio direto (PD) deve resultar em emissões de N_2O maiores do que aquelas verificadas pela incorporação dos resíduos culturais na camada revolvida do solo em plantio convencional (PC). Isto ocorre porque a adição de resíduos vegetais à superfície do solo, além de conservar a umidade, como reportado por Baggs et al., (2006), adiciona uma grande quantidade de C e N lábil em um pequeno volume de solo. Tal adição aumenta sensivelmente a atividade biológica na superfície do solo, consome o O_2 disponível e cria sítios de anaerobiose, onde ocorre produção de N_2O por desnitrificação. Por outro lado, em PC este efeito é diluído na camada revolvida do solo, possivelmente não resultando na exaustão de O_2 e levando a emissões de N_2O menores do que em PD, apesar da maior taxa de mineralização dos resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo devido ao

revolvimento (BAGGS et al., 2003, 2006). Porém, em trabalho realizado em laboratório a incorporação dos resíduos aumentou as emissões de N_2O e CO_2 (HUANG, 2004).

A presença de palha na superfície do solo interage com outros fatores de manejo. Para uma mesma quantidade de N adicionada, D'HAENE et al. (2008) observaram imobilização maior em áreas de cultivo reduzido que em áreas de cultivo convencional. A qualidade do resíduo vegetal adicionado ao solo também é responsável por maiores ou menores níveis de emissão (GOMES et al., 2009). Em áreas com aporte significativo de N via fertilizantes, a presença de palha na superfície favorece a imobilização do N, devido à elevada relação C/N do material vegetal e reduz as reações de desnitrificação e as emissões de N_2O. No trabalho de Hao et al. (2001), a remoção de palha em solos fertilizados promoveu maiores taxas de emissão de N_2O. Toma (2007), em experimento de campo, concluiu que a emissão de N_2O foi maior em parcelas tratadas com resíduos de baixa relação C/N, possivelmente porque são facilmente decomponíveis. Tal aspecto foi confirmado também em laboratório, onde a baixa relação C/N dos resíduos induziu a alta concentração de carbono orgânico dissolvido e levou a maiores emissões de N_2O (HUANG et al., 2004).

A emissão de gases nitrogenados (N_2 e N_2O) em solos aráveis deve-se a múltiplos processos simultâneos que ocorrem no ambiente edáfico (STEVENS & LAUGHLIN, 1998; BøCKMAN & OLFS, 2008). A formação e emissão de N_2O por processos microbianos é resultado de interações complexas entre diversos fatores, como temperatura, textura, estrutura e pH do solo, disponibilidade de N e de material orgânico decomponível e conteúdo de água no solo (BøCKMAN & OLFS, 2008). Rotação de culturas, preparo do solo e período de aplicação de N têm fortes efeitos nas perdas de N_2O e suas interações significativas indicam o envolvimento de processos sinérgicos (TAN et al, 2009).

Fatores de emissão de N_2O decorrente da adição ao solo de fertilizantes sintéticos, na cultura da cana-de-açúcar, variaram de 0,24% a 3,82% quando foi adubada com nitrato de amônio e de 0,84% a 1,97% quando foi adubada com uréia (SIGNOR, 2010), em um experimento conduzido no estado de São Paulo, onde se concentram 54% das áreas de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira no

Brasil (CONAB, 2011). Neste caso os fatores de emissão para as menores quantidades de N foram inferiores ao proposto pelo IPCC.

Com o intuito de verificar a dimensão das emissões de GEE (N_2O, CO_2 E CH_4) devido à deposição da palha da cana-de-açúcar no campo, desenvolveu-se o presente trabalho na região de Iracemápolis, SP.

3.2 Material e métodos

A emissão de GEE (N_2O, CO_2 e CH_4) pela deposição da palha da cana-de-açúcar colhida sem queima foi avaliada em áreas da Usina Iracema, localizada no município de Iracemápolis a 22°34'50'' de latitude sul e 47°31'07'' de longitude oeste, no estado de São Paulo, Brasil. O clima local é classificado como tropical de altitude (Cwa) e a cidade se encontra a 608 m acima do nível do mar.

O experimento foi conduzido em três áreas dessa região (Quadro 1) de modo a avaliar a emissão de GEE em área de cana-de-açúcar recém colhida (RC), área de cana-de-açúcar colhida há 6 meses (CC6) e área de cana-de-açúcar onde a colheita foi realizada há 12 meses (CC12).

Identificação	Variedade plantada	Localização	Tipo de solo
RC Área recém colhida	RB 855156	22° 31,956' S 47° 30,821' W 749 m de altitude	Latossolo Vermelho
CC6 Área com 6 meses após a colheita	CTC 14	22° 32,690' S 47° 30,739' W 662 m de altitude	Latossolo Vermelho
CC12 Área com 12 meses após a colheita	RB855453	22° 34,150' S 47° 33,330' W 640 m de altitude	Latossolo Vermelho-Amarelo

Quadro 1 – Identificação, variedade de cana-de-açúcar plantada, localização geográfica e tipo de solo das áreas amostradas, de acordo com informações da Usina Iracema, SP

Amostras de solos das três áreas em estudo (RC, CC6 e CC12) foram coletadas nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm, colocadas em sacos plásticos, identificadas e levadas ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, no Departamento de Ciência do Solo (ESALQ/USP). Após a secagem, as amostras de solos foram destorroadas, passadas em peneira com 2 mm de abertura de malha e homogeneizadas, e uma subamostra foi coletada para caracterização química e granulométrica, segundo Raij et al. (2001) e Camargo et al. (1986), respectivamente (Tabelas 1, 2 e 3).

Tabela 1 - Atributos químicos e granulometria da amostra de solo coletada na área de cana-de-açúcar recém colhida (RC)

Prof	P	MO	N	C	pH $CaCl_2$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	Dens	Argila	Areia
cm	mg kg^{-1}	----------g kg^{-1}----------				----------$mmol_c$ kg^{-1}----------					g cm^{-3}	------g kg^{-1}------	
0-5	31	32	1,9	24,2	4,6	15,9	15	3	5	55	1,3	635	238
5-10	25	27	1,6	20,5	4,4	9,0	7	3	6	63	1,2	621	235
10-20	23	24	1,6	18,9	4,3	9,2	6,7	2	7	63	1,1	623	235
20-30	9	20	1,3	15,9	4,6	5,5	9	2	2	42	1,2	634	234

MO: matéria orgânica; Dens: densidade do solo

Tabela 2 - Atributos químicos e granulometria da amostra de solo coletada na área de cana-de-açúcar colhida após 6 meses (CC6)

Prof	P	MO	N	C	pH $CaCl_2$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	Dens	Argila	Areia
cm	mg kg^{-1}	----------g kg^{-1}---------				----------$mmol_c$ kg^{-1}----------					g cm^{-3}	--------g kg^{-1}------	
0-5	14	29	1,6	26,4	5,0	8,3	21	7	1	41	1,2	573	293
5-10	13	40	1,3	19,5	4,9	8,2	21	7	1	44	1,2	585	284
10-20	10	26	1,4	19,5	4,8	7,4	19	6	1	42	1,2	597	274
20-30	15	28	1,3	19,6	4,9	4,5	28	8	1	40	1,2	595	273

Tabela 3 - Atributos químicos e granulometria da amostra de solo coletada na área de cana-de-açúcar colhida após 12 meses (CC12)

Prof	P	MO	N	C	pH $CaCl_2$	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	Dens	Argila	Areia
cm	mg kg^{-1}	---------g kg^{-1}----------				----------$mmol_c$ kg^{-1}----------					g cm^{-3}		
0-5	52	39	1,7	25,9	5,1	23,4	28	15	1	38	1,2	643	228
5-10	58	31	1,6	24,0	4,8	20,4	17	7	1	42	1,2	630	225
10-20	39	27	1,5	21,4	4,5	17,8	12	5	3	51	1,1	653	218
20-30	22	21	1,4	19,6	4,3	14,7	7	3	6	56	1,2	659	216

A quantidade de palha de cana-de-açúcar estimada para cada área foi calculada com base no peso correspondente ao material vegetal coletado dentro de um quadrante de 1 m^2 disposto de forma aleatória no campo. Na área RC havia 17,95 Mg ha^{-1} de matéria seca, na CC06 8,17 Mg ha^{-1} de matéria seca e na CC12 7,9 Mg ha^{-1} de matéria seca.

Amostras da palha de cana-de-açúcar das três áreas (RC, CC06 e CC12), foram enviadas ao Laboratório de Nutrição Animal CENA/USP, para a caracterização bromatológica (Tabela 4).

