



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**EFEITOS DO USO DE RESÍDUOS LIGNO-CELULÓSICOS CARBONIZADOS
(*BIOCHAR*) NAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO**

Carlos F. Brazão Vieira Alho

Orientador: Etelvino Henrique Novotny

**Seropédica, RJ
Janeiro/2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**EFEITOS DO USO DE RESÍDUOS LIGNO-CELULÓSICOS CARBONIZADOS
(*BIOCHAR*) NAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO**

Carlos F. Brazão Vieira Alho

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Orientador: Etelvino Henrique Novotny

**Seropédica, RJ
Janeiro/2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**EFEITOS DO USO DE RESÍDUOS LIGNO-CELULÓSICOS CARBONIZADOS
(*BIOCHAR*) NAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO**

Carlos F. Brazão Vieira Alho

Aprovada em 14 de Janeiro de 2010

Banca Examinadora

**Dr. Etelvino Henrique Novotny (Embrapa Solos)
Orientador**

**Prof.^a MSc. Natália Dias de Souza (UFFRJ/IF/DPF)
Titular**

**Eng.^o Anderson Ribeiro Diniz
Titular**

**Seropédica, RJ
Janeiro/2010**

DEDICATÓRIA

À minha família, em especial, meus pais e minhas irmãs, pela confiança, incentivo e apoio incondicionais.

À minha companheira Celeste, pelo amor, carinho, incentivo e momentos maravilhosos em convivência.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Etelvino Henrique Novotny, por toda orientação, por acreditar no meu potencial, por sua amizade, confiança e por compartilhar de experiências e ensinamentos, que contribuíram muito para a minha formação.

Ao pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Bruno José Rodrigues Alves, e a todos do grupo de Ciclagem de Nutrientes, pela disponibilidade e cuja ajuda foi indispensável na elaboração deste trabalho.

Ao estudante de Agronomia, Abmael da Silva Cardoso, pelo auxílio e condução do experimento.

Aos amigos Patty e Raul, pelos bons momentos de convivência.

À turma 2005-I de Engenharia Florestal da UFRRJ, por todos os bons momentos vivenciados ao longo da graduação.

À UFRRJ, por ter sido minha segunda casa nesses últimos 5 anos.

Aos professores da UFRRJ, pelos ensinamentos.

Ao CNPq pelo suporte financeiro.

E a todos que participaram de alguma forma, desta etapa da minha vida.

RESUMO

O uso alternativo de resíduos ligno-celulósicos pode contribuir para a eficiência no uso dos recursos florestais. E ainda, em função das mudanças climáticas ocasionadas pelo aquecimento global, a busca por soluções que visem mitigar as emissões de gases de efeito estufa estão sendo estudadas. Dessa forma, neste trabalho foi realizado um estudo sobre os efeitos da aplicação de resíduos ligno-celulósicos carbonizados (*biochar*) nas emissões de óxido nitroso (N_2O) do solo. Para o experimento, utilizou-se amostras de solo proveniente de uma área de Planossolo Háplico série Ecologia e carvão vegetal comercial triturado e peneirado em malha de 2 mm, como material ligno-celulósico carbonizado (*biochar*). Foram realizados quatro tratamentos de diferentes doses de aplicação de *biochar*, sendo: zero (Testemunha), 3, 6 e 9 $Mg.ha^{-1}$. Os fluxos de N_2O variaram ao longo do tempo, ocorrendo picos de emissão sempre após as correções de umidade. Os tratamentos apresentaram um efeito cúbico sobre as emissões, com um ligeiro aumento na primeira dose seguido de um decréscimo mais acentuado nas doses seguintes. Dessa forma, os tratamentos com doses equivalentes a 6 $Mg.ha^{-1}$ e 9 $Mg.ha^{-1}$ apresentaram efeito mitigador das emissões de N_2O do solo, com valores 29 e 49% menores que a testemunha, respectivamente, enquanto o tratamento com dose equivalente a 3 $Mg.ha^{-1}$ apresentou um acréscimo de 32% nas emissões.

Palavras-chaves: resíduos ligno-celulósicos, *biochar*, óxido nitroso

ABSTRACT

The alternative use of ligno-cellulosic residues may contribute to the efficient use of forest resources. Concerning on the climate change caused by global warming, the search for solutions aimed at mitigating greenhouse gases emissions are being studied. Thus, this study was carried out to evaluate the charred ligno-cellulosic residues (*biochar*) application effects in the nitrous oxide (N₂O) soil emissions. For these experiment, soil samples from an area of Planossolo Háplico série Ecologia and powdered (< 2 mm) commercial charcoal, as charred ligno-cellulosic material (*biochar*) were used. Four treatments were performed with different *biochar* application doses: zero (Control), 3, 6 and 9 Mg.ha⁻¹. The N₂O fluxes varied during the experiment, occurring peaks of emissions after moisture corrections. The treatments showed a cubic effect on the emissions, with a slight increase in the first dose, followed by a sharper decrease at the subsequent doses. The treatment with 6 Mg.ha⁻¹ and 9 Mg.ha⁻¹ showed a mitigation effect on the N₂O soil emissions, with values 29 and 49% smaller than the control, respectively, whereas treatment with 3 Mg.ha⁻¹ showed an increase of 32% on the emissions.

