

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares

**RESPIRAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS DE CAATINGA E DE
PASTAGEM NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

CARLAS RENATA PRISSILA COSTA FERREIRA

Orientador: Prof. Dr. Antônio Celso Dantas
Antonino.

Co-orientador: Prof. Dra. Karina Guedes Correia.

Recife, PE
Julho, 2015

CARLAS RENATA PRISSILA COSTA FERREIRA

**RESPIRAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS DE CAATINGA E DE
PASTAGEM NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Tecnologias Energéticas e Nucleares para
obtenção do título de Doutora em Tecnologias
Energéticas e Nucleares, Área de Concentração:
Aplicações de Radioisótopos na Agricultura e no
Meio Ambiente- Física do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Celso Dantas
Antonino.

Co-orientador: Prof. Dra. Karina Guedes Correia.

Recife, PE

Julho, 2015

F383r

Ferreira, Carlas Renata Prissila Costa.

Respiração do solo em áreas de caatinga e de pastagem no
agreste de Pernambuco. / Carlas Renata Prissila Costa Ferreira. -
Recife: O Autor, 2015.

62 f. : il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Celso Dantas Antonino.

Coorientadora: Profa. Dra. Karina Guedes Correia.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas
e Nucleares, 2015.

Inclui referências bibliográficas.

1. Solo. 2. Métodos. 3. Fatores ambientais. 4. Emissão de
CO₂. 5. Caatinga. I. Antonino, Antônio Celso Dantas,
orientador. II. Correia, Karina Guedes, coorientadora. III.
Título.

UFPE

CDD 631.43 (21. ed.)

BDEN/2015-20

RESPIRAÇÃO DO SOLO EM ÁERA DE CAATINGA E DE PASTAGEM NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Carlas Renata Prissila Costa Ferreira

APROVADA EM: 30.07.2015

ORIENTADOR: Prof. DR. Antonio Celso Dantas Antonino

ORIENTADORA: Profa. Dra. Karina Guedes Correia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antonio Celso Dantas Antonino - DEN/UFPE

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio – DEN/UFPE

Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes – UFPE/DEN

Prof. Dr. José Romualdo de Souza Lima – UAG/UFRPE

Profa. Dra. Giselle Gomes Monteiro Fracetto – Depto.

Agronomia/UFRPE

Visto e permitida a impressão

Coordenador(a) do PROTEN/DEN/UFPE

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar meu caminho e dar força para percorrê-lo.

À minha família pelo apoio, carinho, compreensão e incentivo constante.

Aos meus pais Marlucia e Jose Carlos, a minha irmã Claudia, aos meus parentes, tio, tias, primas, e a minha avó; ao meu marido Kleber Silva pelo amor e compreensão.

Aos professores Antônio Celso Dantas Antonino e Karina Correia Guedes por aceitarem realizar o trabalho de orientação desta Tese de doutorado e pela amizade sincera e dedicada.

Aos professores Everardo Sampaio, Rômulo Menezes, Romualdo Santos, Willames A. e Osvaldo P. Jr, pelas discussões e sugestões que muito contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos Kleber Silva, Sloana Lemos, Manuela V., Edevaldo M., P. Jailson, Fernanda Oliveira; Nandízia, Ângela Fofan; Abner M.; Severino Neto; André Maciel; Elmo, Dário Primo; Iane; Carlos, Renata F; Paula Fracinnette, Lenivaldo, e aos alunos, pelos incentivos ajuda e força indispensáveis à realização deste trabalho.

Aos amigos do Grupo de Energia da Biomassa e Fertilidade do Solo do Departamento de Tecnologias Energéticas e Nucleares (DEN/UFPE).

Aos funcionários do DEN, em especial Nilvania, Carlos, Kalidja, Mauricio, Kassio, Antônio, Edvaldo, Vando, David, Fernando, Edson, Lia, Anicleide, Josenildo e Alene, pela constante simpatia e amizade na realização de suas atividades.

RESUMO

A respiração do solo é um parâmetro sensível a variações nos fatores ambientais e pode ter efeitos sobre a mudança climática global, por sua contribuição no aumento da concentração de CO₂ atmosférico. Embora importante, há pouco conhecimento em termos de variação sazonal da quantidade de CO₂ emitido nos diferentes tipos e coberturas de solo do Brasil, principalmente na região semiárida nordestina. Nesta região, o corte da vegetação nativa de Caatinga para lenha e sua substituição por pastagens e campos agrícolas, aliados a longos períodos de estiagem, provocam acentuada degradação do solo. Esta degradação modifica os fluxos de trocas de gases pela aceleração ou retardamento dos processos de formação e/ou decomposição da matéria orgânica, por estar frequentemente exposto à ação dos agentes climáticos. A respiração do solo foi medida pelos métodos de Absorção Álcali (AA) e de Analisador de Gás Infravermelho (IRGA), em uma área de Caatinga e uma de pastagem no Agreste Meridional Pernambucano. Foi determinada a relação da respiração do solo com umidade volumétrica e temperatura do solo, ao longo do ciclo sazonal. As medidas da respiração do solo com o IRGA mostraram maior sensibilidade à variação sazonal que as com método de AA. Utilizando o IRGA, as médias da respiração do solo na Caatinga foram cerca de 20% superiores à respiração na área de pastagem. As emissões de CO₂ na época seca foram 47% e 63% menores que na época chuvosa nas áreas de caatinga e pastagem, respectivamente. No período chuvoso, os valores do coeficiente metabólico (qCO_2) foram maiores que no período seco. A umidade do solo foi positivamente correlacionada com a respiração, enquanto a temperatura foi negativamente correlacionada, tanto nas áreas de caatinga quanto nas de pastagem. Embora o aumento da temperatura possa favorecer a atividade dos microrganismos, a correlação negativa pode ter ocorrido porque na estação seca causou redução na umidade do solo.

Palavras-chave: métodos; fatores ambientais; emissão de CO₂; Caatinga; solo.

ABSTRACT

Soil respiration is a sensitive parameter to changes in environmental factors and can influence global climate change, for its contribution to the increase in atmospheric CO₂ concentration. Although important little is known in terms of seasonal variation in the amount of CO₂ emitted in different types and soil coverage in Brazil, mainly in the northeastern semi-arid region. In this region, cutting the Caatinga native vegetation for firewood and its replacement by pastures and farmland, combined with long periods of drought, has caused severe soil degradation. Soil respiration was determined by the Alkali Absorption (AA) and the Infrared Gas Analyzer (IRGA) methods in one Caatinga and one pasture area in the Agreste region of Pernambuco state. The relationship of soil respiration with soil moisture and temperature were determined throughout the seasonal cycle. Soil respiration measured by the gas analyzer infrared (IRGA) method showed higher sensitivity to seasonal variation than by the Alkali Absorption (AA) method. Using IRGA, respiration in the Caatinga was about 20% higher than in the pasture area. CO₂ emissions during the dry season were 47% and 63% lower than in the rainy season in the Caatinga and pasture areas, respectively. In the rainy season, metabolic coefficient (qCO₂) values were higher than in the dry season. Soil moisture was positively correlated with respiration, while temperature was negatively correlated., in both Caatinga and pasture areas. Although temperature may favor soil microorganism activity, the negative correlation may have occurred because it reduced soil humidity in the dry season.

Keywords: methods; environmental factors; CO₂ emissions; Caatinga; soil.

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da respiração do solo, adaptado de Sotta (1998).....	16
Figura 2 – Representação do caminho efetivamente percorrido por uma molécula gasosa no interior do solo.....	20
Figura 3 – Malha de pontos onde foram feitas as medidas, nas áreas experimentais de pastagem e de caatinga, superpostos a imagem de satélite obtida do Google Earth®, na área experimental em São João, Pernambuco.....	30
Figura 4 – Analisador de gás infravermelho (IRGA).	23
Figura 5 – Esquema do método AA utilizado na medição da respiração do solo.....	33
Figura 6 – Respiração do solo, nos turnos noturno e diurno, medida pelos métodos do analisador de gás por raios infravermelhos (IRGA) e de absorção em álcali (AA), em áreas de caatinga e de pastagem, em São João, Pernambuco.....	35
Figura 7 – Respiração do solo, nos turnos noturno e diurno, medida pelos métodos do analisador de gás por raios infravermelhos (IRGA) e de absorção em álcali (AA), em área de caatinga e de pastagem, em São João, Pernambuco	36
Figura 8 – Precipitação mensal (mm) em São João, PE, durante o período de 2012 a 2013.	40
Figura 9 – Média mensal da umidade volumétrica do solo na área experimental em São João, PE, em área de caatinga e de pastagem.	41
Figura 10 – Valores médios mensais da temperatura do solo nos horários diurno e noturno na área de caatinga e de pastagem em São João, PE.	41
Figura 11 – Valores médios mensais de respiração do solo em área de caatinga e de pastagem em São João, PE, nos turnos noturno e diurno.....	42
Figura 12 – Regressão linear dos valores mensais da respiração do solo e temperatura do solo (IRGA), São João, PE.	43
Figura 13 – Regressão linear entre as medidas da respiração do solo e umidade do solo em São João-PE.....	44
Figura 14 – Coeficiente metabólico, q_{CO_2}, em área de Caatinga e de Pastagem em São João, PE.	46
Figura 15 – Coeficiente microbiano mensal, q_{mic}, em área de Caatinga e de Pastagem em São João, PE.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química da camada superficial (0 – 20 cm) de um Neossolo Regolítico sob caatinga e pastagem, em São João, no Agreste meridional de Pernambuco.....	30
Tabela 2 – Caracterização granulométrica, densidade do solo e porosidade total da camada superficial (0 - 20cm) do Neossolo Regolítico sob caatinga e pastagem, em São João, no Agreste meridional de Pernambuco.....	31
Tabela 3 – Respiração do solo medida pelo método de absorção de álcali em locais do Brasil.....	37
Tabela 4 – Respiração do solo medida pelo método do analisador de gás infravermelho em locais do Brasil.....	38
Tabela 5 – Correlação entre a respiração do solo e os fatores ambientais em área de Caatinga e de Pastagem, São João, PE.	45

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Caatinga	12
3.2 Respiração do solo	15
3.2 Métodos para a determinação da respiração do solo	21
3.3 Influência dos fatores ambientais na respiração do solo	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 Coleta, delineamento experimental.....	29
4.2 Caracterização química.....	30
4.3 Caracterização física	31
4.4 Caracterização microbiológica.....	31
4.5 Variáveis ambientais	32
4.6 Análises estatísticas.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 Parte I – Comparação de medidas da respiração do solo por absorção em Álcali e analisador de gás.....	35
5.2 Parte II– Influência dos fatores ambientais na respiração do solo	40
6. CONCLUSÃO	48
7. REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

No Agreste Meridional de Pernambuco, o corte da vegetação nativa de Caatinga para lenha e sua substituição por pastagens e campos agrícolas, aliados a longos períodos de estiagem, provocam acentuada degradação do solo, deixando-o, frequentemente exposto à ação dos agentes climáticos, reduzindo seu potencial produtivo e causando danos, muitas vezes, irreversíveis ao meio (MENEZES et al., 2005; SOUTO et al., 2009).

Estas mudanças no uso da terra modificam os fluxos de trocas de gases pela aceleração ou retardamento dos processos de formação e/ou decomposição da matéria orgânica (RESCK et al., 2008). Entre estes fluxos, a respiração do solo para atmosfera é um processo sensível a variações dos fatores ambientais, e pode ter efeito sobre a mudança climática global por sua contribuição no aumento da concentração de CO₂ atmosférico (PINTO JUNIOR, 2007; PANOSSO et al., 2012).

O estudo dos processos de transferência de gases no solo é bastante complexo posto que além da atmosfera superior, de concentrações praticamente constantes, há no solo fontes e sumidouros de CO₂, O₂, NH₃, N₂, SO₂ e uma série de compostos orgânicos voláteis (WANG et al., 2014).

Segundo Valentini et al. (2008), os principais fatores que influenciam na respiração do solo são: I) A taxa de produção no solo; II) Os gradientes de temperatura; III) A concentração na interface solo-atmosfera; IV) As propriedades físicas do solo; e V) As flutuações da pressão atmosférica do ambiente. Estes variam frente à vegetação, tipo de solo e fatores ambientais (LIN et al., 2011). Embora importantes, há pouco conhecimento em termos de variação sazonal da quantidade de CO₂ emanados nos diferentes tipos e coberturas de solo do Brasil (DAVIDSON et al., 2002; FERNANDES et al., 2002; CERRI et al., 2003; SOUTO et al., 2009; CORREIA, 2010; ARAUJO et al., 2011; LIN et al., 2011; ARAUJO et al., 2005; SOUTO et al., 2008; ALTHOFF, 2008).

Considerando a importância dos fluxos de CO₂, assim como a carência de dados sobre os ecossistemas nordestinos, especialmente a Caatinga, este estudo levanta a hipótese de que a escolha de um método eficiente para determinação da respiração solo permite compreender a sensibilidade às variações do tipo do uso da terra e identificar a influência dos fatores ambientais.

2. OBJETIVOS

Geral: Determinar a relação entre os fatores ambientais e a respiração do solo, medida pelo métodos de Absorção Álcali (AA) e de Analisador de Gás Infravermelho (IRGA), em uma área de Caatinga e uma de pastagem do Agreste Meridional Pernambucano.

Específicos:

- ☐ Comparar as medidas da respiração do solo na Caatinga e na pastagem, utilizando os métodos de Absorção Álcali (AA) e de Analisador de Gás Infravermelho (IRGA);
- ☐ Avaliar a respiração do solo em relação aos fatores ambientais, com ênfase na umidade do solo e na temperatura do solo ao longo do ciclo sazonal.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caatinga

A Caatinga é considerada pelo Ministério do Meio Ambiente como um dos grandes biomas brasileiros (SILVA, et al., 2004), tem área total de 826 mil km², segundo dados do IBGE (2010). Segundo os mesmos, também, 45% dessa área já foram desmatadas, ou seja, mais de 300 mil km² de caatinga nativa foram perdidas.