Tabela 4 – Caracterização da palha de cana-de-açúcar das áreas recém colhidas (RC), com cana-de-açúcar colhida há 6 meses (CC6) e com cana-de-açúcar colhida há 12 meses (CC12)

Área	Hemicelulose	Celulose	Lignina	Carbono	Nitrogênio
	----------g kg^{-1}----------				
RC	294,5	333,2	95,0	296	6
CC06	255,5	325,8	131,8	332	6
CC12	229,1	269,6	148,9	334	10

O experimento foi implantado no dia 16 de abril de 2010, consistindo em um fatorial 3 x 3 (3 áreas e 3 quantidades de palha), com quatro repetições. Os tratamentos diferiram quanto à quantidade de palha deixada no campo:

- 100% da palha depositada no campo após a colheita;
- 50% da palha depositada no campo após a colheita; e
- remoção de toda a palha após a colheita (solo exposto).

As medições do fluxo de GEE foram efetuadas utilizando-se câmaras estáticas, constituídas por uma base de metal parcialmente enterrada no solo e por uma tampa de PVC com abertura para o acoplamento da seringa, a qual permitia a coleta das amostras de gases (Figura 1). As câmaras permaneceram no campo durante todo período de avaliação. Na parte superior da base, para facilitar o encaixe da tampa, havia uma calha com 2 cm de altura, onde se colocava uma pequena quantidade de água antes do início das coletas a fim de garantir a vedação da câmara.

Figura 1 – Sistema de coleta de GEE para avaliação das emissões provenientes da deposição da palha da cana-de-açúcar colhida sem queima, no município de Iracemápolis, SP

As amostragens de GEE consistiam na coleta de 4 seringas por câmaras. A primeira seringa (tempo zero) era coletada imediatamente após o fechamento da câmara; 15 minutos após o fechamento da câmara era coletada a segunda seringa (tempo 15); e o mesmo foi feito aos 30 e 45 minutos após o fechamento (terceira e quarta seringas). Ao final de cada coleta as amostras de gás foram armazenadas em frascos hermeticamente fechados (Figura 2) até serem analisadas por cromatografia gasosa no equipamento Shimadzu GC 2014 do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (CENA/USP).

Figura 2 – Sistema de vácuo realizado antes da amostragem e transferência das amostras de gases do efeito estufa para os frascos de vidro

Paralelamente às amostragens dos gases, foram coletados dados da temperatura e umidade do solo. A temperatura foi medida através de termômetros digitais inseridos no solo até a profundidade de 2,5 cm. Para as informações sobre a umidade, amostras de solo foram coletadas até a profundidade de 5 cm, acondicionadas em sacos plásticos mantidos fechados até serem levados ao laboratório ao final das coletas diárias. A umidade foi estimada através da diferença entre massa do solo seco e massa do solo úmido. As informações sobre a precipitação pluviométrica durante os dias do experimento foram obtidas das estações meteorológicas da Usina Iracema (Iracemápolis, SP).

Adicionalmente, foram coletadas amostras de solo a 10 cm de profundidade para fins de análise de N mineral (NH_4 e NO_3). As coletas foram feitas no 8°, 13°, 23°, 33°, 44° dias do experimento. As determinações de amônio e nitrato seguiram os métodos propostos por Ruzicka; Hansen (1981) e Bendschneider; Robinson (1952).

As variações nas concentrações dos gases (N_2O, CO_2 e CH_4) nas amostras em função do tempo após o fechamento da câmara (0, 15, 30 e 45 minutos), associadas às informações do volume e da área da câmara, da temperatura do solo e da pressão atmosférica foram utilizadas para os cálculos dos fluxos de GEE.

Os resultados dos fluxos foram tabulados em planilha eletrônica. Para cada parcela em cada uma das três áreas efetuou-se um cálculo de integração destes valores ao longo do período de avaliação, obtendo-se então a quantidade total de N_2O, CO_2 e

CH_4 emitida no período (emissão acumulada). Com o auxílio do programa "Statistical Analysis System" (SAS Institute, 2000), as emissões totais de cada um dos gases foram submetidas à análise de variância, considerando como fontes de variação os efeitos do tempo após a colheita, a quantidade de palha na superfície do solo e a interação entre estes fatores. As emissões de N_2O e CO_2 entre as áreas foram comparadas pelo teste de Tukey (α = 0,05). Também foram analisadas as influências de quantidade de palha, temperatura e umidade do solo no momento das coletas, e das respectivas interações, sobre os fluxos diários de GEE.

3.3 Resultados e discussão

Emissões de N_2O

As emissões de N_2O do solo e da palha da cana-de-açúcar variaram de -8,19 a 177,12 µg N-N_2O m^{-2} h^{-1} na área de cana-de-açúcar recém colhida (RC), de -16,54 a 54,52 µg N-N_2O m^{-2} h^{-1} na área de cana-de-açúcar colhida há 6 meses (CC6) e para a área de cana-de-açúcar colhida há 12 meses (CC12) os valores ficaram entre -30,92 e 64,39 µg N-N_2O m^{-2} h^{-1}. Os valores negativos e positivos indicam, respectivamente, a absorção e a emissão de N_2O entre o solo e a atmosfera (Figuras 3, 5 e 7). A magnitude das emissões de N_2O do solo e da palha neste estudo está abaixo das verificadas para sistemas de manejo de outras culturas no Brasil, as quais variam de 3,5 a 357 µg N-N_2O m^{-2} h^{-1} (PASSIONATO et al., 2003; GOMES, 2006; GIACOMINI et al., 2006; PICCOLO et al.,2007; METAY et al., 2007; JANTÁLIA et al., 2008).

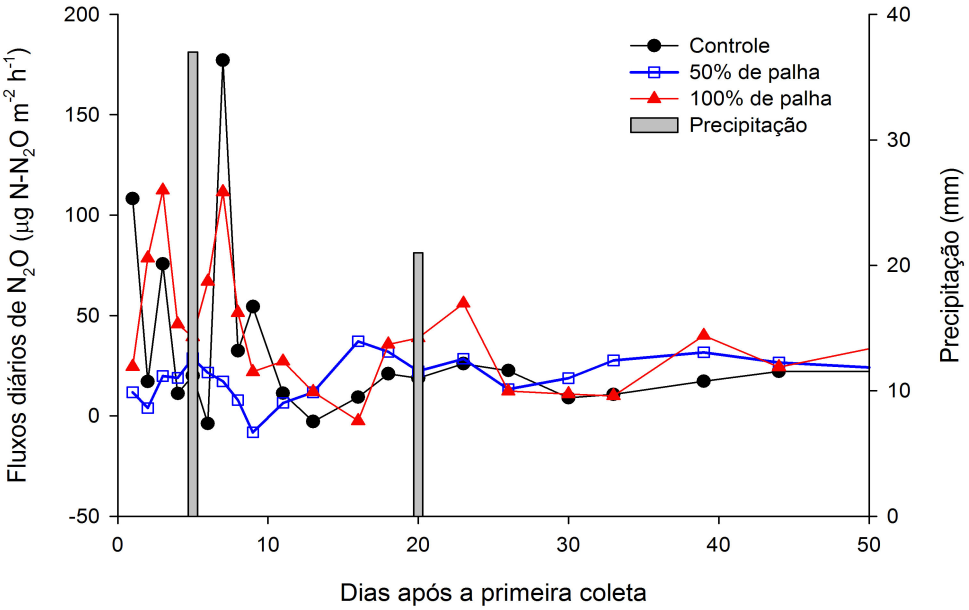

Figura 3 - Fluxos diários de N_2O (µg N-N_2O m^{-2} h^{-1}) e precipitação observada em área de cana-de-açúcar recém colhida no município de Iracemápolis, SP

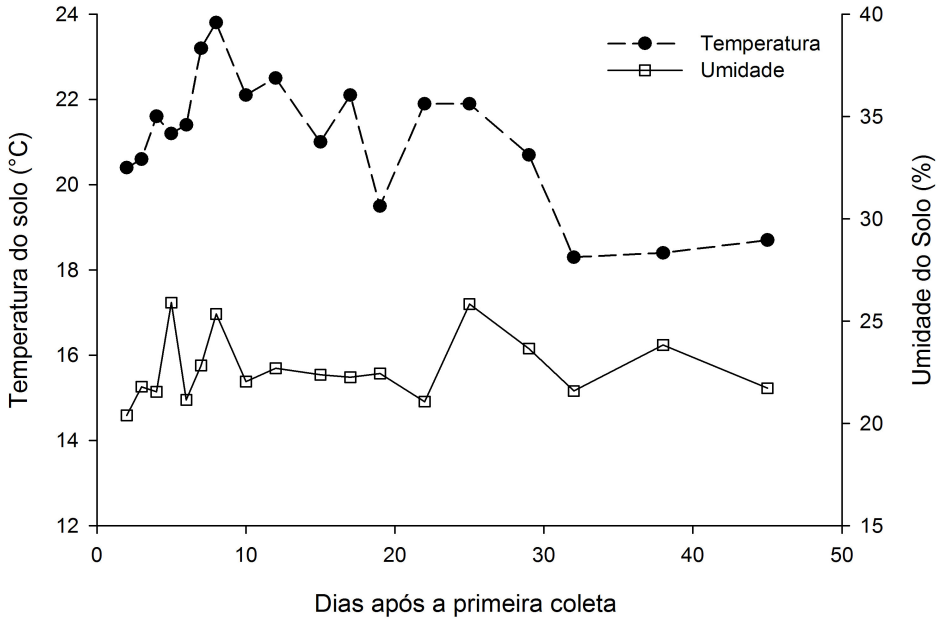

Figura 4 - Umidade e temperatura do solo observadas no momento das coletas das amostras de gases do efeito estufa em área de cana-de-açúcar recém colhida no município de Iracemápolis, SP

