



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades



Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

KELLY RIBEIRO

**MUDANÇA NO USO DO SOLO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA (GEE) EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA
CAATINGA BRASILEIRA**

Bauru
2017



KELLY RIBEIRO

**MUDANÇA NO USO DO SOLO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA (GEE) EM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA
CAATINGA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada como requisito
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil e Ambiental da
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Área de Concentração
Saneamento.

Orientadores: Prof. Dr. João Andrade
de Carvalho Júnior e Prof. Dr. Jean
Pierre Henry Balbaud Ometto

Bauru
2017



Ribeiro, Kelly.

Mudança no uso do solo e emissões de gases de efeito estufa (GEE) em diferentes coberturas vegetais na caatinga brasileira / Kelly Ribeiro, 2017
59 f. : il.

Orientador: João Andrade de Carvalho Júnior

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2017

1. Caatinga. 2. Pastagem. 3. Gases de efeito estufa. 4. Mudança no uso do solo. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE KELLY RIBEIRO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 03 dias do mês de março do ano de 2017, às 14:00 horas, no(a) Câmpus de Guaratinguetá por videoconferência com Sorocaba, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JÚNIOR - Orientador(a) do(a) Departamento de Energia / Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Profª Drª MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES SILVA do(a) Curso de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba, Prof. Dr. ERÁCLITO RODRIGUES DE SOUSA NETO do(a) - / INPE/Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de KELLY RIBEIRO, intitulada **Mudança no uso do solo e emissões de gases de efeito estufa (GEE) em diferentes coberturas vegetais na Caatinga Brasileira..** Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JÚNIOR

Profª Drª MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES SILVA

Prof. Dr. ERÁCLITO RODRIGUES DE SOUSA NETO

João Andrade de Carvalho Júnior

Maria Lucia Pereira Antunes Silva

Eráclito Rodrigues de Sousa Neto

E nessa loucura...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus orientadores Dr. João Andrade de Carvalho Jr. e Dr. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto pelo apoio e confiança em todas as etapas de desenvolvimento desse trabalho. Agradeço pelas discussões e reflexões, pelo enorme aprendizado que contribuiu muito para meu amadurecimento.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, ao Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST e ao Laboratório de química ambiental (LAPBIO), agradeço pela infraestrutura e recursos financeiros e humanos concedidos. Em especial ao companheiro e amigo José Willian Ferreira pelo apoio de campo, de laboratório, pelas inúmeras discussões e reflexões desde os primeiros contatos com a ciência, agradeço todos os ensinamentos. Agradeço a Dra. Maria Cristina Forti e ao Dr. Plínio Carlos Alvalá pelos ensinamentos e carinho em todos esses anos de parceria.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP – pela bolsa de treinamento técnico concedida através do Projeto temático FAPESP/FACEPE N° 2009/52468-0, pelo apoio logístico e financeiro em campo, em especial a Mariana Souza pelas compras, recibos, notas fiscais (rs!)

Ao Centro Laboratorial de Apoio à Pesquisa da Unidade Acadêmica de Garanhuns – CENLAG, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, em especial para o Prof. Dr. José Romualdo de Sousa Lima e todos os alunos de pós graduação que foram primordiais nos trabalhos de campo e laboratório em especial ao Paulo Ferreira da Silva.

Gostaria de agradecer ao meu companheiro e noivo Vagner Lopes Travagin por toda a dedicação, carinho, paciência e abraços nos momentos mais difíceis. Sem você não teria chegado aqui, você faz parte dessa história.

Aos mais que amigos Eraclito Rodrigues de Sousa Neto e Karinne Reis Deusdará Leal por tudo, absolutamente tudo, seu eu fosse listar aqui dobraria as páginas dessa dissertação. Vocês são os presentes que a Caatinga me trouxe e para sempre serei agradecida pelo privilégio de ter vocês na minha vida.

Aos meus amigos que escolhi para serem irmãos Mariana Souza, Marcela Miranda, Felipe Pacheco, Gleverson Lemos, Stéphane Crispim, João Estevam que amenizaram o peso dessas fases tão difíceis.

Agradeço a minha mãe em especial por todo o apoio e confiança e por acreditar nos meus sonhos. Gostaria de agradecer ao meu irmão Kleber Ribeiro que nunca hesitou numa mão amiga e será pra gente meu companheiro. Ao meu pai que me fez crescer uma pessoa confiante e segura.

Muito Obrigada!

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, possíveis alterações no padrão de emissão de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) associadas à substituição da cobertura vegetal nativa por sistemas agropastoris no bioma Caatinga, durante os anos de 2013 e 2014. Esta região apresenta características fisionômicas únicas e abrange 11 % do território do país (850.000 km^2). Comportando 27 milhões de pessoas, a Caatinga é considerada a região semiárida mais populosa do mundo, o que a deixa vulnerável a processos de uso intensificados dos recursos naturais, resultando em graves problemas ambientais de degradação do solo e mudança da cobertura e uso da terra. A agropecuária se destaca como a principal atividade da população rural e impulsiona a mudança sistemática da vegetação nativa por sistemas agropastoris que atualmente cobrem cerca de 27 % do bioma Caatinga (201.786 m^2). Esta drástica alteração na cobertura do solo, em condições de baixa disponibilidade nutricional nos solos e irregularidade na distribuição anual da precipitação, leva à degradação do meio com efeitos diretos na dinâmica dos fluxos de CO_2 , CH_4 e N_2O . Este experimento foi realizado no município de São João, Pernambuco ($8^\circ 52' 30'' \text{S}$, $36^\circ 22' 00'' \text{O}$), em neossolo regolítico com textura predominantemente arenosa. As coletas foram realizadas em 2013 e 2014, nas estações secas e chuvosas, afim de se observar a influência sazonal no processo de formação dos gases. Os fluxos foram medidos utilizando câmaras estáticas de PVC com coleta de amostras em períodos de 30 minutos por câmara, em solos cobertos por vegetação nativa e pastagem, distribuídos em 3 blocos (repetições) para cada estação. Os resultados mostram fluxos médios de N_2O de $0,3 \pm 0,03 \text{ mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ na área coberta por pastagem e $0,23 \pm 0,02 \text{ mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ na área coberta por vegetação nativa, e não apresentaram diferenças significativas entre eles. As maiores emissões de N_2O foram observadas nas estações secas, mostrando a forte influência da temperatura no ciclo do nitrogênio. As emissões médias de CO_2 foram de $6,1 \pm 3,6 \text{ mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e $6,1 \pm 3,7 \text{ mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ na pastagem e Caatinga, respectivamente. As maiores emissões de CO_2 foram observadas na área coberta com Caatinga em 2013, que foram influenciados significativamente pela temperatura do solo, mostrando uma relação inversamente proporcional. Os fluxos de metano variaram de $0,4 \pm 0,2 \text{ mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e $0,3 \pm 0,1 \text{ mg.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ no pasto e Caatinga, respectivamente. Os fluxos apresentaram grandes variações ao longo do experimento, sofrendo influência significativa das condições edáficas e ambientais do meio.

Palavras-chave: Caatinga. Pastagem. Gases de efeito estufa. Mudança no uso do solo.

ABSTRACT

The present work had as objective to evaluate possible changes in the greenhouse gas emission pattern associated with the replacement of native vegetation cover by agropastoral systems in the Caatinga biome during the years of 2013 and 2014. This region has unique physiognomic characteristics and covers 11% of the country's territory (850,000 km²). With 27 million people, the Caatinga is considered the most populous semi-arid region in the world, leaving it vulnerable to intensified natural resource use processes, resulting in serious environmental problems of land degradation and land cover and land use change. Agriculture stands out as the main activity of the rural population and promotes the systematic change of native vegetation by agropastoral systems that currently cover about 27% of the Caatinga biome (201,786 m²). This drastic change in soil cover, under conditions of low nutritional availability in soils and irregularity in the annual distribution of precipitation, leads to the degradation of the environment with direct effects on the dynamics of CO₂, CH₄ and N₂O flows. This experiment was carried out in the municipality of São João, Pernambuco (8 ° 52'30 "S, 36 ° 22'00" W), in a regolithic soil with predominantly sandy texture. The collections were carried out in 2013 and 2014, in the dry and rainy seasons, in order to observe the seasonal influence on the gas formation process. The flows were measured using static PVC cameras with sample collection in periods of 30 minutes per chamber, in soils covered by native vegetation and pasture, distributed in 3 blocks (repetitions) for each season. The results show mean N₂O flows of 0.3 ± 0.03 mg.m².d⁻¹ in the pasture area and 0.23 ± 0.02 mg.m².d⁻¹ in the area covered by native vegetation, and Did not present significant differences between them. The highest N₂O emissions were observed in dry seasons, showing the strong influence of temperature on the nitrogen cycle. The average CO₂ emissions were 6.1 ± 3.6 mg.m².d⁻¹ and 6.1 ± 3.7 mg.m².d⁻¹ in pasture and Caatinga, respectively. The highest CO₂ emissions were observed in the area covered with Caatinga in 2013, which were significantly influenced by the soil temperature, showing an inversely proportional relation. The methane fluxes ranged from 0.4 ± 0.2 mg.m².d⁻¹ and 0.3 ± 0.1 mg.m².d⁻¹ in the pasture and Caatinga, respectively. The fluxes presented great variations throughout the experiment, suffering significant influence of the soil and environmental conditions of the environment.

Keywords: Caatinga, Pasture, Greenhouse gases (GHG), Land use/cover changes

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do Bioma Caatinga e a localização da área de coleta	12
Figura 2: Media mensal de chuva (1999 – 2011) no município de São João, Pernambuco (APAC, 2015).....	13
Figura 3: (a) Localização dos pontos amostrais e (b) Esquema ilustrando a distribuição das câmaras na área experimental	14
Figura 4: Câmara utilizada no experimento (direita) e as diferentes coberturas do solo estudadas durante esse experimento (esquerda)	14
Figura 5: Esquema geral das coletas até a etapa de análise	16
Figura 6: Coleta de amostras de solo para determinação de umidade gravimétrica	17
Figura 7: Temperatura do solo medido durante os períodos secos e chuvosos (regiões sombreadas) de 2013 e 2014.....	20
Figura 8: Temperatura diária do solo medido nos dias de coleta (campanhas de 2013 e 2014): estação seca (a e c) e estação chuvosa (b e d) no pasto (símbolos sólidos) e Caatinga (símbolos abertos).	21
Figura 9: Umidade do solo (umidade gravimétrica) medido durante a estação chuvosa (sombreada regiões) e estação seca de 2013 e 2014.....	22
Figura 10: Fluxos de óxido nitroso do solo ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$), medido na pastagem e na Caatinga nas estações chuvosas (regiões sombreadas) e secas de 2013 e 2014.	24
Figura 11: Emissões de óxido nitroso em diferentes faixas de temperatura do solo: Faixa 1 (20 - 24,9 ° C), Faixa 2 (25-29,9 ° C), Faixa 3 (30-34,9 ° C), e Faixa 4 (35 - 40 ° C).	25
Figura 12: Relação da umidade do solo na campanha da estação seca de 2013 (Dias 18, 19 e 20 de abril de 2013).....	26
Figura 13: Fluxos de dióxido de carbono do solo ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$), medidas realizadas nos solos cobertos por pastagem e Caatinga nas estações chuvosas (regiões sombreadas) e estações secas de 2013 e 2014.	28

Figura 14: Fluxos de CO ₂ em diferentes faixas de temperatura: Faixa 1 (20-24,9 ° C), Faixa 2 (25-29,9 ° C), Faixa 3 (30-34,9 ° C), e Faixa 4 (35 - 40 ° C).	29
Figura 15: Fluxos de CO ₂ em diferentes faixas de umidade do solo: Faixa 1 (0,0-1,99%), Faixa 2 (2,0 - 3,99%), Faixa 3 (4,0-5,99%), Faixa 4 (6,0-7,99%), e Faixa 5 (8,0-10,0%).....	29
Figura 16: Fluxos de metano do solo (mg m ⁻² d ⁻¹), medidas na pastagem e na Caatinga no nas estações chuvosas (regiões sombreadas) e estações secas , de 2013 e 2014..	30

INDICE DE TABELAS

Tabela 1: Contribuição de cada bioma brasileiro para emissões de GEE por mudanças no uso e cobertura da terra e setor florestal (MCTI 2013)	8
Tabela 2: Biomas Brasileiros e emissão de GEE	9
Tabela 3: Tipo de regressão adotada para os gases e suas porcentagens (%).....	18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Impactos na Caatinga	6
3.2 Emissão de GEE do solo da Caatinga no contexto nacional	7
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1 Local de estudo.....	11
4.2 Delineamento Experimental e Coleta de Gases	13
4.3 Análises Laboratoriais.....	15
4.4 Determinação de umidade do solo.....	16
4.5 Determinação dos fluxos.....	17
4.6 Análise Estatística.....	18
5. RESULTADOS	19
5.1 Temperatura e Umidade do Solo	19
5.2 Fluxos de gases solo-atmosfera	23
5.2.1 Óxido Nitroso-N ₂ O.....	23
5.2.2 Dióxido de Carbono – CO ₂	26
5.2.3 Metano – CH ₄	30
6. DISCUSSÕES.....	31
6.1 Fluxo de Gases “Solo – Atmosfera” no Bioma Caatinga.....	31
6.1.1 Fluxos de N ₂ O	31

6.1.2 Fluxos de CO ₂	33
6.1.3 Fluxos de CH ₄	34
7. CONCLUSÕES	36
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga é um bioma brasileiro localizado na região nordeste do país sofrendo influência do clima semiárido. A região é coberta por vegetação xerófila, composta por árvores e arbustos adaptados a grandes períodos de estiagem, apresentando características únicas que o tornam um bioma exclusivamente brasileiro (SANTOS *et al.*, 2011; GARIGLIO *et al.*, 2010). Abrange uma área de cerca de 844,453 km² da região Nordeste o que representa 11% do território brasileiro (GARIGLIO *et al.*, 2010) e comporta uma grande biodiversidade endêmica. Cerca de 50% de sua cobertura vegetal original permanece relativamente intacta, apesar da grande densidade de população humana e as altas taxas de desmatamento (GARIGLIO *et al.*, 2010).