Keywords: ligno-cellulosic residues, *biochar*, nitrous oxide

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Resíduos Ligno-celulósicos.....	2
2.2 <i>Biochar</i>	2
2.3 Óxido Nitroso	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
5. CONCLUSÃO.....	9
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	10
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução do consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil entre 1986-1996.....	5
Figura 2: Sistema para estudo do fluxo de N ₂ O.	6
Figura 3: Emissões diárias de N ₂ O durante o experimento.....	7
Figura 4: Emissão de N ₂ O encontrada para os diferentes tratamentos.....	8

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Rendimentos dos produtos típicos obtidos por diferentes métodos de pirólise de madeira (base seca)..... 3

Tabela 2: Potencial em aquecimento global em relação ao CO₂ (base em massa) 4

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o grande volume de resíduos ligno-celulósicos gerados por indústrias de base florestal tem grande importância, em função de baixos rendimentos nos processos de exploração e produção. Atualmente, esses resíduos são utilizados principalmente como fonte de energia complementar nos processos produtivos.

No entanto, o uso alternativo de resíduos ligno-celulósicos pode contribuir para a eficiência no uso dos recursos florestais, como estratégia econômica, agregando valor aos sub-produtos, ajudando a solucionar problemas de passivos ambientais e gerando empregos.

A produção nacional de carvão vegetal, considerando-se a variação de estoques, perdas e ajustes, é aproximadamente equivalente ao consumo, haja vista que as exportações e as importações são praticamente inexpressivas e quase se equivalem. A maior parcela de carvão vegetal produzida e consumida no país provém de florestas plantadas (74%) contra 26% de florestas nativas (AMS, 2004).

Dentre os usos alternativos de resíduos ligno-celulósicos, em função das mudanças climáticas ocasionadas pelo aquecimento global, a busca por soluções que visem mitigar as emissões de gases de efeito estufa, dentre eles o óxido nitroso (N_2O), como a aplicação de resíduos ligno-celulósicos carbonizados (*biochar*) no solo, estão sendo estudadas.

Na reunião da Convenção Básica das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), realizada em Bonn-Alemanha, em maio de 2009, o uso agrícola de materiais carbonizados como estratégia de mitigação das emissões de gases do efeito estufa foi incluído no documento final, a ser discutido em Copenhagen-Dinamarca em dezembro de 2009. No entanto, os aspectos políticos da última reunião em Copenhagen, foram prioritários. Dessa forma, as discussões em prol da pesquisa, e principalmente, das estratégias e práticas para mitigação das emissões de gases de efeito estufa não evoluíram (COP15, 2009).

Este trabalho tem como objetivo estudar os efeitos da aplicação de carvão vegetal como material ligno-celulósico carbonizado (*biochar*) nas emissões de N_2O do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resíduos Ligno-celulósicos

Resíduos ligno-celulósicos são aqueles que apresentam lignina e celulose em suas constituições químicas, sendo em sua maior parte, sub-produtos das atividades de exploração e produção nas indústrias de base florestal. Podem ser reciclados e reutilizados como matéria-prima em um processo diferente daquele de origem, como, por exemplo, serem transformados em partículas e constituir-se em painéis à base de madeira. Podem ser também utilizados energeticamente na produção de calor, de vapor ou de eletricidade em grupos geradores ou termelétricas. Outro aproveitamento desses resíduos é sob a forma de combustível sólido, como o carvão vegetal que é utilizado nas indústrias siderúrgicas como termo-redutor ou como carvão ativo (QUIRINO, 2003).

O aumento da eficiência do processamento industrial da madeira teria efeito direto na quantidade da área florestada necessária para manter os atuais níveis de produção (UHL & ALMEIDA, 1996). Cerca de 35% de cada tora é transformada em produto serrado, mas essa eficiência poderia ser aumentada para cerca de 55% através de melhoramento simples na manutenção de máquinas e no treinamento de mão-de-obra (SECTAM, 2002). De acordo com estes dados, 65% da tora é desperdiçada, transformando-se em resíduos.

A indústria brasileira produziu no ano de 2000 cerca de 166,31 milhões de metros cúbicos de madeira, de reflorestamento ou nativa, onde pelo menos a metade deste volume foi transformada em resíduo (CARVALHO & CÂMARA, 2002).

A disponibilização dos resíduos, sem uma destinação adequada, gera graves problemas ambientais, como o assoreamento e poluição dos rios; a poluição do ar, em função da combustão para eliminação desse material, que poderia ser destinado para outros fins; bem como o desperdício de matéria-prima aproveitada na indústria (BRAND *et al.*, 2002).