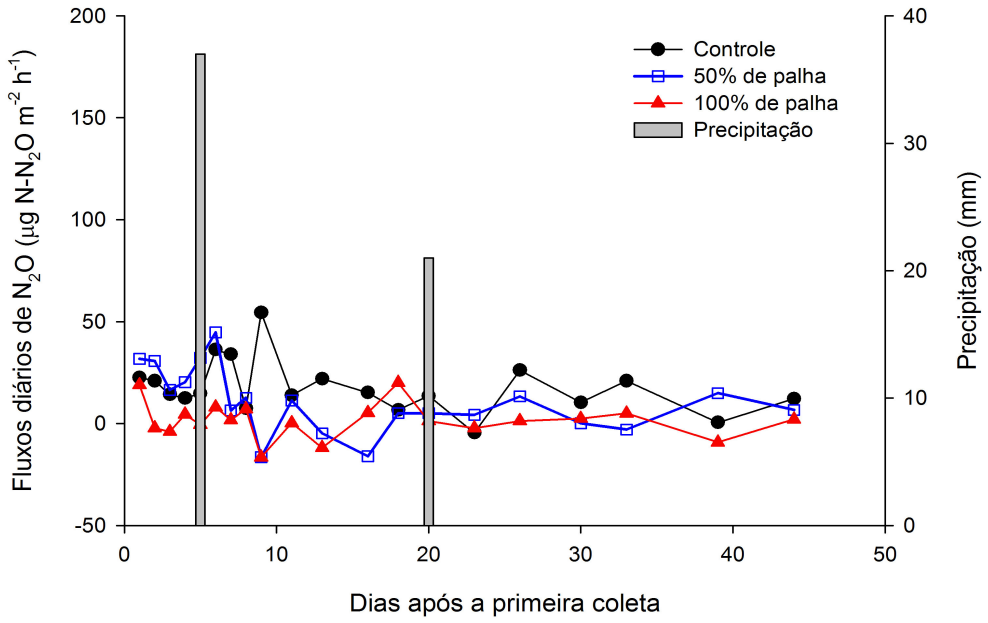

Figura 5 - Fluxos diários de N_2O (µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1}) e precipitação observada em área de cana-de-açúcar 6 meses após a colheita no município de Iracemápolis, SP

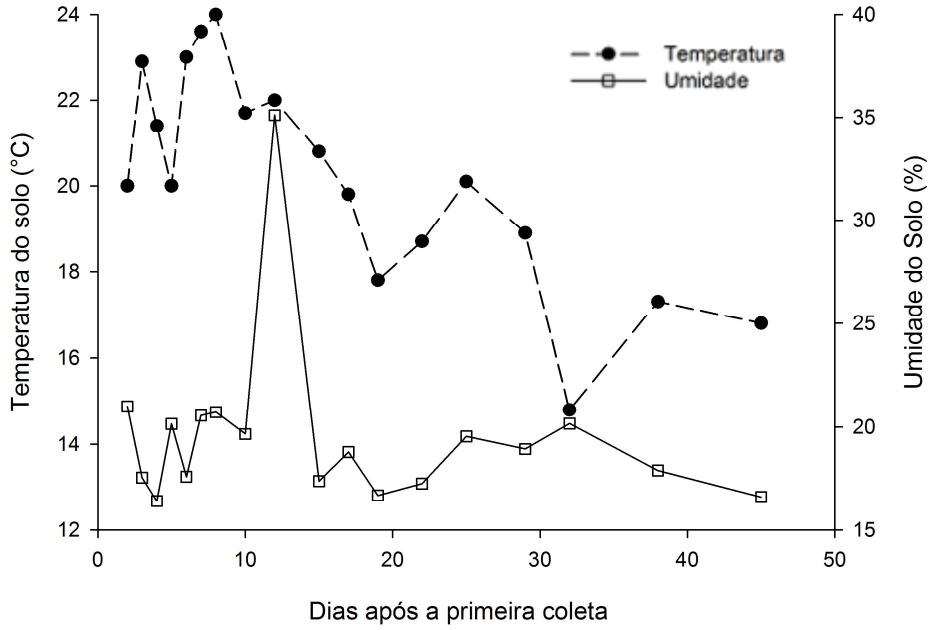

Figura 6 - Umidade e temperatura do solo observadas no momento das coletas das amostras de gases do efeito estufa em área de cana-de-açúcar 6 meses após a colheita no município de Iracemápolis, SP

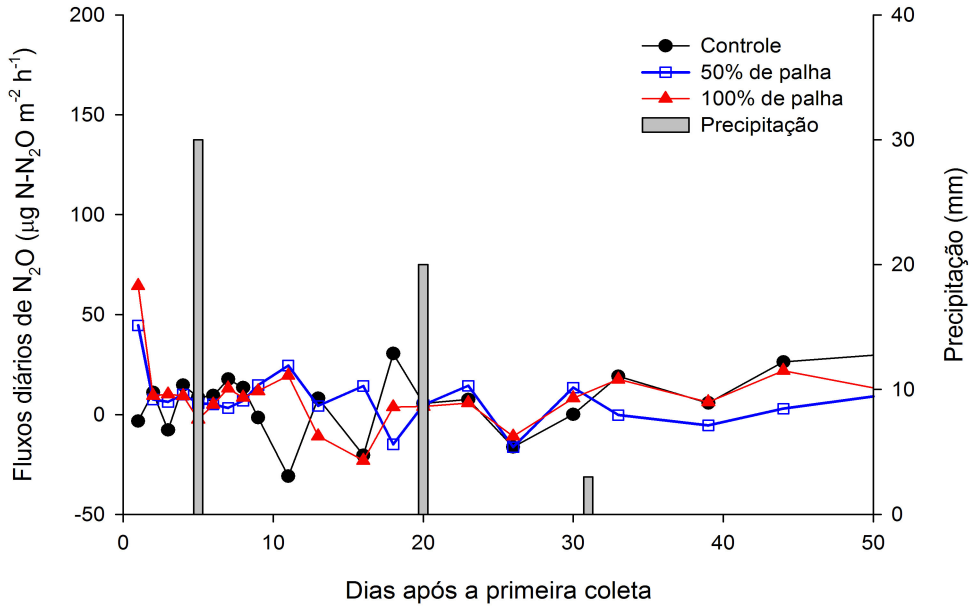

Figura 7 - Fluxos diários de N_2O (µg $N\text{-}N_2O$ m^{-2} h^{-1}) e precipitação observada em área de cana-de-açúcar 12 meses após a colheita no município de Iracemápolis, SP

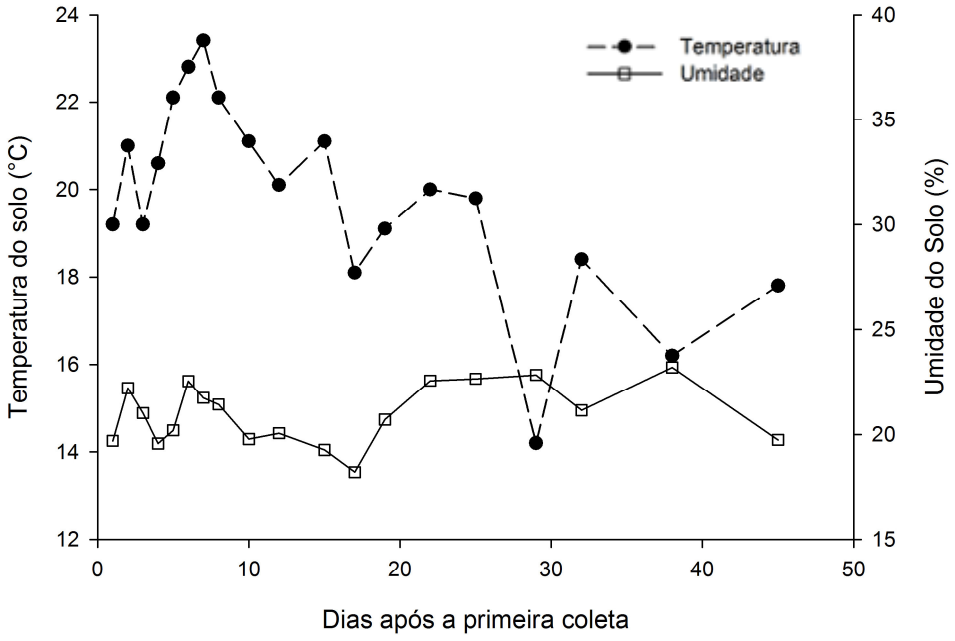

Figura 8 - Umidade e temperatura do solo observadas no momento das coletas das amostras de gases do efeito estufa em área de cana-de-açúcar 12 meses após a colheita no município de Iracemápolis, SP

A análise da variância não mostrou efeito significativo da interação entre quantidades de palha e tempos após a colheita para as emissões acumuladas de N_2O. O efeito significativo foi apenas para a comparação entre tempos após a colheita (figura 9).