A Caatinga é inteiramente abrangida pela zona tropical e é um das seis grandes ecorregiões (biomas) do Brasil, incluindo a Bacia Amazônica, Pantanal, Cerrado, Mata Atlântica e Pampas (GARIGLIO *et al.*, 2010). Uma das características mais marcantes da região e responsável pela perda de culturas, pastagens e déficit significativo de animais, são os extensos períodos de secas naturais que trazem impactos sociais e econômicos muito significativos para a população. As chuvas se concentram entre três a quatro meses do ano (estação chuvosa), o que resulta em um balanço hídrico negativo e alta aridez em regiões altamente adensadas (GIULIETTI *et al.*, 2004), que reflete indiretamente no abandono da agricultura familiar e substituição das culturas de subsistência por atividades menos vulneráveis as alterações no clima local, como pecuária. O impacto das estiagens associado à constante ocorrência de extremos climáticos tem impulsionado a migração da população rural para as grandes capitais (BARBIERI, 2011; SAMPAIO, 2003).

Devido à vulnerabilidade da agricultura às alterações climáticas, a pecuária surgiu como a principal atividade da população rural, sendo precursora da substituição sistemática da vegetação nativa por pastagem. As alterações no uso e cobertura da terra resultam em graves problemas ambientais de degradação solo, e associado a manejos inadequados resultam na destruição do potencial biológico das terras, desencadeando processos de perda da matéria orgânica superficial e desertificação de extensas áreas no semiárido nordestino (ARAÚJO *et al.*, 2008) com perda de biodiversidade (DE FREITAS *et al.*, 2007; LEAL *et al.*, 2005; MMA, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 2012; PEREIRA, 2000; SOUSA NETO, 2012), destruição de

habitats (ADEEL *et al.*, 2005), alterações na dinâmica de ciclos biogeoquímicos e nos fluxos de água e energia, com potencial de alteração do clima local (CUNHA, 2015).

As áreas de pastagens na Caatinga cobrem aproximadamente 300.000 km², o que representa 35,5% do bioma e 19,8% da área de pastagens no Brasil (BUSTAMANTE *et al.*, 2012). O aumento da demanda por carne e produtos de laticínios tem impulsionado a expansão de áreas de pastagens e consequentemente, o aumento das taxas de desmatamento (MENEZES *et al.*, 2012) no bioma.

A pecuária é considerada uma das principais fontes de emissões de gases de efeito de estufa (GEE) liberados para a atmosfera, dos quais se destacam o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), resultantes das atividades microbiológicas do solo, bem como indiretamente das alterações da cobertura da terra (HRISTOV *et al.*, 2013; IPCC, 2014; USDA, 2008). Mudanças no uso e cobertura do solo podem influenciar na dinâmica dos ciclos de carbono e nitrogênio, no balanço radiativo de água e energia do sistema, na mudança dos padrões de fluxos de gases de efeito estufa do solo (BORTOLON *et al.*, 2009; CERRI *et al.*, 2008; FLEISCHER *et al.*, 2016; MENEZES *et al.*, 2012; SOUSA NETO, 2012), tornando o sistema um potencial emissor de GEE para a atmosfera (WATANABE e ORTEGA, 2011).

Os fatores relacionados às trocas de carbono entre solo, vegetação e a atmosfera e possíveis influências da mudança do uso da terra constituem um aspecto de grande interesse científico para o entendimento da vulnerabilidade dos ecossistemas às mudanças ambientais. A vegetação atua como um principal fator de mudança no clima e entre outras funções, a vegetação nativa é um importante regulador do clima, da biodiversidade, dos ciclos biogeoquímicos e de processos físicos, químicos e biológicos do solo. Além disso, a vegetação nativa atua como um sumidouro de GEE (CHAPUIS-LARDY *et al.*, 2007; HENRY *et al.*, 2002; KIRSCHBAUM, 2003).

Apesar de todo o conhecimento sobre os impactos da mudança do uso e cobertura do solo para o ambiente (KATHARINA *et al.*, 2016; SAMPAIO e FREITAS, 2008; SAMPAIO e DA COSTA, 2012) a Caatinga ainda é considerada como um dos mais negligenciados biomas brasileiros (BEUCHLE *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2011) e a disponibilidade de dados é limitada a poucas teses ou notas técnicas publicados em revistas regionais, o que limita o entendimento amplo das interações que ocorrem nesse sistema. Para tanto, esse trabalho foi desenvolvido com apoio do projeto temático financiado pela FAPESP (2009/52468-0), no qual teve por objetivo fornecer informações técnicas para a proteção desse bioma altamente vulnerável as mudanças climáticas.

Importante destacar que essa pesquisa esta entre os primeiros experimentos de coleta e análise de gases na região de estudo, principalmente relacionada a espécies nitrogenadas. Assim, este trabalho teve como objetivo medir e comparar as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O do solo de uma floresta natural (Caatinga) e de uma área coberta por pastagem, a fim de avaliar os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra e as emissões de gases do solo para a atmosfera em escala local, e avaliar o impacto desses processos sobre o bioma. Medidas de GEE são fundamentais para a realização do balanço biogeoquímico regional no semiárido nordestino e a utilização de câmaras constitui a técnica mais freqüentemente empregada e consistente na medição de troca de gases traço entre a superfície e a atmosfera com maior potencial de cobertura espacial (MARANI e ALVALÁ, 2007; KHALIL et al., 1998; MATSON e VITOUSEK, 1990).

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi quantificar as emissões de GEE (CO_2 , N_2O e CH_4) de duas coberturas vegetais distintas: floresta nativa e área coberta por pastagem no bioma Caatinga, do qual foram derivados as seguintes metas:

- Medir e comparar os fluxos de gás carbônico, metano e óxido nitroso em dois diferentes ambientes no estado do Pernambuco: caatinga natural e áreas transformadas em pastagens e analisar a influência da alteração do uso da terra nos fluxos;
- Observar a variação do padrão diurno, relacionado à respiração dos solos, para os gases medidos;
- Relacionar os fluxos medidos com parâmetros ambientais, tais como cobertura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estima-se que a pecuária seja uma das principais fontes de emissões de GEE no Brasil, com contribuição de mais de 260 mil Gg de CO₂ eq., o que representa mais de 42% das emissões brasileiras, excluindo as queimadas e desmatamentos para a implantação de pastagens (CEPEA, 2008; CERRI *et al.*, 2007). Dentre os principais gases oriundos dessas atividades destacam-se o (1) N₂O que é emitido do solo para a atmosfera (efluxo resultante das atividades microbiológicas no interior do solo) e constituinte do ciclo do nitrogênio. (2) CO₂ resultante dos processos de respiração biológica e evapotranspiração do solo. (3) CH₄ podem ser emitidos ou absorvidos (influxo) em solos e é dependente da comunidade microbiana e das condições de umidade do solo, pois este gás é normalmente oxidado em solos sob condições aeróbicas.

O solo, suas formas de uso e de manejo tem despertado grande interesse no que diz respeito às mudanças climáticas globais, uma vez que o solo é considerado um importante sumidouro de CO₂ atmosférico (COSTA *et al.*, 2008; CARVALHO *et al.*, 2009) e vem sofrendo drasticamente pelas ações antrópicas com a implantação da pecuária extensiva e mudanças no uso do solo, queimadas e desmatamentos. Os solos são responsáveis pela regulação e fixação do CO₂ atmosférico pela vegetação, pela capacidade de infiltração de água no solo e conservação da umidade nas camadas superiores, pela fixação biológica de nitrogênio servindo de suporte nutricional para plantas, pela manutenção da temperatura do solo e entrada e regulação de outros nutrientes como fósforo e potássio (WATANABE e ORTEGA, 2011).

A conservação dos solos é de extrema importância para o desenvolvimento da agropecuária e regulação das emissões, uma vez que tem papel importante nos ciclos biogeoquímicos, principalmente do carbono e nitrogênio atuando como reserva e fontes desses elementos de extremo interesse para o desenvolvimento de culturas e da pastagem (INSA, 2011). Em condições naturais em solo sob vegetação nativa, o teor de matéria orgânica encontra-se estável, mantendo o equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos. Entretanto, em sistemas alterados cuja vegetação foi suprimida, ocorre o desequilíbrio desses ciclos, o que resulta na diminuição de entrada de carbono nos solos, reduzindo a quantidade e qualidade da matéria orgânica, diminuição da capacidade de infiltração de água no solo

(CERRI *et al.*, 2008) causando uma elevação da temperatura do solo, aumento das atividades microbiológicas, aumento da evapotranspiração, diminuição e conseqüentemente atuando como uma fonte de GEE para a atmosfera.

A substituição sistemática da cobertura vegetal nativa por sistemas agropastoris tem resultado em sérios problemas para o semiárido Brasileiro, uma vez que a região já apresenta vulnerabilidade inerente a características do meio, com longos períodos de estiagens e chuvas mal distribuídas. Dentre os principais impactos dessa mudança no uso do solo destacam-se: diminuição da biodiversidade, degradação dos solos, diminuição da produtividade de culturas e da pastagem, desertificação de extensas áreas (PAZ, 2010). Neste contexto, as atividades pecuárias desempenham um papel estratégico nas emissões de gases para a atmosfera, nos processos de degradação e na mudança do uso do solo, principalmente no semiárido nordestino.

Pouco se sabe sobre o carbono disponível no solo e sobre a dinâmica do nitrogênio nas regiões semiáridas, particularmente no nordeste do Brasil (MENEZES *et al.*, 2012; PONCE-MENDOZA *et al.*, 2010; SOUSA NETO, 2012; ZHAO *et al.*, 2009), o que limita a compreensão sobre os processos que estão relacionados as emissões de GEE nesse bioma.

3.1. Impactos na Caatinga

Até pouco tempo atrás a caatinga era considerada uma ecossistema pouco importante, pois suas características áridas e intermitentes, associada a baixos níveis pluviométricos com escassez e irregularidade de chuvas resultavam no desinteresse nesse ecossistema relacionado as limitações de cultivo. Naturalmente a ocorrência de secas prolongadas tem refletido diretamente na economia das regiões do agreste e sertão nordestino e conseqüentemente na qualidade de vida das pessoas que vivem nessas regiões. A ocorrência de chuvas entre três a quatro meses do ano resulta num balanço hídrico negativo e aumento da aridez (GIULIETTI *et al.*, 2004) impactando na agricultura e subsistência da população.

A combinação das condições de solo, clima e disponibilidade de água tem levado a população a abandonar a agricultura, uma vez que ela é muito vulnerável a condições climáticas e limitações ambientais. A migração das atividades agrícolas para outros setores como a pecuária é uma realidade nacional e comum das populações rurais distribuídas nos 95 milhões de hectares do Semiárido (IBGE, 2004).

A grande demanda nacional por carne tem pressionado o setor pecuário a expandir suas áreas de pastagem, impactando diretamente nos sistemas florestais, uma vez que a vegetação nativa vem sendo substituída por sistemas pastoris para atender a demanda de alimentação dos extensivos rebanhos (LEAL *et al.*, 2005). Os impactos da pastagem excessiva não se limitam exclusivamente a retirada da vegetação nativa, o manejo do solo, a prática de queimadas e o incremento de fertilizantes nitrogenados associada às condições naturais do semiárido colocam regiões da caatinga em alto risco de desertificação (FILHO, 2006; MMA, 1998).

A pecuária praticada de forma extensiva tem se tornado uma das principais responsáveis pela degradação do bioma Caatinga, uma vez que além das extensas áreas de florestas desmatadas para a implantação de pastagens, a adoção de técnicas rudimentares tem favorecido a colocação de animais em meio a vegetação nativa, o que causa impacto negativo com o pisoteio e compactação do solo, supressão do estrato herbáceo e desaparecimento de espécies forrageiras. Fatores de degradação do bioma foi relatado por ARAÚJO (1995) que destaca a ocorrência de grandes áreas da caatinga em estágio pioneiro de sucessão com amplos fatores de perturbação e baixa capacidade de resiliência.

O entendimento da dinâmica de emissão de GEE relacionado às mudanças no uso e cobertura da terra é de extrema importância, uma vez que a substituição de florestas nativas por sistemas agropastoris é uma tendência na região semiárida nordestina.

3.2 Emissão de GEE do solo da Caatinga no contexto nacional

A compreensão dos fatores (bióticos e abióticos) que afetam o controle e produção de gases de efeito estufa em solos de regiões áridas e semiáridas são de extrema importância para compreensão dos fenômenos e do seu potencial de mitigação, uma vez que terras secas representam 41% da superfície terrestre do planeta e influenciam diretamente o ciclo mundial do carbono (MCHUGH *et al.*, 2015). Estudos recentes (MCHUGH *et al.*, 2015) revelaram informações sobre o comportamento de regiões áridas e semiáridas relacionado a umidade e temperatura que influenciam o funcionamento dos ciclos biogeoquímicos e as emissões de CO₂ dos solos. MCLAIN e MARTENS (2006) observaram que os solos das regiões semiáridas se comportaram como sumidouros de gases de efeito estufa, como o metano, o que mostra a importância desses ecossistemas na regulação do clima global.

No entanto, na Caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro, poucos estudos têm sido feitos acerca do entendimento do comportamento da biota do solo e dos fatores de produção e consumo de GEE (MCHUGH *et al.*, 2015; MCLAIN e MARTENS, 2006). A nível nacional, as emissões causadas por mudanças no uso e cobertura da terra colocam a Caatinga em 4ª posição no ranking nacional, atrás de biomas extremamente impactados, como a Amazônia e o Cerrado (Tabela 1).

Tabela 1: Contribuição de cada bioma brasileiro para emissões de GEE por mudanças no uso e cobertura da terra e setor florestal (MCTI 2013)

Floresta Amazônica	50,3%
Cerrado	39,1%
Pampa	5,6%
Caatinga	2,1%
Pantanal	0,1
Mata Atlântica	-1,8%

Com base em estudos realizados em diferentes biomas do Brasil (Tabela 2), foi possível inferir a contribuição Caatinga na produção nacional de emissões de GEE. Importante destacar que os dados utilizados para esta comparação consistem em estudos de caso pontuais e não necessariamente representam o comportamento do bioma em todas as regiões.

Tabela 2: Biomas Brasileiros e emissão de GEE

	Vegetação Nativa			Uso Antrópico		
	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	Kg ha ⁻¹ ano ⁻¹		Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	Kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
^a Cerrado	¹ 35,04	² 1,2	² -3,2	¹ 26,28	² 0,8	² 2,9
^b Amazônia	³ 13,58	⁴ 2,5	⁵ 0,0	³ 23,72	⁵ 3,2	⁵ 0,0
^c Mata Atlântica	35,04	4,4	-15,8	60,44	2,6	-5,3
Caatinga	22,26	0,9	1,0	22,08	1,1	1,5

^a¹PINTO *et al.* (2002); ²SIQUEIRA NETO *et al.* (2011); ^b³SALIMON *et al.* (2004),

⁴GARCIA-MONTIEL *et al.* (2003), ⁵SANTOS *et al.* (2012); ^cCARMO *et al.* (2012)

De acordo com o MCTI (2013) as estimativas de emissão a partir da mudança no uso da terra e do setor de florestas, no bioma Caatinga em 2010 foi de cerca de 6Gg CO₂eq, relacionado principalmente ao desmatamento e alterações na cobertura, o que representa 2,1% das emissões do setor no Brasil.