A Legislação Brasileira aponta a auto-responsabilidade das empresas na remoção, estocagem e tratamento de resíduos gerados pelos processos de produção, a partir de procedimentos adequados para a conservação do ambiente (LEEUWSTEIN, 2001).

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, a própria atividade poluidora deverá promover o tratamento e disposição final de seus resíduos, logo, o empreendimento não deverá colocar dificuldades para realizar determinadas ações, pois é seu dever fazê-las. Dessa forma, serrarias, por exemplo, deverão identificar empreendimentos que utilizem, ou possam vir a utilizar, resíduos de madeira em seus processos produtivos como matéria-prima.

2.2 Biochar

O termo *biochar* foi proposto recentemente em função de questões de manejo do solo e sequestro de carbono (LEHMANN *et al.*, 2006), a partir do estudo da matéria orgânica das Terras Pretas de Índios.

As Terras Pretas de Índios são solos de origem pré-Colombiana, resultado da atividade dos povos indígenas. Entretanto, não é claro se é resultado de um processo intencional de melhoria do solo, ou sub-produto das atividades agrícolas e de habitação desses povos. (LEHMANN *et al.*, 2003)

Esses solos têm um horizonte superficial arqueo-antropogênico, de profundidade variável, enriquecido em matéria orgânica e que contém peças de cerâmica ou artefatos líticos, assim como outras evidências de atividade humana (KÄMPF *et al.*, 2003), como grandes quantidades de cinzas, carvão e de diversos elementos químicos, tais como: P, Mg, Zn, Cu, Ca, Sr e Ba, que representam a assinatura geoquímica da ocupação humana (COSTA

& KERN, 1999). Esses acúmulos provavelmente contribuíram de forma decisiva para a formação desses solos férteis, que apresentam maiores valores de: pH, Ca, Mg, P, Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e saturação de bases (V%), em relação aos solos adjacentes.

A alta fertilidade das Terras Pretas de Índios, e particularmente sua sustentabilidade, é atribuída aos seus elevados teores de matéria orgânica e das propriedades físico-químicas desta. Esses solos têm conteúdos de carbono de até 150 g.kg⁻¹ de solo, enquanto que os solos adjacentes esses valores são de apenas 20-30 g.kg⁻¹ (SOMBROEK *et al.*, 1993; WOODS & McCANN, 1999; GLASER *et al.*, 2001). Adicionalmente, a camada enriquecida de carbono pode ser de até 200 cm, com média de 40-50 cm, enquanto que nos solos adjacentes se limita aos primeiros 10-20 cm. Assim, o estoque de carbono nas Terras Pretas de Índios pode ter uma ordem de magnitude maior e ser até seis vezes mais estável que nos solos adjacentes. Esse carbono adicional está principalmente na forma de carbono pirogênico (GLASER *et al.*, 2001).

O carbono pirogênico é derivado da carbonização (pirólise) parcial ou total, principalmente de materiais ligno-celulósicos, sendo composto de unidades poliaromáticas condensadas, deficientes em hidrogênio e com diferentes tamanhos e nível organizacional (KRAMER *et al.*, 2004). Esse material é altamente resistente à oxidação térmica, química e à foto-oxidação (SKJEMSTAD *et al.*, 1996), e devido a essa recalcitrância, sua incorporação ao solo é um importante mecanismo de seqüestro de carbono (GLASER *et al.*, 2001; MASIELLO, 2004), principalmente em solos tropicais sujeitos às condições climáticas que favorecem a mineralização da matéria orgânica e onde a fração argila dos solos apresenta baixos valores de CTC (NOVOTNY, 2007).

A composição da biomassa apresenta um papel importante na distribuição dos produtos de pirólise, onde cada material exibe uma característica particular quando é pirolisado, devido à proporção dos componentes que o constituem. Cada um dos métodos de conversão termoquímica da biomassa conduz a um conjunto de produtos, e utilizam diferentes configurações de equipamentos, operando de modo particular (ROCHA *et al.*, 2004). (Tabela 1).

Tabela 1: Rendimentos dos produtos típicos obtidos por diferentes métodos de pirólise de madeira (base seca).

Métodos	Rendimentos em:		
	Líquido	Carvão	Gás
Pirólise rápida	75%	12%	13%
Carbonização	30%	35%	35%
Gaseificação	5%	10%	85%

Fonte: (BRIDGWATER, 2001).

O termo *biochar*, é usado para materiais ligno-celulósicos carbonizados por meio da pirólise, que consiste da decomposição térmica a temperaturas em geral, menores que 700 °C, em ambientes com pouco ou nenhum suprimento de oxigênio (O₂) e são produzidos para serem aplicados ao solo de uma forma deliberada, com a intenção de melhorar as suas

propriedades químicas, físicas e biológicas. Isto distingue *biochar* de carvão, que é utilizado como combustível, para aquecimento, como filtro e como redutor em siderurgias (LEHMANN & JOSEPH, 2009).