De acordo com Rodal e Sampaio (2002), as implicações das diferentes descrições e delimitações de caatinga apresentam três características básicas, na maioria dos escritos: (I) A vegetação que cobre uma área grande e relativamente contínua, no Nordeste do Brasil, submetida a um clima semiárido, bordejada por áreas de clima mais úmido; (II) Vegetação com características relacionadas a deficiência hídrica (caducifolia, herbáceas anuais, suculência, acúleos e espinhos, predominância de arbustos e árvores de pequeno porte, cobertura descontínua de copas); e (III) A vegetação com algumas espécies endêmicas ao semiárido.

A conceituação de caatinga como uma vegetação exclusivamente regional deixa em aberto sua ligação com classificações mais gerais. Internacionalmente, ela tem sido incluída como uma das florestas ou matas secas tropicais decíduas (SAMPAIO, 1995; OLIVEIRA FILHO; JARENKOV; RODAL, 2006), embora, no extremo mais seco das caatingas, elas poderiam ser enquadradas como um arbustal espinhoso com suculentas (OLIVEIRA FILHO; JARENKOV; RODAL, 2006). A caatinga tem sido denominada, também, como vegetação caducifolia espinhosa (ALCOFORADO FILHO; SAMPAIO; RODAL, 2003).

Toda a extensão da caatinga situa-se entre o equador e o trópico de capricórnio (cerca de 3° a 18° sul), portanto, dispõe de abundante intensidade luminosa, em todo seu território, durante todo o ano. As altitudes são relativamente baixas, exceto em uns poucos pontos que ultrapassam os 2000 m, na Bahia. Os outros pontos extremos ficam pouco acima dos 1000 m.

As temperaturas da caatinga são altas e pouco variáveis, espacial e temporalmente, com médias anuais entre 25° C e 30° C, e poucos graus de diferença entre as médias dos meses mais frios e mais quentes. Portanto, luz e temperatura não são limitantes ao crescimento vegetal e, dentro dos aspectos desta pesquisa, não são causa de maior variabilidade ambiental nesta área (SAMPAIO, 2003).

Segundo Gariglio et al. (2010) a disponibilidade hídrica não só é limitante quanto extremamente variável no tempo e no espaço. Essa variabilidade origina-se de quatro causas

principais: (I) Sistema muito complexo da formação das chuvas, com frentes que vêm de vários quadrantes e que vão perdendo sua força à medida que penetram no núcleo do Semiárido, resultando em chuvas erráticas e concentradas em poucos meses do ano, em anos chuvosos alternados irregularmente com anos de secas; (II) Disposição orográfica, com serras e chapadas mais altas interceptando as frentes mais úmidas, recebendo mais chuvas que o entorno e criando zonas pouco chuvosas a sotavento; (III) Escoamento das águas, deixando as encostas mais secas e concentrando-se nos vales, formando lagoas e rios, na maioria das vezes temporários, onde a disponibilidade hídrica estende-se por semanas e até meses depois que as chuvas cessam; e (IV) Variabilidade dos solos, com maior ou menor capacidade de reter as águas das chuvas, por conta de diferentes profundidades e texturas.

A variabilidade dos solos da caatinga advém, principalmente, do efeito diferencial da erosão geológica, descobrindo camadas distintas até o limite da exposição das rochas, formando assim os lajedões de muitas áreas e os pavimentos recobertos de rochas, pedras e pedregulhos. As classes de solo típicas desta região são: Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Luvisolos, Planossolos e Neossolos Quartzarênicos (GARIGLIO et al., 2010).

As diferentes disponibilidades de nutrientes formam, junto com a disponibilidade hídrica, uma fonte de diferenciação das condições ambientais, posto que as características que influenciam a capacidade de retenção de água são as mesmas que influenciam na disponibilidade de nutrientes.

De maneira geral, os solos de origem sedimentar, lixiviados ao longo de milhões de anos, são pouco férteis, deficientes em fósforo e cálcio (MENEZES; GARRIDO; MARIN, 2005). A maioria dos solos do semiárido tem pouco nitrogênio, que se acumula na matéria orgânica, também com baixos teores nesses solos, por causa da produção vegetal limitada e da mineralização rápida na época de chuvas (SALCEDO; SAMPAIO, 2008).

Superposta a toda esta variação natural, há os efeitos da ocupação humana. Grande parte da vegetação das áreas mais úmidas (vales, brejos de altitude, pés de serra úmidos, borda oriental) cedeu lugar a plantações ou abertura de pastos. Nas encostas mais secas, a agricultura itinerante vem criando um mosaico de parcelas com distintos tempos de regeneração, durante a fase de pousio e no intervalo das roças.

Até a derrocada do algodão arbóreo, na década de 80 do século passado, o avanço da agricultura era contínuo e chegou a áreas inapropriadas para cultivo; muitas delas são as áreas em processo de desertificação. Atualmente, a agricultura itinerante está em declínio, por causa de sua baixa produtividade e da impossibilidade de competir com a produção de outras regiões do país (GARIGLIO et al., 2010).

O Agreste meridional de Pernambuco é caracterizado por clima seco, muito quente e semiárido, a estação chuvosa adianta-se para o outono (fevereiro/março), o período seco inicia-se em junho/julho e a precipitação média anual varia de 400 a 650mm. A atividade predatória sobre a Caatinga dessa região, aliada a longos períodos de estiagem, provoca acentuada degradação do solo, deixando-o descoberto e exposto por mais tempo à ação dos agentes climáticos, reduzindo assim, conseqüentemente, seu potencial produtivo que resulta em danos muitas vezes irreversíveis ao meio (MENEZES et al., 2005; SOUTO et al., 2008).

Conforme os dados do Censo Agropecuário de 2006 do IBGE, no Brasil existem aproximadamente 172 milhões de hectares cultivados com pastagens (naturais e plantadas). No estado de Pernambuco, a área ocupada com pastagens é de 2.506.730 ha, dos quais 1.066.776 ha estão localizados na mesorregião do Agreste Pernambucano, sendo que 276.613 ha estão situados na microrregião de Garanhuns (IBGE, 2008; SANTOS et al., 2012).

Segundo Silva et al. (2014), as pastagens recobrem cerca de dois terços de toda a área agricultável do globo terrestre. Quando relacionada à área de pastagem cultivada, estima-se valores maiores que 101 milhões de hectares cultivados em todo o país, e que cerca de 85 % dessa área sejam ocupadas por braquiárias (BARBOSA, 2006). No tocante às pastagens existentes no agreste de Pernambuco, essas evidenciam níveis de rendimento de matéria seca muito baixa (500 kg ha^{-1}), refletindo elevado estado de degradação resultante do manejo inadequado do solo (YDOYAGA et al., 2006). Essa degradação faz com que ocorra a redução na produtividade, perda de matéria orgânica do solo ou maior emissão de CO_2 para atmosfera, com redução no sequestro do carbono na pastagem (NICOLOSO et al., 2008).

A maior parte da energia primária consumida no mundo é oriunda de fontes fósseis, e a queima de combustíveis fósseis gera emissões de gases de efeito estufa (GEE), assim, o uso crescente destas fontes de energia “modernas” ou “comerciais” apresenta um grave risco de aquecimento global. Além disso, o uso tradicional de biomassa para energia, quando não é sustentável, gera emissões de GEE. Contudo, o uso de biomassa florestal para energia não é a causa principal das emissões, nem do desmatamento e das degradações florestais em nível global.

No Brasil, a mudança de uso do solo, ou seja, a conversão de terras florestais em terras agropecuárias, é a causa principal do desmatamento (BENATTI, 2007). Acontece ainda a degradação florestal, que implica na redução dos estoques de biomassa das florestas e a diminuição de sua taxa de crescimento, gerando importantes emissões de CO_2 e reduzindo sua capacidade para fixar CO_2 atmosférico, tanto na biomassa viva quanto na biomassa morta.

Com base no que foi descrito, o uso sustentável e a conservação dos recursos florestais do bioma Caatinga na Região Nordeste do Brasil passam obrigatoriamente por, pelo menos, duas questões fundamentais. A primeira diz respeito à sua importância para a manutenção da economia regional, seja para a geração de energia a partir da biomassa na forma de lenha, configurando-se na segunda fonte energética da região, seja na comercialização de produtos florestais madeireiros e não-madeireiros por famílias e comunidades, ou para o fornecimento de forragem para o gado criado de forma extensiva em todo o bioma. Entretanto, essas atividades, realizadas sem o manejo adequado, contribuem para o processo de degradação da Caatinga, potencializado pelo permanente uso do fogo. A segunda questão refere-se à informação gerada, organizada e disseminada sobre o uso sustentável desses recursos florestais.

3.2 Respiração do solo

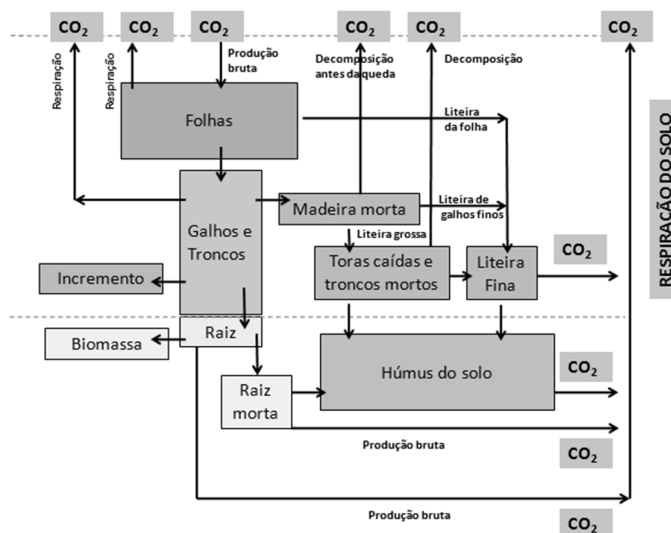
O ciclo do carbono passou a ter mais atenção a partir década de 70, quando ficou evidenciado um aumento contínuo e constante da concentração de gás carbônico na atmosfera. Segundo o IPCC (2007), a grande preocupação dos pesquisadores está associada ao aumento dos gases de efeito estufa, em especial o dióxido de carbono (CO_2), que do ponto de vista quantitativo, é o mais importante no que diz respeito ao aquecimento global (MELILLO, 1993; FANG, 1997). Conhecer o balanço global de carbono tornou-se relevante para compreender os fluxos de CO_2 atmosféricos à superfície nos diversos ecossistemas terrestres; neste contexto, o papel da biosfera vincula os processos de evapotranspiração e emissão/fixação de CO_2 à variabilidade climática regional.

O IPCC (2001) relatou um sistemático aumento da concentração de CO_2 na atmosfera na ordem de $3,2 \text{ Gt C ano}^{-1}$, com as principais trocas de carbono com a atmosfera ocorrendo através da queima de combustíveis fósseis e da produção de cimento, queimadas, e absorção pelos oceanos e pela biota terrestre (VALENTINI, 2004). Os ecossistemas interagem biologicamente pela fixação de carbono via fotossíntese da vegetação, pela liberação via respiração da planta e do solo, desempenhando um significativo papel de sumidouros de carbono (FREITAS, 2001).

A respiração do solo (R_s) é a liberação de CO_2 , e representa a atividade biológica de micro-organismos, sendo o somatório das liberações de vários processos que ocorrem na serapilheira, superfície e camadas mais profundas do solo, incluindo: I) A respiração dos microrganismos (bactérias, fungos e arqueas) e macrofauna; II) Os processos fermentativos,

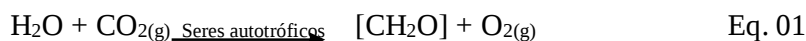
que ocorrem em profundidade sob condições de anaerobiose; e III) A oxidação química (VALENTINI, 2008; FERREIRA et al., 2005; 2008). Assim, a respiração do solo é considerada um importante processo do ciclo do carbono (Figura 1), e é um índice importante para análise da variação do estoque de carbono total dos sistemas (VALENTINI, 2004; COSTA et al., 2006, 2008; LIN et al., 2011).

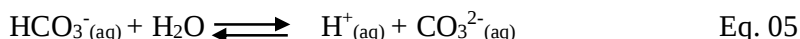
Figura 1 – Esquema da respiração do solo, adaptado de Sotta (1998).



A liberação de CO_2 do solo para atmosfera, produzido durante a atividade dos micro-organismos ao atacarem a matéria orgânica, pode ser um indicativo da qualidade dos solos, porém, nem sempre a magnitude da liberação indica a intensidade de mineralização, pois a velocidade de decomposição é influenciada por características da vegetação, do clima, pelos gradientes de temperatura e concentração de dióxido de carbono no sistema solo-atmosfera, pelas propriedades físicas do solo e pelas flutuações de pressão do ambiente (VALENTINI, 2004; OLIVEIRA et al., 2006; LA SCALA-JR et al., 2009).

A matéria orgânica quando incorporada ao solo exerce grande influência sobre suas propriedades químicas, físicas e biológicas (REICHARDT; TIMM, 2012). O processo da respiração do solo pela biota pode ser representado pelas equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Após a incorporação de materiais orgânicos no solo, parte do carbono adicionado é desprendida na forma de CO_2 e parte pode permanecer inalterada ou ser incorporada à biomassa microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).





As emissões anuais de CO_2 aumentaram em torno de 80% entre 1970 e 2004, atingindo em 2005 a concentração atmosférica de 379 ppm, excedendo em grande medida o intervalo natural dos últimos 650.000 anos (PANOSSO et al., 2007). Estimativas indicam que a agricultura é responsável por 75% das emissões de CO_2 , 91% das emissões de CH_4 e 94% das emissões de N_2O (CERRI et al., 2007; CERRI et al., 2009). De acordo com o IPCC (2007) e com base, também, nos princípios que norteiam o Protocolo de Quioto, o CO_2 é considerado um dos gases responsáveis pelo aquecimento global, Gases de Efeito Estufa (GEEs, em inglês GHG - *Greenhouse Gases*) (PANOSSO et al., 2009).