Na Caatinga, os fatores que influenciam estas emissões estão relacionados com a substituição de florestas nativas e implantação de sistemas agropastoris. VIEIRA *et al.* (2015) demonstraram que entre 2000 e 2010, a região nordeste do Brasil apresentou um crescimento econômico muito acelerado, cujas alterações resultaram em pressões sobre o uso da terra, impulsionando as alterações na cobertura e uso do solo nessas regiões. Tais mudanças levaram a um aumento nas áreas classificadas como "sensíveis" para os processos de desertificação de 35% para 39,6%, o que correspondem a um aumento de 83.856 km² (VIEIRA *et al.*, 2015).

As fontes de emissão de GEE variam muito por região relacionada principalmente com fatores econômicos, sociais e culturais das diferentes localizações do país. Um exemplo dessas divergências regionais frente às emissões é o caso do modelo de desmatamento que se

observa para a floresta amazônica, cujo condutor principal é a indústria madeireira de grande porte. Por outro lado, o desmatamento na Caatinga ocorre para outros fins e em escala reduzida, como agricultura, consumo doméstico e energia. A maior parte do material lenhoso é utilizado como combustível para a indústria de aço e cerâmica e para alimentar fornos de indústrias de laticínios, além do uso da terra para a implantação de pastagens de caprinos e bovinos. Na Caatinga, em alguns casos, não há destruição total da vegetação, mas danos limitados causados por animais que pastam na vegetação, com a compactação do solo e eliminação de toda a folhagem das espécies arbustivas e arbóreas.

Emissões provenientes de solos da Caatinga são geralmente mais baixos do que os observados em outros biomas do Brasil (Tabela 1). No entanto, como esse é um dos primeiros estudos relacionados às emissões de GEE do solo do bioma ainda não é possível afirmar a posição da Caatinga frente às emissões no cenário nacional.

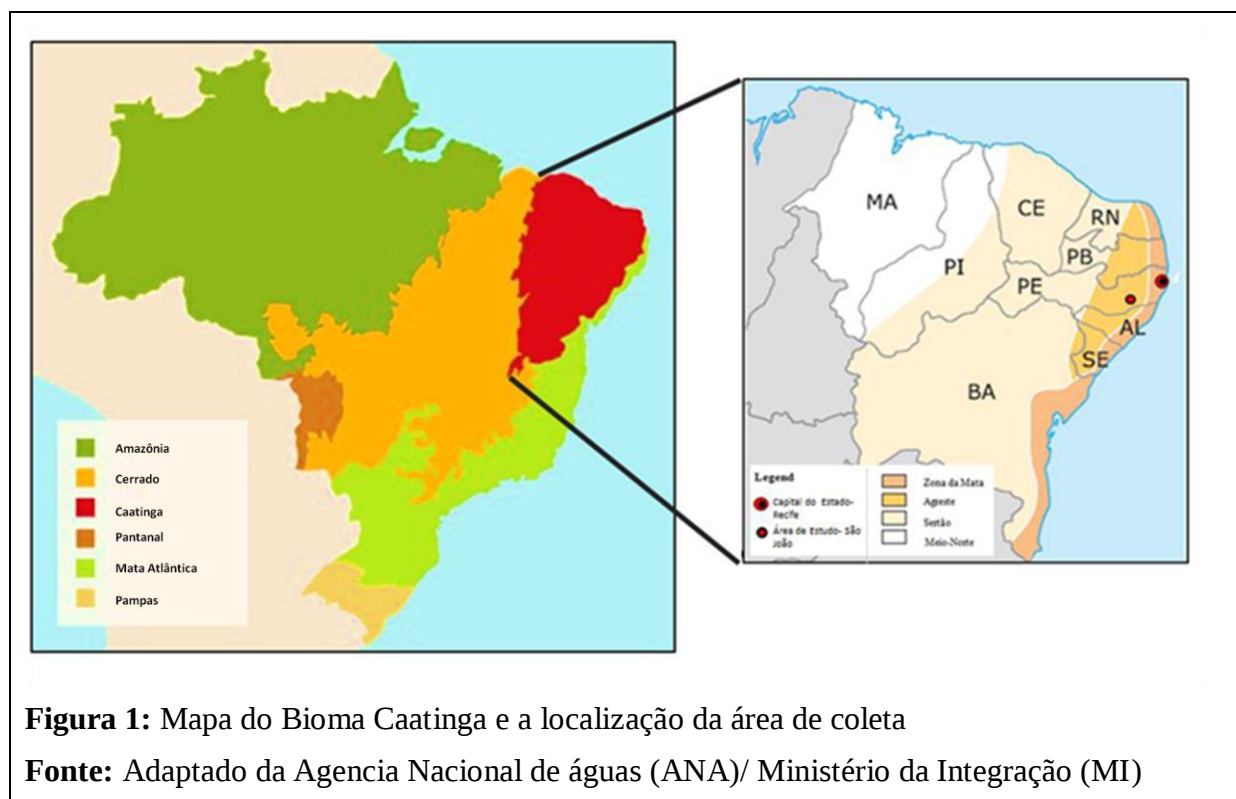
4. MATERIAL E MÉTODOS

Todas as atividades de coleta de amostras de ar e solo foram realizadas no período de 2013 e 2014 com apoio do Projeto Temático FAPESP nº 2009/52468-0, na qual teve a colaboração dos pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) que auxiliaram na coleta de dados em campo.

4.1 Local de estudo

Este estudo foi realizado na fazenda “ Riacho do Papagaio” localizada no município de São João (8 ° 48'35 "S, 36 ° 24'20" S, 690 metros de altitude) no Estado de Pernambuco, Brasil (Figura 1). Segundo informações coletadas durante as campanhas as áreas de pastagem localizadas na área foram implantadas em 1950 quando a floresta nativa (Caatinga) foi suprimida e substituída por uma espécie de planta forrageira perene da família das gramíneas conhecida como grama Guatemala (*Tripsacum laxum* Nash). Após esse período houveram a implantação de culturas como feijão e milho. A cobertura de gramínea (*Brachiaria* sp) observada hoje foi implantada no início dos anos 2000 e totaliza aproximadamente 21 hectares. A área de floresta disponível na fazenda compreende uma área de aproximadamente 5 hectares de vegetação nativa conservada, a qual é composta por plantas com adaptação ao estresse hídrico (suculentas, espinhos e abrolhos, predomínio de arbustos e árvores pequenas, cobertura do dossel descontínuo). Ambas coberturas estão localizados na mesma fazenda e apresentam cerca de 2 km de distancia.

Os trabalhos de campo ocorreram em 2013 e 2014, compreendendo 2 anos amostrais com duas campanhas por ano: uma na estação seca (setembro - abril) e a outra na estação chuvosa (maio a agosto) de cada ano



De acordo com o Instituto Brasileiro de Meteorologia (INMET), o bioma é caracterizado por clima quente e seco com precipitação média (1999-2011) de aproximadamente 782 mm (APAC, 2015) (Figura 2). Como em outras regiões semiáridas, a variação sazonal de precipitação é alta, fazendo com que ocorram chuvas fora dos períodos característicos, com concentração das chuvas na maioria das vezes nos meses de maio a agosto. As temperaturas são elevadas, apresentando média anual entre 25 ° C e 30 ° C (SAMPAIO, 2003). O solo da fazenda é classificado como Neossolo eutrófico típico (SANTOS *et al.*, 2012) com textura predominantemente arenosa, e considerado um solo ligeiramente ácido (pH ~ 5,4) (SANTOS *et al.*, 2012).

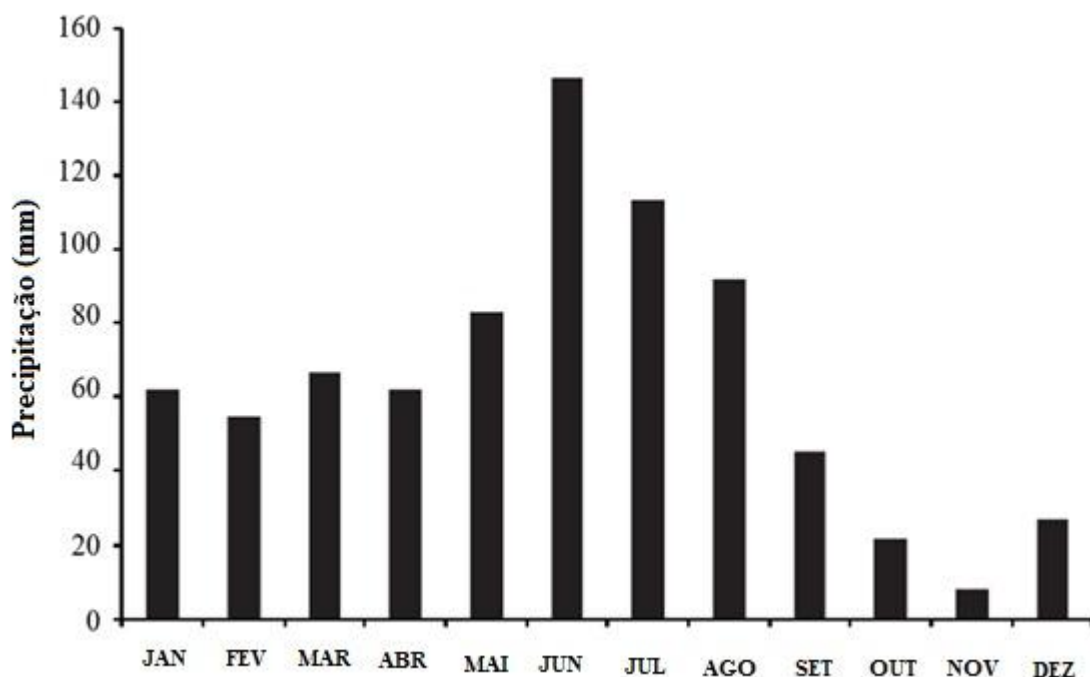


Figura 2: Media mensal de chuva (1999 – 2011) no município de São João, Pernambuco (APAC, 2015).

4.2 Delineamento Experimental e Coleta de Gases

Esse experimento foi instalado em duas diferentes coberturas vegetais: Vegetação Nativa – Caatinga (C) e Pastagem (P), distribuídos em 3 linhas de repetições (Figura 3). Em cada tratamento, fluxos de óxido nitroso (N_2O), dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) foram medidos ao longo de três linhas de 20 m que foram iniciadas em pontos aleatórios na área de amostragem. Cada linha era composta por seis câmaras cilíndricas de PVC (Figura 4), constituídas por uma base (25 cm de altura) e uma tampa (5 cm de altura), ambas com 25 cm de diâmetro, apresentando capacidade para 10 litros (KELLER *et al.*, 2005). As câmaras foram colocadas sob a superfície do solo (1 a 2 cm), através de movimentos rotacionais, para assegurar boa vedação.

(a)



(b)

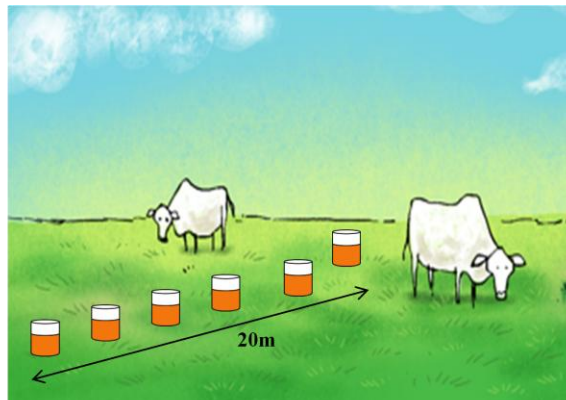


Figura 3: (a) Localização dos pontos amostrais e (b) Esquema ilustrando a distribuição das câmaras na área experimental

As bases permaneceram fixas durante todo o experimento, sendo removidas somente no término das coletas. As bases foram instaladas no dia anterior a realização das coletas, para que ocorresse a estabilização do sistema após a perturbação, sendo removidas somente ao final do experimento.



Figura 4: Câmara utilizada no experimento (direita) e as diferentes coberturas do solo estudadas durante esse experimento (esquerda)

A técnica de coleta consiste na retirada das amostras de gases acumuladas no interior da câmara com o auxílio de seringas de poliuretano equipadas com uma torneira de três vias (three-way-valve), do interior da câmara fechada colocada sobre a superfície do solo. Para a homogeneidade do ar no interior da câmara foi adotado o procedimento de bombeamento do

com utilização da própria seringa amostral por um minuto antes da coleta. As amostras dos gases acumulados no interior da câmara foram coletadas em intervalos de 1, 10, 20 e 30 minutos após o fechamento das câmaras e depositadas em frascos de vidro de penicilina (60 mL) previamente evacuados e vedados com tampas de borracha (Bellco Glass Inc., Vineland, New Jersey, U.S.). Testes laboratoriais mostraram que as concentrações de gás não foram afetadas pela armazenagem para até 30 dias (CARMO *et al.*, 2012).

A coleta de gás de cada linha (L) ocorreu em diferentes períodos do dia (L1: 09h00, L2: 12h00 e L3: 16h00), a fim de capturar os fluxos em diferentes condições de temperatura. Por dia, foram coletadas amostras em 36 câmaras (18 em cada tratamento), totalizando 108 câmaras por campanha.

Todas as câmaras tiveram suas alturas medidas para estimar o volume unitário. Juntamente com amostras de gás, as temperaturas do ar e do solo foram medidas por meio de termômetros digitais (Minipa MV-360). A fim de avaliar a influência da temperatura sobre os fluxos de gases do solo, as temperaturas foram divididas em quatro faixas (intervalos) diferentes para comparação com os fluxos, conforme segue: Faixa 1 (20-24,9 ° C), Faixa 2 (25-29,9 ° C), Faixa 3 (30-34,9 ° C), e Faixa 4 (35 - 40 ° C).