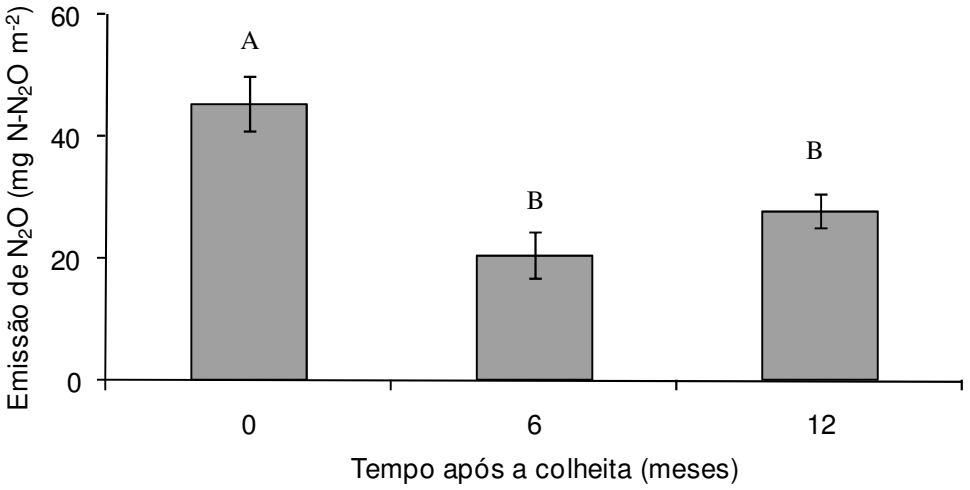

Figura 9 - Emissão acumulada de N_2O para as áreas de estudo com diferentes períodos após a colheita da cana-de-açúcar no município de Iracemápolis, SP. Barras verticais indicam o erro-padrão da média (n = 4). Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (α = 0,05)

O resultado das emissões acumuladas de N_2O para os 3 tratamentos em cada uma das 3 áreas está demonstrado na figura 10.

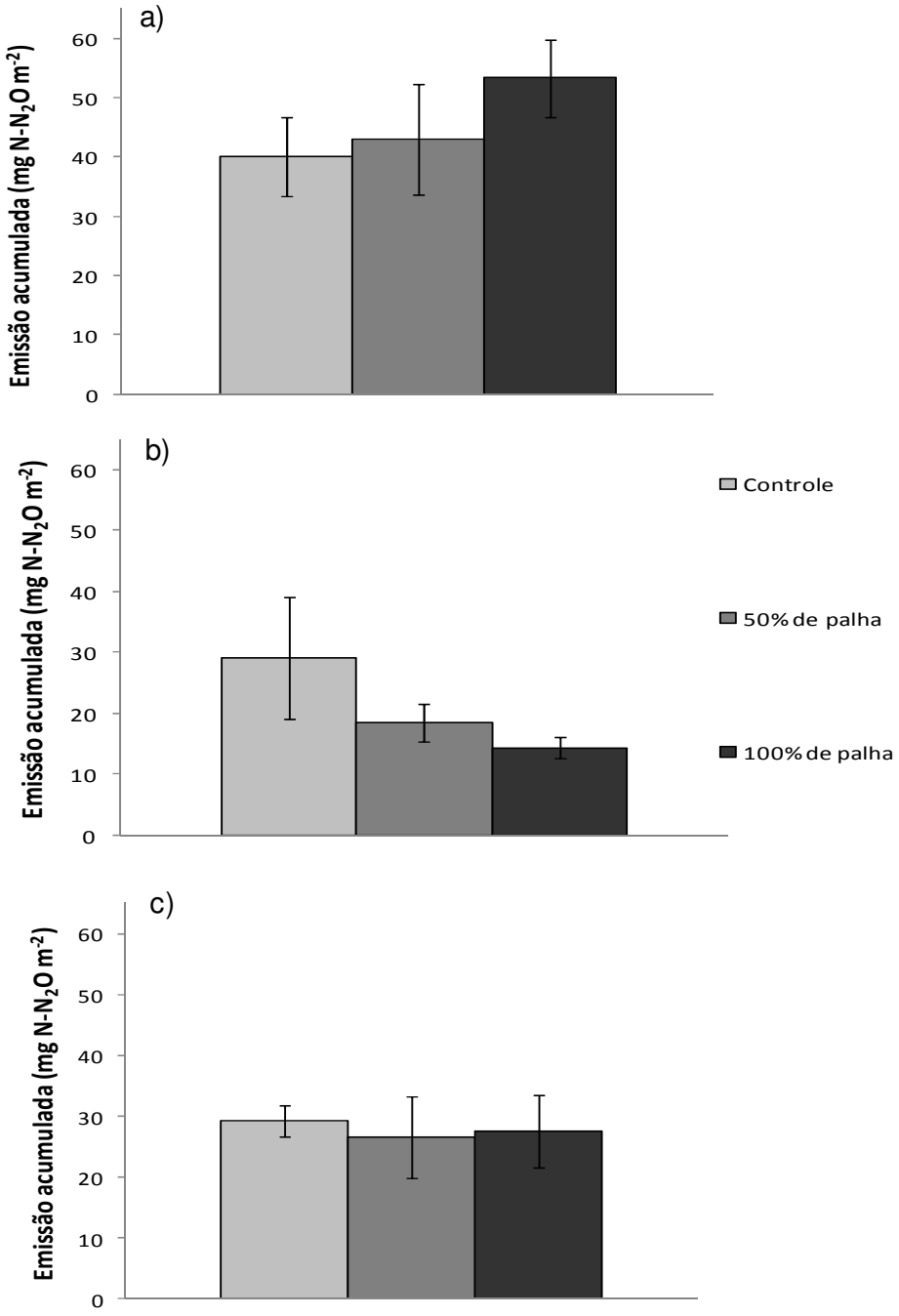

Figura 10 – Emissão acumulada de N_2O (ng N-N_2O m^{-2}) para as áreas a) recém colhida, b) 6 meses após a colheita e c) 12 meses após a colheita sem queima da cana-de-açúcar no municipio de Iracemápolis,SP

Apesar de ter ocorrido efeito significatico dos tratamentos referentes às quantidades de palha quando os mesmos foram testados em incubação de laboratório, não se pode obervar o mesmo efeito quando o experimento foi levado à campo. Tal fato muito provavelmente ocorreu devido à maior heterogeneidade e complexidade dos fatores edáficos daquele ambiente. Neste caso, devido ao elevado coeficiente de variação, comum em experimentos de campo, torna-se mais difícil evidenciar os potenciais efeitos dos tratamentos.

Por não ter encontrado efeito significativo para as emissões acumudas de N_2O entre os tratamentos com distintas quantidades de palha deixadas no campo (Figura 10), a média entre os 3 tratamentos para cada área foi calculada. A comparação entre áreas, representando diferentes idades de palha (meses após a colheita) foi efetuada à partir dessas médias (Figura 9). Na área RC a emissão total acumulada após 59 dias de experimento foi de 45,5 mg N-N_2O m^{-2}, diferindo estatísticamente das demais áreas, que obtiveram os valores de 20,6 e 27,9 mg N-N_2O m^{-2} referente as áreas CC6 e CC12 respectivamente, que não diferiram estatisticamente entre si.

A área recém colhida apresentou emissão acumulada superior às demais, provavelmente pelo maior volume de material vegetal sobre a superfície do solo naquele local. No início do experimento havia 17,95 Mg ha^{-1} de matéria seca de palha de cana-de-açúcar, mais do que o dobro da quantidade presente nas demais áreas. Sendo assim pode-se identificar uma semelhança com o resultado encontrado no experimento prévio, conduzido em condições de laboratório. Naquela ocasião, assumiu-se a possibilidade do efeito das diferentes quantidades de palha sobre a emissão de N_2O, estar associado ao fato de que quanto maior a quantidade de palha adicionada ao sistema estar-se-ia adicionando (além de uma maior quantidade de substrato) uma maior quantidade de microorganismos decompositores. Na superfície de uma folha podem viver centenas de espécies de bactérias organizadas em comunidades (Lambais, 2006). Potthoff et al. (2004) concluiu que o processo de decomposição da folha do milho não dependia, mas era favorecido pela presença de solo e que microorganismos da filosfera (superfície das folhas das plantas) colonizando resíduos vegetais, são obviamente de grande importância para a decomposição e mineralização dos mesmos.

Adicionalmente, é de se esperar que os resíduos vegetais recém dispostos na superfície do solo contenham constituintes orgânicos mais facilmente decomponíveis (exemplo: carboidratos, proteínas etc) do que aqueles encontrados em resíduos mais velhos, onde devem predominar constituintes mais recalcitrantes.