O CO_2 , em conjunto com outros gases responsáveis pelo efeito estufa, como NO , N_2O e CH_4 , tem influência sobre as propriedades químicas e físicas da atmosfera e tem o potencial de alterar o balanço energético do planeta (SHINE et al., 1990). Calcula-se que 84% do CO_2 emitido por uma floresta é originado no solo, assim, a determinação e o melhor entendimento da dinâmica da respiração do solo de florestas são fundamentais para estimar com maior precisão o balanço interno do carbono nas florestas tropicais (IPCC, 2001).

As plantas e os organismos aeróbicos exigem certos níveis de oxigênio na atmosfera do solo, consumindo O_2 e liberando CO_2 ; por causa disto, a atmosfera do solo, em geral, possui concentração menor de O_2 e maior de CO_2 que a atmosfera acima do solo (REICHARDT, TIMM, 2012). Para o estudo de qualquer processo participante do sistema solo-atmosfera, como é o caso da respiração do solo, o conhecimento das leis e dos princípios que regem o movimento de gases no solo é de grande importância.

Vale à pena ressaltar que o estudo combinado da respiração do solo com a biomassa microbiana é utilizado como indicador do estado das mudanças da matéria orgânica total do solo, pois a biomassa microbiana constitui a parte viva da matéria orgânica do solo e corresponde à fração de maior atividade, controlando funções chaves como a decomposição e acúmulo de matéria orgânica, assim como as transformações envolvendo nutrientes minerais (MARTINS et al., 2012; SCOTT-DENTON et al., 2003).

De acordo com Araújo e Monteiro (2007), os principais processos biológicos indicadores de qualidade do solo são a biomassa microbiana, a respiração e o quociente respiratório metabólico, que se destacam devido as suas relações com a matéria orgânica,

ciclagem de nutrientes e fluxo de energia (DE-POLLI; GUERRA, 1999). Atualmente, existem diferentes trabalhos que envolvem variáveis químicas e microbianas em solos da região semiárida, envolvendo sua utilização como indicador de qualidade de áreas em processo de degradação, que visam fornecer subsídios para a prevenção do processo e elaboração de estratégias de recuperação em áreas já degradadas (MARTINS et al., 2012).

A troca e o movimento de gases no solo podem se dar: I) Na fase gasosa (difusão ou transporte de massa), em poros não ocupados por água, interconectados e em comunicação com a atmosfera; e II) Dissolvidos em água (REICHARDT, TIMM, 2012), isto porque o ar do solo ocupa o espaço poroso não ocupado pela água.

Em um solo seco, todo espaço vazio é dado pela porosidade α , também denominada Volume Total de Poros (VTP). Como a difusão dos gases no ar geralmente é maior que na fase líquida, a porosidade livre de água ($\varepsilon - \theta$) torna-se bastante importante na aeração. A composição do ar do solo depende das condições de aeração (REICHARDT, TIMM, 2012). Quando um solo possui umidade volumétrica θ , apenas a diferença entre ε e θ pode ser ocupada pelo ar, essa diferença é denominada porosidade livre de água, β (m^3 de ar. m^{-3} de solo).

A aeração do solo é o processo dinâmico de variações de β . Solos inundados ou após longos períodos de chuva ou irrigação intensa, são mal aerados e a falta de oxigênio para as atividades biológicas prejudica o crescimento e o desenvolvimento das culturas. Em solos bem secos, a aeração é muito boa, mas falta água para as plantas (REICHARDT, TIMM, 2012). A concentração de CO_2 [C_{CO_2} , $\text{m}^3 \text{CO}_2 \text{m}^{-3}$ de ar ou mg L^{-1} de ar] no solo pode ser calculada com base no volume ocupado pelo fluido apenas (ar do solo) ou com base no volume do solo. Assim:

$$C_{\text{CO}_2} = \frac{\text{quantidade de CO}_2}{\text{volume do ar}} \quad \text{Eq.07}$$

Em solo com boa aeração ele não difere significativamente do ar atmosférico, exceto pela umidade relativa que, quase sempre, é próxima à saturação (em um solo seco ao ar, a umidade relativa do ar é de cerca de 95%) (MARTINS, 2012). Em condições de aeração limitada, a concentração de CO_2 pode aumentar e a concentração de O_2 diminuir, ambas drasticamente. A concentração de gases na água em geral aumenta com a pressão e decresce com a temperatura. Baseado na lei de Henry, a concentração de CO_2 dissolvido é proporcional à pressão parcial P_i do referido gás, em que S é o coeficiente de solubilidade do gás na água e P_o a pressão da atmosfera:

$$C = S \frac{P_i}{P_o} \quad \text{Eq.08}$$

Além da atmosfera superior, de concentração praticamente constante, há no solo "fontes" e "drenos" (sources and sinks) de CO_2 , O_2 , NH_3 , N_2 , SO_2 e uma série de compostos

orgânicos voláteis (REICHARDT, TIMM, 2012). Quando chove, a entrada de água no espaço poroso do solo expulsa dele certa quantidade de ar e durante a evaporação ou drenagem do solo o ar é reposto por fluxo de massa (REICHARDT, TIMM, 2012). O fluxo de massa também é induzido por diferenças de temperatura que provocam correntes de convecção e estabelecem diferenças de pressão. Apesar de todos esses fatores, acredita-se que o processo de difusão seja o principal processo responsável pela transferência de gases no solo.

A equação de Fick estabelece que a força responsável pela difusão de um composto ou elemento gasoso é seu gradiente de potencial, medido pela energia livre de Gibbs, (REICHARDT, TIMM, 2012). Para o caso dos gases, a energia livre de Gibbs é diretamente proporcional à pressão parcial do gás na mistura e, também, diretamente proporcional à sua concentração. Assim, a densidade de fluxo de um gás por difusão, dada pela equação de Fick, é:

$$j_d = -D_o \nabla C \quad \text{Eq. 09}$$

Em que j_d é a densidade de fluxo do CO_2 (ou composto) pelo processo de difusão, isto é, a quantidade que atravessa a unidade de seção transversal por unidade de tempo, como $\text{mg de } \text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; D_o é o coeficiente de difusão do componente no meio em consideração e ∇C é o gradiente de concentração do CO_2 . Para o caso de difusão de um composto na água do solo, D_o da equação j_d precisa ser substituído pelo coeficiente de difusão D no solo:

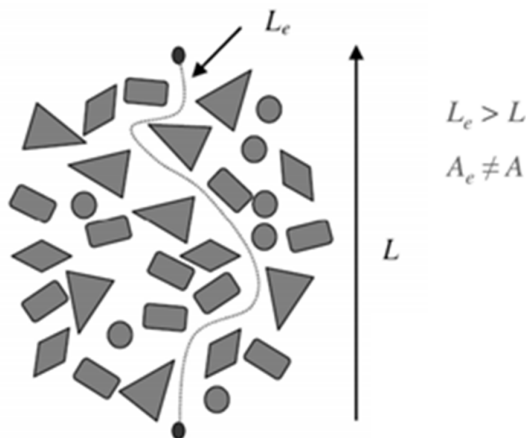
$$D = \theta D_o \left(\frac{L}{L_e} \right)^2 \alpha \gamma \quad \text{Eq.10}$$

Em que D = coeficiente de difusão do CO_2 no solo ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); D_o = coeficiente de difusão do CO_2 na água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); θ = umidade do solo (m^3 de H_2O . m^{-3} de solo); $\frac{L}{L_e}$ = tortuosidade, sendo L_e , o caminho efetivamente percorrido pelo composto no solo, e L o caminho em linha reta na direção x , fator adimensional; α = fator adimensional que leva em conta a viscosidade do meio que, por sua vez, é função de θ ; γ = fator adimensional que leva em conta a adsorção de CO_2 , isto é, a distribuição do composto dentro dos poros. Com essas considerações, para a difusão de um material no solo, a equação de Fick é:

$$j_d = -\theta D_o \left(\frac{L}{L_e} \right)^2 \alpha \gamma \cdot \frac{\partial C}{\partial x} = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad \text{Eq. 11}$$

O fluxo difusivo de um gás através de uma superfície de área unitária, na unidade de tempo, em um sistema uniaxial, num meio homogêneo, é proporcional ao gradiente de concentração dos gases, que é a força motriz do fluxo (PEREIRA et al., 2001; REICHARDT, TIMM, 2012). A Figura 2 tem a representação do caminho efetivamente percorrido por uma molécula gasosa no interior do solo.

Figura 2 – Representação do caminho efetivamente percorrido por uma molécula gasosa no interior do solo.



O processo de difusão se dá pelos espaços porosos não ocupados pela água (REICHARDT, TIMM, 2012), onde a área disponível para o fluxo é reduzida e o caminho a ser percorrido é mais longo. Segundo Reichardt e Timm (2012), durante a drenagem de um meio poroso o mecanismo de dessaturação ligado a fenômenos capilares estará presente até que o ar penetre em todos os poros; depois que esse mecanismo perde sua importância o prosseguimento da drenagem passa a depender do mecanismo de dessaturação ligado ao fenômeno de adsorção de água sobre a superfície das partículas (REICHARDT, TIMM, 2012).

A respiração de CO_2 [R_s , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] do solo pode ser estimada pelo fluxo vertical na superfície do solo através da camada entre o solo e o ar superficial, que é extremamente fina (de forma que o acúmulo de CO_2 na camada pode ser desprezível), logo, estima-se a emissão de CO_2 através da difusão molecular, pela equação de Lund et al. (1999):

$$R_s = \frac{(V_x \cdot C - D \frac{\Delta C}{\Delta x})}{V_{mol}} \quad \text{Eq.12}$$

V_x representa a velocidade vertical do ar (m s^{-1}); C é a concentração de CO_2 no ar ($\mu\text{mol mol}^{-1}$); D é o coeficiente de difusão molecular ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$); $\frac{\Delta C}{\Delta x}$ é o gradiente vertical da concentração de CO_2 no ar ($\mu\text{mol mol}^{-1} \text{ m}^{-1}$); V_{mol} é o volume molar ($\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}$). No entanto, próximo à superfície do solo V_x é considerado homogêneo, pois a força de atrito vertical é desprezada, assim a velocidade vertical pode ser encontrada pela projeção vertical da Equação de Conservação do Momentum.

$$\rho \cdot \frac{\Delta V_x}{\Delta t} + \rho \cdot V_h \frac{\Delta V_x}{\Delta r} + \Delta \cdot g \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} = 0 \quad \text{Eq.13}$$

ρ é a densidade do ar (kg m^{-3}); V_h é a velocidade horizontal do ar (m s^{-1}); $\frac{\Delta}{\Delta t}$ é a derivada no tempo; $\frac{\Delta}{\Delta r}$ é a derivada para coordenadas cilíndricas ao longo do raio; g é a aceleração da gravidade (m s^{-2}); $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ é o gradiente vertical da pressão (Pa m^{-1}).

Supondo a densidade do ar constante, V_x é somente função de duas variáveis meteorológicas, V_h e $\frac{\Delta P}{\Delta t}$. De acordo com Longdoz et al. (2000), as Equações 12 e 13 formam um sistema ideal, quando não houver distúrbios no fluxo, para isto, havendo a necessidade de reprodução da distribuição natural próximo à superfície do solo: I) Do gradiente de pressão vertical; II) Da velocidade horizontal do ar; e III) Do gradiente vertical da concentração de CO_2 .

A quantificação da respiração do solo, que segundo Raich et al. (2002) varia entre 50 e 80 Gt C ha^{-1} para estimativas anuais de emissão global, é importante para que se possa compreender o balanço global do CO_2 . Estas estimativas representam uma fração de aproximadamente 20 a 40 % do total anual emitido para a atmosfera.

3.2 Métodos para a determinação da respiração do solo

A estimativa é que a quantidade de C estocada no solo até um metro de profundidade esteja em torno de 1.576 Pg, distribuídos em 12,8 bilhões de hectares, nos continentes (ESWARAN et al., 1993), o que equivale a cerca de três vezes a quantidade de C no reservatório biótico e duas vezes a quantidade contida na atmosfera terrestre. Quando se consideram apenas os 30 cm superficiais de solo, o estoque de C está em torno de 800 Pg (CERRI et al., 2006), ou seja, aproximadamente a mesma quantidade armazenada no compartimento atmosférico.

A mineralização do C do solo pode contribuir para o aumento da concentração atmosférica de CO_2 se não for compensado por um aporte de C na serapilheira e na matéria orgânica (BARRETO et al., 2009). Em geral, o desmatamento e o cultivo dos solos levam a uma perda líquida de C da matéria orgânica dos solos (MARTINS et al., 2012), já nas vegetações maduras, perdas e ganhos podem estar em equilíbrio dinâmico (AMARAL et al., 2013) e pode até haver sequestro líquido de CO_2 atmosférico (CERRI et al., 2007). A crescente preocupação com o assunto tem acarretado no direcionamento de mais esforços para as medidas da liberação de CO_2 dos solos. Uma das questões ligadas a estes esforços é a determinação da metodologia mais adequada para medir esta respiração do solo.