4.3 Análises Laboratoriais

As amostras foram analisadas no Laboratório do Centro de Ciências do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por cromatografia gasosa (Modelo GC SHIMADZU-14A) para detecção dos três gases simultaneamente. As análises foram realizadas dez dias após a coleta. A Figura 5 ilustra o esquema geral de coleta até o processo de análise. O cromatógrafo foi equipado com coluna de enchimento para determinação de N₂O (detector de captura de elétrons –ECD, 380°C), para CH₄ e CO₂ foi utilizado detector de ionização de chama- FID, 250°C. Antes da detecção FID, o CO₂ é reduzido para CH₄ por um metanizador, cujo acessório foi acoplado ao GC (KELLER e REINERS, 1994; VARNER *et al.*, 2003). As concentrações dos gases foram calculadas pela comparação das áreas de pico de amostras obtidos pelo equipamento em relação aos picos obtidos através da injeção de amostras de concentração conhecidas e certificadas (padrões preparados comercialmente pela White- Martins) , cujas concentrações mínimas, médias e máximas, respectivamente, para cada gás foram de 365,800, 1519,000 e 3480,000 µmol/mol para o CO₂; 0,294, 4,508 e 11,300 µmol/mol para o N₂O; e 1,522, ,006 e 3,659 µmol/mol para o CH₄.

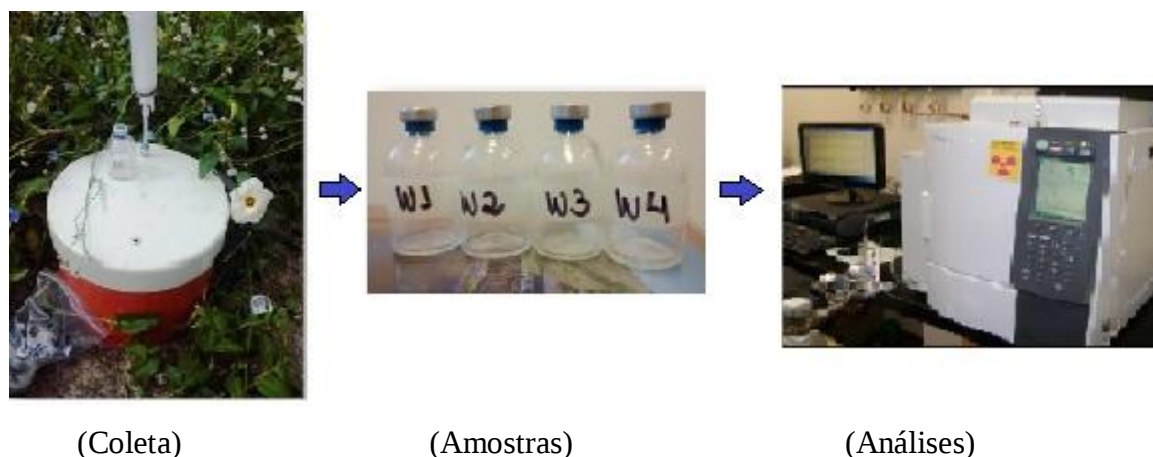


Figura 5: Esquema geral das coletas até a etapa de análise

4.4 Determinação de umidade do solo

Amostras de solo foram coletadas na proximidade das câmaras nos dias de coleta, para a determinação da umidade gravimétrica do solo. As coletas de solo foram realizadas com auxílio de um trado manual (Figura 6), na qual amostras de 50g foram retiradas de uma profundidade 5cm de profundidade e armazenadas em sacos plásticos lacrados para melhor conservação da umidade do substrato coletado. Após a coleta, as amostras de solo eram transportadas para o Laboratório de Solos (Centro Laboratório de Apoio à Pesquisa da Unidade Acadêmica de Garanhuns - CENLAG / UFRPE).

O teor de água no solo foi determinado através da razão entre a quantidade de água e a massa seca da amostra de solo de acordo com a metodologia proposta por PICCOLO *et al.* (1994). A determinação da quantidade de água e da massa seca foi obtida de 10g de cada amostra de solo coletado durante o experimento, em cada linha e dia de coleta, as quais foram levadas para secagem em estufa a temperatura de 105°C durante 24 horas para determinação do teor de água (PICCOLO *et al.*, 1994).

Como foi realizado para a temperatura do solo a umidade gravimétrica também foi fracionada em faixas (intervalos) para efeitos de comparação com os fluxos de gases do solo, conforme segue: Faixa 1 (0- 19,9%), Faixa 2 (20 - 39,9%), Faixa 3 (40 - 59,9%), Faixa 4 (60 - 79,9%), e Faixa 5 (80 - 100%).



Figura 6: Coleta de amostras de solo para determinação de umidade gravimétrica

4.5 Determinação dos fluxos

Os fluxos de N_2O , CO_2 e CH_4 foram determinados considerando a variação temporal da razão de mistura dos gases no interior da câmara, para dado intervalo de tempo. Os fluxos dos gases foram calculados através da equação 1, de acordo com proposto por JANTALIA *et al.* (2008):

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{m}{V_m}$$

Onde:

ΔC = mudança de concentração do gás dentro da câmara;

(Δt) =tempo em que a câmara esta fechada;

V e A = volume e área do solo coberta pela câmara;

M=massa molecular de cada gás (N_2O , CH_4 , CO_2)

V_m = volume molecular de cada gás.

Para esse experimento foram testados regressões lineares, exponenciais e quadrática, afim de se avaliar o comportamento das concentrações dos gases ao longo do tempo de coleta. Modelos lineares são comumente observados em experimentos de fluxos de gases em solos. No entanto, as concentrações podem se comportar de forma distinta em padrões não lineares

(KOEHLER *et al.*, 2009). Esse tipo de avaliação é importante, uma vez que essa análise de multi regressões aponta possíveis padrões e indica, por exemplo, saturação em casos que a dimensão das câmaras adotadas são inadequadas para o fluxo dos gases do solo. Para tanto, modelos não-lineares também foram testados (quadrática e exponencial) para averiguar qual função se ajustava de forma mais adequada ao conjunto de dados obtidos por esse experimento (SOUSA NETO, 2012; LIVINGSTON, 1995). Para todos os gases, mais de 97% dos fluxos se comportaram de forma linear (Tabela 3).

Tabela 3: Tipo de regressão adotada para os gases e suas porcentagens (%)

Gás	Função Matemática (%)		
	Linear	Quadrática	Exponencial
N ₂ O	99	1	0
CO ₂	97	2	1
CH ₄	99	1	0

4.6 Análise Estatística

Todos os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Devido à distribuição não-normal de alguns fluxos, estes dados foram transformados, utilizando a transformação de Box-Cox para homogeneizar variâncias. Correlações entre os dados e parâmetros ambientais foram testadas pela análise de variância de fator único (Oneway - ANOVA) comparando fluxos e tratamentos, temperatura, umidade, estação e data de coleta (ano). Análise post-hoc de Tukey foi utilizada para fazer comparações entre os tratamentos, enquanto que coeficientes de Pearson foram utilizados para obter correlação entre fluxos de N₂O, CO₂, CH₄, temperatura do solo e umidade do solo. Todos os dados foram calculados com nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas utilizando Statistica versão 12 do software

5. RESULTADOS

5.1 Temperatura e Umidade do Solo

A temperatura do solo foi significativamente maior durante a estação seca para ambos os anos tanto na Caatinga como na Pastagem ($P < 0,01$) conforme pode ser visualizado na Figura 7. As médias de temperaturas do solo medido durante a estação seca de 2013 e 2014 foram de $31,9 \pm 3,0$ ° C e $29,4 \pm 3,0$ ° C, respectivamente. Durante a estação chuvosa, as médias de temperaturas do solo foram $24,7 \pm 1,4$ ° C e $22,8 \pm 1,7$ ° C para 2013 e 2014.

A temperatura do solo da área coberta por pastagem (média de $27,0 \pm 4,2$ ° C) foi dois graus mais quente do que a temperatura do solo na área coberta por vegetação nativa (média de $25,8 \pm 4,0$ ° C), apresentado diferença significativa pela análise de variância de fator único (Oneway - ANOVA). O mesmo teste foi aplicado numa análise das variações da temperatura do solo ao longo do dia, afim de se observar se a variação da temperatura apresentava uma relação significativa. Com base nos testes observou-se que as medidas realizadas entre 12h00 e 16h00 ($P < 0,01$) variaram entre $20,7$ ° C e $37,3$ ° C e que as coletas realizadas no período da manhã (~ 09h00), foram cerca de três graus mais baixos do que na parte da tarde (Figura 8), evidenciando que a variação de temperatura é muito acentuada ao longo do dia e que as amostras de ar coletas no período da manhã sofreram influencia de um solo com temperatura mais amena.

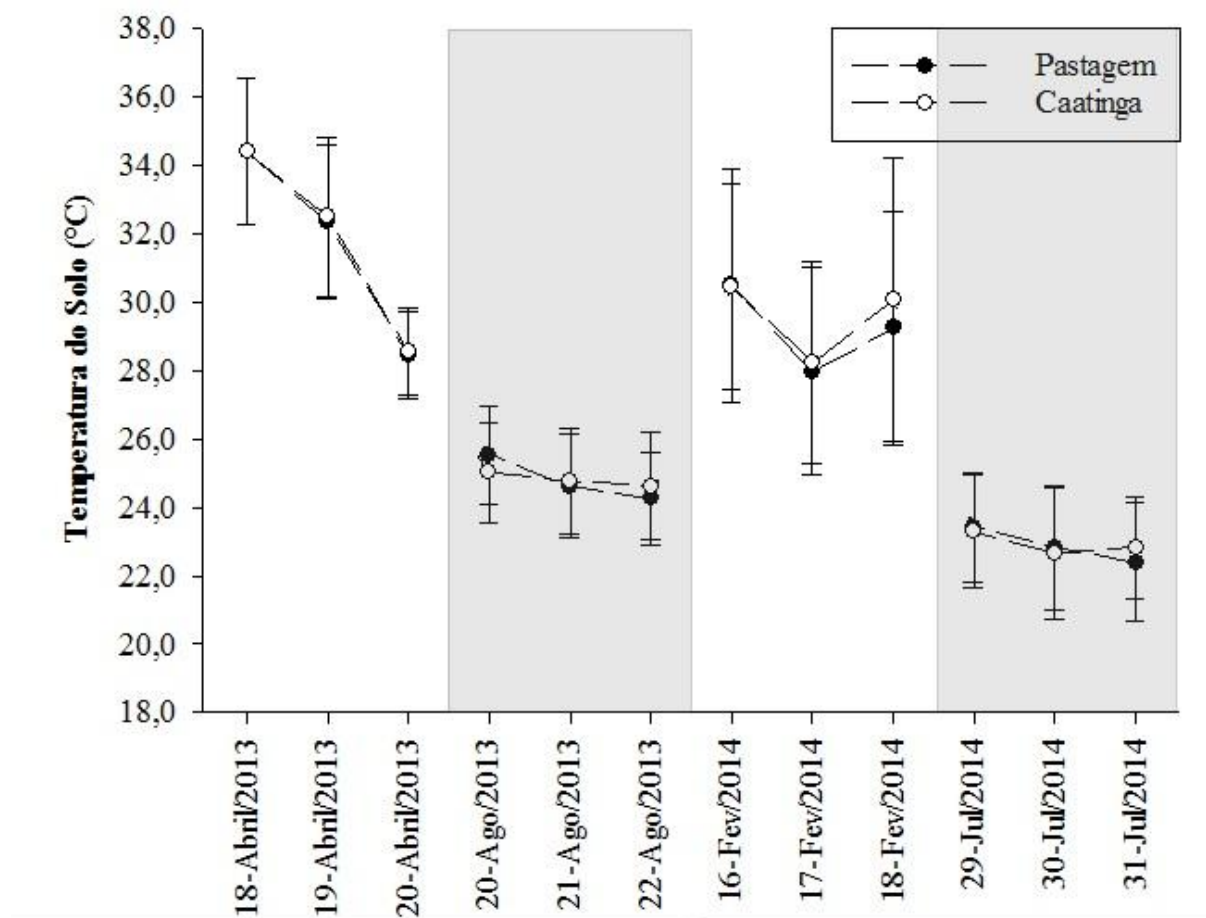


Figura 7: Temperatura do solo medido durante os períodos secos e chuvosos (regiões sombreadas) de 2013 e 2014.

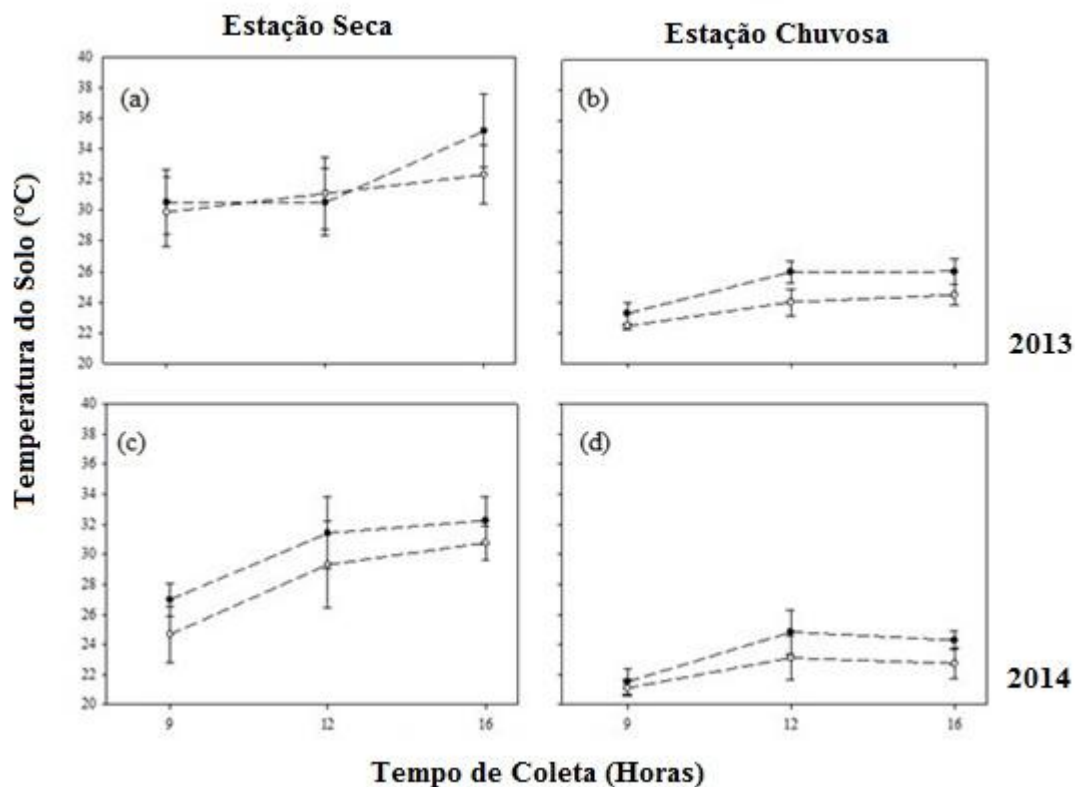


Figura 8: Temperatura diária do solo medido nos dias de coleta (campanhas de 2013 e 2014): estação seca (a e c) e estação chuvosa (b e d) no pasto (símbolos sólidos) e Caatinga (símbolos abertos).

