

EMISSÕES DE GEE PELA AGRICULTURA: O CASO DOS CULTIVOS DE CANA-DE-AÇÚCAR¹

PORTELA, Mirya Grazielle Torres – mgagronoma@yahoo.com.br
Programa De Pós-Graduação Em Agronomia, Universidade Federal Do Piauí, Campus
Ministro Petrônio Portela

LEITE, Luiz Fernando Carvalho – luiz.fleite@embrapa.br
EMBRAPA

RESUMO: A agricultura é responsável por boa parte das emissões de gases de efeito estufa (GEEs), como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Esses gases destacam-se pela capacidade de absorver energia, estabilidade na atmosfera e alta capacidade de reagir com a camada de ozônio, sendo alvo de pesquisas recentes. Em cultivos de cana-de-açúcar esses estudos têm sido mais frequentes, principalmente após a obrigatoriedade da colheita de cama sem queima, tratando-se principalmente do efeito dessa prática nas emissões desses gases para a atmosfera. Nesse sentido, objetivou-se com esta revisão, reunir informações sobre as fontes que contribuem para as emissões dos gases de efeito estufa pela agricultura, especialmente nos cultivos de cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura, *Saccharum officinarum*, efeito estufa

GHG EMISSIONS BY AGRICULTURE: THE CASE OF THE SUGAR CANE PLANTATION

ABSTRACT: Agriculture is responsible for most emissions of greenhouse gases (GHG) such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). These gases are distinguished by the ability to absorb energy, stability in the atmosphere and high ability to react with the ozone layer, and recent research target. In sugarcane crops such studies have been more frequent, especially after the obligatory without burning bed harvest, mainly dealing It is the effect of that practice in greenhouse gas emissions into the atmosphere. In this sense, the aim of with this review, gathering information about the sources that contribute to emissions of greenhouse gases from agriculture, especially in sugarcane crops.

KEYWORD: Agriculture, *Saccharum officinarum*, greenhouse

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade intensamente dependente e influenciada por fatores climáticos, como precipitação, temperatura, umidade do solo e radiação solar, que podem afetar a produção agrícola, quando as mudanças mostrarem frequência e severidade.

Apesar de constituir em uma atividade potencialmente influenciada pelas mudanças climáticas, a agricultura também contribui para o efeito estufa com emissões de gases poluentes como o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Segundo Cerri et al., (2009) a agricultura juntamente com as mudanças no uso da terra (MUT) torna-se responsável por 94% das emissões de GEE no país.

Esses dois setores são considerados prioritários no contexto da mitigação da emissão de GEE no Brasil. Na agricultura, o ideal seria que práticas agrícolas

¹ NOTA DE PESQUISA

que favoreçam o sequestro de carbono sejam implementadas para que o solo agrícola seja um dreno de GEE. No caso da cana-de-açúcar, a colheita mecanizada, sem a queima do canavial, em que a palha remanescente é colocada sobre o solo, é um cenário que pode colaborar com o acúmulo de carbono no solo (GALDOS et al., 2009) e colaborar com a mitigação de GEE envolvida na produção agrícola do açúcar e etanol.

Nesse sentido, as emissões de GEE do solo agrícola em cultivos de cana-de-açúcar sobre os variados tipos de práticas agrícolas aplicados pelo setor sucroalcooleiro necessitam de pesquisas e embasamento teórico para maior entendimento para a implantação de medidas mitigadoras eficientes.

Dessa forma, objetivou-se com esta revisão, reunir informações sobre as emissões de gases de efeito estufa pela agricultura, voltada para as emissões relacionadas com os cultivos de cana-de-açúcar.

2. EFEITO ESTUFA

Uma diversidade de estudos indica uma estreita relação entre o aumento na concentração de gases do efeito estufa e o acréscimo na temperatura média da superfície global, que seria em torno de 0,6°C nos últimos 100 anos (HOUGHTON et al., 2001). Segundo o último estudo feito pelo IPCC (2007), a temperatura pode aumentar cerca de 3°C até o final do século XXI. O mesmo pode-se dizer a respeito de outras observações como, a mudança no perfil de precipitações de chuvas, perdas nas produções agrícolas, devido a sensibilidade ao calor por parte das plantas, escassez de água potável, aumento de catástrofes naturais como furacões e ciclones, ocasionando enchentes e erosões, diminuição das calotas polares e depleção de carbono do solo, fenômenos intimamente atribuídos a uma possível mudança do clima causada pelo efeito estufa (IPCC, 2007).