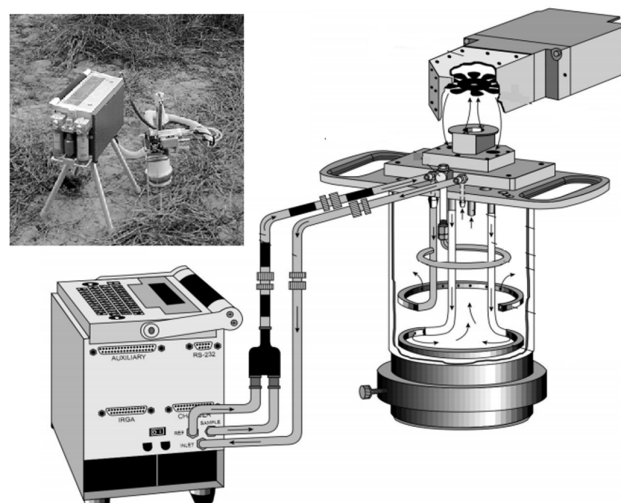
Diferentes tipos de metodologias têm sido usados para a medição da respiração do solo, sendo as mais comuns o método de absorção do CO_2 em Álcali (CORREIA, 2010) e o método

dinâmico, usando o analisador de gás por raios infravermelhos (FERREIRA et al., 2005; PANOSSO et al., 2009; VALENTINI, 2004). Eles têm diferenças na exatidão, na resolução espacial e temporal e na aplicabilidade (YUSTER et al., 2003).

O método de Álcis é mais utilizado, já que depende apenas de um equipamento barato (medidor de pH), e permite a integração de respiração por períodos de muitas horas, facilitando medidas noturnas. Pode ser este o motivo pelo qual este foi o único método usado em medidas da respiração de solos na região Nordeste do Brasil (SOUTO et al., 2009), pois existem relatos que o método AA pode superestimar os fluxos baixos e subestimar os fluxos elevados (YUSTER et al., 2003), embora possa ser confiavelmente calibrado para uma escala de fluxos intermediários (DAVIDSON et al., 2002).

O método dinâmico, geralmente referido pela sigla em inglês (IRGA – infrared gas analyzer) (Figura 3), tem sido considerado como mais preciso, mas depende da disponibilidade do analisador de gás, em geral, mede fluxos de curta duração (HAYNES; GOWER, 1995; FERREIRA et al., 2005). No início da leitura, a câmara é inserida no solo e a concentração de CO₂ no seu interior é reduzida em cerca de 10 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, passando-se o gás do interior da câmara através de cal sodada (mistura de óxido de cálcio e hidróxido de sódio). Após esta redução, o aumento da concentração de CO₂ no interior da câmara, devido à emissão de CO₂ do solo, é seguido a cada 2,5 segundos, sendo a emissão de CO₂ computada durante um tempo total de aproximadamente 90 segundos, enquanto a concentração de CO₂ dentro da câmara aumenta até cerca de 10 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ acima da concentração de CO₂ do ar. Após o período total de medição, o software do sistema calcula a regressão linear entre a emissão de CO₂ e a concentração de CO₂ no interior da câmara, sendo a emissão tomada como aquela quando a concentração no interior da câmara era igual à concentração do ar.

Figura 3 – Analisador de gás infravermelho (IRGA).



A determinação da respiração do solo, tanto em ambientes florestais quanto agrícolas, com o uso de IRGA tem se mostrado uma opção interessante devido ao seu custo relativamente baixo, em comparação a outros equipamentos. Além disso, o seu tamanho reduzido e a facilidade de operação têm permitido que ele seja levado a campo, tornando-se uma das formas mais diretas na determinação da respiração do solo (DIAS, 2006).

Janssens e Pilegaard (2003) consideraram que fluxo de CO_2 do solo só pode ser medido com exatidão por um sistema que não altere a atividade respiratória do solo, o gradiente de concentração de CO_2 e o movimento do ar próximo à superfície do solo. Também é necessário evitar a diferença de pressão entre o exterior e o interior da câmara (FANG; MONCRIEFF, 2001). Todas as metodologias atualmente disponíveis apresentam algumas desvantagens, portanto, não existe padrão ou referência para testar a acurácia, segundo Yuste et al. (2003). Consideráveis incertezas caracterizam todos os tipos de medidas (JANSSENS; PILEGAARD, 2003) e a opção é tentar utilizar uma metodologia que melhor se aproxime das condições e realidade em que o estudo seja feito, possibilitando minimizar efeitos negativos.

3.3 Influência dos fatores ambientais na respiração do solo

A busca por um maior entendimento da influência dos fatores ambientais tem motivado estudos em todo globo, os quais, entre outros objetivos, procuram identificar ou desenvolver práticas que aumentem o estoque de C e reduzam a respiração do solo (AMADO et al., 2001; BAYER et al., 2004). A respiração do solo varia muito dependendo do sistema de solo-

vegetação, do manejo adotado e do tipo de bioma (WAGAI et al., 1998; FOLLET; SCHIMEL, 1989; REICOSKY et al., 1997; LA SCALA Jr et al., 2000; RESCK et al., 2008).

Em um estudo desenvolvido por Martins et al. (2012) destacou-se que a magnitude das alterações na atividade microbiana pode ser expressa pela liberação de CO₂ e relacionadas com as variações dos fatores ambientais. Nos períodos mais úmidos e de temperaturas mais amenas, ocorreu maior liberação de CO₂ em solo do semiárido paraibano, o que foi atribuído a um aumento da população microbiana com o crescimento dos estratos herbáceo e subarbuscivo, favorecendo a colonização dos organismos decompositores.

A análise da respiração do solo associada às condições características (físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas) constituem uma forma de fornecer subsídios para o desenvolvimento e adaptação de práticas de uso e conservação do mesmo (JACOMINE, 1996; MARTINS et al. 2012). Por exemplo: a porosidade dos agregados do solo comanda a difusão de CO₂ (LOVENSTAIN; LEFFELLAR, 1993); a quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) e grau de proteção física, química e biológica do C do solo influenciam a composição e atividade das populações de micro-organismos (VOURLITIS et al., 2002). São escassos os estudos dessa natureza em Neossolos Regolíticos no Brasil, e os poucos realizados foram para fins de fertilidade (MARTINS et al., 2012), e dinâmica de água (SILVA et al., 2014). Santos et al. (2012) descreveram as características de Neossolos no Nordeste de Pernambuco. Compararam as propriedades físicas e hídricas em áreas de Caatinga e de pasto em Neossolo Regolítico na região de Garanhuns, PE.

A umidade e temperatura são os principais fatores do controle de emissão de CO₂ do solo, especialmente quando a variabilidade temporal é considerada (KANG et al., 2003; EPRON et al., 2004). A umidade do solo tende a ser maior quando a temperatura é baixa e vice-versa. Um aumento da temperatura e diminuição da umidade pode inibir a decomposição microbiana (TANG et al., 2003). As condições de temperatura e umidade do solo exercem influência nos mecanismos de emissão de CO₂, portanto estes mecanismos são dependentes da variabilidade temporal e espacial dessas variáveis (PINTO JUNIOR, 2007; PANOSSO et al., 2012; SILVA-OLAYA et al., 2013).

3.3.1. Temperatura do solo e umidade do solo

A taxa de respiração do solo é considerada um indicador de atividade microbiana do mesmo e pode ser alterada pela velocidade das reações enzimáticas da microbiota, simultaneamente influenciadas pela temperatura (KANG et al., 2003; BEKKU et al., 2003;

REICHSTEIN et al., 2008; WANK et al., 2010). As variações climáticas, como as de temperatura e precipitação, influenciam a produtividade líquida do ecossistema (NEP), ou seja, a troca de CO₂ entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera. Por isso, é necessário que se entendam os fatores que controlam a respiração do solo (RAICH et al., 2002; SILVA-OLAYA et al., 2013).

A variação da temperatura do solo faz com que ocorra um aquecimento da superfície, ocasionando também o aquecimento do ar (VALENTINI, 2008). Este, quando quente, tem menor densidade e sobe, descendo o ar frio, que é mais denso. A produção do CO₂ do solo é um processo bioquímico e responde fortemente às variações de temperatura, à idade da matéria orgânica e à disponibilidade de água.

Segundo Rayment e Jarvis (2000), em latitudes médias, a respiração do solo aumenta proporcionalmente com a temperatura sob um padrão exponencial. A temperatura é influenciadora de todos os processos físicos, químicos e biológicos. Fato comprovado, observado desde o século 19 (VAN'T HOFF, 1898) e formalizado por Arrhênios (1989). Não surpreendentemente, a temperatura tem sido o fator mais óbvio e mais frequentemente estudado quanto à influência na respiração do solo (WANK et al., 2010). Os primeiros estudos foram realizados em 1920 (WAKSMAN; GERSCTSEN, 1931), confirmando a relação direta não-linear positiva entre ambos.

As relações entre a respiração do solo e sua temperatura são baseadas nos princípios de cinética enzimática, geralmente representadas por equações exponenciais, como as de Van't Hoff, diferentemente da umidade do solo, que não apresenta considerações consistentes sobre o comportamento dos seus modelos empíricos. Certos autores destacam que o aumento da umidade do solo favorece o aumento de sua respiração até certo limite, justificados pela difusão dos substratos do solo nos locais onde organismos os consomem e decresce a respiração com maior umidade, gerado pela limitação da difusão de O₂ (NOORMETS et al., 2008; ZHOU et al., 2011).

A relação da temperatura e da respiração do solo vem sendo estudada por vários autores, como Fang e Moncrieff (2001), Meier et al. (1996), Janssens e Pilegaard (2003), Sotta (2004) e Tang et al. (2005). Eles mostraram que a relação linear e a exponencial são as que melhor representam a correlação. Na literatura, é comum encontrar modelos que estimam a respiração do solo em função de fatores ambientais, como os de Schentner e Van Leve (1985), Lloyd e Taylor (1994) e O'Connel (2001).

Gama-Rodrigues et al. (2005) verificaram que aumentos na precipitação pluviométrica levaram a aumentos nos teores de CBM em plantios de eucalipto. Araújo (2003) trabalhando

com solos de pastagem do Noroeste Fluminense-RJ, observou maiores teores de CBM no verão a que no inverno, e demonstrou que o aumento da quantidade de água e de nutrientes no solo na época do verão favoreceu a atividade microbiana e a respiração do solo.

A chuva atua de duas formas na renovação do ar do solo. No primeiro instante a água expulsa o ar dos poros e ocupa o seu lugar, depois pela ação da gravidade é drenada e em seu lugar entra o ar renovado, a água dissolve o O_2 do ar da atmosfera e o leva junto para o solo. A composição do ar do mesmo depende de uma série de variáveis, por exemplo, profundidade da amostragem, período de seca, período de chuva, inverno, verão, entre outras.

A umidade do solo exerce grande influência em sua respiração alterando características físicas e biológicas. Segundo Ross e Bartlett (1996), o alto conteúdo de água do solo interfere em sua respiração, tanto pela redução da atividade respiratória aeróbica, que é a principal responsável pela emissão de CO_2 quanto pelo efeito físico de real impedimento à passagem do CO_2 até atingir a interface solo-atmosfera.

Segundo Linn e Doran (1984), a respiração microbiana do solo é limitada pela restrição de difusão de O_2 (oxigênio necessário para a respiração aeróbica) através dos poros quando este se encontra muito úmido e, por outro lado, é limitada também na condição seca, devido à restrição da solubilidade de substratos de carbono orgânico, que constituem a fonte de energia para os microrganismos heterotróficos.

Segundo Davidson et al. (2002) para que haja uma respiração máxima do solo é necessário que o conteúdo de água esteja próximo à capacidade de campo, na qual os macroporos devem estar preenchidos de ar para facilitar a difusão do O_2 , e os microporos do devem estar preenchido de água, facilitando assim a solubilidade dos substratos. Um fator que influencia também a renovação do ar é a variação de pressão, principalmente em macroporos onde o ar se encontra preso, ou bloqueado por partículas de água devido à tensão superficial (VALENTINI, 2008).

Martins et al. (2012) observaram que os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT) variaram em diferentes formas de uso do solo e foram apresentados em áreas de clima semiárido. Reportaram que houve forte dependência da variação sazonal, com maiores taxas de respiração do solo em área de campo nativo, e menores em áreas de reflorestamento de *Pinus taeda*. Confirmaram alterações nos valores de CBM e sua relação com a emissão de CO_2 , quando comparados com sistemas florestais e de pastagens naturais antropizados.

A biomassa microbiana é medida pela quantificação do CO que está ligado ao tecido vivo microbiano (Carbono da Biomassa Microbiana - CBM). A atividade microbiana é medida pela quantidade de C-CO₂ (respiração do solo) liberado no processo de decomposição da MOS.

A partir desses elementos é possível calcular o quociente metabólico (qCO₂) através da relação que existe entre a R_s e o CBM, com o qual expressa o quanto do C incorporado ao solo é perdido para atmosfera pela biomassa ativa para manter o carbono microbiano. Outra medida interessante é o quociente microbiano (q_{mic}), calculado pela relação entre o C-CBM e o carbono orgânico (CO), na qual é possível analisar o quanto do CO está na forma microbiana (MARTINS et al., 2012).

A biomassa microbiana varia consideravelmente em termos temporais e espaciais, sendo regulada por fatores abióticos e bióticos. Tem rápida ciclagem, respondendo intensamente a flutuações sazonais de umidade e temperatura e ao tipo de uso e manejo do solo (TÓTOLA et al., 2002).

A razão entre a respiração do solo e o teor de C tem sido utilizada frequentemente como indicador chave da qualidade do solo, tanto em sistemas agrícolas quanto em áreas de vegetação nativa (SILVA JÚNIOR et al., 2004; JANSEN, 2005). As interações dos fatores abióticos e bióticos regulam a funcionabilidade dos ecossistemas florestais atuando positiva ou negativamente na velocidade de decomposição, mostrando assim, que, mesmo a nível local, o processo de decomposição não é influenciado apenas pela qualidade do substrato, mas também pela qualidade do microambiente (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; FIRME et al., 2005).