A umidade do solo (umidade gravimétrica) foi significativamente diferente em todo o experimento, com teores de umidade mais elevados em 2014 para ambas as estações em comparação com 2013 ($P = 0,000$). A maior parte dos dados de 2013 revelaram variações entre 3% e 6% (Figura 9) evidenciando o alto grau de aridez desse sistema no período amostrado. Com base no levantamento histórico da região, no ano de 2012 ocorreu uma seca intensa, o que resultou níveis pluviométricos significativamente abaixo dos valores históricos em toda a região nordeste, associado a temperaturas anormalmente mais frias no oceano atlântico sul (MARENGO *et al.*, 2013; RODRIGUES e MCPHADEN, 2014; CUNHA *et al.*, 2015; DEUSDARÁ, 2016), o que mostra que a campanha realizada na estação seca de 2013 poderia ainda estar sofrendo influência de um evento atípico de seca na região, o que poderia justificar os baixos níveis de umidade do solo.

As análises de variância mostraram que para ambos os anos, o solo foi mais úmido na área coberta por pastagem do que na área de Caatinga durante a estação chuvosa ($P < 0,01$), o que pode estar associado a presença do dossel arbóreo que intercepta parte do volume precipitado, interferindo significativamente no volume de água que chega as camadas de solo (DEUSDARÁ, 2016) e principalmente ao fato, das coletas de solo para determinação de umidade serem na camada superficial (até 5cm de profundidade). No que se refere a variação diária, não foi observado diferenças significativas.

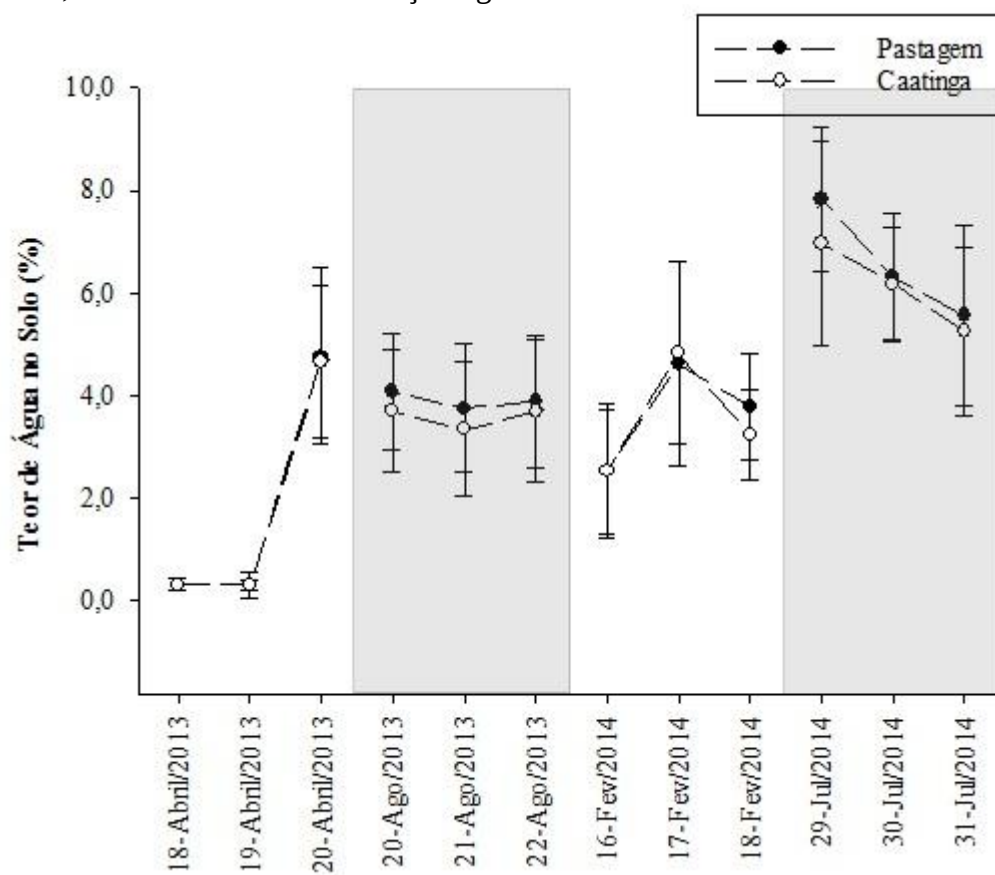


Figura 9: Umidade do solo (umidade gravimétrica) medido durante a estação chuvosa (sombreada regiões) e estação seca de 2013 e 2014.

5.2 Fluxos de gases solo-atmosfera

5.2.1 Óxido Nitroso- N_2O

Fluxos de óxido nitroso apresentaram valores médios de $0,30 \pm 0,03 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (variação: -1,0 a $4,2 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) na pastagem e $0,23 \pm 0,02 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (variação: -1,22 a $3,4 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e na Caatinga (Figura 10). Não houve diferença significativa entre os dados de fluxos obtidos das áreas de Caatinga e Pastagem, evidenciando dessa maneira, que a cobertura do solo não foi a variável mais importante relacionada à emissão desse gás, podendo os fluxos estar associados a outros fatores não observados nesse experimento, conforme será melhor detalhado nas discussões. Os testes estatísticos realizados a partir da sazonalidade mostraram que os fluxos observados durante as estações secas foram significativamente maiores ($P < 0,01$) dos que os observados na estação chuvosa, evidenciando dessa maneira, que umidade do solo, de forma geral, não foi um parâmetro regulador das emissões durante todo o experimento. Em contrapartida, a emissões pareceram estar sendo influenciadas pela temperatura do solo ($r = 0,36$; $P < 0,01$; Figura 11), principalmente na faixa de variação de 30°C a $34,9^\circ \text{C}$ (F3), na qual as emissões foram significativamente maiores.

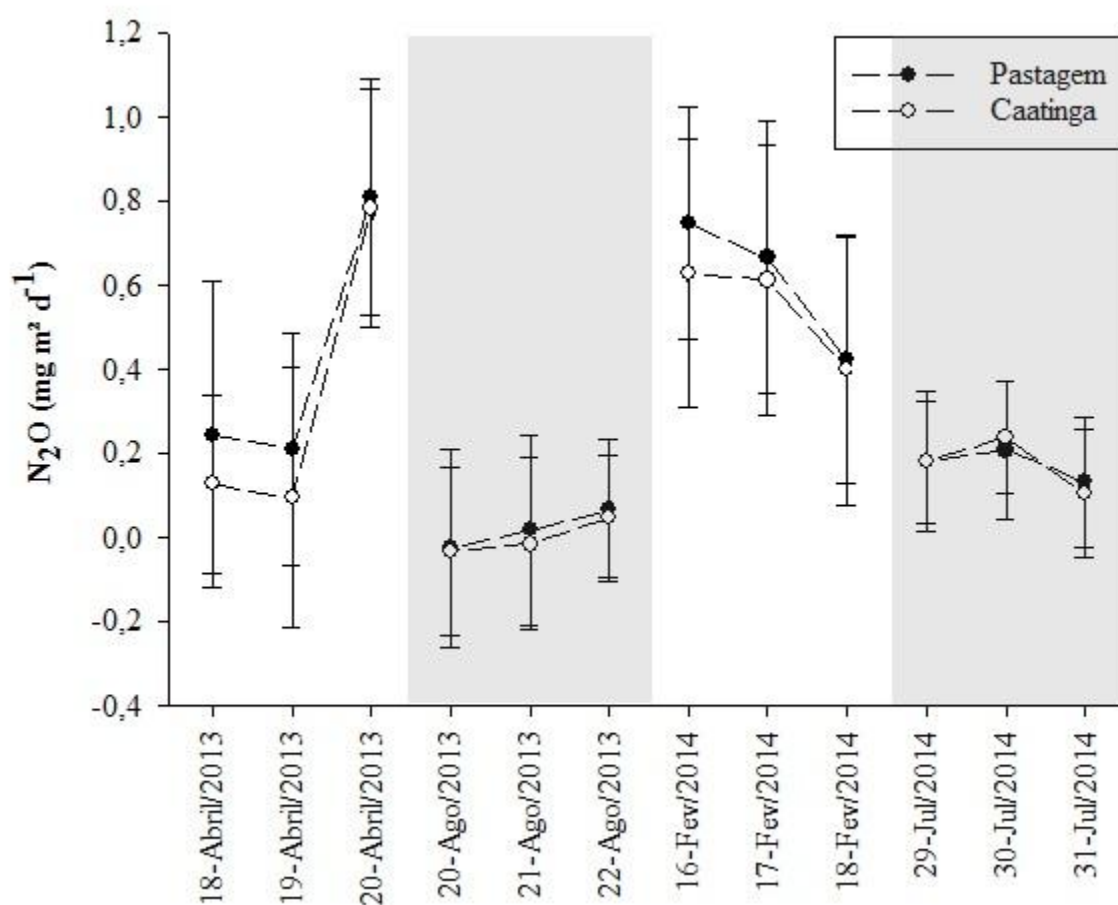


Figura 10: Fluxos de óxido nitroso do solo ($mg\ m^{-2}\ d^{-1}$), medido na pastagem e na Caatinga nas estações chuvosas (regiões sombreadas) e secas de 2013 e 2014.

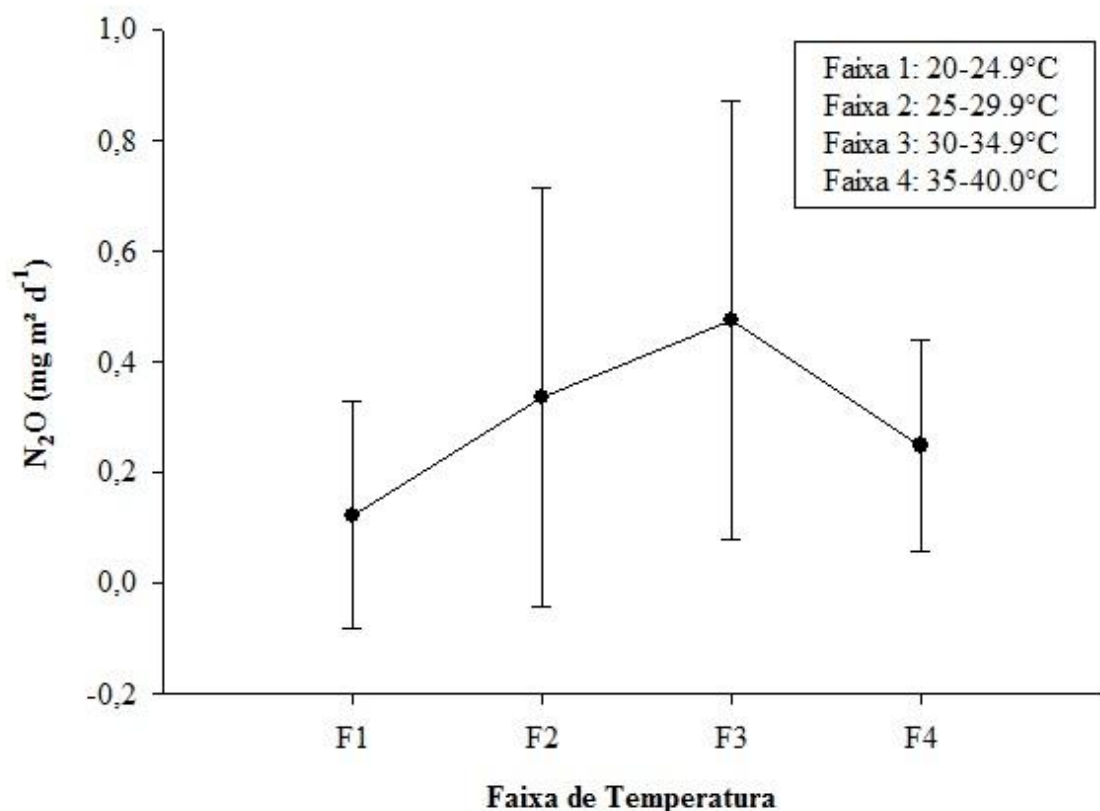


Figura 11: Emissões de óxido nitroso em diferentes faixas de temperatura do solo: Faixa 1 (20 - 24,9 ° C), Faixa 2 (25-29,9 ° C), Faixa 3 (30-34,9 ° C), e Faixa 4 (35 - 40 ° C).

Os fluxos de óxido nitroso de uma maneira geral, não apresentaram correlação significativa com a umidade do solo nesse experimento. Entretanto, os dados de fluxos obtidos durante a primeira campanha de 2013 (estação seca) evidenciaram uma forte relação das emissões de óxido nitroso com a umidade do solo. Esse fato se evidencia, uma vez que durante esse campanha ocorreu um evento chuvoso na noite anterior a última coleta (20/04/2013), o que resultou no molhamento da camada superficial do solo, o que pôde ser observado visualmente e a partir dos dados de laboratório. Inferimos que esse evento chuvoso pode ter impulsionado a formação do gás na camada superficial do solo, através da resposta dos microorganismos na presença de água, como pode ser observado na Figura 12 que mostra a correlação forte e positiva ($r^2=0,99$) da umidade do solo com a emissão desse gás.