O menor valor da emissão acumulada de N_2O proveniente do solo e da palha da cana-de-açúcar na área CC6 pode estar relacionado não somente pela menor quantidade de material vegetal depositado naquela área, mas também pelos menores teores de NO_3 e NH_4 no solo. A média obtida das cinco avaliações realizadas ao longo de todo o experimento do teor de NO_3 no solo foi de 1,59 mg kg^{-1}, enquanto para a área RC foi de 3,30 mg kg^{-1} e para a área com CC12 foi de 5,36 mg kg^{-1}. Os teores de NH_4 (média entre as cinco avaliações) foram de 7,06, 1,95 e 6,75 para as áreas RC, CC6 e CC12, respectivamente. Tais resultados evidenciam que a área CC6 nitidamente apresentava teores mais baixos de nitrogênio na forma mineral comparados aqueles obtidos para os demais locais de avaliação.

Os fluxos líquidos de N_2O observados nesse experimento podem ser resultados de processos simultâneos entre produção e consumo desse gás. Para a área CC6, de um total de 60 fluxos observados, 48 foram fluxos líquidos positivos e 12 foram fluxos líquidos negativos, evidenciando que havia condições para que os dois processos ocorrecem. Vários autores têm relatado a relação entre os fluxos líquidos negativos de N_2O na superfície do solo e baixas concentrações de N inorgânico, mesmo em solos com um apreciável teor de N total (Ryden, 1983; Clayton et al., 1997; Wagner-Riddle et al., 1997; Khalil et al.,2002). Portanto, o motivo para a menor emissão acumulada de N_2O na área CC6 pode ser os baixos teores de N mineral, que quando não provocaram fluxo líquido negativo, podem ter influenciado para um menor fluxo líquido positivo, sendo que ao mesmo tempo em que o gás poderia estar sendo emitido era simultaneamente consumido.

A análise de variância múltipla indicou interação significativa entre quantidade de palha de cana-de-açúcar depositada no campo (%) e umidade do solo, nos fluxos diários de N_2O (Figura 11).

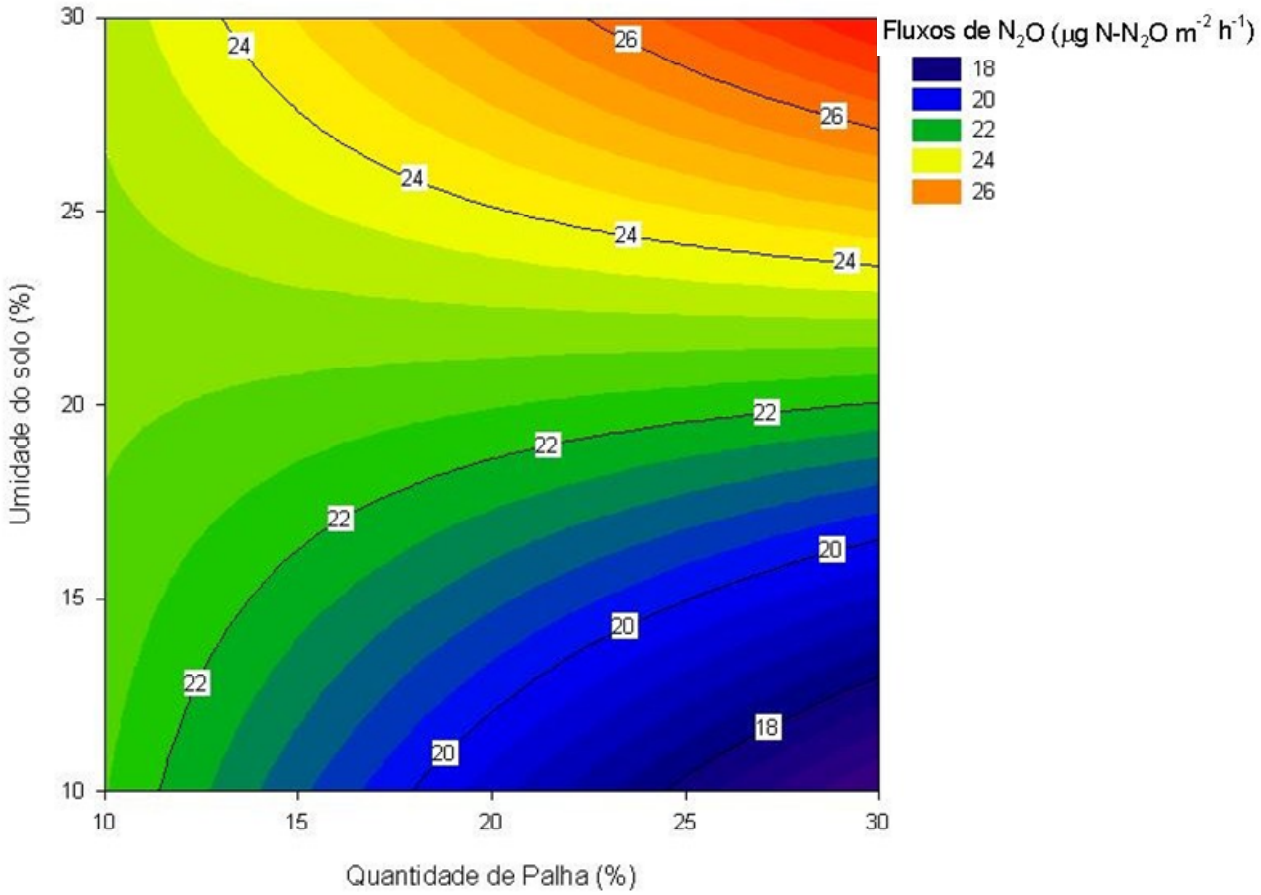

Figura 11 - Superficie de resposta entre umidade do solo e quantidade de palha nas emissões de N_2O (µg N-N_2O m^{-2} h^{-1})

A superfície de resposta apresentada para a interação entre a porcentagem de palha depositada no campo e a umidade do solo nas emissões diárias de N_2O (Figura 11), indica que com baixa umidade do solo o fluxo de N_2O é menor onde existe maior quantidade de palha. A palha poderia estar aumentando o tempo de residência do gás no solo, dificulcando que o gás seja emanado para a atmosfera. Uma possível hipótese seria que a palha propiciaria uma manutenção do N_2O por mais tempo em contato com o solo e que o referido gás sofreria alterações pelo processo de desnitrificação, levando a emissões na forma de N_2 em detrimento a liberação de N_2O. A atividade do solo como um dreno de N_2O da atmosfera pode estar relacionada com a facilidade de difusão de N_2O pelo solo e não ao potencial de redução de N_2O, por si só (Ryden, 1981). Limitar a difusão de N_2O para a atmosfera pode provocar o seu consumo pelos microorganismos

antes da sua liberação para a atmosfera (Letey et al., 1980a, b; Arah et al.,1991; Lessard et al., 1996) .

Ainda avaliando a mesma figura, observa-se que à medida que a umidade do solo aumenta o fluxo de N_2O também aumenta. Mas a partir de uma certa porcentagem de umidade, entre 20% e 25%, o efeito da palha em "segurar" N_2O, entre o solo e a palha, diminui. Seria como se o solo produzisse tanto N_2O que a palha não conseguisse evitar que ele se perdesse para a atmosfera.

Emissões de CO2

A análise de variância mostrou efeito significativo das duas variáveis, tempos após a colheita (Figura 12) e quantidades de palha (Figura 13), sobre as emissões acumuladas de CO_2, mas não da interação entre elas.

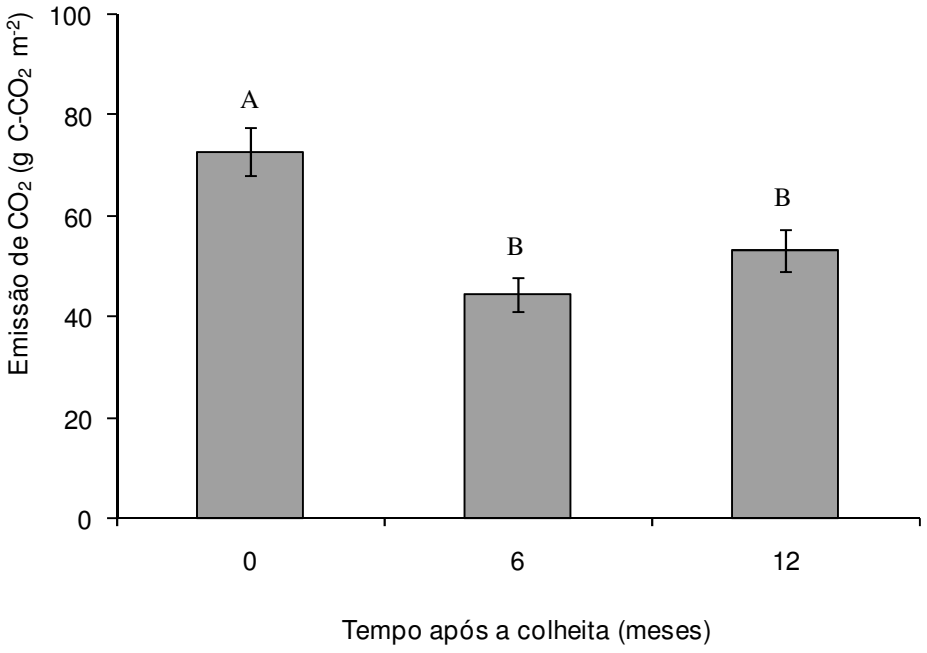

Figura 12 - Emissão acumulada de CO_2 para as áreas de estudo com diferentes períodos após a colheita da cana-de-açúcar no município de Iracemápolis, SP. Barras verticais indicam o erro-padrão da média (n = 4). Tratamentos seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (α = 0,05)

A emissão acumulada de CO_2 após 59 dias de experimento (média entre as entre quantidades de palha sobre a superfície do solo) na área RC foi de 72,8 g C-CO_2 m^{-2}, diferindo estatísticamente das demais áreas, que apresentaram valores de 44,6 e 53,2 g C-CO_2 m^{-2} referentes às áreas CC6 e CC12, respectivamente, que não diferiram estatísticamente entre si (Figura 12).