As propriedades físicas e químicas específicas do *biochar*, tais como alta porosidade (LIANG *et al.*, 2006), que auxilia na retenção de água (LEHMANN *et al.*, 2003), sua natureza particulada (SKJEMSTAD *et al.*, 1996; LEHMANN *et al.*, 2005), em combinação com sua estrutura química específica (BALDOCK & SMERNIK, 2002) prevêm maior resistência à degradação microbiana no solo do que outros compostos orgânicos (SHINDO, 1991; CHENG *et al.*, 2008).

Dessa forma, em concordância com as questões atuais de mudanças climáticas, o uso de *biochar* é uma proposta de manejo sustentável, por melhorar as propriedades químicas (como aumento da CTC), físicas (como aumento na retenção de água) e biológicas (como a promoção do desenvolvimento de microorganismos benéficos), além de sequestrar carbono no solo.

2.3 Óxido Nitroso

O óxido nitroso (N₂O), juntamente com o gás carbônico (CO₂) e o metano (CH₄), é considerado um gás de grande importância na contribuição para o efeito estufa antrópico.

Embora o CO₂ seja emitido em maior quantidade, os demais gases tem maior potencial em aquecimento global. Dessa forma, o potencial em aquecimento global do N₂O é 296 vezes maior que o potencial em aquecimento global do CO₂, convencionado com valor igual a um (1) e considerando um período de 100 anos (ALBRITTON, 1996) (Tabela 1).

Tabela 2: Potencial em aquecimento global em relação ao CO₂ (base em massa).

Gases	Tempo de vida (anos)	Potencial em aquecimento global		
		20 anos	100 anos	500 anos
Gás Carbônico (CO₂)	Variável	1	1	1
Metano (CH₄)	12	62	23	7
Óxido Nitroso (N₂O)	114	275	296	156

Fonte: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2003.

Por suas naturezas químicas, principalmente estruturas moleculares, esses gases, como outros gases de efeito estufa, absorvem uma fração significativa da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. Essa absorção implica num aumento dos movimentos vibracionais e rotacionais das moléculas desses gases, que por sua vez, também passam a irradiar no infravermelho e essa radiação se espalha em várias direções, inclusive retornando à superfície terrestre. (TOLENTINO & ROCHA-FILHO, 1998).

Outro aspecto importante, é o aumento da concentração atmosférica de N₂O, na ordem de 0,2 a 0,3% anuais, devido ao aumento das emissões ocasionadas principalmente por atividades humanas. Estima-se que das emissões provocadas por ações antrópicas, 80% sejam oriundas da agricultura (BEAUCHAMP, 1997), muito em função do uso intensivo de fertilizantes nitrogenados (Figura 1).

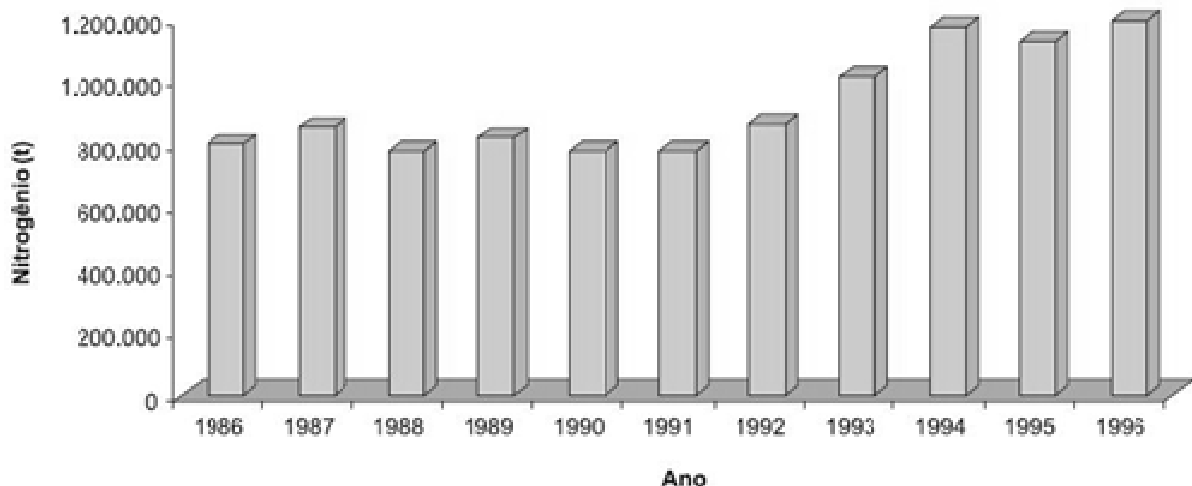


Figura 1: Evolução do consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil entre 1986-1996.
Fonte: ANDA (Agência Nacional pra Difusão de Adubos).

Em solos agrícolas, 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 amônio (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, já que no interior dos agregados podem existir microssítios de aerobiose e anaerobiose (GIACOMINI *et al.*, 2006).