Salimon (2004) observou diferença significativa na respiração do solo entre a cobertura vegetal de pastagens, de florestas secundárias e de florestas intactas próximo de Rio Branco, no Acre, e as maiores amplitudes da variação sazonal da emissão de CO₂ ocorreram nas pastagens. Silva et al. (2010) analisaram a qualidade dos solos de três agrossistemas a partir dos dados de respiração do solo no município de Areia, na Paraíba, observaram diferenças significativas nas medidas dos períodos diurno e noturno, semelhante a outros autores (SILVA et al., 2004; ALVES et al., 2006; SANTOS et al., 2007; CORREIA, 2010).

Brandão (2012) e Carvalho (2013) destacaram que a vegetação é tida como indicadora do nível de instabilidade dos ambientes e sua ausência permite uma maior exposição dos mesmos aos efeitos de radiação e insolação, com grandes variações diárias de temperatura, acelerando a atividade microbiana e as perdas de C-CO₂ do solo. De acordo com Araújo et al. (2007) e Souto et al. (2008), a variação no teor de CO₂ pode ser associada às flutuações sazonais do clima, que influenciam a atividade microbiana do solo.

Alguns autores verificam os efeitos das diferentes áreas experimentais e sua sazonalidade (variáveis independentes) através dos dados de respiração do solo (variáveis dependentes), pela utilização de: Análises de variância, nas quais observa-se algum efeito significativo que as diferenciem a partir de teste de inferência (ALVES et al., 2006; SOUZA et al., 2006); Análise por correlação, geralmente empregados para compreensão da relação linear entre duas variáveis dependentes (CARVALHO, 2012).

Recentemente, Wang et al. (2014) descreveram que a dinâmica de carbono em ecossistemas desérticos e sua resposta aos fatores ambientais são lacunas de conhecimento fundamentais no balanço global de carbono, além da temperatura (T_s), e umidade do solo (U_s), estas são de primordial importância para prever a evolução do estoque de carbono do solo e seus fluxos. Esta dinâmica controla a decomposição da matéria orgânica do solo (JASSAL et al., 2008; LIU et al., 2009; MOYANO et al., 2012), a respiração das raízes (BOUMA et al., 1997) e a atividade microbiana (LINN; DORAN, 1984; SKOPP et al., 1990; HALLETT; YONG, 1999; DRENOVSKY et al., 2004).

Geralmente, a respiração do solo está altamente correlacionada com a T_s (JASSAL et al., 2005), no entanto, alguns estudos têm relatado a influência significativa na R_s pela T_s nos ciclos sazonais (XU; QI, 2001; PARKIN; KASPAR, 2003; SUBKE et al., 2003; JIA et al., 2013), e mostrada uma diminuição entre R_s e T_s durante a seca. Em alguns estudos, baixa U_s tem sido sugerida para aumentar o grau de influência entre R_s e T_s (TANG et al., 2005; VARGAS; ALLEN, 2008; CARBONE et al., 2008; PHILLIPS et al., 2011), embora resultados opostos tenham sido relatados (RIVEROS-IREGUI et al., 2007).

Phillips et al. (2011) e Riveros-Iregui et al. (2007) demonstraram que nos ecossistemas florestais a correlação negativa entre R_s e T_s pode resultar em diferenças nos processos de transporte de calor e de CO_2 . Demonstraram também que em ecossistemas desérticos (secos) e com solos arenosos, a baixa U_s e alta porosidade do solo pode maximizar a magnitude desse comportamento.

Particularmente sobre a Caatinga, há pouca literatura para que se possa sistematizar e compreender o papel desse ecossistema, na fase não perturbada, e antropogenicamente perturbada (área com pastagem) em relação à emissão de CO_2 do solo para a atmosfera (ALTHOFF, 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta e delineamento experimental

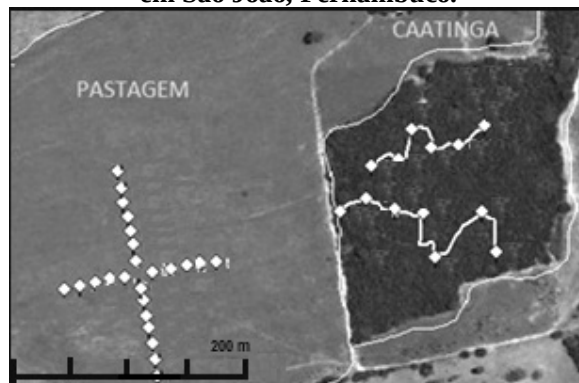
O experimento foi realizado na fazenda Riacho do Papagaio, município de São João, na mesorregião do Agreste Meridional de Pernambuco, com latitude de 8° 52' 30''S e longitude de 36° 22' 00''W. A precipitação pluvial anual média é de 782 mm, sendo o quadrimestre mais chuvoso de maio a agosto (APAC, 2013). O clima predominante é o As', que equivale a um clima quente e úmido, pela classificação de Köppen (ANDRADE, 2007). A vegetação nativa é classificada como Caatinga hipoxerófila (SANTOS et al., 2012). Os solos da área experimental, pela classificação da Embrapa (2006), são Neossolos Regolíticos eutróficos típicos (EMBRAPA, 2006), de textura arenosa.

A área experimental foi desmatada (corte raso) em meados de 1950, e em parte dela foi permitida a regeneração natural da caatinga. Em outra parte, foi plantado capim Guatemala e, em sequência (1974-1980), alternados plantios de mandioca e feijão (plantio subsistência), seguidos de plantio convencional de milho de 1981-1999 e, finalmente em 2000 foi estabelecida pastagem com *Brachiaria decumbens*. Estas duas partes, denominadas Caatinga e pastagem foram selecionadas para a pesquisa.

Na pastagem, foram demarcados 12 pontos de medições da do solo ao longo de dois transeptos perpendiculares, em forma de cruz, cada ponto distante do seguinte em 15 m (Figura 4). Na caatinga foram demarcados 24 pontos ao longo de duas trilhas sinuosas. Em cada ponto foram realizadas medidas de respiração do solo com o analisador de gás por infravermelho (IRGA) entre as 6 e as 18 horas e entre as 18 e 6 horas, uma vez a cada mês, de abril de 2012 a janeiro de 2013.

Em cada data de medição, ao lado de cada ponto de medição da respiração do solo, foram coletadas amostras de solo da camada de 0 - 20 cm. As amostras de solo foram agrupadas em uma amostra composta, para cada data e uso da terra, e analisadas para caracterização química (Tabela 1), de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Figura 4 – Malha de pontos onde foram feitas as medidas, nas áreas experimentais de pastagem e de caatinga, superpostos a imagem de satélite obtida do Google Earth®, na área experimental em São João, Pernambuco.



4.2 Caracterização química

A determinação do pH foi efetuada potenciometricamente em suspensão solo-solução contendo 10 g do solo e 25 mL de solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$, após agitação por 15 min e repouso por 30 minutos (SODRE et al., 2001). Ca e Mg foram extraídos com KCl e determinados por absorção atômica; K, Na e P extraídos com Mehlich I, sendo os dois primeiros elementos determinados por fotometria de chama e o fósforo (P) por colorimetria (BARTLETT; ROSS, 1988). Após a determinação do pH do solo, a mesma solução foi utilizada para a determinação da acidez trocável, após a adição de 5 mL da solução tampão SMP (Shoemaker, Mclean e Pratt) (SODRE et al., 2001) com agitação por 20 minutos e repouso de 60 minutos. A leitura do pH foi feita em suspensão e os dados obtidos foram convertidos em acidez trocável. A determinação do teor de C foi feita por oxidação-difusão úmida (SNYDER; TROFYMOW, 1984). A CTC do solo foi calculada pela soma dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) e a acidez trocável (H^{+} , Al^{3+}) segundo Embrapa (1997).

Tabela 1 – Caracterização química da camada superficial (0 – 20 cm) de um Neossolo Regolítico sob caatinga e pastagem, em São João, no Agreste meridional de Pernambuco.

Uso do solo	pH	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	CO	CTC
		mg.Kg ⁻¹	cmol.c.kg ⁻¹					g.Kg ⁻¹		
Caatinga	4,78	49	0,08	0,23	0,95	1,4	0,3	5,3	25,25	2,96
Pastagem	5,3	22	0,08	0,24	1,38	1,2	0,05	3,5	11,25	2,95

4.3 Caracterização física

A granulometria foi determinada por sedimentação, pelo método do densímetro (LOVELAND; WHALLEY, 1991), separando-se a areia por peneiramento. A densidade do solo (ρ) foi obtida pelo método do anel volumétrico e a porosidade total do solo (ϵ) foi obtida pela relação entre densidade do solo e densidade de partículas ($2,65 \text{ g cm}^{-3}$), conforme descrito pela EMBRPA (1997). A caracterização física do solo pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização granulométrica, densidade do solo e porosidade total da camada superficial (0 - 20cm) do Neossolo Regolítico sob caatinga e pastagem, em São João, no Agreste meridional de Pernambuco.

Profundidade (0-20cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	P (g. cm^{-3})	ϵ (%)
Caatinga	88,68	9,85	1,47	1,34	49
Pasto	87,63	8,82	3,55	1,51	43

$\rho \rightarrow$ Densidade do solo; $\epsilon \rightarrow$ porosidade total do solo

4.4 Caracterização microbiológica

Análises microbiológicas foram realizadas apenas nas amostras de solo da camada de 0 - 20 cm, coletadas mensalmente e mantidas em refrigeração até serem realizadas as seguintes determinações: carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e respiração basal, sendo o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) obtido pela razão entre a respiração basal do solo por unidade de C-BMS (SILVA et al., 2007) e quociente microbiano (q_{mic}) obtido pela razão entre o C-BMS e o carbono orgânico total do solo.

Na determinação do C-BMS utilizou-se o método da irradiação-extração, que analisa a biomassa microbiana extraível em solução aquosa de K_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. A irradiação de 20 g de solo foi feita utilizando-se um forno microondas doméstico (SWIFT, 1996). A irradiação, além de matar, rompe as células microbianas liberando o citoplasma para o meio, permitindo a determinação do C presente na amostra. Outras 20 g de solo não foram irradiados, fazendo-se a extração direta com K_2SO_4 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. Para a estimativa de C foi utilizado o método colorimétrico (BARTLETT; ROSS, 1988), que utiliza o permanganato de potássio, em meio ácido como agente oxidante. Foi determinada uma curva padrão de C, para calibração do

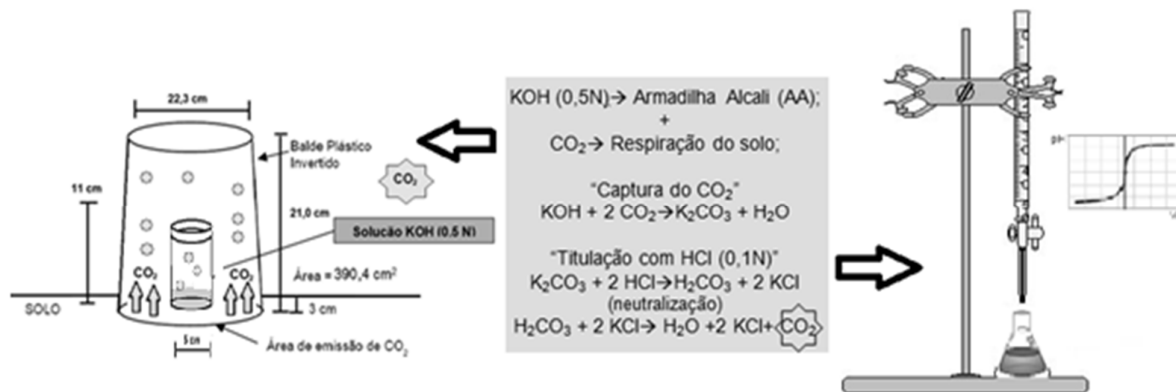
sistema de medição, e posteriormente foram realizadas as leituras dos extratos das amostras irradiadas e não-irradiadas em espectrofotômetro para determinação do C.

4.5 Variáveis ambientais

O método dinâmico usado, IRGA (Licor LI-6400-09) tem uma câmara de retenção dos gases com 991 cm^3 , cobrindo uma área de solo de $71,6 \text{ cm}^2$, um emissor de infravermelho, uma célula de medição, também chamada de caminho óptico, um filtro óptico e um detector (mostrado na Figura 3). O sinal de infravermelho do emissor atravessa a célula de medição onde se encontra a amostra de gás e é medido no detector. A respiração do solo foi calculada através da regressão linear do aumento da concentração de CO_2 na câmara ao longo do tempo (DAVIDSON et al., 2002). Antes da avaliação da emissão de CO_2 foi registrada a concentração de CO_2 do ar próximo à superfície da área (cerca de $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$) e o valor introduzido no sistema como referência para a realização das avaliações.

Nos mesmos dias e período das medidas com o IRGA, em pontos ao lado dos demarcados para estas medidas, foram feitas medidas da respiração pelo método de absorção do CO_2 em Álcali (Figura 5). O CO_2 liberado de uma área de 371 cm^2 foi absorvido por uma solução de KOH 0,5 N, colocada sob um balde cilíndrico com boca de 22,3 cm e altura de 21 cm, sendo a boca enterrada cerca de 3 cm no solo. Os baldes foram colocados no turno diurno (6 às 18 horas) e no noturno (18 às 6 horas), sendo a absorção integrada por períodos de 12 horas. A dosagem do CO_2 foi feita por titulação com HCl 0,1 N, utilizando como indicadores fenolftaleína e alaranjado de metila a 1%, preparados segundo Morita e Assumpção (1993). Os recipientes com a solução foram trocados e a solução foi transferida para recipientes hermeticamente fechados, evitando trocas gasosas com a atmosfera, que foram levados para o Laboratório de Física do Solo de Departamento de Energia Nuclear da UFPE, onde foi feita a titulação.

Figura 5 – Esquema do método AA utilizado na medição da respiração do solo.