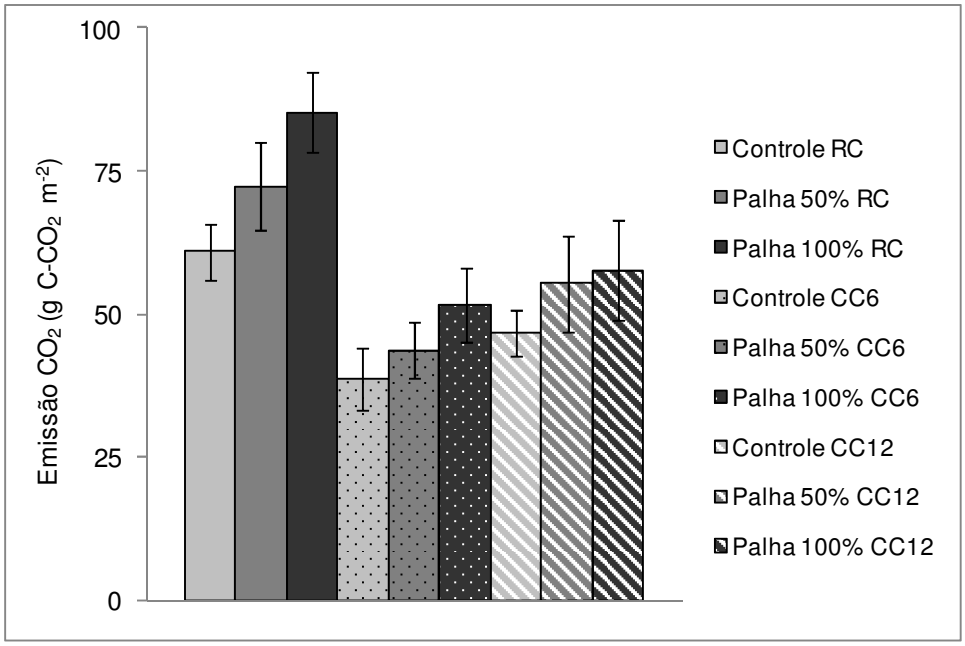

Figura 13 - Emissão acumulada de CO_2 nas diferentes áreas avaliadas com as distintas quantidades de palha depositadas na superficie dos solo no município de Iracemápolis, SP. As barras verticais indicam erro padrão da média (n=4)

O estudo do efeito das quantidades de palha sobre as emissões totais de CO_2 ao final do experimento foi efetuado por análise de regressão linear (Figura 14).

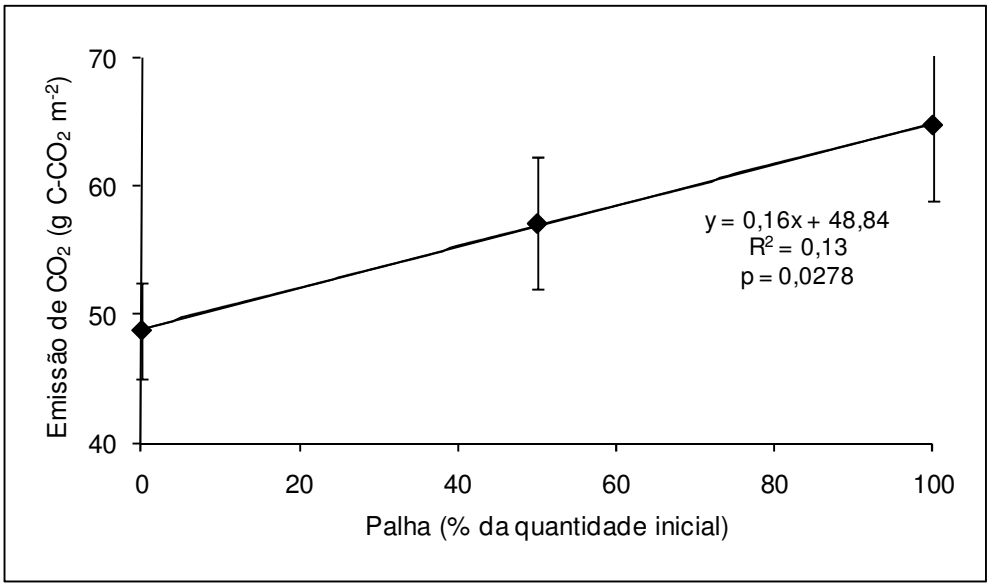

Figura 14 - Regressão linear entre a emissão de CO_2 e a quantidade de palha disposta na superfície do solo no município de Iracemápolis, SP

Para um aumento de 1% na quantidade de palha que permanece na superfície do solo após a colheita de cana-de-açúcar, haverá um aumento de 0,16 g C-CO_2 g^{-1} $solo^{-1}$ na emissão de CO_2 na área (Figura 14). A emissão acumulada de C-CO_2 ao longo do experimento pelos 3 tratamentos com distintas quantidades de palha, média entre as três áreas, foi de 48,7, 57,1 e 64,7 g C-CO_2 m^{-2}, para os tratamentos controle (sem palha), 50% de palha e 100% de palha deixada no campo, respectivamente.

Tanto o efeito das quantidades de palha como o de tempos após a colheita podem ser suportados pela idéia de influência da quantidade de material vegetal na superfície do solo. Nos dois casos, os maiores valores de emissão acumulada aconteceram onde havia maior quantidade de palha de cana-de-açúcar, tanto na área recém colhida como na média entre as três áreas para o tratamento com 100% de palha. Isso também foi constatado no prévio experimento desenvolvido em laboratório, quando naquele momento as emissões do tratamento controle, sem adição de resíduo vegetal, foram menores que as emissões dos demais tratamentos que receberam resíduo vegetal.

A dependência da emissão de C-CO_2, decorrente da ação decompositora de microorganismos do solo, com o conteúdo de matéria orgânica e a disponibilidade de

resíduos vegetais é bem conhecida e já foi estudada por muitos autores como Vargas e Scholles, (2000); Costa et al. (2003); Ciotta et al. (2004) e Costa et al. (2008), sendo esperado que se tenha menor emissão de C-CO_2 em um sistema sem adição de carbono.

Independentemente dos valores de emissões de CO_2, esse não tem sido o foco das discussões sobre emissão de GEE na cultura da cana-de-açúcar, porque o carbono emitido é sabidamente reabsorvido no ciclo subseqüente da cultura.

A análise de variância múltipla revelou efeito significativo da interação entre temperatura e umidade do solo no momento da amostragem dos gases sobre as emissões de CO_2. A superfície de resposta (Figura 15) apresentada para a interação entre a temperatura e a umidade do solo nos fluxos diários de CO_2 ao longo do experimento, indica que a combinação de temperaturas elevadas e maior umidade do solo provocam maiores fluxos de CO_2 para a atmosfera.