Solos de textura arenosa, favorecem a nitrificação, enquanto solos argilosos, principalmente, quando a umidade é elevada e o NO_3^- é a principal forma de nitrogênio do solo, predomina a desnitrificação (DAVIDSON *et al.*, 2001).

A temperatura e a umidade do solo afetam diretamente os processos de nitrificação e desnitrificação e estão entre os fatores abióticos mais influenciados pelos sistemas de manejo do solo. No plantio direto, por exemplo, em que resíduos culturais são mantidos na superfície do solo, há redução na evaporação da água, o que resulta em maiores valores de umidade do solo em relação aos sistemas que utilizam o revolvimento do solo. Além disso, no plantio direto, a densidade do solo é normalmente maior, o que poderá favorecer o aparecimento de microssítios de anaerobiose, favorecendo a atividade das bactérias desnitrificantes e, conseqüentemente, aumentando o potencial de desnitrificação (DORAN & LINN, 1994).

Vários autores propuseram práticas para a redução das emissões de N_2O oriundos da indústria (WERTHER, 1995; WERTHER *et al.*, 1995; SÄNGER *et al.*, 2001), porém para o setor agro-florestal, estudos com esse objetivo ainda são incipientes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi realizado na área experimental da Embrapa Agrobiologia, em condições controladas, no verão de 2008/2009, utilizando-se amostras de solo proveniente de uma área de Planossolo Háplico série Ecologia e carvão vegetal comercial triturado e peneirado em malha de 2 mm, como material ligno-celulósico carbonizado (*biochar*).

O estudo foi feito em vasos, com capacidade para 5 kg, em delineamento experimental inteiramente ao acaso, com 5 repetições. Os tratamentos foram equivalentes a zero (Testemunha), 3, 6 e 9 Mg.ha⁻¹ de *biochar*.

As doses referentes aos tratamentos foram incorporadas ao solo, e em seguida foi elevada à umidade para 80% da capacidade de campo, sendo corrigida periodicamente até o final do experimento.

Durante os primeiros 7 dias, o experimento foi mantido em repouso, sem monitoramento dos fluxos de gases, para que os efeitos de preparo não interferissem nos resultados.

Após esse período, todos os tratamentos receberam o equivalente a 100 kg de N.ha⁻¹ (uréia), como fonte de fertilizante nitrogenado.

O experimento foi realizado utilizando a sobreposição de dois compartimentos, sendo o compartimento inferior contendo o solo e as doses de *biochar* e o compartimento superior, uma válvula de controle da entrada e saída de gases. Utilizou-se uma bomba a vácuo (diferença de pressão de -80 kPa) para amostragem de gases. (Figura 2).



Figura 2: Sistema para estudo do fluxo de N₂O.

As amostragens para medição dos fluxos de N₂O foram realizadas todos os dias no período da manhã, entre 9h30min e 10h30min, horário representativo do fluxo médio diário, (FLORES *et al.*, 2008), durante 17 dias.

As análises das concentrações de N₂O foram realizadas no laboratório da Embrapa Agrobiologia, em cromatógrafo de gás equipado com uma coluna de “Porapak Q” e um detector de captura de elétrons.

A emissão de N₂O foi calculada pela integração dos fluxos encontrados durante o período de avaliação. (CONEN & SMITH, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores fluxos de óxido nitroso (N_2O) foram observados no início do experimento, dada a maior disponibilidade de nitrogênio mineral, em função da aplicação de fertilizante nitrogenado (uréia). Os fluxos variaram ao longo do tempo, ocorrendo picos de emissão de N_2O sempre após as correções de umidade, fator que estimula as reações químicas do solo. (Figura 3).