Esse fenômeno ocorre devido à absorção por certos gases presentes na atmosfera, da radiação de ondas longas emitidas pela superfície da terra, sendo que parte desta radiação absorvida é reemitida. Os principais gases responsáveis por esse fenômeno são o vapor d'água (H₂O), o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄), e o óxido nitroso (N₂O). Embora o vapor d'água seja, pela quantidade presente na atmosfera, o mais importante, geralmente não é considerado preocupante visto que as atividades humanas não interferem significativamente em sua quantidade (OLIVEIRA,2014).

A concentração de CO₂ na atmosfera, em 1957 era de 315 ppm aumentando em 2006 para 360 ppm, a concentração atual de N₂O é de aproximadamente 320 ppb representando um aumento de 16% em relação aos níveis pré-industriais de 275 ppb (Masters e Ela, 2008); a concentração de CH₄ manteve-se em aproximadamente 800 ppb por centenas de anos apresentando

uma rápida elevação (entre 1,2 e 1,9 % ao ano) a partir do século XVIII (STAUFFER et al., 1985), sendo sua concentração atual em torno de 1,8 ppm.

Gases como o vapor de água, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) são responsáveis pela absorção de 20% da energia térmica proveniente das ondas curtas do sol, pela camada superior da atmosfera. Uma parte dessa energia absorvida é dirigida de volta à superfície em um fenômeno conhecido como efeito estufa, (CHAPIN et al., 2002). Na ausência desses gases, a temperatura da Terra poderia ser aproximadamente 33°C menor, e o planeta seria coberto de gelo, segundo Xavier e Kerr (2008).

As concentrações atuais desses gases na atmosfera estão aumentando acima dos níveis desejáveis, levantando preocupações de que essa tendência possa resultar em significativos impactos ambientais globais, acompanhado de inúmeras consequências negativas. Ainda não há uma conclusão sobre a magnitude dos impactos que o aumento da concentração atmosférica dos GEE pode causar, e muitos dos fenômenos atribuídos a esse aumento podem ser explicados por oscilações naturais na órbita terrestre que influenciam a quantidade de radiação solar que atinge o planeta. Mesmo assim, é inegável que atividades antropogênicas como o uso de combustíveis fósseis e a agricultura, contribuíram para um aumento acelerado das concentrações desses gases a partir da revolução industrial (OLIVEIRA, 2014).

3. EMISSÕES DE GEE PELA AGRICULTURA

Mundialmente, estima-se que a agricultura contribui com aproximadamente 22 % das emissões totais de dióxido de carbono, 80 % das emissões de óxido nitroso e 55 % das emissões de metano. Entretanto, no Brasil, como reflexo da importância da agricultura na economia, estima-se que 75% das emissões de CO₂, 94% das emissões de N₂O e 91% das emissões de CH₄ sejam provenientes de atividades agrícolas, incluindo a conversão de florestas para tal uso. Essas elevadas emissões de GEE atribuídas à agropecuária nacional despertam uma grande discussão quanto a sustentabilidade dessa atividade (BAYER et al, 2011).

Em solos agrícolas a produção e emissão dos GEE ocorre devido a atividade dos microrganismos. O CO₂ é produzido, principalmente, através da oxidação de compostos orgânicos pelos microrganismos heterotróficos aeróbicos. A atividade destes microrganismos normalmente é limitada por diversos fatores abióticos como: a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a relação C/N, a presença de resíduos orgânicos, entre outros (SILVA et al., 2010).

Sistemas de preparo do solo como o preparo convencional, escarificação e plantio direto podem afetar as emissões de GEE por alterarem as condições que favorecem os processos relacionados à produção destes gases no solo.