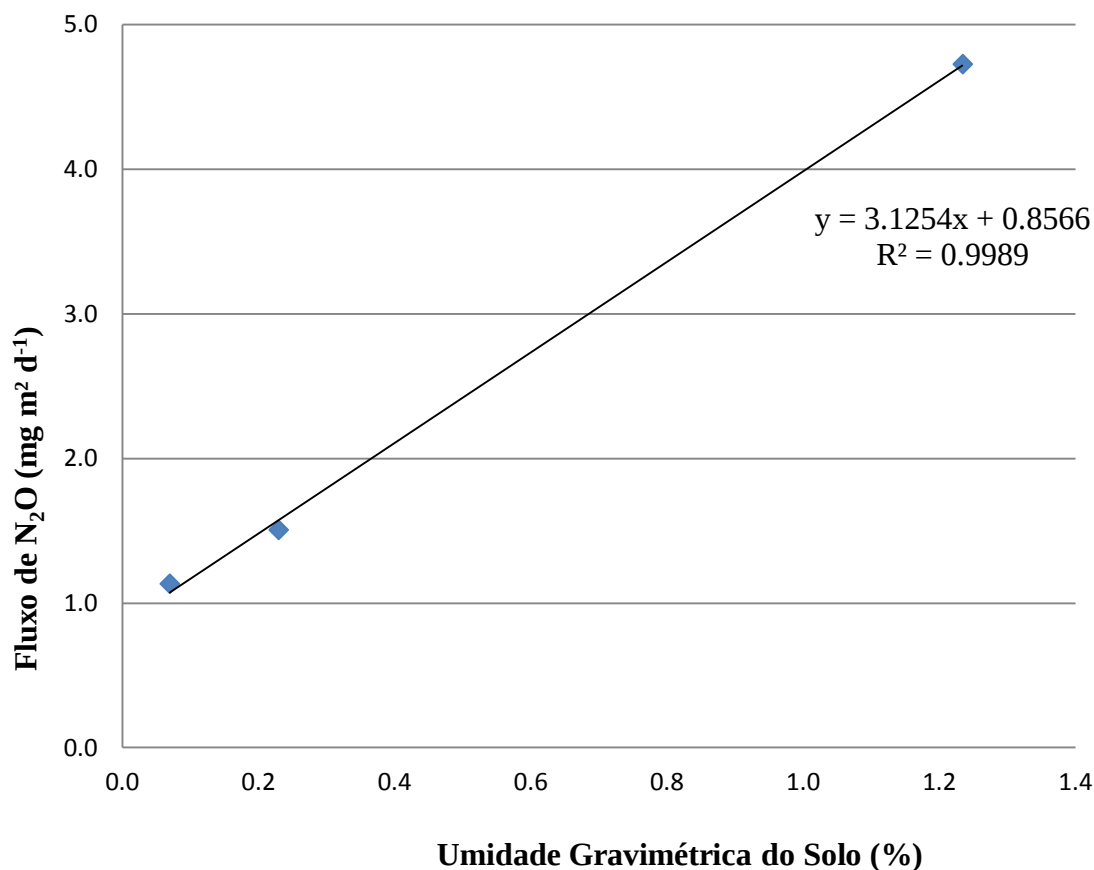


Figura 12: Relação da umidade do solo na campanha da estação seca de 2013 (Dias 18, 19 e 20 de abril de 2013)

5.2.2 Dióxido de Carbono – CO₂

Os fluxos médios de CO₂ apresentados neste experimento foram de $6,1 \pm 3,6 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (variação: -1,1 a $14,1 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) na pastagem, e $6,1 \pm 3,7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (variação: -1,2 a $15,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) na Caatinga, (Figura 13), não apresentando diferença significativa entre os tratamentos de forma geral neste experimento, o que mostrou que a cobertura do solo não influenciou diretamente a formação de gás no substrato, sendo regulada por outros fatores não observados nesse trabalho. No entanto, se analisarmos pontualmente as campanhas, observa-se que as maiores emissões ocorreram nas estações chuvosas dos dois anos, nas quais para 2013 foi significativamente diferente entre os tratamentos, em contrapartida, em 2014 essa diferença não foi observada. Inferimos que essa relação pode estar atribuída principalmente a maior

disponibilidade de água no solo, uma vez que o ano de 2014 apresentou precipitação mais elevada que 2013.

Os dados de variáveis ambientais também corroboram nossas suposições, uma vez que os fluxos de dióxido de carbono apresentaram correlação negativa com os dados de temperatura do solo ($r = -0,33$; $P < 0,01$), ou seja, as emissões diminuíram com a elevação da temperatura do solo. Os maiores fluxos de CO_2 foram observados ($P = < 0,01$) na faixa de temperatura 1 (F1) na qual as temperaturas variaram de 20-24,9°C. No passo que a temperatura do solo subia os fluxos diminuíram (Figura 14). Por outro lado, os fluxos apresentaram correlação positiva e significativa ($r = 0,46$; $P = 0,000$), com umidade do solo, na qual as maiores emissões foram observadas nas faixas de maior teor de umidade (F1 e F4) (Figura 15), mostrando que a quantidade de água disponível no solo foi um fator determinante na emissão desse gás no experimento.

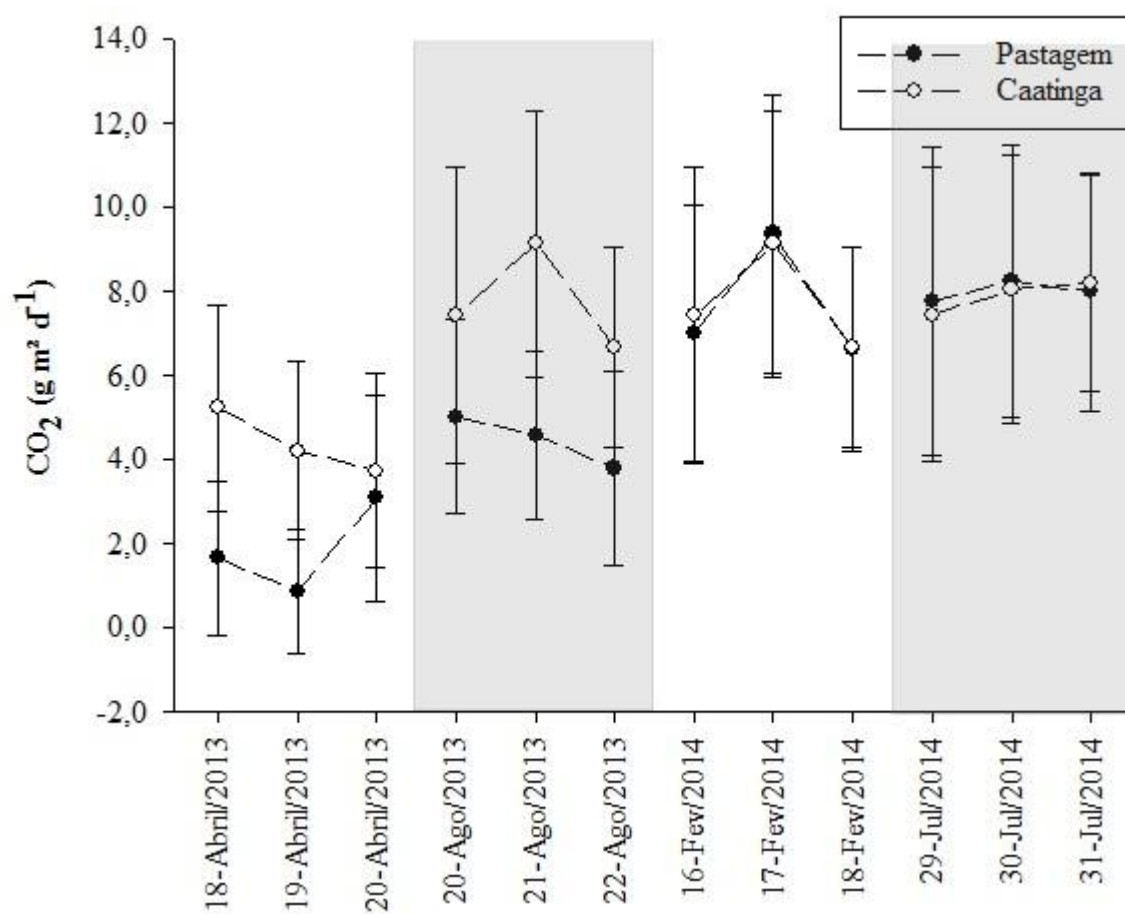


Figura 13: Fluxos de dióxido de carbono do solo ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$), medidas realizadas nos solos cobertos por pastagem e Caatinga nas estações chuvosas (regiões sombreadas) e estações secas de 2013 e 2014.

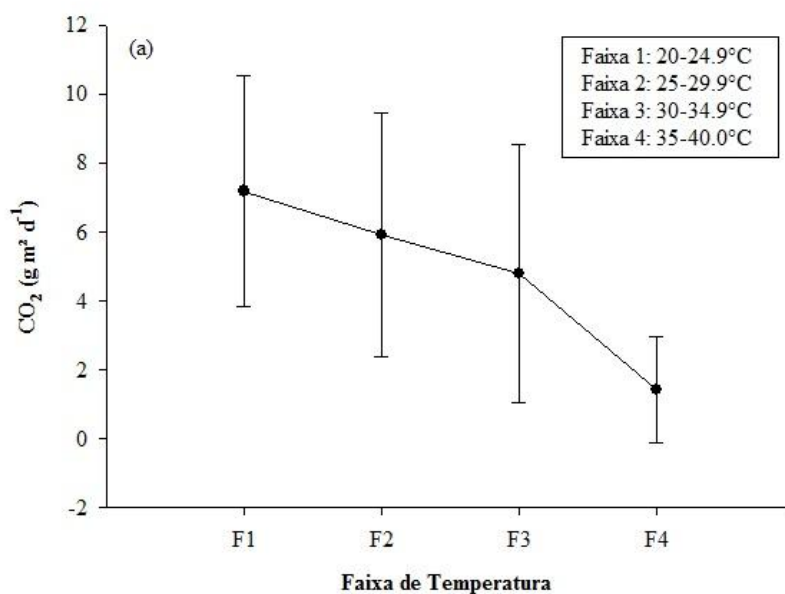


Figura 14: Fluxos de CO₂ em diferentes faixas de temperatura: Faixa 1 (20-24,9 ° C), Faixa 2 (25-29,9 ° C), Faixa 3 (30-34,9 ° C), e Faixa 4 (35 - 40 ° C).

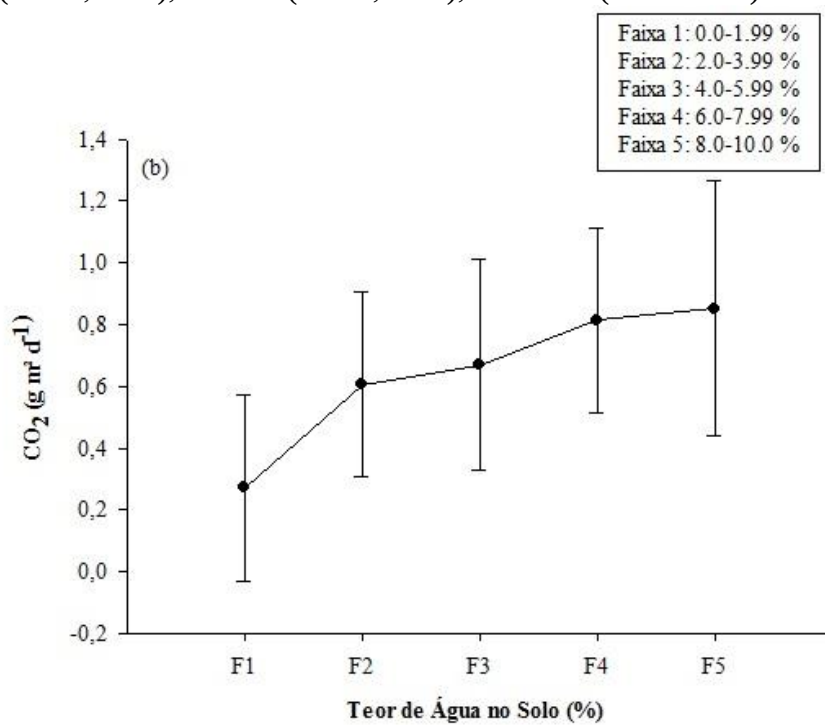


Figura 15: Fluxos de CO₂ em diferentes faixas de umidade do solo: Faixa 1 (0,0-1,99%), Faixa 2 (2,0 - 3,99%), Faixa 3 (4,0-5,99%), Faixa 4 (6,0-7,99%), e Faixa 5 (8,0-10,0%)

5.2.3 Metano – CH_4

Fluxos de metano apresentaram valor médio de $0,4 \pm 0,2 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (variação: 6,6 a $6,8 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) no pasto e $0,28 \pm 0,1 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (variação: -6,0 a $4,8 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) na Caatinga (Figura 16). Os fluxos não variaram significativamente durante o experimento e não apresentaram qualquer correlação com parâmetros ambientais como temperatura e umidade do solo, evidenciando que os processos que regulam a formação e fluxos de metano são mais complexos e não puderam ser observados utilizando as variáveis adotadas nesse estudo. No entanto, os fluxos baixos mostram que a Caatinga não é um grande emissor de metano para a atmosfera, chegando a se comportar pontualmente como um sequestrador de metano atmosférico, como pode ser visualizado em alguns fluxos negativos observados durante o experimento.

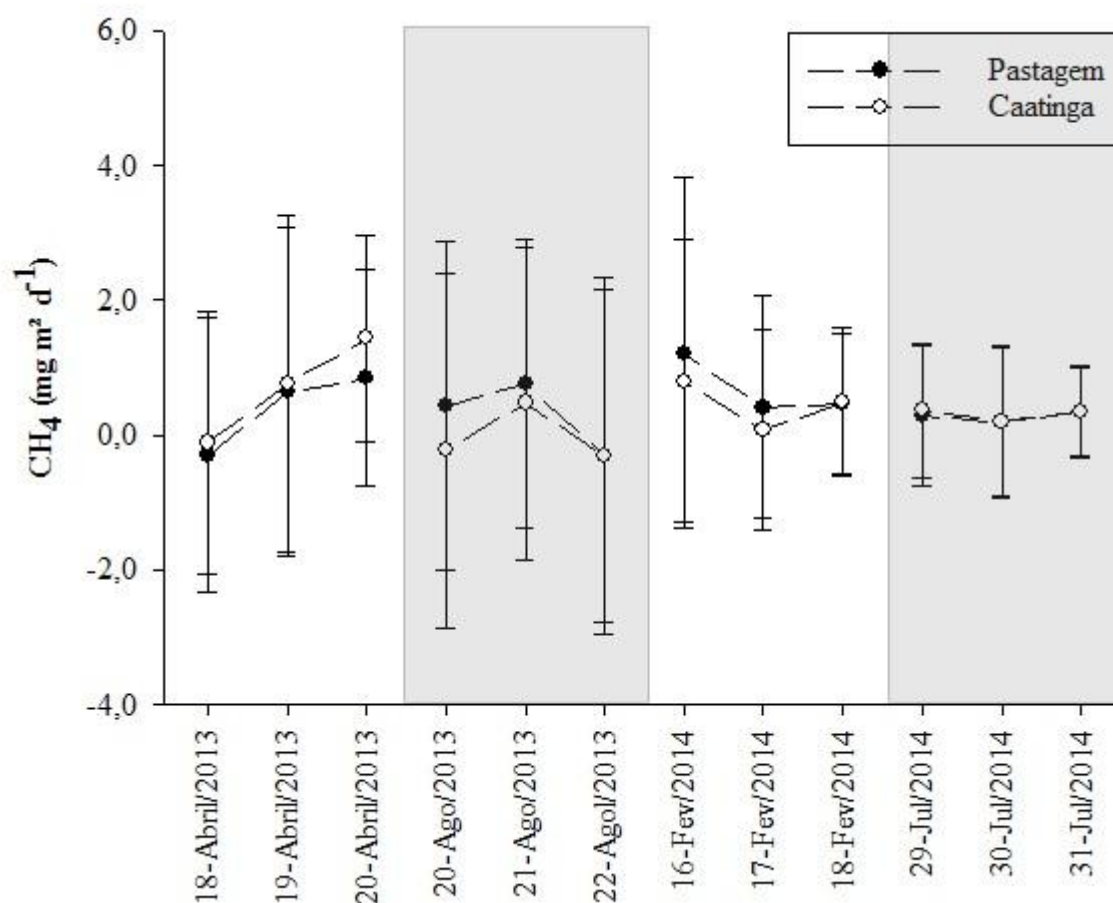


Figura 16: Fluxos de metano do solo ($\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), medidas na pastagem e na Caatinga nas estações chuvosas (regiões sombreadas) e estações secas, de 2013 e 2014..