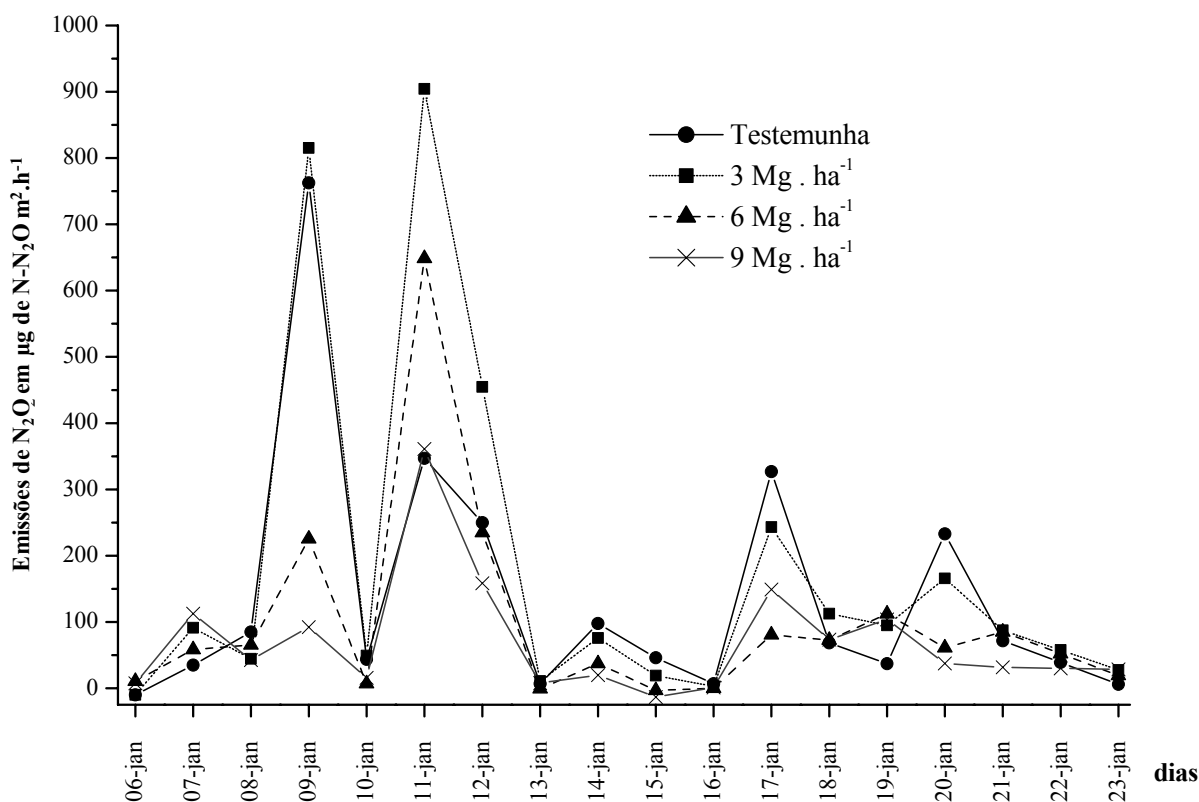
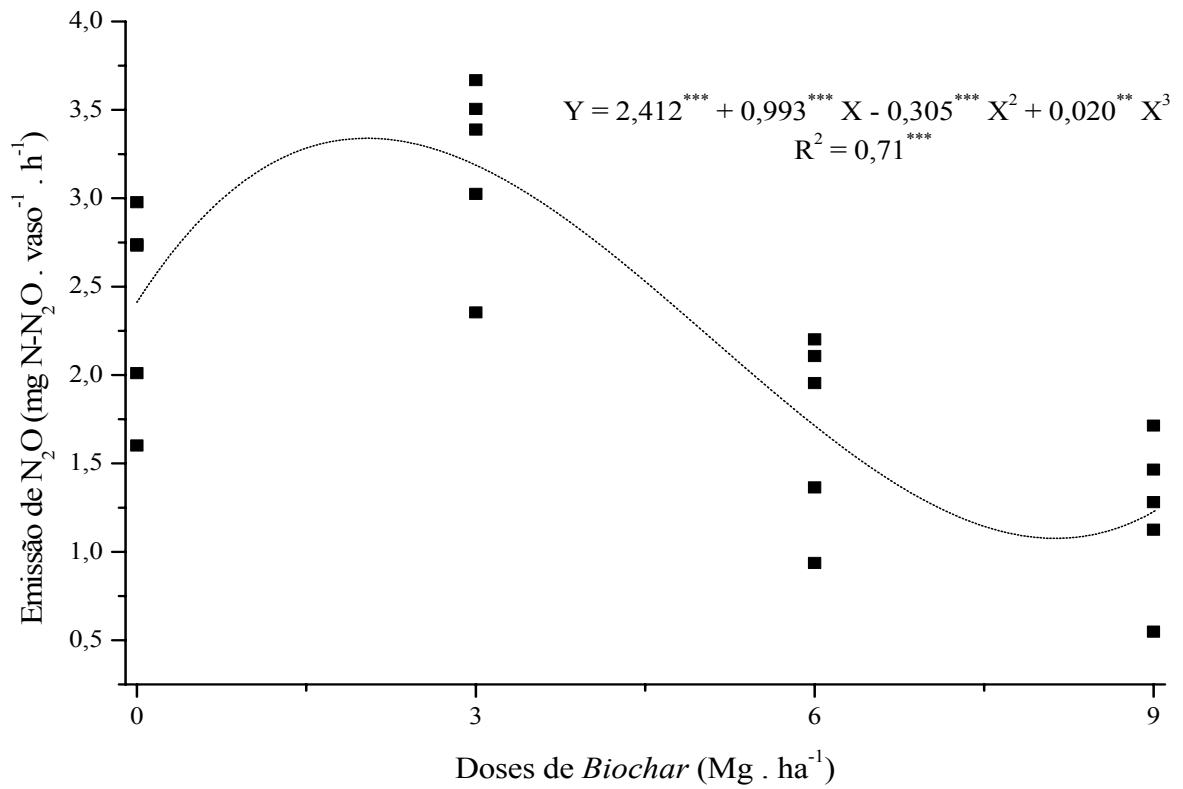


Figura 3: Emissões diárias de N_2O durante o experimento.