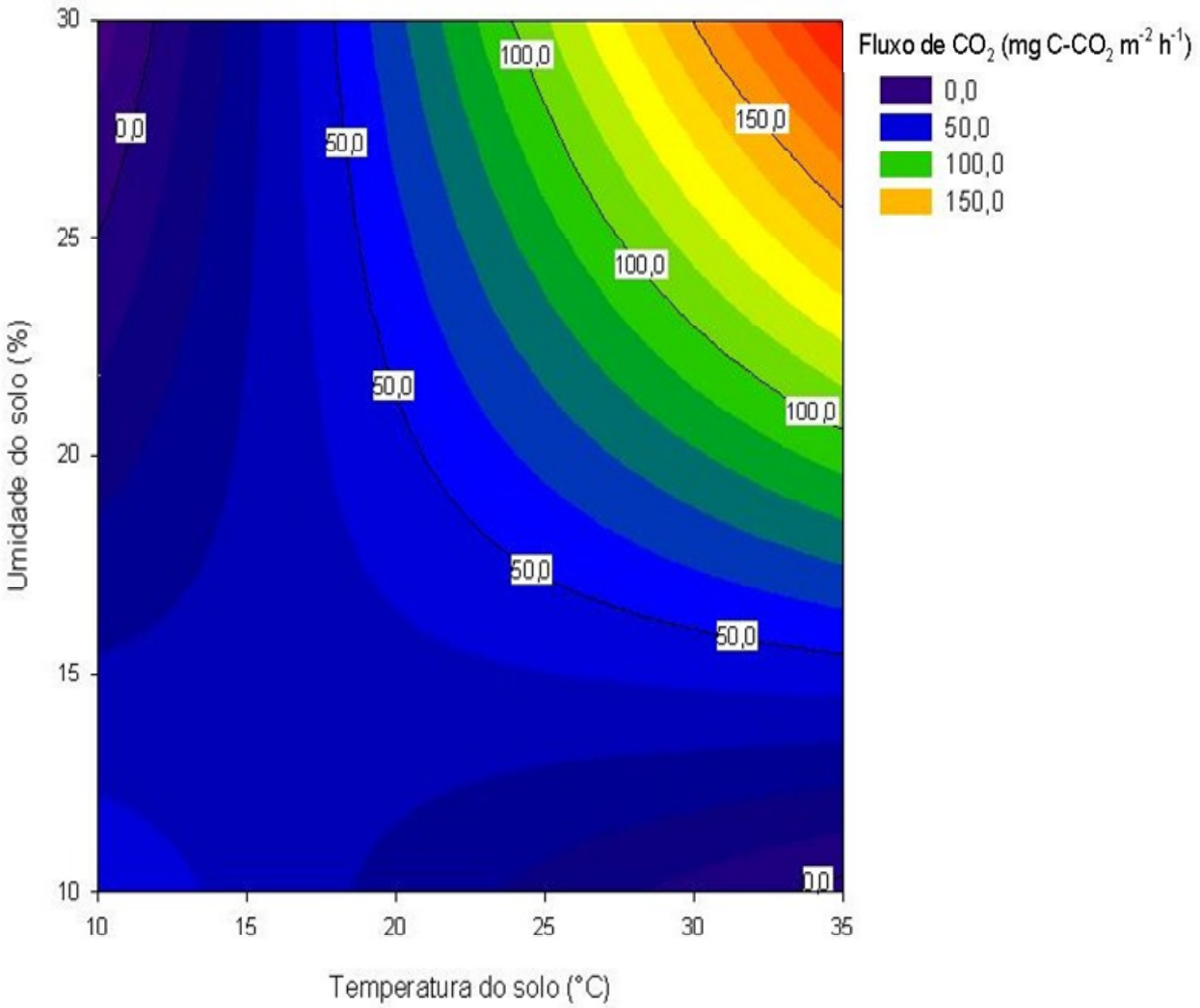

Figura 15 - Superficie de resposta entre umidade e temperatura do solo nas emissões de CO_2 (mg C-CO_2 m^{-2} h^{-1})

Tais resultados estão de acordo com a prévia incubação feita em laboratório, onde a emissão acumulada de CO_2 foi menor à baixa temperatura e houve maior liberação de C à alta temperatura. Isso pode ser explicado pelo fato de que em condições de altas temperaturas há maior atividade microbiana. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa et al. (2008) e La Scala Jr et al. (2009) em experimento de longa duração conduzido em campo, sendo as emissões de carbono correlacionada positivamente com a temperatura do solo. Outros autores também verificaram relação entre as emissões de CO_2 e a temperatura (Adviento-Borbe et al.,

2007; Oliveros, 2008). Em relação a umidade do solo o resultado do presente trabalho contrasta com o obtido por Oliveros, 2008, que não encontrou correlação significativa entre o fluxo de C-CO_2 e a umidade do solo.

As emissões de CH_4 não foram afetadas nem pela quantidade de palha na superfície e nem pelo tempo após a colheita (Figura 16).

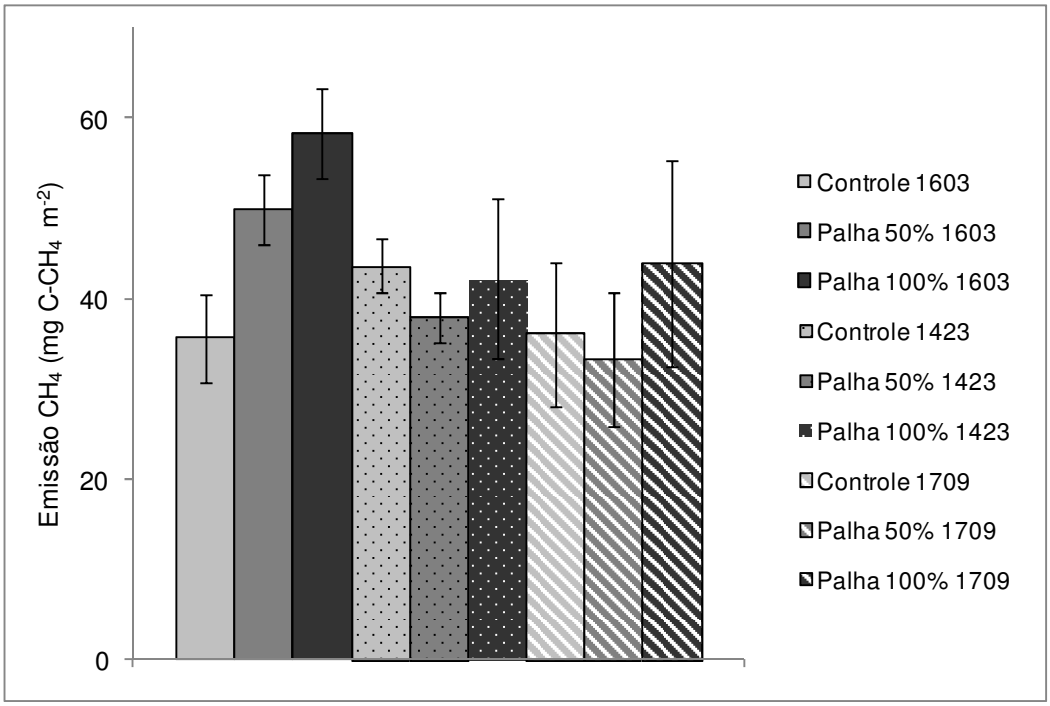

Figura 16 - Emissão acumulada de CH_4 nas diferentes áreas avaliadas com as distintas quantidades de palha depositadas na superficie dos solo no município de Iracemápolis, SP. As barras verticais indicam erro padrão da média (n=4)

Medições das trocas de CH_4 ao longo do experimento revelaram episódios de absorção da atmosfera e emissão para a mesma. Isto está de acordo com os estudos de Weier (1996, 1999). No estudo relatado por Weier (1996), que se estendia por 9,5 dias, o consumo de CH_4 foi detectado durante o período de cobertura do solo pela palha e de fertilização do solo com uréia.

Deve-se ressaltar, que independentemente da área avaliada ou mesmo da quantidade de palha depositada na superfície do solo, os fluxos de metano apresentaram valores significativamente baixos comparados com as emissões dos

outros gases do efeito estufa avaliados nesta pesquisa. Tal aspecto vem sendo observado em vários estudos (REAY et al., 2007).

3.4 Conclusões

A decomposição da palha da cana-de-açúcar colhida sem queima prévia de sua parte aérea emite gases do efeito estufa para a atmosfera.

A área de cana-de-açúcar recém colhida emitiu mais N_2O e CO_2 para a atmosfera do que aquelas colhidas há seis ou doze meses.

A interação entre a umidade do solo e a quantidade de palha depositada sobre a sua superfície afetou significativamente as emissões de N_2O.

Quanto maior a quantidade de palha depositada sobre a superfície do solo, maiores as emissões de CO_2. Essas emissões também foram afetadas pela interação entre temperatura e umidade do solo no momento da coleta do gas.

As emissões de CH_4 não foram afetadas pelas quantidades variadas de palha de cana-de-açúcar depositada sobre a superfície do solo e nem pelo tempo após a colheita. Os fluxos de metano foram menores do que aqueles observados pelos outros gases de efeito estufa avaliados nesta pesquisa.

Referências

BAGGS, E.M.; STEVENSON, M.; PIHLATIE, M.; REGAR, A.; COOK, H.; CADISCH, G. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 254, n. 2, p. 361-370, 2003.

BAGGS, E.M.; CHEBII, J.; NDUFA, J.K. A short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 90, n. ½, p. 69-76, 2006.

BØCKMAN, O.C.; OLFS, H. Fertilizer, agronomy and N2O. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.52, p.165-170, 1998.

BUTTERBACH-BAHL,K.; GASCHE,R.; HUBER, C. Impact of N-input by wet deposition on N-trace gas fluxes andCH4-oxidation in spruce forest ecosystems of the temperatezone in Europe. **Atmospheric Environment,** New York, v.32, p.559–564, 1998.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94 p. (IAC. Boletim Técnico, 106).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, janeiro/2011.** Brasília, 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011..pdf. Acesso em: 28 jan. 2011.