Sistemas de preparo que utilizam o revolvimento do solo são conhecidos por acelerar a decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) e consequentemente por contribuírem significativamente para a emissão de CO₂ para a atmosfera (BEARE et al, 2009).

A redução ou eliminação do revolvimento do solo em sistemas de preparo como o plantio direto é considerada uma prática eficiente para diminuir a perda de C do solo para a atmosfera. Contudo a ausência do revolvimento do solo leva a compactação do mesmo, reduz a porosidade total e muda a distribuição do tamanho dos poros para os poros mais pequenos (BEARE et al., 2009) e consequentemente a disponibilidade de O₂ no solo. Nessas condições a produção de N₂O é potencializada tanto via a nitrificação como a desnitrificação (GUIMARÃES E MELLO, 2008) e são os principais processos microbianos responsáveis pela produção de N₂O (FIRESTONE E DAVIDSON, 1989).

No Brasil, ao se comparar as contribuições dos GEE provenientes da queima de combustíveis fósseis, agricultura e mudanças do uso da terra, com os observados globalmente, esses apresentam padrões diferentes. No país, a contribuição da queima de combustíveis fósseis é menos importante, enquanto a mudança de uso da terra (desmatamento) e a agricultura são responsáveis por mais de dois terços das emissões totais observadas (MCT, 2004; CERRI et al., 2009).

Quando as emissões de GEE provenientes do processo de desmatamento e agricultura passam a ser contabilizadas, o Brasil passa da 17^a para 5^a posição na relação dos países que mais emitem GEE (CERRI et al., 2007).

Apesar de o setor agrícola ser uma importante fonte de GEE para atmosfera, este setor pode se comportar como dreno de GEE dependendo das práticas de manejo aplicadas. O desenvolvimento de sistemas de manejo do solo e a utilização de resíduos ou coprodutos, podem mitigar significativamente as emissões de GEE da agricultura, sobretudo do setor sucroenergético (CERRI et al., 2010).

3.1 Emissões de CO₂

A emissão de CO₂ na atmosfera é resultante do uso de combustíveis fósseis, indústrias produtoras de cimento e mudanças de uso da terra. Além das atividades antrópicas, a emissão do carbono do solo para a atmosfera ocorre também através da respiração radicular das plantas e organismos associados a decomposição de resíduos orgânicos, sendo a respiração radicular responsável por 20% do aumento da concentração CO₂ do solo e a atividade biológica por 80%(MELILLO et al., 2002; DENMAN et al., 2007; CARVALHO et al., 2010)

Segundo Bayer et al. (2011), os solos agrícolas podem atuar como dreno ou fonte de C atmosférico, dependendo do sistema de manejo adotado. A redução das emissões de CO₂ à atmosfera e, consequentemente, o seu

armazenamento na matéria orgânica do solo estão relacionados com a utilização de sistemas de manejo conservacionistas. Os sistemas de preparo sem o revolvimento do solo, em que são adotados sistemas de culturas com aporte de resíduos culturais, promovem a mitigação das emissões de CO₂, o que fica evidente pelo aumento dos estoques de C no solo, proporcionado por esse tipo de manejo.

A emissão de CO₂ do solo para atmosfera ocorre principalmente por dois processos biológicos: a decomposição de resíduos orgânicos e a respiração de organismos e sistema radicular das plantas (CARVALHO et al., 2010). No solo, esse gás faz sua movimentação por difusão, de uma região de maior para outra de menor concentração, e por fluxo de massa, onde se move junto com o ar ao qual está misturado (BALL; SMITH, 1991). A concentração de CO₂ nos poros do solo é bem maior do que a atmosfera, na ordem de 10 a 100 vezes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Segundo Melillo et al (2002), este fato está associado à atividade respiratória no solo, onde a respiração radicular é responsável por 20% do aumento na concentração de CO₂ e os 80% restantes oriundos da atividade biológica do solo.