A partir da análise dos dados, verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos e a Regressão Linear cúbica foi significativa. Os tratamentos com doses equivalentes a 6 Mg.ha^{-1} e 9 Mg.ha^{-1} apresentaram efeito mitigador das emissões de N_2O do solo, com valores 29 e 49% menores que a testemunha. O tratamento com dose equivalente a 3 Mg.ha^{-1} apresentou um acréscimo de 32% nas emissões (Figura 4), indicando um possível efeito favorável aos fatores que estimulam a desnitrificação, como o aumento na retenção de água, que implica nas reações químicas do solo.

RONDON *et al.* (2005), utilizou uma dose equivalente a 40 Mg.ha^{-1} de *biochar* e encontrou um efeito mitigador na ordem de 80% nos fluxos totais.



** Significativo a 1%; *** Significativo a 0,1%

Figura 4: Emissão de N₂O encontrada para os diferentes tratamentos.

5. CONCLUSÃO

O uso alternativo de resíduos ligno-celulósicos pode contribuir para a eficiência no uso dos recursos florestais, como estratégia econômica, agregando valor aos sub-produtos, ajudando a solucionar problemas de passivos ambientais e gerando empregos.

O uso de resíduos ligno-celulósicos carbonizados (*biochar*) pode ser uma alternativa com potencial para mitigar as emissões de N₂O do solo.

Pela análise da equação de regressão obtida, o presente trabalho indica que com doses acima de aproximadamente 5 Mg.ha⁻¹ de *biochar*, inicia-se o efeito mitigador das emissões de N₂O do solo nas condições testadas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que o efeito mitigador nas emissões de N_2O em função da aplicação de *biochar* variou com a dose aplicada. No entanto, é válido ressaltar que os mecanismos pelos quais a aplicação de *biochar* implica na mitigação das emissões de N_2O do solo ainda não estão claros. Dessa forma, este trabalho pode servir como base para estudos futuros, visando à elucidação desses mecanismos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRITTON, D., DERWENT, R., ISAKSEN, I., LAL, M. e WUEBBLES, D. Radioactive forcing of climate change. In: HOUGHTON, J.T., DING, Y., GRIGGS, D.J., NOGUER, M., VAN DER LINDEN, P.J. & XIAOSU, D., eds. Climate change . The science of climate change. Cambridge University Press, New York, p. 118-131. 1996.

AMS. Associação Mineira de Silvicultura Anuário. [08.09.2004]. (<http://www.silviminas.com.br/anuario.htm>).

BALDOCK, J. A. & SMERNIK, R. J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, v. 33, p. 1093-1109. 2002.

BEAUCHAMP, E.G. Nitrous oxide emission from agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 77, p. 113-123. 1997.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B.; SILVA, D. A. e KLOCK, U. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serrarias através do balanço de materiais. *Revista Floresta* v.32, p.2. 2002.

BRIDGWATER, A.V. Towards the “bio-refinery” fast pyrolysis of biomass. *Renewable Energy World*. James x James Editors, v. 4, n. 1, p.66-83. 2001.

CARVALHO, T. C. S. & CÂMARA, J. B. D. *Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil*. IBAMA, GEO. Edições IBAMA, Brasília. 2002.

CHENG, C. H., LEHMANN, J., THIES, J. E. e BURTON, S.D. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *Journal of Geophysical Research*, v. 113, G02027. 2008.

CONEN, F. & SMITH, K. A. An explanation of linear increases in gas concentration under closed chambers used to measure gas exchange between soil and the atmosphere. *European Journal of Soil Science*, v. 51, p. 111-117. 2000.

COP15. *Climate & Energy*. [16.01.2010]. (<http://www.denmark.dk/en/menu/Climate-Energy/COP15-Copenhagen-2009/>). Copenhagen. 2009.

COSTA, M.L. & KERN, D.C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *J. Geochem. Explor.*, v. 66, p. 369-385. 1999.

DAVIDSON, E. A.; BUSTAMANTE, M. M. C. e PINTO, A. S. Emissions of nitrous oxide and nitric oxide from soils of native and exotic ecosystems of the Amazon and Cerrado regions of Brazil. *The Scientific World*, v. 1, p. 312-319. 2001.

DORAN, J.W. & LINN, D.M. Microbial ecology of conservation management systems. In: HATFIELD, J.L.; STEWART, B.A. (Ed.). *Soil biology: effects on soil quality*. Lewis Publishers, Boca Raton, p. 1-27. 1994.