Determinou-se a temperatura do solo utilizando o sensor de temperatura que é parte integrante do sistema do LI- 6400-09. O sensor consiste de uma haste de 20 cm, que foi inserida perpendicularmente no solo ao lado da câmara de fluxo. As leituras da temperatura do solo foram feitas durante o período em que o sistema estava realizando as medidas de respiração do solo. A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico (TEDESCO et al., 1995), sendo calculada a umidade volumétrica pelo produto entre umidade gravimétrica e densidade do solo. Para essas determinações, foram coletadas amostras do solo na camada de 0-20 cm de profundidade (camada superficial) em pontos ao lado e no mesmo horário em que eram realizadas as medidas de respiração do solo. Os dados da precipitação pluviométrica foram coletados durante todo o período experimental com um pluviógrafo instalado a 200 cm da superfície do solo.

As análises microbiológicas foram realizadas nas amostras de solo da camada de 0 - 20 cm, mensalmente, estas foram mantidas em refrigeração até serem realizadas as seguintes determinações: Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS); o Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) obtido pela razão entre a respiração do solo por unidade de C-BMS (SILVA et al., 2007); e Quociente microbiano (q_{mic}), obtido pela razão entre o C-BMS e o carbono orgânico total do solo.

4.6 Análises estatísticas

A comparação dos dados de respiração do solo pelos dois métodos foi realizada, para cada área experimental, por análise de variância em parcelas subdivididas no tempo, totalizando oito tratamentos, divididos em três fatores: métodos (IRGA e AA); horário (diurno e noturno),

e estação (chuvosa e seca). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As medidas dos dois métodos foram correlacionadas (Pearson) usando os valores mensais como pares de dados.

Para analisar as influências das variáveis ambientais sobre a respiração do solo foram feitas análises de regressão linear. Para verificar diferenças na respiração entre os períodos e áreas estudadas foi feita análise de variância, comparando-se as médias pelo teste de Tukey com 5% de nível de significância.

Utilizou-se a técnica da regressão múltipla para se obter um modelo que explicasse as variações da respiração do solo em função da temperatura e da umidade do solo, ao longo do tempo. Adotou-se o nível de significância de 5% para os testes dos parâmetros da regressão. As medidas, neste caso, foram expressas em: valor $\pm$ erro padrão (EP). Para verificar a adequação do modelo de regressão, foi utilizada a técnica de análise dos resíduos ou erros estimados. Esses valores são obtidos pela diferença entre os valores observados e os valores estimados por um determinado modelo de regressão, calculados do seguinte modo:

$$\hat{e}_i = y_i - \hat{y}_i$$

Com a análise, é possível verificar se as suposições básicas de um modelo de regressão são atendidas, isto é, verificar se as suposições de igualdade de variância, de normalidade e de independência ocorrem como mostrado em Draper e Smith (1998) e Martinez (2001).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parte I – Comparação de medidas da respiração do solo por absorção em Álcali e analisador de gás.

As medidas pelo método de absorção de Álcali (AA) foram pouco variáveis nos turnos diurno e noturno e em todos os meses do período de medição, tanto na área de caatinga quanto na de pastagem (Figura 6). As medidas com o analisador de gás por raios infravermelhos (IRGA) também foram semelhantes entre os turnos diurno e noturno, todavia variaram significativamente entre os meses ($p < 0,01$), tanto na área de caatinga quanto na de pastagem. Os valores das medidas com o IRGA foram de duas a quatro vezes maiores que os medidos com o método AA nos meses de abril a agosto 2012. Portanto, o método do IRGA tem maior sensibilidade às variações da respiração edáfica ao longo do ano que o método AA.

Figura 6 – Respiração do solo, nos turnos noturno e diurno, medida pelos métodos do analisador de gás por raios infravermelhos (IRGA) e de absorção em álcali (AA), em área de caatinga, em São João, Pernambuco.

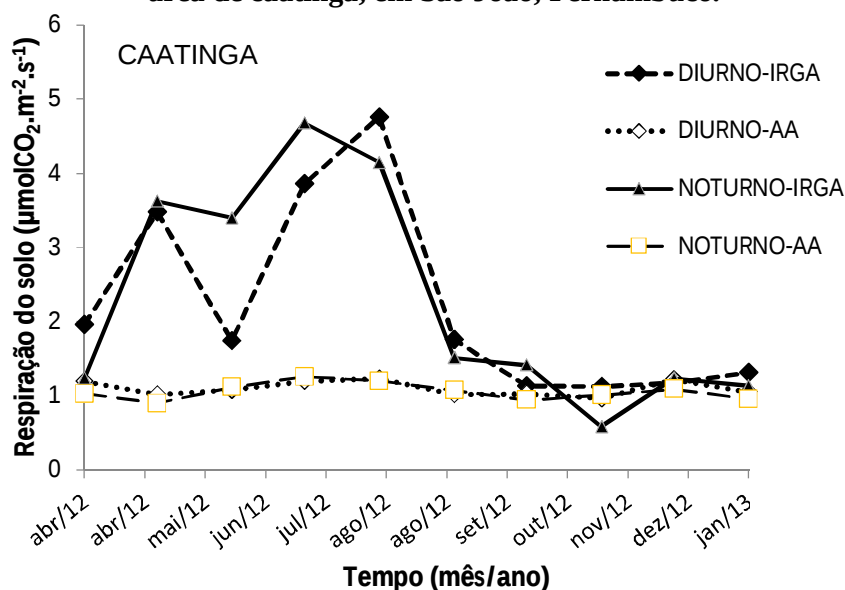
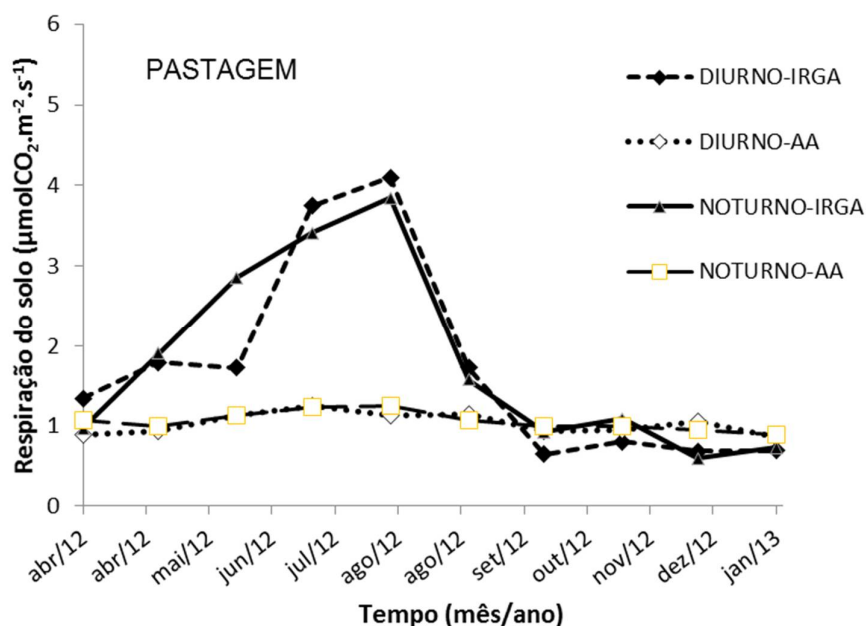


Figura 7 – Respiração do solo, nos turnos noturno e diurno, medida pelos métodos do analisador de gás por raios infravermelhos (IRGA) e de absorção em álcali (AA), em área de pastagem, em São João, Pernambuco



Apenas na área de pastagem a respiração do solo pelo método AA apresentou variação estatisticamente significativa devido à sazonalidade ($\alpha = 0,05$, $p < 0,01$) e mesmo assim com valores médios somente cerca de 10% maiores na estação chuvosa frente à estação seca (set/12 a jan/13). Na área de caatinga os valores não diferiram significativamente durante todo período, assim como não diferiram entre os períodos diurno e noturno com o método AA.

Nas medidas com o IRGA, na caatinga, a respiração do solo foi significativamente maior ($p < 0,01$) na estação chuvosa que na estação seca, sendo a diferença entre as estações 37% maior no período diurno (6 às 18 horas) e aproximadamente três vezes maior no período noturno (18 às 6 horas). Na pastagem, a respiração foi cerca de duas vezes e meia maior na estação chuvosa que na seca, tanto no período diurno quanto noturno, e as diferenças foram significativas ($p < 0,01$). O desvio padrão foi inferior a 10% em cada média mensal obtida.

Diferenças na liberação de CO₂ entre o dia e a noite poderiam ser esperadas por causa das menores temperaturas à noite, que poderiam levar a maior atividade microbiana (SOUTO et al., 2009). Nenhum dos dois métodos detectou diferenças significativas. É possível que mesmo à noite, nesta região, as temperaturas do solo se mantenham altas o suficiente para não causar efeitos diferentes dos causados durante o dia. Já a maior disponibilidade hídrica durante a estação chuvosa deveria levar a maior atividade biológica (MARTINS, 2012), o que só foi plenamente detectado pelo método do IRGA.

Nas medidas feitas em outros locais no Nordeste (Tabela 3), em áreas de caatinga e pasto, todas com o método AA, há casos de diferenças pequenas (0 a 20%) entre os valores máximos e mínimos (CORREIA, 2010; SILVA et al., 2010) porém há casos de diferenças maiores, entre 40 a 70% (SILVA et al., 2006; ARAÚJO et al., 2007) e até uma medida na qual o máximo foi mais que o dobro do mínimo (ALVES et al., 2006). É impossível saber se a semelhança de respiração ao longo do ano, reportada por alguns destes trabalhos, deve-se à ausência de fatores ambientais que alterem substancialmente o ritmo da mineralização da matéria orgânica do solo e da respiração radicular ou é um produto da limitação da técnica.

Considerando a extrema diferença em disponibilidade de água entre as estações chuvosa e seca, no semiárido nordestino, e o efeito que esta disponibilidade pode ter na atividade radicular e microbiana do solo (SOUTO et al., 2008), é comum pressupor diferenças grandes na respiração edáfica. Fica, portanto, a dúvida se as medidas com o AA na estação chuvosa não foram subestimadas. Em outros poucos locais do Brasil onde foram feitas medidas com o método AA (Tabela 3), em áreas de cerrado e floresta, não há casos de diferenças muito pequenas, sendo as menores diferenças em torno de 50 %, mas atingindo até oito vezes mais.

Tabela 3 – Respiração do solo medida pelo método de absorção de álcali em locais do Brasil

Vegetação e estado	Período (meses)	Respiração	Respiração	Autores
		Máximo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Mínimo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
Caatinga - PB	10	2,21	0,95	Alves et al. (2006)
Caatinga - PB	12	0,88	0,79	Correia (2010)
Caatinga - PB	6	1,57	1,56	Silva et al. (2010)
Caatinga – PB	5	2,78	1,96	Silva et al. (2006)
Caatinga – PB	12	0,94	0,55	Araujo et al. (2007)
Pasto - PB	12	0,92	0,78	Correia (2010)
Cerrado - MT	12	1,58	1,07	Bulhões et al. (2008)
Cerrado – DF	12	2,58	0,30	Ferreira et al. (2008)
Área antropizada – MT	12	0,88	0,57	Bulhões et al. (2008)
Floresta – PR	12	0,83	0,17	Santos et al. (2007)

A ausência de medidas com o IRGA em áreas do Nordeste, exceto a do presente trabalho, impede comparações. Medidas em florestas, cerrados e áreas agrícolas de outras regiões brasileiras (Tabela 4) mostram amplitudes bem maiores entre os valores máximo e

mínimo que as medidas com o método AA. A menor diferença (cerca de 50%) ocorreu em campo cultivado com cana, no Mato Grosso do Sul (MOITINHO et al., 2012), sendo os valores máximos das outras entre duas e cinco vezes maiores que os valores mínimos. Isto sugere que o método do IRGA tem maior sensibilidade de captar diferenças que o método de AA. Entretanto, são comparações de poucos trabalhos e conduzidos sob condições distintas, não se devendo concluir que o método de AA não é adequado.

Numa comparação direta dos dois métodos, em área de cerrado, Ferreira et al. (2008) relataram que os maiores valores médios de respiração do solo ocorreram nos meses de maior precipitação e tais medidas foram 26% maiores pelo método AA que pelo IRGA e a correlação entre as medidas dos métodos de 0,61 ($p < 0,01$). No presente trabalho, a correlação entre os valores dos métodos não foi significativa ($r < 0,4$; $p \geq 0,05$).

Tabela 4 – Respiração do solo medida pelo método do analisador de gás infravermelho em locais do Brasil

Localização	Período (meses)	Respiração	Respiração	Autores
		Máximo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Mínimo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
Floresta - AM	12	10,00	5,50	Sotta et al. (2004)
Floresta - AM	12	5,00	1,50	Zanchi et al. (2012)
Floresta – MT	12	8,45	2,88	Pinto Junior (2007)
Floresta – MT	12	10,51	4,01	Valentini et al. (2008)
Cerrado - MT	12	6,17	1,67	Brandão (2012)
Cerrado - DF	12	2,47	0,46	Ferreira et al. (2008)
Cana-de-açúcar - MS	12	3,16	2,12	Moitinho et al. (2012)
Cana-de-açúcar - SP	2	5,11	1,79	Panosso et al. (2009)

Vários trabalhos apontam vantagens do método AA. Souto et al. (2009) e Assis Júnior et al. (2003) ressaltaram que ele é simples, de baixo custo, boa sensibilidade e tem as vantagens de poder fazer medidas simultaneamente em vários pontos e integrar medidas por períodos de muitas horas (mesmo 24 horas), reduzindo assim as variabilidades espaciais e temporais das medidas.

Na impossibilidade do uso do analisador de gás infravermelho, um equipamento relativamente caro e mais complicado para usar em medidas de campo, justificar-se-ia o uso do método AA. Entretanto, muitos autores, especialmente trabalhando em outros países (EWEL et al., 1987; NAY et al., 1994; HAYNES; GOWER, 1995; JENSEN et al., 1996, YIM et al., 2001) vêm há tempos afirmando que o método AA subestima os valores da respiração do solo. Os valores do presente trabalho confirmam esta subestimação.