3.2 Emissões de N₂O

O N₂O é um gás incolor e não tóxico, e foi comumente utilizado como anestésico e aditivo ao combustível. Esse gás teve sua descoberta há pouco mais de 200 anos e têm recebido grande atenção por ser um dos três principais gases causadores do efeito estufa. O N₂O tem um tempo de residência na atmosfera de até 150 anos e apesar de contribuir com apenas 0,03% do total das emissões globais de GEE possui 298 vezes mais poder de aquecimento que o CO₂. Nesse sentido, quando levado em consideração o impacto individual desse GEE, expresso em termos de CO₂ eq., sua contribuição passa de 0,03% para cerca de 10% das emissões globais. No período entre 1750 e 2000, a concentração de N₂O na atmosfera aumentou em torno de 16% (de 270 para 320 ppbv) e sua taxa de aumento é de 0,8 ppbv ano⁻¹ (IPCC, 2007).

Este gás está entre os três gases de maior importância dentre os causadores do efeito estufa. Apesar de sua baixa concentração na atmosfera, possui alta capacidade de absorver energia ultravioleta e alta estabilidade na atmosfera, sendo considerado muito ativo no processo de aquecimento global (JANTALIA et al., 2006). Possui ainda, alta capacidade de reagir com a camada de ozônio, provocando sua destruição. Segundo Robertson & Grace (2004), as concentrações de óxido nitroso na atmosfera vêm aumentando significativamente nas últimas décadas, devido principalmente ao maior uso de adubações nitrogenadas, conversão de áreas de floresta em agricultura e pastagem e ao aumento das queimadas

3.3 Emissões de CH₄

O metano é um gás indutor do efeito estufa de grande importância. O aumento da quantidade desse gás no ar causa um efeito de aquecimento 21 vezes maior que a adição de dióxido de carbono, devidos as moléculas do CH₄ absorverem mais facilmente uma maior fração de luz infravermelha térmica (SOUZA NETO, 2012).

As emissões de CH₄ são resultantes principalmente da queima de biomassa, cultivos em áreas alagadas, aterros, criação de ruminantes e uso de combustíveis fósseis (FORSTER et al., 2007; DENMAN et al., 2007).

O solo exerce uma função importante no fluxo de metano, podendo se apresentar como fonte ou dreno desse gás em função da comunidade bacteriana presente que se comporta de acordo com as condições ambientais (CERRI et al., 2010).

Nos solos o CH₄ é formado pela quebra microbiana de compostos orgânicos em condições anaeróbicas, com baixo potencial de redução. Estas, bactérias metanogênicas atuam na produção do CH₄ através do processo conhecido como metagênese. Neste processo, a produção desse gás ocorre como resultado da oxidação da matéria orgânica por microrganismos (SMITH et al., 2003; LE MER & ROGER, 2001).

A compreensão sobre a microbiologia envolvida no ciclo dos GEE's é melhor para o CH₄ do que para o N₂O ou CO₂. Porém, ainda há muitas incertezas quanto ao gerenciamento de fluxos terrestres deste gás. Tendo em vista que grande parte do CH₄ atmosférico é produzido via atividade microbiológica, é teoricamente pode-se concluir que se pode controlar a parte considerável das emissões de CH₄ dos ecossistemas terrestres através de uma gestão da estrutura da comunidade microbiana, bem como seu processo de atividade biológica (SINGH et al., 2010).

4. CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR E EMISSÕES DE GEE

A cana de açúcar é um dos principais produtos da agricultura brasileira e a principal fonte de energia de biomassa do País. Atualmente o Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, e o expressivo crescimento da produção, tem sido impulsionado pelo aumento da demanda mundial por álcool combustível (NOLÊTO et al., 2011).

No Brasil, o principal biocombustível utilizado é o etanol derivado da cana-de-açúcar. Segundo a CONAB (2014) a produção de etanol total para a safra 2013/14 foi de 27, 96 bilhões de litros de etanol, representando um incremento de 18,26% em relação à safra anterior. No país a colheita da cana-de-açúcar, que tradicionalmente era precedida pela queima das folhas, vem sendo realizada sem uso do fogo, o que contribui para a redução das emissões de GEE (LEAL et al., 2013).

