

XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

“Impactos da cana-de-açúcar e do seu manejo sobre a dinâmica do nitrogênio e fluxo de gases de efeito estufa provenientes do solo.”

CAIO TAVORA COELHO DA COSTA RACHID⁽¹⁾, MARISA DE CÁSSIA PICCOLO⁽²⁾ FABIANO DE CARVALHO BALIEIRO⁽³⁾ HEITOR LUIZ DA COSTA COUTINHO⁽⁴⁾ ERÁCLITO RODRIGUES DE SOUSA NETO⁽⁵⁾

RESUMO – A cultura de cana de açúcar possui grande importância econômica, e está se expandindo para a região de Cerrado. Com o objetivo de entender a influência da cultura no fluxo de gases de efeito estufa e no ciclo de nitrogênio, foram estudadas três áreas: de Cana Crua, de Cana Queimada e Cerrado. Os teores de amônio e nitrato do solo, as taxas líquidas de mineralização e nitrificação, bem como os fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O, e potencial de desnitrificação foram quantificados em cada situação. A utilização do solo sob Cerrado para plantio de cana de açúcar alterou quantitativa e qualitativamente os teores de nitrogênio mineral do solo, e os fluxos de CH₄, com reflexos expressivos sobre a taxa de desnitrificação potencial, mas pouco evidentes sobre os fluxos de N₂O e CO₂ no campo. As emissões de dióxido de carbono e óxido nitroso foram modificadas significativamente somente em escala espacial dentro das áreas com cana.

Palavras-Chave: (Cerrado; nitrogênio; gases de efeito estufa)

Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, com cerca de dois milhões de quilômetros quadrados, possui enorme diversidade e endemismo de espécies [1]. A grande ameaça do bioma é a expansão da fronteira agrícola e da pecuária, que tem ocorrido em larga escala nas últimas décadas [1]. O cultivo da cana de açúcar ocupou uma posição de destaque no cenário agrícola brasileiro em 2006, com o valor da produção alcançando aproximadamente dezessete bilhões de reais [2]. Sua área colhida está em contínua expansão, passando de cinco para sete milhões de hectares entre 2000 e 2007. De acordo com os primeiros dados da produção do último ano e estimativas futuras, o estado de Goiás, maior produtor da região Centro Oeste, deve apresentar em 2009, um crescimento de 43,6% em relação à área plantada de 2007, sendo esse aumento impulsionado principalmente pela demanda na produção de etanol [2]. Esse cenário segue a atual

tendência mundial de desenvolvimento e popularização dos bicompostíveis.

O “efeito estufa” é um processo físico natural, porém, a atividade antrópica vem modificando o balanço de energia do sistema terra-atmosfera [3]. Emissões de gases de efeito estufa (GEE), tais como CO₂, N₂O e CH₄ aumentaram muito em relação às eras pré-industriais, não apenas devido à utilização de combustíveis fósseis, mas também pelo aumento de frequência na queima de biomassa e mudança no uso do solo [3]. O uso e manejo do solo, também influenciam fortemente o ciclo do nitrogênio [4]. Estudar as transformações do nitrogênio são fundamentais para o entendimento, em longo prazo, do impacto do uso do solo e de determinadas práticas de manejo do solo nos estoques e fluxos desse elemento [5].

O presente trabalho tem como objetivo entender como a expansão da cana de açúcar no solo de Cerrado pode estar influenciando o fluxo de gases de efeito estufa e o ciclo de nitrogênio.

Material e Métodos

A. Área de Estudo e Coletas

As áreas de estudo estão localizadas na Fazenda Itamaraty (17° 55' 35" S 50° 08' 36" O), pertencentes à Usina Vale do Verdão S.A. no município de Porteirão, Goiás, [clima da região é do tipo Aw (Köppen)]. Foram selecionadas duas áreas sob plantio de cana a cerca de dez anos: uma área com colheita manual e histórico de queima mais recente e intenso (11 meses), denominada Cana Queimada; e outra com colheita mecânica e histórico de queimada mais antigo (3 anos), denominada Cana Crua. Foi ainda escolhida uma área de Cerrado nativo, contígua às áreas de cana que foi utilizada como referência nesse estudo, uma vez que representa o estado natural do bioma. Para melhor caracterização, foi feita a análise granulométrica das áreas. A classificação preliminar dos solos da área indica Latossolos vermelhos distróficos.