Várias têm sido as explicações aventadas para a subestimação. Jensen et al. (1996) destacaram que pode ser gerada pela permanência da câmara no solo por longos períodos, o que pode causar distúrbios no microclima, reduzindo a amplitude diária da temperatura. Entretanto, Hendry et al. (2001), medindo fluxos em períodos maiores que 24 horas, reportaram valores semelhantes aos obtidos com outros métodos.

A absorção de CO₂ pela solução alcalina pode decrescer com o tempo devido à baixa difusão (FREIJER; BOUTEN, 1991), já o aumento da concentração de CO₂ dentro da câmara diminui o gradiente de difusão do gás entre o solo e a câmara, reduzindo o fluxo absorvido pela solução alcalina. Em laboratório, Rochette e Ellert (1991) observaram que a absorção estática não foi suficiente para reagir com todo o CO₂ respirado pelo solo devido à falta de contato entre a solução alcalina e todo o volume de CO₂ disperso dentro da câmara.

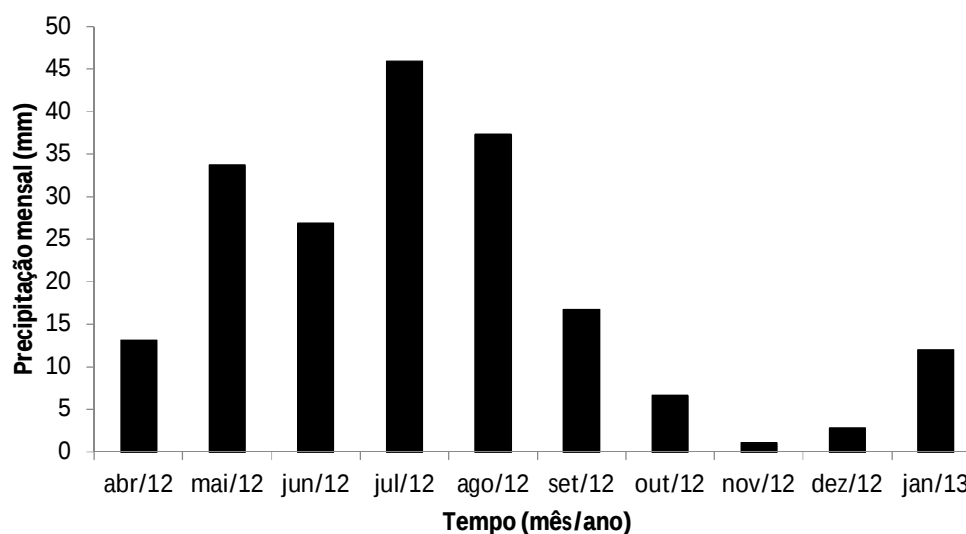
Critica-se no método dinâmico (IRGA) o fato de não integrar o fluxo por períodos longos, como no método estático (AA), já que as medidas são feitas por poucos minutos (DAVIDSON et al., 2002). Para cobrir períodos maiores seria necessário fazer um grande número de medições (FERREIRA et al., 2005; PANOSSO et al., 2012). As limitações de alto custo do equipamento e dificuldade de medidas no campo têm sido em parte superadas por equipamentos portáteis, vendidos a preços que vêm sendo reduzidos (DIAS, 2006).

Na região semiárida do NE do Brasil, apesar de sua grande dimensão territorial (aproximadamente 1 milhão de km²) são ainda escassos os dados sobre respiração do solo em diferentes sistemas de uso da terra e também sobre a influência das variações de umidade e temperatura do solo sobre os fluxos de CO₂ (ALVES et al., 2006; CORREIA, 2010; SILVA et al., 2010; SANTOS et al., 2007; ARAUJO et al., 2007). Todos estes trabalhos foram feitos determinando a respiração pela absorção do CO₂ em Álcali, um método que tem recebido críticas por superestimar os fluxos baixos e subestimar os fluxos elevados (JANSSENS; PILEGAARD, 2003).

5.2 Parte II– Influência dos fatores ambientais na respiração do solo

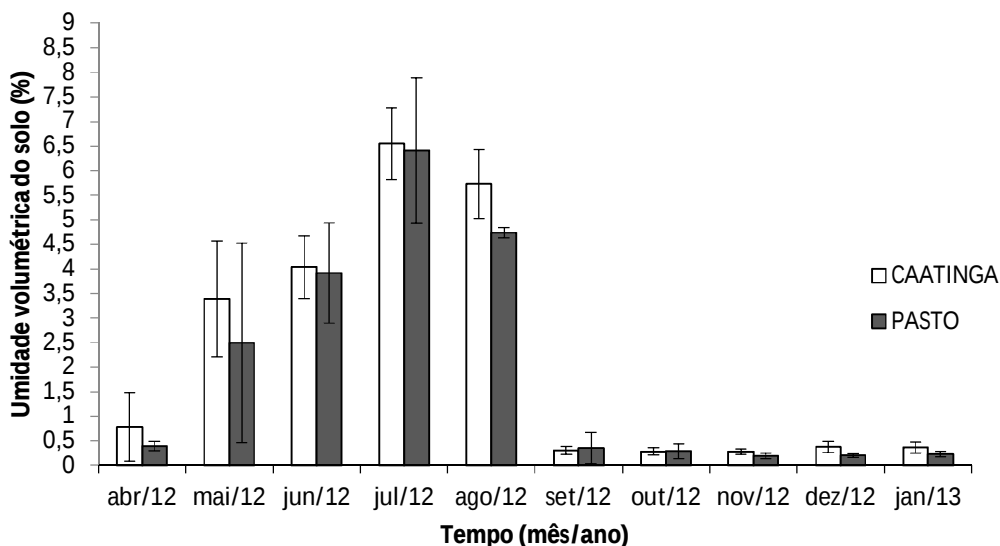
As maiores precipitações mensais, no período de medidas da respiração do solo (abril de 2012 a janeiro de 2013) ocorreram na estação chuvosa, de abril a agosto, e as menores na estação seca, de setembro a janeiro. Esta é a sazonalidade usual na região de estudo (LIMA et al. 2012) (Figura 8).

Figura 8 – Precipitação mensal (mm) em São João, PE, durante o período de 2012 a 2013.



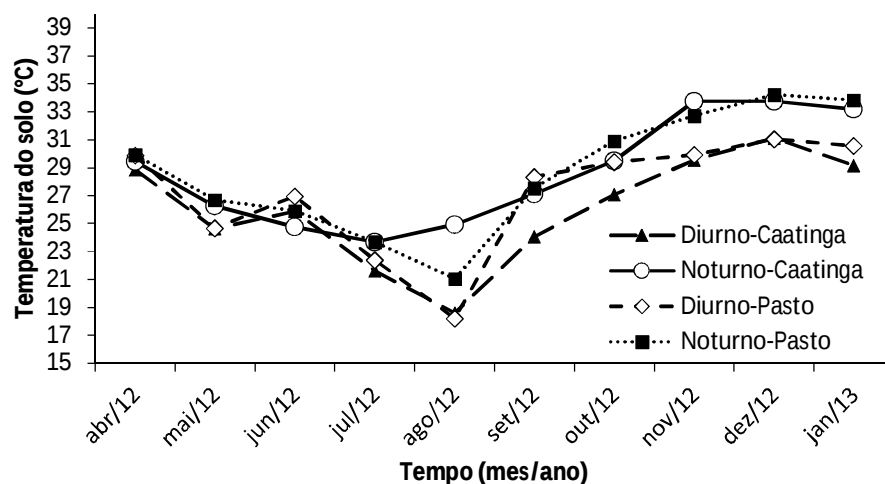
Os valores médios de umidade do solo na caatinga variaram de 6,55% em julho de 2012 a 0,27% em novembro de 2012, e foram $4,09 \pm 2,24\%$ na estação chuvosa e $0,32 \pm 0,05\%$ na estação seca (Figura 9). Na pastagem (pasto), nas mesmas datas, variaram de 6,41 % a 0,19%, e foram $3,6 \pm 2,3\%$ na estação chuvosa e $0,25 \pm 0,07\%$ na estação seca. Houve pouca diferença nos valores das duas áreas. O valor médio da umidade não ultrapassou 8% na camada de 0 - 20 cm de profundidade (Figura 9), um fato semelhante ao ocorrido em outras regiões áridas descritas por Wang et al. (2014).

Figura 9 – Média mensal da umidade volumétrica do solo na área experimental em São João, PE, em área de caatinga e de pastagem.



A temperatura média do solo na caatinga foi $27,35^{\circ}\text{C} \pm 4,02$, variando de $18,61^{\circ}\text{C}$ em agosto a $33,25^{\circ}\text{C}$ em dezembro; na pastagem foi $28,23^{\circ}\text{C} \pm 4,20$, variando de $18,21^{\circ}\text{C}$ em agosto a $34,5^{\circ}\text{C}$ em dezembro (Figura 10). A maior temperatura na pastagem ocorreu devido à menor cobertura do solo, principalmente na época seca, que permite a incidência direta de raios solares (ARAUJO et al., 2011; COSTA et al., 2008). Em ambas as áreas, as temperaturas podem ser consideradas altas e condizentes com ambientes tropicais e subtropicais, que são caracterizados pela incidência elevada de radiação solar (BAYER, 2004).

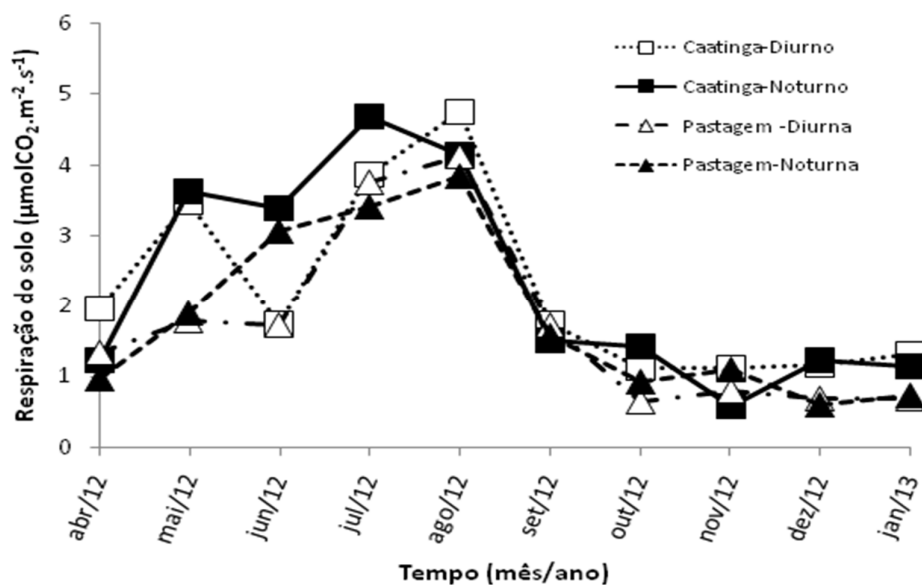
Figura 10 – Valores médios mensais da temperatura do solo nos horários diurno e noturno na área de caatinga e de pastagem em São João, PE.



Ao longo de todo o período experimental, os valores médios de respiração do solo com o IRGA na caatinga no período diurno foram $3,16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, na estação chuvosa, e $2,30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, na estação seca. No período noturno, foram $3,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $1,18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 11). Na pastagem, os valores médios de respiração do solo do período diurno foram $2,54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, na estação chuvosa, e $0,91 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, na estação seca; no período noturno, foram $2,60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $0,98 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 11).

A respiração foi significativamente maior na estação chuvosa que na seca, quando se reduziu em aproximadamente 47% na caatinga e 63% na pastagem. A redução pode ser justificada pela menor umidade do solo, gerando menor atividade microbiana e metabolismo do sistema radicular. Os resultados confirmam a sensibilidade da respiração do solo à variabilidade sazonal da precipitação, já demonstrada em muitos estudos em outras regiões (YIM et al., 2003; KANG et al., 2003; CHAMBERS et al., 2004; PINTO-JUNIOR, 2007).

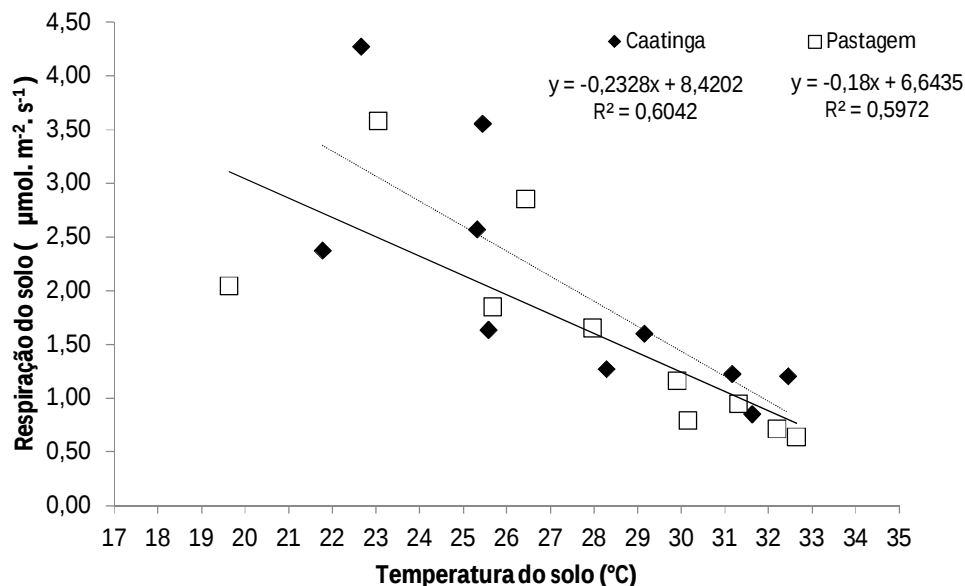
Figura 11 – Valores médios mensais de respiração do solo em área de caatinga e de pastagem em São João, PE, nos turnos noturno e diurno.