O expressivo crescimento da produção de cana-de-açúcar, no Brasil, nas últimas décadas, tem determinado importantes mudanças no que se refere ao aspecto agroambiental (MACHADO E HABIB, 2009). A cultura da cana-de-açúcar é uma das principais "commodities" do agronegócio brasileiro. O Brasil teve um acréscimo em área cultivada de cerca de 326,43 mil hectares na temporada 2013/14, equivalendo a 3,8% em relação à safra 2012/13. A área cultivada com cana-de-açúcar que foi colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 é de 8.811,43 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores conforme suas características (CONAB, 2014).

Segundo o Cerri et al., (2009) no Brasil, a agricultura juntamente com as mudanças no uso da terra (MUT) torna-se responsável por 94% das emissões de GEE. Apesar da importância, ainda existem poucos estudos sobre emissões de N₂O e outros GEE em áreas com cana de açúcar no Brasil, em especial aqueles envolvendo emissões diretas na agricultura. Em termos ambientais, o N₂O e o CH₄ não são importantes apenas na questão das mudanças climáticas, haja vista que participam de reações químicas e processos relevantes associados a destruição da camada de ozônio (O₃) na estratosfera e formação de O₃ na troposfera (OLIVEIRA, 2014).

Mesmo que a pressão da sociedade tenha tido efeitos significativos na mudança de leis e na obrigatoriedade da redução da queima dos canaviais no processo de colheita, verifica-se que em grande parte das áreas produtoras de cana-de-açúcar do país a prática da queimada é utilizada em larga escala (REDIN et al. 2011).

Essa prática, apesar de facilitar o trabalho dos cortadores e garantir a qualidade da cana para o processamento, representa grande ameaça à permanência da qualidade do solo das áreas cultivadas com esta cultura, além de provocar vários outros problemas ambientais, como a liberação de gases poluentes na atmosfera, a deposição de cinzas em áreas urbanas e a exposição do solo. Adicionalmente, prejudica a estrutura do solo, e acelera a decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), diminuindo a sustentabilidade do sistema produtivo (KLUTHCOUSKI, 1998; PAIXÃO e FONSECA, 2011).

A adoção da colheita mecanizada em substituição ao método de colheita tradicional, implica numa deposição média de 14 toneladas de palhada sobre a superfície do solo (PAES E OLIVEIRA, 2005). Embora os benefícios desta palha da cana-de-açúcar na manutenção da qualidade do solo agrícola sejam conhecidos através de diversas pesquisas, estudos de campo que avaliem seu impacto no incremento dos fluxos de GEE do solo ainda são exíguos.

MANECHINI et al. (2005), por exemplo, destacaram como principais benefícios da utilização da palhada, o aumento da qualidade do solo, da infiltração de água e da atividade microbiana do solo, além da redução no uso de herbicidas e proteção da superfície do solo contra a erosão causada pela

chuva e vento. Por outro lado, os mesmos autores verificaram alguns problemas com a presença da palha no solo, como o risco de incêndio após a colheita mecanizada, ocorrência de falhas causando redução na produtividade da cana e um aumento da população de pragas que abrigam e se multiplicam sob a palha.

Práticas rotineiras como a aplicação de adubação nitrogenada e vinhaça, são grandes influenciadores para a emissão de GEE's, principalmente de óxido nitroso. A vinhaça é um resíduo da destilação do vinho, proveniente da fermentação alcoólica. Devido a elevada carga orgânica e alto teor de potássio, é utilizada na fertirrigação de canaviais promovendo reciclagem de nutrientes em substituição aos fertilizantes minerais (ZOTELLI, 2012).

Estudos relacionados a influência da aplicação de vinhaça, em cultivos de cana de açúcar, na emissão de GEE's, são recentes, enquanto os relacionados à influência da adubação nitrogenada nas emissões são mais abordados há mais anos. Oliveira (2010), avaliou a contribuição da vinhaça na emissão de GEE e apresentou nos resultados que após a aplicação de 200 m³ ha⁻¹ de vinhaça no solo, o fator de emissão de N₂O para áreas de cana com queima e de cana crua foram de 0,68% e 0,44%, valores inferiores aos do IPCC (2006), que é de 1%.