DENMEAD, O.T. Emissions of methane and nitrous oxide from Australian sugarcane soils**. Agric. Forest Meteorol**. (2009), doi: 10.1016/j.agrformet.2009.06.018

GIACOMINI, S.J.; JANTALIA, C.P.; AITA, C.; URQUIAGA, S.S.; ALVES, B.J.R. Nitrous oxide emissions following pig slurry application in soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1653-1661, 2006.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2006. 126 p. (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. S.; PICCOLO, M.C.; ZANATTA, J.A.; VIEIRA, F.C.B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, n.1, p. 36-44, 2009.

GOOSSENS, A. ; DE VISSCHER, A. ; BOECKX, P. Two-year field study on the emission of N2O from coarse and middletextured Belgian soils with different land use. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.60, p.23–34, 2001.

HAO, X.; CHANG, C.; CAREFOOT, J.M.; JANSEN, H.H.; ELLERT, B.H. Nitrous oxide emission from am irrigated soil as affected by fertilizer and straw management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 60, n. 1/3, p. 1-8, 2001.

HUANG, Y.; ZOU J.; ZHENG, X.; WANG, Y.; XU, X. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 973-981, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories:** Agriculture, Forestry and Other Land Use. National Greenhouse Gas Inventories Program. v.4, Hayama, 2006. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N_2O&CO_2.pdf >. Acesso em: 28 dez. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANNEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. **Climate Change 2007:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC,2007. p. 104.

JANTALIA, C.P.; DOS SANTOS, H.P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B. J.R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 82, n.2, p. 161-173, 2008.

LA SCALA, N.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; ARCHER, D.; REICOSKY, D.C. Short-term temporal changes of bare soil CO2 fluxes after tillage described by first-order decay models. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, p. 258-264, 2009.

LIMA, M.A.; LIGO, M.A.V.; CABRAL, O.M.R.; BOEIRA, R.C.; NEVES, M.C.; PESSOA, M.C.P.Y. **Emissão de gases do efeito estufa na queima de resíduos agrícolas.** Relatório de referência. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases do efeito estufa. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2006. 106p.

MARTIN, P.;JENS, D.; HEINER, F.;ANNETTE, M.; FRIEDRICH, B.;RAINER, G.J. **Dynamics of maize (*Zea mays L.*) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availabitity of nitrogen.** 2007.349p.

METAY, A.; OLIVER, R.; SCOPEL, E.; DOUZET, J.-M.; ALOISIO ALVES MOREIRA, J.; MARAUX, F.; FEIGL, B. J.; FELLER, C. N2O and CH4 emissions from soils under conventional and no-till management practices in Goiânia (Cerrados, Brazil). N **Geoderma,** Amsterdan, v. 141, n. 1/2, p. 78-88, 2007.

PASSIONATO, C.C.; AHRENS, T.; FEIGL, B.J.; STEUDLER, P.A.; DO CARMO, J. B.; MELILLO, J.M. Emissions of CO_2, N_2O, and NO in conventional and no-till management practices in Rondonia, Brazil. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 38, n.4, p. 200-208, 2003.

PICCOLO, M.C.; PAVEI, M.A.; BERNOUX, M.; SA, J.C.M.; PAULETTI, V. Fluxos de óxido nitroso e decomposição de resíduos culturais no solo sob diferentes manejos agrícolas em Ponta Grossa (PR). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31.; 2007. Gramado. **Livro de Resumos..**. Gramado, 2007. 1 CD-ROM.

POTTHOFF, M.; DYCKMANS, J.; FLESSA, H.; MUHS, A.; BEESE, F.; JOERGENSEN,R.G. Dynamics of maize (*Zea mays* L.) leaf straw mineralization as affected by the presence of soil and the availability of nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 1259–1266, 2005.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

REAY, D.S.; HEWITT, C.N.; SMITH, K.A. Nitrous oxide: importance, sources and sinks. In: REAY, D.S.; HEWITT, C.N.; SMITH, K.A.; GRACE, J. (Ed.). **Greenhouse gas sinks**. London: Athenaeum, 2007. p. 201-206.

REAY, D.S.; HEWITT, C.N.; SMITH, K.A.; GRACE, J. (Ed.). **Greenhouse gas sinks**. London: Athenaeum, 2007. 290 p.

ROSENKRANZ, P.; BRU¨GGEMANN, N.; PAPEN, H. NO2, NO and CH4 exchange, and microbial N turnover over a Mediterranean pine forest soil. **Biogeosciences Discussions**,v.2, p. 673–702, 2005.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide, version 8.0. Cary, 2000. 1 CD-ROM.

SIGNOR, D. **Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba.** 2010. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

STEVENS, R.J.;LAUGHLIN, R.J. Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emissions from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 52, p.131-139, 1998.

TAN, I..Y.S.; ES, H.M.; DUXBURY, J.M.; MELKONIAN, J.J.; SCHINDELBECK, R.R.; GEOHRING, L.D.; HIVELY, W.D.; MOEBIUS, B.N. Single-event nitous oxide losses under maize production as affected by soil type, tillage, rotation, and fertilization. **Soil and Tillage Research,** Amsterdam, v.102, n. 1, p. 19-26, 2009.

TOMA, Y.; HATANO, R. Effect of crop residue C/N ratio on N20 emissions from Gray Lowland soil in Mikasa, Hokkaido, Japan. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 53, n. 2, p. 198-205, 2007.

WEIER, K.L. Trace gas emissions from a trash blanketed sugarcane field in tropical Australia. In: WILSON, J.R.;HOGARTH, D.M.; CAMPBELL, J.A.; GARSIDE, A.L. (Ed.). **Sugarcane**: Research Towards Efficient and Sustainable Production. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, 1996. p. 271-272.

WEIER, K.L.; MCEWAN, C.W.; VALLIS, I.; CATCHPOOLE, V.R.; MYERS, R.J. Potential for biological denitrification of fertilizer nitrogen in sugarcane soils. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.47,p. 67-79,1996.

WEIER, K.L. N_2O and CH_4 consumption in a sugarcane soil after variation in nitrogen and water application. **Soil Biology Biochemistry**, London, v. 31, p.1931-1941,1999.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de cana-de-açúcar recém colhida (3 dias após o evento) emitiu maior quantidade de N_2O e CO_2 para a atmosfera. Já na área colhida há seis meses as emissões foram significativamente menores, chegando à metade do valor observado logo após a colheita.

Sob condições de laboratório, maiores quantidades de palha de cana-de-açúcar provocaram maiores emissões de N_2O para atmosfera. Caso a palha de cana-de-açúcar seja utilizada para a produção do etanol de segunda geração, as emissões de N_2O provenientes de sua decomposição provavelmente serão menores. Isso porque, menores quantidades de palha ficarão depositadas sobre a superfície do solo. Todavia, essa informação deve ser considerada com cautela. O fato das emissões de N_2O contabilizadas sobre solo exposto serem significativamente menores, não indicam que esse cenário seja o desejado, pois atributos químicos e físicos do solo são favorecidos pela deposição de resíduos orgânicos sobre a sua superfície.

Em condições de campo, houve uma tendência, porém não estatisticamente significativa, de observação daquilo que foi verificado nas incubações realizadas em laboratório. Essa tendência foi reforçada pela constatação de que a área recém colhida emitiu significativamente mais N_2O para a atmosfera que as demais. Tal fato está provavelmente relacionado à maior quantidade de palha na superfície do solo, ou seja, mais que o dobro da quantia verificada nas demais áreas avaliadas. Adicionalmente, é de se esperar que os resíduos vegetais recém dispostos na superfície do solo contenham constituintes orgânicos mais facilmente decomponíveis (exemplo: carboidratos, proteínas etc) do que aqueles encontrados em resíduos mais velhos, onde devem predominar constituintes mais recalcitrantes.

Este trabalho é uma contribuição inicial no sentido de elucidar as emissões de gases do efeito estufa provenientes da decomposição da palha da cana-de-açúcar. Trabalhos adicionais são desejáveis para fomentar a crítica do que foi verificado pelo presente trabalho. Não existem relatos de pesquisas com o mesmo objetivo, que permitam comparações com a atual. Além do que, novas pesquisas acrescentariam informações à base de dados brasileira para elaboração de inventários de GEE.

A pegada do carbono do etanol da cana-de-açúcar é uma medida dos GEE emitidos ao longo de sua cadeia produtiva até atingir o consumidor final, onde acontecem as últimas emissões nos escapamentos dos carros. Dentro de análise tão abrangente, algumas incertezas são atribuídas, dentre elas, a emissão de N_2O pela decomposição da palha da cana-de-açúcar. Para contribuir com os primeiros dados, a presente pesquisa confirmou a hipótese de que existe emissão significativa de N_2O oriundo da palha da cana-de-açúcar colhida sem queima.