6. DISCUSSÕES

6.1 Fluxo de Gases “Solo – Atmosfera” no Bioma Caatinga

6.1.1 Fluxos de N_2O

Os resultados desse trabalho mostraram que os fluxos N_2O foram em sua maior parte positivos, indicando emissão do solo para atmosfera, com grandes variações ao longo do experimento, associada principalmente a alta variabilidade ambiental do próprio sistema e dos fatores que regulam as emissões.

De uma forma geral as emissões são reguladas por diferentes fatores tais como concentrações de umidade do solo, temperatura, aeração, amônio e nitratos, pH, carbono mineralizável, entre outros (BOUWMAN, 1990; DAVIDSON *et al.*, 2000; PONCE-MENDOZA *et al.*, 2010; TIEDJE, 1988) com destaque para a umidade do solo, uma vez que é responsável pela regulação do oxigênio disponível para os microorganismos presentes no substrato (BUTTERBACH-BAHL *et al.*, 2013; DAVIDSON *et al.*, 2000), apesar de que de forma geral, neste estudo, a umidade do solo não mostrou relação direta com as emissões de N_2O . No entanto, a ocorrência de um evento chuvoso anterior a uma coleta em 2013 mostrou que o sistema responde sim a presença de umidade, de forma muito significativa. A presença da umidade no solo ocasionou um pico de emissão de N_2O cerca de 5 vezes maior do que o observado nos dias anteriores, evidenciando que o sistema responde muito rapidamente as alterações dos fatores climáticos, o que ainda não havia sido observado até então na região.

Independentemente do evento específico que as emissões correlacionam com a umidade do solo, na maior parte do experimento os fluxos foram significativamente associados com a temperatura do solo na faixa de 30 - 35 ° C, o que mostra a influência da temperatura sobre a dinâmica do nitrogênio. Tal influência já foi demonstrada em outros estudos (DAVIDSON *et al.*, 1991; GARCIA-MONTIEL *et al.*, 2003; MUÑOZ *et al.*, 2010; SOUSA NETO, 2012). Uma hipótese baseia-se no fato da desnitrificação ser extremamente sensível ao aumento da temperatura, o que nesse processo resulta na elevação da respiração dos microorganismos, que leva ao esgotamento das concentrações de oxigênio, resultando no

aumento da anaerobiose. Em um ambiente de baixo oxigênio, o processo de desnitrificação é reforçado, e assim, a produção de N_2O pode aumentar. Este processo mostra uma forte ligação entre C e N no ciclo microbiano, o que poderia explicar as emissões de N_2O observada nas estações secas que naturalmente apresentam maiores temperaturas (BUTTERBACH-BAHL *et al.*, 2013; SCHINDLBACHER *et al.*, 2004). Essas condições podem ser um indicativo do aumento das emissões de N_2O associada à tendência de elevação da temperatura atmosférica devido às alterações climáticas. Segundo os cenários do IPCC o nordeste brasileiro tende a aumentar suas temperaturas, entre 0,5 e 4 ° C até 2100 e reduzir a precipitação de 10-20% (IPCC, 2014; MAGRIN *et al.*, 2014; MARENGO *et al.*, 2009), o que levanta preocupações para as futuras emissões de N_2O por esse bioma. Outro fator de grande importância nesse cenário é a previsão do aumento de eventos atípicos na região nordeste, onde se esperam extremos de temperatura e precipitação o que pode agravar o padrão de emissões de N_2O , uma vez que a Caatinga é um bioma extremamente vulnerável as alterações climáticas e responde muito rapidamente a eventos de chuva, característica inerente do próprio sistema. Como foi observado nesse experimento, após um período de seca prolongado a presença de água no solo resulta num pico de emissão significativamente maior que as emissões médias, o que pode ser um cenário de emissões futuras caso as previsões do IPCC se confirmem e considerando hipoteticamente que as emissões sejam reguladas apenas por temperatura e umidade do solo.

Outro resultado relevante dessa pesquisa está relacionada a similaridade das emissões nas diferentes coberturas do solo, como mostrado na Figura 10. Nota-se que os fluxos médios praticamente se sobrepõem, não apresentando quaisquer variações estatísticas. Tal proximidade sugere que o solo de ambos tratamentos (independentemente da cobertura) podem ser semelhantes quanto ao conteúdo de nitrogênio no solo, o que poderia explicar a semelhança nos fluxos de N_2O . Segundo alguns estudos, os solos do semiárido são considerados pobres em estoques de nitrogênio (CAVALCANTI *et al.*, 1998; MENEZES *et al.*, 2012.), o que nos remete a crer que o conteúdo de nitrogênio pode ser semelhante em todo o experimento.

Outra suposição levantada nesse experimento refere-se à possibilidade de ocorrência de diferentes comunidades microbiológicas nos solos da Caatinga, ainda pouco conhecidas, que podem apresentar um comportamento distinto dos observados em outros biomas do Brasil.

6.1.2 Fluxos de CO₂

As maiores emissões de CO₂ foram observadas nas estações chuvosas quando o solo apresentava alto teor de umidade. Como foi descrito anteriormente, os fluxos de CO₂ foram significativamente relacionados com a umidade gravimétrica, o que mostra que as condições do solo podem ser determinantes na resposta tanto positiva (emissão) como negativa (absorção) sobre a respiração dos microrganismos (DAVIDSON *et al.*, 2006). Entre várias suposições, a variação no conteúdo de água no solo pode afetar a difusão do oxigênio solúvel, o que pode afetar a respiração microbiana do solo (DAVIDSON *et al.*, 2006; LINN e DORAN, 1984). Alguns estudos têm mostrado pulsos de emissão de CO₂ após o molhamento de solos secos. Os autores têm atribuído os picos à morte de células microbianas durante a seca e/ou liberação de compostos orgânicos na solução do solo, que influenciam na dinâmica dos microrganismos vivos, que respondem quase instantaneamente a esta súbita explosão de disponibilidade de nutrientes (DAVIDSON *et al.*, 2006). JIA *et al.* (2013) observaram picos de emissões de CO₂ após a adição de água no solo em uma pastagem na região semiárida do norte da China. Eles observaram que o aumento do teor de água no solo influenciou os fluxos de CO₂ em dois sítios estudados ao longo de dois anos.

Nesse experimento os fluxos de CO₂ da Caatinga foram também sensíveis à temperatura do solo, mas sua correlação foi negativa, com diminuição das emissões em faixas de temperatura mais elevada. Acredita-se que a correlação negativa do gás com a temperatura do solo é inversamente proporcional ao aumento da umidade. Além disso, alguns microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica do solo trabalham em faixas de temperatura restritas, considerando seu próprio metabolismo, podendo diminuir ou cessar suas atividades quando expostos a temperaturas elevadas durante períodos prolongados (KARHU *et al.*, 2014).

Apesar desse estudo ter mostrado uma correlação de fluxo de CO_2 com temperatura e umidade do solo, não é possível associar com certeza que esses são os fatores determinantes na produção do gás, uma vez que os processos fisiológicos subjacentes afetados pela umidade e temperatura não são abordados, bem como não foi englobado nesse experimento análises químicas e biológicas dos solos, bem como a quantificação e disponibilidade de nutrientes no substrato, o que poderia responder a várias questões que ainda não foram totalmente compreendidas nesse estudo, sendo esses os principais limitantes desse trabalho.

6.1.3 Fluxos de CH_4

Devido a limitações de umidade, muitos pesquisadores acreditam que os solos das regiões semiáridas não são consumidores ou produtores significativos de gases traços, e muitas vezes essas regiões são negligenciadas em inventários de gases de efeito estufa (BOWDEN, 1986; MCLAIN e MARTENS, 2006; STRIEG *et al.*, 1992). Além disso, a dinâmica de fluxos de CH_4 emitidos do solo para a atmosfera são pouco compreendidos devido à complexidade dos fenômenos associados e a quantidade de reações que compreendem o processo.

Nesse trabalho não foi observada correlação dos fluxos com umidade e temperatura do solo, o que mostra que essas variáveis ambientais não influenciaram a formação do gás durante esse experimento, estando a produção associada a outros fatores não observados nesse estudo. As únicas emissões que foram estatisticamente significantes estão concentradas na campanha da estação chuvosa de 2014, onde o solo apresentava um alto teor de umidade. Nossas suposições direcionam para o fato de que um ambiente livre de oxigênio favorece a decomposição da matéria orgânica por microrganismo metanogênicos e resultam na formação do gás nas camadas superficiais do solo, o que poderia explicar as emissões de CH_4 provenientes do solo da Caatinga nessa campanha. Da mesma forma, VERCHOT *et al.* (2000) considerou que um aumento na respiração do solo diminui o O_2 disponível e conseqüentemente reduz a oxidação do CH_4 . Outros fatores estão ligados a alterações no uso da terra, uma vez que pode afetar a composição da comunidade metanotrófica/metanogênica

como observado na conversão de floresta para pastagem e a floresta para agricultura (KNIEF e DUNFIELD, 2005; SINGH *et al.*, 1997).

Independentemente das emissões encontrados durante as estações chuvosas na Caatinga, os solos de uma maneira geral, não emitiram metano para a atmosfera, chegando em alguns casos pontuais a atuarem como sumidouros de CH₄. Muitos estudos têm mostrado que os solos das florestas tropicais secas geralmente se comportam como seqüestradores de CH₄, principalmente em épocas de seca, quando a umidade do solo é próximo a zero e as bactérias metanotróficas consomem o CH₄ atmosférico como fonte de carbono (CARMO *et al.*, 2012; KELLER *et al.*, 2005; MEGONIGAL *et al.*, 2004; MEGONIGAL e GUENTHER, 2008; SOUSA NETO, 2012; STRIEG *et al.*, 1992). MCLAIN e MARTENS (2006) estudaram os fluxos de CH₄ de uma vegetação ciliar num ecossistema de uma região semiárida e observaram consumo de metano em solos com condições extremamente secas.

7. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram não haver diferença significativa nas emissões de CO₂, N₂O e CH₄ nas diferentes coberturas vegetais no bioma Caatinga, evidenciando dessa maneira que as mudanças na cobertura do solo não são fatores exclusivos que regulam a dinâmica de absorção e emissão de GEE nesse experimento e nessas condições de clima. Entretanto a mudança no uso da terra altera importantes atributos do solo como umidade e temperatura, expondo a superfície à radiação solar direta, alterando assim a dinâmica dos processos microbiológicos, aumentando a variação entre as taxas altas e baixas de respiração e conseqüentemente resulta em maiores e/ou menores emissões de GEE. Os resultados desse experimento mostram que a temperatura e umidade do solo influenciam significativamente as emissões e são dependentes da dinâmica das mudanças de uso da terra, mesmo os fluxos não apresentando uma relação direta com a cobertura do solo.

A ocorrência de eventos climáticos extremos e secas prolongadas podem mudar drasticamente o panorama dos fluxos de GEE de solos de regiões semiáridas, considerando principalmente sua vulnerabilidade as alterações do clima. Esses fatores alteram a dinâmica das atividades microbiológicas do solo, aumentando as emissões de CO₂ e N₂O principalmente. A temperatura e umidade do solo são importantes reguladores nas emissões desses gases, e estão diretamente relacionadas à ocorrência da precipitação, fator esse, regulador dos principais processos naturais relacionados ao clima.

Para tanto, a determinação de padrões de emissão de GEE para a atmosfera a partir de solos naturais e modificados na Caatinga, as variáveis que influenciam a dinâmica dos gases, bem como sua relação com o uso e cobertura da terra, pode colaborar no conhecimento da dinâmica de GEE em regiões semiáridas, extremamente importante para o entendimento das mudanças climáticas globais, uma vez que terras áridas e semiáridas cobrem aproximadamente 41% da superfície terrestre.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEEL, Z. et al. Ecosystems and human well-being: desertification synthesis. **Millennium Ecosystem Assessment Board**, p. 36, 2005. ISSN 1-56973-590-5. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/20.500.11822/8719> >.
- APAC, A. P. D. Á. E. C., 2015. Disponível em: < <http://www.apac.pe.gov.br> >. Acesso em: August 5th.
- ARAÚJO, E.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. **Impactos ambientais da agricultura no proceso de desertificação no nordeste do Brasil** 2008. Disponível em: < <http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/38/8> >.
- ARAÚJO, E. L. S., E. V. S.B; RODAL, M. J. N. Composição florística e fitossociológica de três áreas de caatinga de Pernambuco. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, p. 595-607, 1995.
- BARBIERI, A. F. Mudanças climáticas, mobilidade populacional e cenários de vulnerabilidade para o Brasil. **Revista Interdisciplinar da Mobilidade Humana**, v. 19, n. 36, 2011. ISSN 2237-9843. Disponível em: < <http://www.csem.org.br/remhu/index.php/remhu/article/view/249> >.
- BEUCHLE, R. et al. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116-127, 3// 2015. ISSN 0143-6228. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622815000284> >.
- BORTOLON, E. S. O. et al. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1635-1646, 2009. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000600012&nrm=iso >.
- BOUWMAN, A. F. **Soils and the greenhouse effect**. John Wiley & Sons Inc (April 1990)
Dunfermline, United Kingdom: 596 p. 1990.
- BOWDEN, W. B. Gaseous Nitrogen Emmissions from Undisturbed Terrestrial Ecosystems: An Assessment of Their Impacts on Local and Global Nitrogen Budgets. **Biogeochemistry**, v. 2, n. 3, p. 249-279, 1986. ISSN 01682563, 1573515X. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/1468652> >.
- BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, n. 3, p. 559-577, 2012. ISSN 1573-1480. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-012-0443-3> >.