Zotelli (2012), avaliando a emissão de GEE's do solo de cana-soca com diferentes quantidades de palha, com ou sem a aplicação de vinhaça, encontrou fator de emissão para o N₂O de 3,04% em relação ao nitrogênio do fertilizante e da vinhaça, no tratamento com a máxima quantidade de palha avaliada (21 t ha⁻¹) e 0,63% para o tratamento sem palha. Weier (1999), avaliando as emissões de óxido nitroso e metano em cultivos de cana de açúcar relacionadas aos níveis de adubação nitrogenada e variação de água no solo, encontrou maiores emissões de CH₄ relacionados aos tratamentos adubados com ureia, enquanto as maiores emissões de N₂O foram relacionados aos tratamentos adubados com sulfato de amônio.

5. CONCLUSÃO

A agricultura é um colaborador para as emissões de gases do efeito estufa, e se tratando dos cultivos de cana-de-açúcar, as práticas de manejo propiciam o aumento dessas emissões. É necessário que novos estudos sejam elaborados na busca de técnicas e alternativas para a minimização desse entrave.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALL, B.C.; SMITH, K.A. Gas movement. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Ed.). **Soil analysis: physical methods**, New York: Marcel Dekker, 1991. p. 511-549.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C.E. C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A.; NICOLOSO, R. S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na Agricultura Conservacionista. **Tópicos Ci. Solo**, 7:55-118, 2011

BEARE, M.H.; GREGORICH, E.G.; ST-GEORGES, P. Compaction effects on CO₂ and N₂O production during drying and rewetting of soil. **Soil Biology and Biochemistry** 41, 611-621, 2009.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília: Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. 2004. 161 p.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de seqüestro de carbono em diferentes biomas do Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 277-289, 2010.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEKI, 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, n. 1, 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, n. 6, p. 831-843, 2009.

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

CHAPIN, F.S.; MATSON, P.A.; MOONEY, H.A. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. New York: Springer, 2002. 436p.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar, Quarto Levantamento**. Brasília, 2014. Disponível em <http://www.conab.gov.br> >acesso em 04/09/2014.

DENMAN, K.L.; BRASSEUR, G.; CHIDTHAISONG, A.; CIAIS, P.; COX, P.M.; DICKINSON, R.E.; HAUGLUSTAINE, D.; HEINZE, C.; HOLLAND, E.; JACOB, D.; LOHMANN, U.; RAMACHANDRAN, S.; SILVA DIAS, P.L. da; WOFSY, S.C.; ZHANG, X. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007. p. 499-588.

FIRESTONE, M.K.; DAVIDSON, E.A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soils. In: ANDREAE, M.O., SCHIMMEL, D.S., eds. **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. New York, Wiley, 7-21, 1989.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNSTEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D.W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D.C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHUTZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Eds.), **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, USA, pp. 129-234, 2007.

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 153, n. 3/4, p. 347-352, 2009.

GUIMARÃES, G.P., MELLO, W.Z. de, 2008. Fluxos de óxido nitroso na interface ar-mar na Baía de Guanabara. **Química Nova** 31, 1613-1620.

HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P. J.; XIAOSU, D. **Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, 881 pp, 2001

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 4. SMITH, P,D; MARTINO, Z; (Ed.). Cambridge University Press, 2007. 92p

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use**. Hayama: National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006. v. 4. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/206gl/vol4.html> . Acesso em: 01 jun. 2013.

JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; DOS SANTOS, H.P.; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B. Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: Avaliação de práticas usadas na produção de grãos no Sul do Brasil. In: ALVES, B.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. O. (Ed.). **Manejo de sistemas agrícolas**. Genesis: Porto Alegre, 2006. p. 81-107.

KLUTHCOUSKI, J. **Efeito de manejo em alguns atributos de um Latossolo Roxo sob cerrado e nas características produtivas do milho, soja, arroz e feijão, após oito anos de plantio direto**. Piracicaba: ESALQ/USP, 179p. 1998. (Tese de Doutorado).