- FIRESTONE, M.K. & DAVIDSON, E.A. Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M.O., SCHIMMEL, D.S. (Ed.). Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Chichester, Wiley, p.7-21. 1989.
- FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; ZUCHELLO, F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SOARES, L. H. B. e ALVES, B. J. R. Variação diurna no fluxo de N₂O do solo. FertBio - Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental. 2008.
- GIACOMINI, S. J., JANTALIA, C. P., AITA, C., URQUIAGA, S. S. e ALVES, B. J. R. Emissão de óxido nitroso com a aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo sob plantio direto. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 41, n. 11, p. 1653-1661. 2006.
- GLASER, B., HAUMAIER, L., GUGGENBERGER, G. e ZECH, W. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschaften, v. 88, p. 37-41. 2001.
- KÄMPF, N., WOODS, W.I., SOMBROEK, W., KERN, D.C. e CUNHA, T.J.F. Classification of Amazonian dark earths and other ancient anthropic soils. In: Amazonian dark earths. Origin, properties, management. Lehmann, J., Kern, D.C., Glaser, B., Woods, W.I. (Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 77-104. 2003.
- KRAMER, R.W., KUJAWINSKI, E.B. e HATCHER, P.G. Identification of black carbon derived structures in a volcanic ash soil humic acid by fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. Environ. Sci. Tech., v. 38, p.3387-3395. 2004.
- LEEUEWSTEIN, J. M. Gerenciamento Ambiental, São Paulo, v. 3, n. 13. 2001.
- LEHMANN, J. & JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management, p. 1-5. 2009.
- LEHMANN, J., DA SILVA, JR., J. P., STEINER, C., NEHLS, T., ZECH, W. e GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil, v. 249, p. 343-357. 2003.
- LEHMANN, J., GAUNT, J. e RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review, Mitigation and Adaptation. Strategies for Global Change, v.11, p. 403-427. 2006.
- LEHMANN, J., LIANG, B., SOLOMON, D., LEROTIC, M., LUIZÃO, F., KINYANGI, F., SCHÄFER, T., WIRICK, S. e JACOBSEN, C. Near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil: Application to black carbon particles. Global Biogeochemical Cycles, v. 19, GB1013. 2005.
- LIANG, B., LEHMANN, J., SOLOMON, D., KINYANGI, J., GROSSMAN, J., O'NEILL, B., SKJEMSTAD, J.O., THIES, J., LUIZÃO, F. J., PETERSEN, J. e NEVES, E. G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal, v. 70, p. 1719-1730. 2006.

MASIELLO, C.A. New directions in black carbon organic geochemistry. *Mar. Chem.*, v. 92, p. 201-213. 2004.

NOVOTNY, E.H.; DE AZEVEDO, E.R.; BONAGAMBA, T.J.; CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M. e HAYES, M.H.B. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian Dark Earth soils. *Environ. Sci. Tech.*, v. 41, p. 400-405. 2007.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA. Brasília. 2003.

ROCHA, J.D.; PÉREZ MESA, J.M. e CORTEZ, L.A.B. Aspectos teóricos e práticos do processo de pirólise de biomassa. UNIFEI. Energia na Indústria de Açúcar e Alcool. 2004.

RONDON M, RAMIREZ J. A. e LEHMANN J. Charcoal additions reduce net emissions of greenhouse gases to the atmosphere. In: Proceedings of the 3rd USDA Symposium on Greenhouse Gases and Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry, Mar 21–24, Baltimore, University of Delaware, Baltimore, p 208. 2005.

SÄNGER, M., WERTHER, J. e OGADA, T. Greenhouse gases. *Fuel*, v. 80, p.167. 2001.

SECTAM. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Relatório de Gestão. Governo do Estado do Pará, Belém. 2002.

SHINDO, H. Elementary composition, humus composition, and decomposition in soil of charred grassland plants. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 37, p. 651–657. 1991.

SKJEMSTAD, J.O., CLARKE, P., TAYLOR, J.A., OADES, J.M. e MCCLURE, S.G. The chemistry and nature of protected carbon in soil. *Aust. J. Soil Res.*, v. 34, p. 251-271. 1996.

SOMBROEK, W.G., NACHTERGAELE, F.O. e HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestrations of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*. v. 22, p. 417-426. 1993.

TOLENTINO, M. & ROCHA-FILHO, R.C. A química no efeito estufa. *Química e Sociedade. Química Nova na Escola*, n. 8. 1998.

UHL, C. & ALMEIDA, O. O desafio da exploração sustentada da Amazônia. Em ALMEIDA, O. (org.). A evolução da fronteira amazônica oportunidades para um desenvolvimento sustentável. Imazon, Belém. 1996.

WERTHER, J. Nitrous oxide and management in manufacture process. *Fuel Energy Abstr.* v. 36, p.373-376. 1995.

WERTHER, J., OGADA, T. e PHILIPPEK, C., J. Greenhouse gases, fuel and energy. *Int. Energy*. v. 68, p. 93-101. 1995.

WOODS, W.I. & McCANN, J.M. The anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. *Yearb. - Conf. Lat. Am. Geogr.*, v. 25, p.7-14. 1999.