BUTTERBACH-BAHL, K. et al. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1621, 2013-07-05 00:00:00 2013. Disponível em: < <http://rstb.royalsocietypublishing.org/royptb/368/1621/20130122.full.pdf> >.

CARMO, J. B. D. et al. Conversion of the coastal Atlantic forest to pasture: Consequences for the nitrogen cycle and soil greenhouse gas emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p. 37-43, 2/15/ 2012. ISSN 0167-8809. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880911003902> >.

CARVALHO, J. L. N. et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 342-349, 5// 2009. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198708002109> >.

CAVALCANTI, F. et al. Avaliação da fertilidade dos solos de Pernambuco: resultados de 1997. **Proceedings of the XII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, p. 365-366, 1998.

CEPEA. **Pecuaria de corte Brasileira: Impactos Ambientais e Gases de Efeito Estufa (GEE)**. Escola superior de agricultura "Luiz de Queiroz". 2008

CERRI, C. E. et al. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. **rev.atual**, v. I, p. 325-358, 2008.

CERRI, C. E. P. et al. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v. 64, p. 83-99, 2007. ISSN 0103-9016. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162007000100013&nrm=iso >.

CHAPUIS-LARDY, L. et al. Soils, a sink for N₂O? A review. **Global Change Biology**, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2007. ISSN 1365-2486. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01280.x> >.

COSTA, F. D. S. et al. 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**, v. 32, p. 323-332, 2008. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100030&nrm=iso >.

COSTA, U. O. **Determinantes locais da decomposição foliar e de raízes finas em um ecossistema semiárido do nordeste brasileiro**. 2012. 47 (Mestrado em Ecologia). Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

CUNHA, A. Impacts of land use and land cover changes on the climate over Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, v. 16, n. 3, p. 219-227, 2015. ISSN 1530-261X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/asl2.543> >.

CUNHA, A. et al. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 494-505, 12/15/ 2015. ISSN 0168-1923. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192315007157> >.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A.; LUO, Y. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: moving beyond Q₁₀. **Global Change Biology**, v. 12, n. 2, p. 154-164, 2006. ISSN 1365-2486. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01065.x> >.

DAVIDSON, E. A. et al. Testing a Conceptual Model of Soil Emissions of Nitrous and Nitric Oxides: Using two functions based on soil nitrogen availability and soil water content, the hole-in-the-pipe model characterizes a large fraction of the observed variation of nitric oxide and nitrous oxide emissions from soils. **BioScience**, v. 50, n. 8, p. 667-680, August 1, 2000. Disponível em: < <http://bioscience.oxfordjournals.org/content/50/8/667.short> >.

DAVIDSON, E. A. et al. Soil emissions of nitric oxide in a seasonally dry tropical forest of México. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 96, n. D8, p. 15439-15445, 1991. ISSN 2156-2202. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1029/91JD01476> >.

DE FREITAS, R. A. C. et al. Estudo florístico e fitossociológico do extrato arbustivo-arboreo de dois ambientes em Messias Targino divisa RN/PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 2, n. 1, 2007. ISSN 1981-8203.

DEUSDARÁ, K. R. L. **Componentes do ciclo hidrológico e ciclagem de nutrientes na interface atmosfera-planta-solo no semiárido Brasileiro**. 2016. 111 (Phd). CCST, INPE, sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/05.27.18.08-TDI.

FILHO, M. B. D. **Competição e sucessão vegetal em pastagens**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA:, p.38. 2006

FLEISCHER, E. et al. Carbon exchange fluxes over peatlands in Western Siberia: Possible feedback between land-use change and climate change. **Science of The Total Environment**, v. 545–546, p. 424-433, 3/1/ 2016. ISSN 0048-9697. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715312274> >.

GARCIA-MONTIEL, D. C. et al. Nitrogen oxide emissions following wetting of dry soils in forest and pastures in Rondônia, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 64, n. 3, p. 319-336, 2003. ISSN 0168-2563.

GARIGLIO, M. A. et al. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro-SFB, 2010. ISBN 8563269046.

GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**, p. 48-90, 2004.

HENRY, B. K. et al. A review of the potential role of greenhouse gas abatement in native vegetation management in Queensland's rangelands. **The Rangeland Journal**, v. 24, n. 1, p. 112-132, 2002. Disponível em: < <http://www.publish.csiro.au/paper/RJ02006> >.

HRISTOV, A. N. et al. **Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production - A review of technical options for non-CO2 emissions**. FAO. Rome, p.231. 2013. (9789251076583 0254-6019)

IBGE, I. B. D. G. E. E. Sistema IBGE de Recuperação Automática. 2004. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/> >. Acesso em: August 5th.

INSA. Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. v. 1, 2011. ISSN ISBN: 978-85-64265-02-8.

IPCC, I. P. O. C. C. **Climate Change 2014: Impact, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. FIELD, C. E. A. Cambridge/New York: Cambridge University Press 2014.

JANTALIA, C. P. et al. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 82, n. 2, p. 161-173, 2008. ISSN 1573-0867. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-008-9178-y> >.

JIA, X.; SHAO, M. A.; WEI, X. Soil CO₂ efflux in response to the addition of water and fertilizer in temperate semiarid grassland in northern China. **Plant and soil**, v. 373, n. 1-2, p. 125-141, 2013. ISSN 0032-079X.

KARHU, K. et al. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. **Nature**, v. 513, n. 7516, p. 81-84, 2014. ISSN 0028-0836.

KATHARINA, H. E. M. et al. Direct nitrous oxide (N₂O) fluxes from soils under different land use in Brazil—a critical review. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 2, p. 023001, 2016. ISSN 1748-9326. Disponível em: < <http://stacks.iop.org/1748-9326/11/i=2/a=023001> >.

KELLER, M.; REINERS, W. A. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, and methane under secondary succession of pasture to forest in the Atlantic lowlands of Costa Rica. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 8, n. 4, p. 399-409, 1994. ISSN 1944-9224.

KELLER, M. et al. Soil-atmosphere exchange of nitrous oxide, nitric oxide, methane, and carbon dioxide in logged and undisturbed forest in the Tapajos National Forest, Brazil. **Earth Interactions**, v. 9, n. 23, p. 1-28, 2005. ISSN 1087-3562.

KHALIL, M. A. K.; RASMUSSEN, R. A.; SHEARER, M. J. Flux measurements and sampling strategies: Applications to methane emissions from rice fields. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 103, n. D19, p. 25211-25218, 1998. ISSN 2156-2202. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1029/98JD00690> >.

KIRSCHBAUM, M. U. F. To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels. **Biomass and Bioenergy**, v. 24, n. 4-5, p. 297-310, 4// 2003. ISSN 0961-9534. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195340200171X> >. Acesso em: 2003/5//.

KNIEF, C.; DUNFIELD, P. F. Response and adaptation of different methanotrophic bacteria to low methane mixing ratios. **Environmental Microbiology**, v. 7, n. 9, p. 1307-1317, 2005. ISSN 1462-2920. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00814.x> >.

KOEHLER, B. et al. Immediate and long-term nitrogen oxide emissions from tropical forest soils exposed to elevated nitrogen input. **Global Change Biology**, v. 15, n. 8, p. 2049-2066, 2009. ISSN 1365-2486. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01826.x> >.

LEAL, I. R. et al. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.

LINN, D.; DORAN, J. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 6, p. 1267-1272, 1984. ISSN 0361-5995.

LIVINGSTON, G. H., G. Enclosure-based measurements of trace gas Exchange: Applications and sources of error. In: MATSON, P. H., R. (Ed.). **Biogenic trace gases: measuring emissions from soil and water**. London: Blackwell Science, v.2, 1995. cap. 2, p.14-52.

MAGRIN, G. O. et al. **Central and South America. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. BARROS, V. E. A. Cambridge/New York: Cambridge University Press 2014.

MARANI, L.; ALVALÁ, P. C. Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 8, p. 1627-1633, 3// 2007. ISSN 1352-2310. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006010557> >.

MARENGO, J. A. et al. Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 26, n. 22, p. 9137-9154, Nov 2013. ISSN 0894-8755. Disponível em: <Go to ISI>://WOS:000326216500025 >.

MARENGO, J. A. et al. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **international Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009. ISSN 1097-0088.

MATSON, P.; VITOUSEK, P. Ecosystem approach to a global nitrous oxide budget. **Bioscience**, v. 40, n. 9, p. 667-672, 1990. ISSN 0006-3568.

MCHUGH, T. A. et al. Water from air: an overlooked source of moisture in arid and semiarid regions. **Scientific reports**, v. 5, 2015.

MCLAIN, J. E.; MARTENS, D. A. Moisture controls on trace gas fluxes in semiarid riparian soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, p. 367-377, 2006. ISSN 1435-0661.

MCTI, M. D. C. T. E. I. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. MCTI2013, p.76. 2013

MEGONIGAL, J.; MINES, M.; VISSCHER, P. Anaerobic metabolism: linkages to Trace Gases and Aerobic Processes. In: SCHLESINGER, W. H. (Ed.). **Biogeochemistry**, 2004. p.317-324.

MEGONIGAL, J. P.; GUENTHER, A. B. Methane emissions from upland forest soils and vegetation. **Tree physiology**, v. 28, n. 4, p. 491-498, 2008. ISSN 0829-318X.

MENEZES, R. et al. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 643-653, 2012. ISSN 1519-6984. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842012000400004&nrm=iso >.

MMA, M. D. M. A. **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação, nos Países afetados por Seca Grave e/ou Desertificação, particularmente na África**. Brasília, DF: MMA: 7-11 p. 1998.

MUÑOZ, C. et al. Greenhouse Gas (CO₂ AND N₂O) Emissions from Soils: A Review. **Chilean journal of agricultural research**, v. 70, p. 485-497, 2010. ISSN 0718-5839. Disponível em: <
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392010000300016&nrm=iso >.

OLIVEIRA, S. D. et al. Os Impactos das Alterações Climáticas na Cana-de-Açúcar Cultivada em Sistema de Sequeiro na Região Nordeste do Brasil (The Impacts of the Climate Changes on Sugar Cane Cultivated in Rainfed Systems in Northeastern of

Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 1, p. 170-184, 2012. ISSN 1984-2295.

PAZ, J. H. A. **Distribuição de indivíduos de três espécies arbóreas da Caatinga provenientes da regeneração natural**. 2010. Programa de Graduação em engenharia florestal, Universidade Federal de Campina Grande

PEREIRA, I. **Levantamento florístico do estrato arbustivo-arboreo e análise da estrutura fitossociológica de ecossistema de caatinga sob diferentes níveis de antropismo**. 2000. 70 (MSc). Universidade Federal da Paraíba

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and Soil**, v. 162, n. 1, p. 61-70, 1994. ISSN 0032-079X.

PINTO, A. D. S. et al. Soil emissions of N₂O, NO, and CO₂ in Brazilian Savannas: Effects of vegetation type, seasonality, and prescribed fires. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. LBA 57-1-LBA 57-9, 2002. ISSN 2156-2202. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1029/2001JD000342> >.

PONCE-MENDOZA, A. et al. Emission of nitrous oxide and carbon dioxide from semi-arid tropical soils in Chiapas México. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1617-1628, 2010. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000500015&nrm=iso >.

RODRIGUES, R. R.; MCPHADEN, M. J. Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast? **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014. ISSN 1944-8007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/2013GL058703> >.

SALIMON, C. et al. CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 833-843, 2004. ISSN 1365-2486.

SAMPAIO, E. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. In: SALES, V. (Ed.). **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003. p.129-142.

SAMPAIO, E.; FREITAS, A. Produção de Biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R.; SAMPAIO, E., et al (Ed.). **Fertilidade do Solo e Produção de Biomassa no Semi-árido**, . Recife: Editora Universitária/UFPE, 2008. p.11-26.

SAMPAIO, E. V. D. S. B.; DA COSTA, T. L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares (Stocks and Fluxes of Carbon in Semiarid Northeast Brazil: Preliminary Estimates). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1275-1291, 2012. ISSN 1984-2295.

SANTOS, J. C. B. D. et al. Caracterização de neossolos regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 683-696, 2012. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000300001&nrm=iso >.

SANTOS, R. S. D. et al. Avaliação da relação seca/produktividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 313-321, 2011. ISSN 0102-7786. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862011000200014&nrm=iso >.

SCHINDLBACHER, A.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; BUTTERBACH-BAHL, K. Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂, and N₂O emissions from European forest soils. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 109, n. D17, p. n/a-n/a, 2004. ISSN 2156-2202. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1029/2004JD004590> >.

SINGH, J. et al. Effect of soil nitrogen, carbon and moisture on methane uptake by dry tropical forest soils. **Plant and Soil**, v. 196, n. 1, p. 115-121, 1997. ISSN 0032-079X.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 63-76, 2011. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000100006&nrm=iso >.

SOUSA NETO, E. R. D. **Fluxos de óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) a partir de um solo cultivado com cana-de-açúcar sob diversos tratos culturais**. 2012. (PhD). Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

STRIEG, R. et al. Consumption of atmospheric methane by desert soils. **Nature**, v. 357, n. 6374, p. 145-147, 1992. ISSN 0028-0836.

TIEDJE, J. M. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. **Biology of anaerobic microorganisms**, v. 717, p. 179-244, 1988.

USDA, U. S. D. O. A. Agriculture and Forestry Greenhouse Gas Inventory: 1990-2005. p. 161, Auguste 2008 2008. Disponível em: < http://www.usda.gov/oce/global_change/AFGGInventory1990_2005.htm >. Acesso em: 1921.

VARNER, R. K. et al. Experimentally induced root mortality increased nitrous oxide emission from tropical forest soils. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 3, p. n/a-n/a, 2003. ISSN 1944-8007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1029/2002GL016164> >.

VERCHOT, L. V. et al. Land-use change and biogeochemical controls of methane fluxes in soils of eastern Amazonia. **Ecosystems**, v. 3, n. 1, p. 41-56, 2000. ISSN 1432-9840.

VIEIRA, R. M. S. P. et al. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015. ISSN 1869-9529. Disponível em: < <http://www.solid-earth.net/6/347/2015/> >.

WATANABE, M. D. B.; ORTEGA, E. Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes. **Environmental Science & Policy**, v. 14, n. 6, p. 594-604, 10// 2011. ISSN 1462-9011. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146290111100089X> >.

ZHAO, H.-L. et al. Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner Mongolia. **CATENA**, v. 77, n. 3, p. 187-191, 6/15/ 2009. ISSN 0341-8162. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816208001951> >.