B. Nitrogênio Inorgânico

As análises de N inorgânico do solo (0-10cm) foram realizadas em cinco amostras compostas de cinco sub-amostras. No mesmo dia da amostragem o nitrogênio

⁽¹⁾ Primeiro autor é Mestrando do PPG do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Avenida Centenário, 303, Piracicaba-SP, CEP 13400-970.

⁽²⁾ Segundo Autor é Professora Associada do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Avenida Centenário, 303, Piracicaba-SP, CEP 13400-970.

⁽³⁾ Terceiro Autor é Pesquisador da EMBRAPA Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro-RJ, CEP 22460-000

⁽⁴⁾ Quarto Autor é Pesquisador da EMBRAPA Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, Rio de Janeiro-RJ, CEP 22460-000

⁽⁵⁾ Quinto autor é Doutorando do PPG do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Avenida Centenário, 303, Piracicaba-SP, CEP 13400-970.

inorgânico do solo foi extraído com solução de KCl (2N) para o tempo 0 e após 7 dias de incubação das amostras [6]. Ao filtrado foi adicionado 0,1 ml fenil acetato de mercúrio para preservar as amostras. No extrato, as concentrações de amônio (NH_4^+) e de nitrato (NO_3^-) foram determinadas pelo sistema automático de injeção de fluxo contínuo (FIA). O NH_4^+ foi quantificado colorimetricamente pelo método Solorzano e o NO_3^- obtido por condutivimetria na forma de NO_2^- , após a redução com um catalisador a base de cádmio. A taxa líquida de mineralização do N do solo foi calculada pela diferença entre a concentração do $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ final menos a inicial (7 dias de incubação). A taxa líquida de nitrificação do N do solo foi calculada pela diferença entre a concentração de NO_3^- final menos a inicial no tempo de incubação. Foi feita a análise de porcentagem de massa de água para os cálculos.

C. Fluxo de Gases

Para o cálculo dos fluxos de gases as amostras foram coletadas com uso de câmaras estáticas de volume conhecido. Foram instaladas seis câmaras por tratamento, e as coletas foram feitas uma vez por dia, durante 72 horas. Nas áreas de cana, foram colocadas duas câmaras sobre as linhas de plantio, duas nas regiões de entrelinhas (0,45 m da linha) e duas na região intermediária da linha e entre linha (distante 0,225 m da linha). As concentrações foram determinadas por cromatografia gasosa (Shimadzu GC17A), e os fluxos dos gases foram calculados pela alteração linear da concentração dos gases no interior das câmaras, em relação ao tempo de incubação. Foi ainda medida a temperatura do ar e do solo nas profundidades 0, 2, 5 e 10 cm e também a porcentagem de água do solo (0-10cm).

D. Taxas de Desnitrificação Potencial do Solo

Ensaio de desnitrificação com amostras de solo dos três tratamentos foram realizados como descrito por Groffman [67]. Cinquenta gramas de amostra de solo fresco foram incubados em frascos de vidro de volumes conhecidos, hermeticamente fechados, acrescidos de solução nutritiva de NO_3^- (100 mg N kg^{-1}), dextrose (40 mg kg^{-1}) e Clorafenicol (10 mg kg^{-1}). A atmosfera do frasco foi substituída por uma de nitrogênio puro e adicionada de acetileno, em aproximadamente 10% do volume. Foram retiradas amostras de gás nos tempos 0, 30, 70 e 90 minutos. Os ensaios foram feitos em duplicata para o tratamento Cana Crua e triplicata para o tratamento Cerrado e Cana Queimada. As amostras foram analisadas por cromatografia gasosa. Para os cálculos foram usados dados de densidade do solo.