LEAL, M.R.L.; GALDOS, M.V.; SCARPARE, F.V.; SEABRA, J.E.A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C.O.F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass and Bioenergy**, v.53, p.11-19, 2013.

LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **European Journal of Soil Biology**, Braunscheig, v. 37, n. 1, 2001. p.25-50.

MACHADO, L. A.; HABIB, M. **Perspectivas e impactos da cultura de cana-de-açúcar no Brasil. 2009**. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Cana/index.htm>. Acesso em: 21/06/2013

MANECHINI, C., JUNIOR RICCI, A.; DONZELLI, J. L. Benefits and problems of trash left in the field. In: SULEIMAN, J. H.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO I. A. (ed.). **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**, Série Caminhos para Sustentabilidade 01, Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento (PNUD) – Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba, p.19-23. 217 p, 2005.

MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; ABER, J.D.; NEWKIRK, K.; LUX, H.; BOWLES, F.P.; CATRICALA, C.; MAGILL, A.; AHRENS, T.; MORRISSEAU, S. Soil warming and carbon cycle feedbacks to the climate system. **Science**, Washington, v. 298, p. 2173-2176, 2002.

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

NOLÊTO, D. H.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; BRAGA, D. L.; MOTA, P. R. D.; RIBEIRO, V. Q. Crescimento de cana-de-açúcar (2ª soca) sob diferentes níveis de fertirrigação nitrogenada. **Anais: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA** Cuiabá - MT, Brasil, 2011.

OLIVEIRA, M. E. D. de. **Estimativas de Emissões de N₂O e CH₄ na cultura da cana de açúcar no Estado de São Paulo**. Piracicaba- SP (Tese de Doutorado), 2014.

OLIVEIRA, B.G. **Vinhaça da cana-de-açúcar**: fluxos de gases de efeito estufa e comunidades de *archaea* presente no sedimento do canal de distribuição. 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

PAES, L. A. D., OLIVEIRA, M. A. Potential trash biomass of the sugar cane plant. In: SULEIMAN, J. H.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO I. A. (ed.). **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**, Série Caminhos para Sustentabilidade 01, Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento (PNUD) – Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba, p.19-23. 217 p, 2005.

PAIXÃO, M. C. S; FONSECA, M. B. A produção de etanol de cana no Estado da Paraíba: alternativas de sustentabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 24, p. 171-184, 2011.

REDIN, M.; SANTOS, G. de F. dos; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. de. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.

ROBERTSON, G. P.; GRACE, P. R. Greenhouse gas gasses in tropical and temperate agriculture: the need for a full cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, p. 51-63, 2004.

SILVA, R.R. DA, SILVA, M.L.N., CARDOSO, E.L., MOREIRA, F.M.S., CURTI, N., ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** n.34, 1585-1592, 2010

SINGH B.K.; BARDGETT R. D., SMITH P., REAY D.S. Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. **Nature Reviews Microbiology**, v. 8, 2010. p. 779–790.

SMITH, K.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K.E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, n. 4, p. 779-791, 2003.

SOUZA NETO, E. R. de. **Fluxo de óxido, metano e dióxido de carbono a partir de solo cultivado com cana de açúcar sob diversos tratos culturais**. Tese (Doutorado em ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, 2012.

STAUFFER, B.; FISCHER, G.; NEFTTEL, A.; OESCHGER, H. INCREASE OF ATMOSPHERIC METHANE RECORDED IN ANTARCTIC ICE CORE. **Science**, Washington, v. 229, n. 4720, p. 1386-1388, 1985.

WEIER, K.L. N₂O and CH₄ emission and CH₄ consumption in a sugarcane soil after variation in nitrogen and water application. **Soil Biology and Biochemistry**. n.31, 1931-1941, 1999.

XAVIER, M.E.R.; KERR, A.S. A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 3, p. 325-349, 2008.

ZOTELLI, L. **Palha e vinhaça:** Emissões de CO₂, N₂O e CH₄ em solo com cana-de-açúcar. 2012. 78p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2012.

Texto submetido à RBCLima em 03/08/2015