E. Análise Estatística dos Dados

Todos os dados foram testados em relação à normalidade e homocedasticidade. Quando respeitadas essas condições, foi executada a análise de variância seguida do teste de Tukey para diferenciação de médias nos casos de diferenças significativas. Os dados

que não cumpriam uma das duas condições acima, mesmo após transformações, foram submetidos aos testes não paramétricos Kruskal-Wallis Anova & Median Test seguidos do teste Komolgorov-Smirnov dois a dois para diferenciação de médias nos casos de diferenças significativas. Todos os testes foram feitos com a utilização do programa STATISTICA 8 (StatSoft).

Resultados

No Cerrado foi encontrada predominância da forma mineral amônio sobre nitrato no solo, diferentemente das áreas manejadas com cana-de-açúcar, embora apenas na área manejada com queima a diferença entre essas formas minerais tenha sido significativa (Figura 1). O Teor de amônio sob solo nativo foi significativamente superior ao sob área de Cana Queimada, mas similar ao observado sob área de Cana Crua. Já o teor de nitrato do Cerrado foi menor que o encontrado nos manejos com Cana, que não diferiram entre si.

As taxas líquidas de mineralização e nitrificação do N do solo, (Tabela 2) foram estatisticamente iguais entre os diferentes tratamentos.

Os fluxos de CO_2 e de N_2O tiveram um comportamento relativamente semelhante (Figuras 2 e 3). Não foi possível verificar diferenças estatísticas no fluxo desses gases entre os diferentes usos do solo, no entanto, uma emissão maior foi detectada nas câmaras colocadas sobre a linha de plantio em relação à região de entre linha com valores intermediários nas câmaras colocadas entre as duas posições (Figuras 4 e 5). Para o metano não houve diferenças significativas na linha e entre linha (Figura 7), mas houveram diferenças entre o Cerrado e as áreas com cana (Figura 6).

O ensaio de desnitrificação potencial revelou uma grande diferença entre o potencial de desnitrificação da área natural e as áreas com cana. O Cerrado apresentou uma taxa de desnitrificação potencial muito superior (2,58 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) às áreas cultivadas, que não diferiram entre si (Cana Crua e Cana Queima 0,09 e 0,12 $\mu\text{g.g solo seco}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente).

Discussão

O uso da terra alterou quantitativa e qualitativamente a reserva de N mineral. Embora a predominância do amônio sobre o nitrato em solo de Cerrado natural seja comum [4] esse fato não foi detectado para as áreas de cultivo, corroborando com outros autores [4, 9]. É possível notar também, um aumento geral no teor de nitrogênio mineral nas áreas de cultivo, o que se deve, provavelmente, a fertilização das áreas.

Não foi possível identificar alterações significativas nas taxas líquidas de mineralização e nitrificação do N devido à grande variação nos dados nas áreas de cultivo. No entanto, existe uma tendência de diminuição de ambas as taxas, para as áreas cultivadas. Em geral, uma queda nas taxas é verificada em áreas que sofrem efeito de queimadas [10], e ambas as áreas possuem um histórico de queimadas recentes, sendo que a área denominada Cana Queimada sofreu com eventos de queima mais intensos e recentes do que a área com Cana Crua.

De uma forma geral, o fluxo de CO₂ foi bastante similar em todas as áreas, No entanto, dentro de uma mesma área ocorreu um fluxo maior na região de linha, em relação à entrelinha, provavelmente devido à respiração das raízes e à maior atividade microbiana na região rizosférica. As emissões de óxido nitroso também foram bastante semelhantes nas três áreas, porém com uma variação maior entre as câmaras. Em uma mesma área, emissões significativamente maiores foram mensuradas na região de linha em relação à entrelinha, provavelmente devido também à maior atividade microbiana nessa região e localização da adubação.

Características de teores de argila, temperatura e densidade das áreas, na época da coleta de amostras, estão resumidas na Tabela 1. Diferenças significativas entre as áreas foram observadas para todas essas características, com exceção da umidade. No entanto, não houve diferenças significativas entre tratamentos nos fluxos de CO₂ e NO₂ provenientes do solo, evidenciando que, para estes casos, no momento das coletas, outros fatores foram mais relevantes na regulação dos fluxos desses gases.

O fluxo de metano foi alterado de forma significativa com a mudança do uso do solo. No Cerrado foram observados valores médios de fluxo negativo, o que evidência uma absorção de CH₄ da atmosfera para o solo. Já o solo sob cana apresentou fluxos médios positivos, funcionando como uma fonte de CH₄ do solo para atmosfera. Essa inversão está de acordo com o observado por outros autores [11].

Pelo ensaio de laboratório de desnitrificação potencial foi observado que a introdução de uma monocultura associada à prática de queima provocaram uma redução na diversidade e, ou atividade microbiana responsável pelo processo de desnitrificação. No entanto, os reflexos dessa alteração não foram mensurados nos fluxos de óxido nitroso medidos diretamente do solo. Isso mostra que a produção de óxido nitroso no caso destas áreas não está sendo limitada pela atividade microbiana, mas por outros fatores, que podem ser umidade, disponibilidade de nitrogênio, temperatura, entre outros.

Conclusões

A utilização do Cerrado para plantio de cana de açúcar alterou quantitativa e qualitativamente os teores de nitrogênio mineral do solo, com reflexos

expressivos sobre a desnitrificação potencial (estudo de laboratório), mas pouco evidentes sobre os fluxos de N₂O no solo (estudo de campo); Os fluxos de metano foram alterados pelo uso da terra, e as emissões de dióxido de carbono foram modificadas significativamente em escala espacial dentro das áreas com cana, se concentrado em maior quantidade na região rizosférica.

Maiores estudos, acerca do impacto causado por essa cultura na diversidade bacteriana nitrificante e desnitrificante são necessárias para melhor entendimento das alterações nos teores de nitrogênio e principalmente no potencial de desnitrificação.

Referências

- [1] CONSERVATION INTERNATIONAL – *Biodiversity Hotspots*: <http://www.biodiversityhotspots.org> acesso em 13/03/2008.
- [2] IBGE, 2007, 2008 e 2009 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. www.ibge.com.br, acesso em 05/2009.
- [3] IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E.Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 976pp.
- [4] BUSTAMANTE, M.M.C.; MEDINA, E.; ASNER, G.P.; NARDOTO, G.B.; GARCIA-MONTIEL, D.C. 2006, Nitrogen Cycling in tropical and temperate savannas. *Biogeochemistry* 79:209-237.
- [5] PICCOLO, M.C.; NEILL, C.; CERRI, C.C. 1994, Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. *Plant and Soil*, 162:61-70.
- [6] NEILL, C.; PICCOLO, M.C.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. 1995, Nitrogen dynamics in soils of forest and active pastures in the Western Brazilian Amazon Basin. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(29):1167-1175.
- [7] ROBERTSON, G.P.; BLEDSOE, C.S.; COLEMAN, D.C.; SOLLINS, P. 1999, *Standard Soil Methods for Long Term Ecological Research*. Oxford University Press, Nova York. 486 p.
- [8] SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; PEREIRA, W. L. M., 2005. *Physical properties of soils under intensive agricultural management*. *Sci. Agric.* 62(2):165-172.
- [9] D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. 2004, Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, 32(2):179-186.
- [10] CASTALDI, S.; ARAGOSA, D. 2002, Factors influencing nitrification and denitrification variability in a natural and fire disturbed Mediterranean shrubland. *Biol Fertil Soils* 36:418:425.
- [11] CASTALDI, S.; ERMICE, A.; STRUMIA, S 2006, Fluxes of N₂O and CH₄ from soils of savannas and seasonally-dry ecosystems. 33:401-415.

Tabela 1 – Quantidade de argila, densidade, temperatura média e umidade do solo (0-10cm) nas três áreas estudadas. Letras iguais representam diferenças não significativas entre os tratamentos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamento	Argila (%)	Densidade (g/cm ³)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
Cerrado	38 ^b	0,96 ^b	23,6 ^b	29,2 ^a
Cana Crua	48 ^a	1,25 ^a	25,3 ^b	26,2 ^a
Cana Queimada	32 ^c	1,31 ^a	29,1 ^a	27,6 ^a

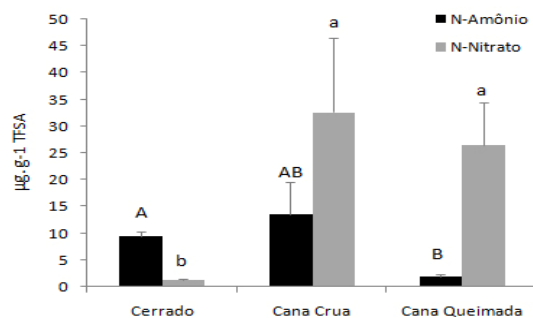


Figura 1 – Teores de amônio e nitrato nos três tratamentos. Letras maiúsculas diferentes representam alterações significativas (Kolomolov-Smirnov, 5%) entre os teores de amônio (n=15) dos tratamentos, letras minúsculas diferentes (Kolomolov-Smirnov, 5%) representam alterações significativas entre os teores de nitrato dos tratamentos.

Tabela 2 – Taxas líquidas médias (n=15) de mineralização e nitrificação obtidas com incubação de 7 dias, em $\mu\text{g.g}^{-1} \text{TFSA.dia}^{-1}$. Letras iguais representam diferenças não significativas entre os tratamentos (Kolomolov-Smirnov, 5%).

Treatamento	Mineralização	Nitrificação
Cerrado	2,63 ^a	2,57 ^a
Cana Crua	-1,91 ^a	-0,53 ^a
Cana Queimada	-1,55 ^a	-1,56 ^a

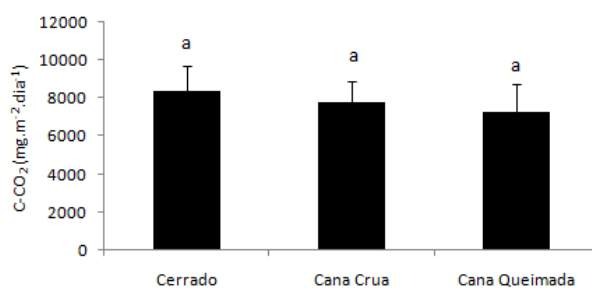


Figura 2 - Fluxo de C-CO₂ (m ± dp) do solo sob Cerrado (n=18), Cana Queimada (n=18), e Cana Crua (n=12). Letras iguais representam diferenças não significativas entre os tratamentos, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

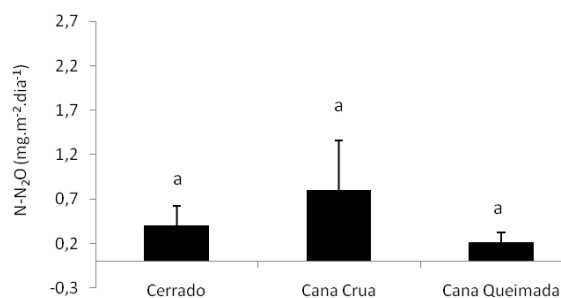


Figura 3 - Fluxo de N₂O em C-equivalente (m ± dp) do solo sob Cerrado (n=18), Cana Queimada (n=18), e Cana Crua (n=12). Letras iguais representam diferenças não significativas entre os tratamentos pelo teste de Kolomolov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade.

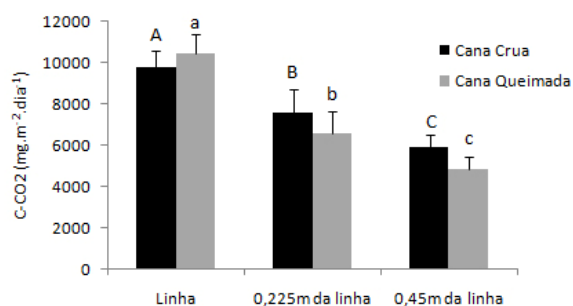


Figura 4 – Fluxo de C-CO₂ (m ± dp) do solo sob Cana Queimada (n=6 para cada posição) e Cana Crua (n=4 para cada posição), na linha de plantio, a 0,225m da linha e 0,45m da linha (entre linha). Letras iguais [maiúsculas (cana crua), minúsculas (cana queimada)] não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

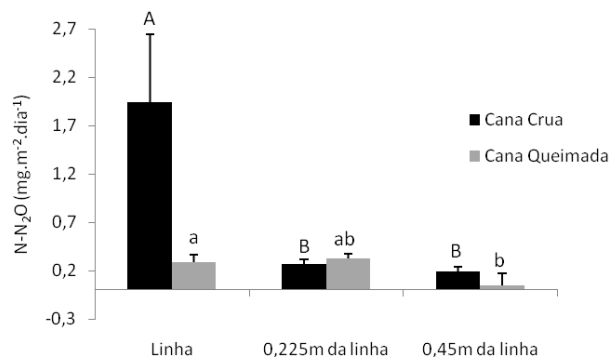


Figura 5 – Fluxo de N₂O em C-equivalente (m ± dp) do solo sob Cane Queimada (n=6 para cada posição) e Cane Crua (n=4 para cada posição), na linha de plantio, a 0,225m da linha e 0,45m da linha (entre linha). Letras iguais [maiúsculas (cana crua), minúsculas (cana queimada)] não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kolomolov-Smirnov (5% de probabilidade).

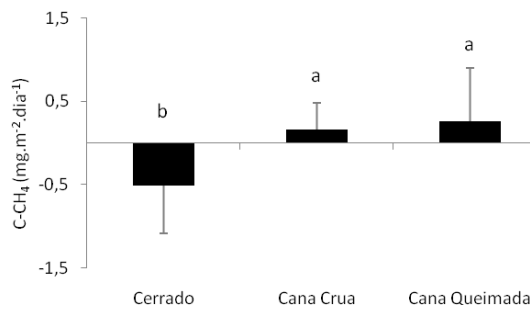


Figura 6 - Fluxo de CH₄ em C-equivalente (m ± dp) do solo sob Cerrado (n=18), Cane Queimada (n=18), e Cane Crua (n=12). Letras iguais representam diferenças não significativas entre os tratamentos pelo teste de Kolomolov-Smirnov (5% de probabilidade).

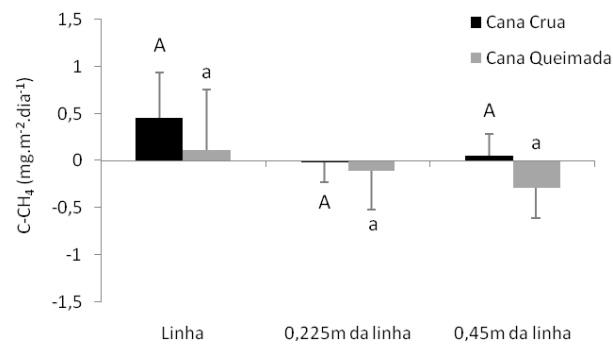


Figura 7 – Fluxo de CH₄ em C-equivalente (m ± dp) do solo sob Cane Queimada (n=6 para cada posição) e Cane Crua (n=4 para cada posição), na linha de plantio, a 0,225m da linha e 0,45m da linha (entre linha). Letras iguais [maiúsculas (cana crua), minúsculas (cana queimada)] não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Kolomolov-Smirnov (5% de probabilidade).

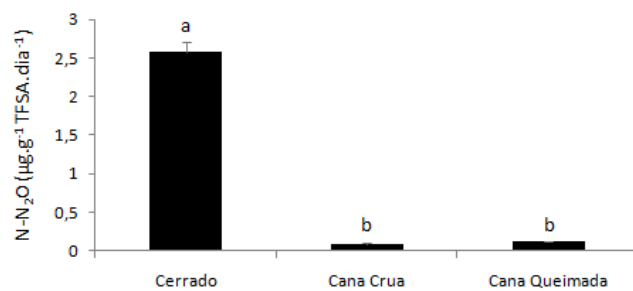


Figura 8 – Taxas de desnitrificação potencial (m ± dp) do solo (0-10 cm) sob Cerrado (n=3), Cane Crua (n=2) e Cane Queimada (n=3), em experimento de incubação no laboratório. Letras iguais representam diferenças não significativas significativas entre os tratamentos, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.