As médias mensais da respiração do solo também foram relacionadas significativamente com a temperatura do solo (Figura 12) tanto na caatinga ($R^2 = 0,604$, $p < 0,01$) quanto na pastagem ($R^2 = 0,597$, $p < 0,01$), no entanto, a relação foi negativa ao invés da relação positiva com a umidade do solo. As altas temperaturas aumentam a velocidade de decomposição de matéria orgânica no solo e, conseqüentemente, a respiração (BAYER, 2004; ARAUJO et al., 2009). Na literatura encontram-se vários estudos em diferentes ecossistemas, que mencionam

a correlação negativa entre respiração e a temperatura do solo (LUO et al., 2001; FANG, MONCRIEFF, 2001; JANSSENS; PILEGAARD, 2003; KANG, et al., 2003; BEKKU et al., 2003, SCOTT-DENTON et al., 2003, TANG et al., 2003, SOTTA et al., 2004; YUSTE et al., 2003).

Figura 12 – Regressão linear dos valores mensais da respiração do solo e temperatura do solo (IRGA), São João, PE.



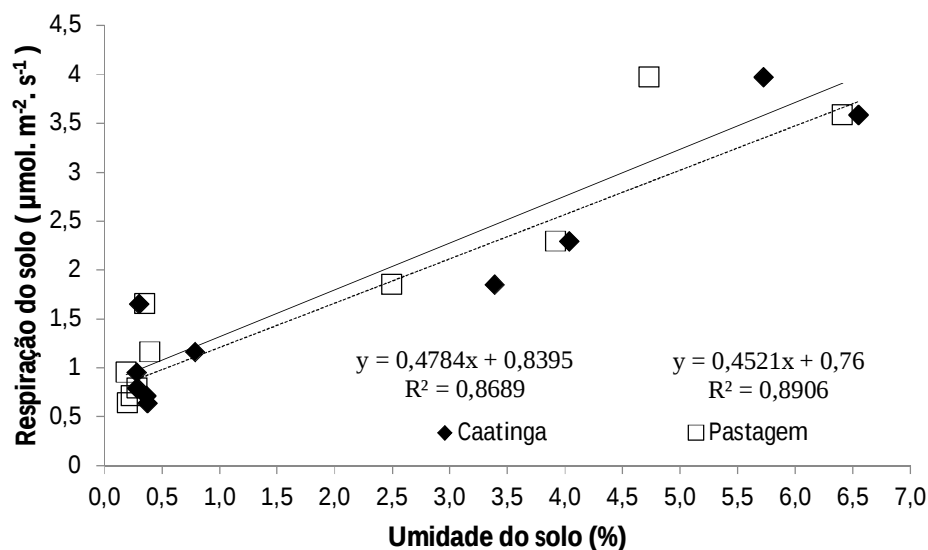
De acordo com Araujo et al. (2011), as variações nas emissões de CO_2 decorrem de mudanças na umidade e na temperatura do solo, com tendência a maiores valores nos horários mais quentes. A precipitação pluviométrica também pode exercer uma influência física sobre as emissões de CO_2 . Por exemplo, Zanchi et al. (2004) observaram que logo após um evento de chuva, houve grande aumento da respiração do solo. Isto porque a água quando drenada para o solo força a saída do CO_2 presente nos poros; após algumas horas há uma queda brusca nos dados de respiração do solo, que se dá devido à formação de uma camada de proteção feita pela água, evitando assim a emissão para a atmosfera. Esta emissão vai se tornando maior à medida que a água vai evaporando e sendo drenada para o lençol freático e os poros ficam livres e voltam a emitir CO_2 em maior quantidade (SILVA-OLAYA, 2010).

Messias (2010) encontrou menor valor da concentração de CO_2 em solos secos, visto que possuem alta difusividade, permitindo um rápido fluxo de CO_2 do solo para a atmosfera. Sotta (2004) e Castro e Kauffman (1998) relataram a importância da umidade do solo para a liberação ou retenção do fluxo de CO_2 do solo, pois a água drenada para o solo força a saída do

CO₂ presente nos poros, e por meio do processo chamado difusão, o CO₂ é emitido para atmosfera.

Alves et al. (2006), Silva et al. (2007) e Souto (2008) observaram que a respiração do solo aumentou (~30%) em período de maior precipitação, gerada pela maior disponibilidade de água no solo. Esse comportamento também foi observado no presente estudo, onde a análise de regressão entre os valores médios da respiração do solo e de umidade do solo resultou em uma relação estatística linear significativa (Figura 13), tanto na caatinga ($R^2 = 0,87$, $p < 0,05$) quanto na pastagem ($R^2 = 0,89$, $p < 0,05$).

Figura 13 – Regressão linear entre as medidas da respiração do solo e umidade do solo em São João-PE.



Brandão (2012) avaliou a relação entre umidade e respiração do solo e observou um coeficiente de correlação igual a -0,49 entre essas duas variáveis nos meses de seca. Segundo Yuste et al. (2003), a baixa umidade do solo pode limitar a respiração microbiana e das raízes. A análise da variação da respiração do solo em função da temperatura do solo, realizada de acordo com a classificação de correlação citada por Callegari-Jacques (2003), mostrou que os valores médios nas áreas de Caatinga e de pastagem correlacionaram-se negativamente ($p < 0,01$, $r = -0,87$ e $-0,97$, respectivamente) (Tabela 5).

Tabela 5 – Correlação entre a respiração do solo e os fatores ambientais em área de Caatinga e de Pastagem, São João, PE.

Fatores ambientais	Coef. de correlação (r)	Coef. de correlação (r)
	Caatinga	Pasto
Temperatura do solo (°C)	-0,8689**	-0,9711**
Umidade do solo (%)	0,9539**	0,9321**

ns→ não significativa a diferença ($p \geq 0,05$); *→ significativa a diferença ($0,01 \leq p < 0,05$);

**→ significativa a diferença ($p < 0,01$)

A respiração do solo na caatinga e na pastagem correlacionou-se positivamente e significativamente com a umidade do solo ($r = 0,95$ e $r = 0,93$ $p < 0,01$; respectivamente) (Tabela 5), diferentemente dos estudos realizados em outras regiões do Brasil (PANOSSO et al., 2009; VALENTINI et al., 2008; CARVALHO, 2012; BRANDÃO, 2012).

Costa et al. (2008) observaram correlação positiva entre a emissão de CO_2 e a temperatura do solo, não corroborando os resultados dessa pesquisa. Brandão (2012) encontrou correlação positiva significativa da temperatura do solo a 20 cm ($r = 0,79$; $p = 0,01$) com o fluxo de CO_2 do solo. Correlação semelhante à do estudo de Brandão (2012) foi relatada por Valentini (2004), tendo a autora obtido um coeficiente de 0,67.

Muitos estudos demonstraram a influência da umidade na emissão de gases do solo, sendo este um dos fatores controladores da quantidade de emissão de CO_2 do solo (YIM et al., 2003; KANG et al., 2003; CHAMBERS et al., 2004; SOTTA, 2004; SOUZA et al., 2004; VALENTINI, 2004; PINTO-JR, 2007). Sotta (2004), também encontraram correlação moderada ($r = 0,63$) entre essas duas variáveis, valor semelhante ao encontrado neste estudo para a umidade do solo.

Durante o período chuvoso, as condições ambientais para melhor desenvolvimento da microbiota tornam-se evidentes; logo, as áreas degradadas tendem a apresentar comportamento mais próximo ao das áreas conservadas, uma vez que os organismos como mecanismo de defesa liberam quantidade mínima de CO_2 , reservando assim energia (WARDLE, 1994).

Brandão (2012) e Carvalho (2012) destacaram que a vegetação é tida como indicadora do nível de instabilidade dos ambientes. A ausência da vegetação permite uma maior exposição do ambiente aos efeitos de radiação e insolação, com grandes variações diárias de temperatura, acelerando a atividade microbiana e a respiração do solo. De acordo com Araújo et al. (2007) e Souto et al. (2008), a variação no teor de CO_2 pode ser associada às flutuações sazonais do clima, que influenciam a atividade microbiana do solo.

A figura 14 mostra que a estação chuvosa (de abril a agosto de 2012) apresentou os menores valores de coeficiente metabólico. Os menores coeficientes microbianos estão presentes na figura 15, que apresenta a menor disponibilidade de carbono microbiano e aumento da respiração do solo, devido ao retorno da precipitação, aumento da umidade do solo e aumento da cobertura vegetal.

Figura 14 – Coeficiente metabólico, qCO_2 , em área de Caatinga e de Pastagem em São João, PE.

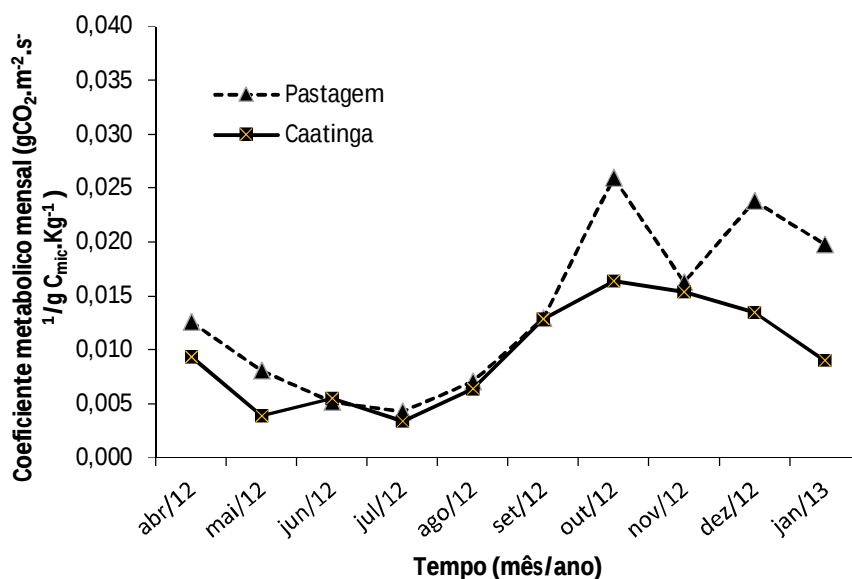
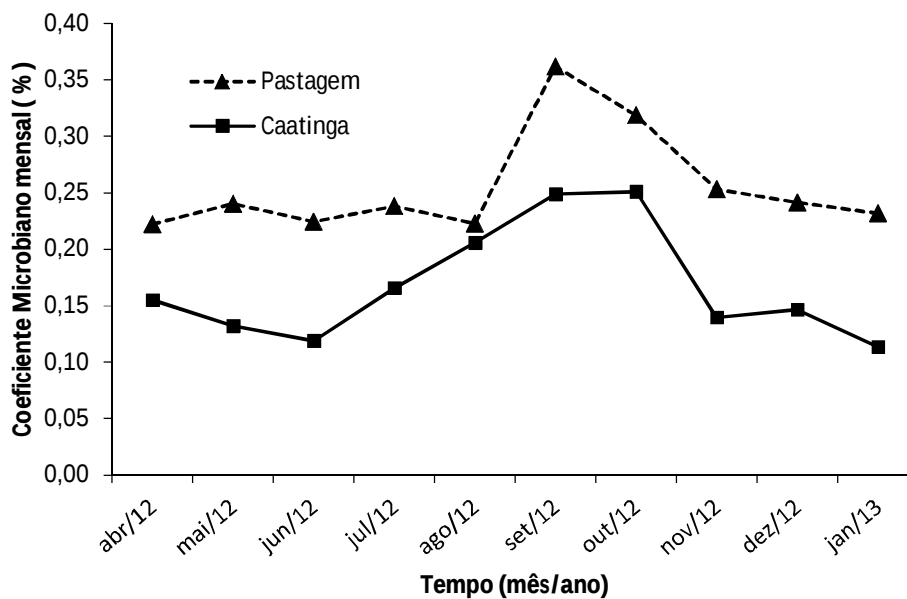


Figura 15 – Coeficiente microbiano mensal, q_{mic} , em área de Caatinga e de Pastagem em São João, PE.



Martins et al. (2012) afirmaram que o quociente metabólico do solo apresenta tendência a aumentar conforme as florestas se tornam menos complexas em estrutura e composição, sugerindo que quanto menor a complexidade dos sistemas, menor é a eficiência na renovação do C microbiano, gerando assim importantes implicações para o funcionamento do ecossistema, uma vez que uma grande parte do C fica alocado no solo, diminuindo a respiração do mesmo que fica retido como MOS ou biomassa vegetal.

O valor mensal do qCO_2 dobrou no início da estação seca (set 12 – out 12), indicando o aumento da utilização de energia e, supostamente, refletindo um ambiente menos estável ou mais distante do seu estado de equilíbrio. Valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (MARTINS et al., 2012). Alvarenga et al. (1999) obtiveram valores de q_{mic} que variaram de 3,08% no Cerrado até 1,34% em pasto nativo. No pasto de São João, observou-se que o valor médio do q_{mic} foi maior que o da Caatinga (~ 12%) ($\alpha = 0,05$, $p < 0,01$). A maior disponibilidade de C orgânico está relacionada à maior área de contato com resíduos do solo e a maior exposição de C orgânico oxidável da MOS durante o período de atividade microbiana.

6. CONCLUSÃO

As medidas da respiração do solo com o analisador de gás por raios infravermelhos (IRGA) mostraram maior sensibilidade à variação sazonal que as com método de absorção de CO₂ em Álcali.

Utilizando o IRGA, as médias da respiração do solo na Caatinga foram cerca de 20% superiores à respiração na área de pastagem. As emissões de CO₂ pelo solo na época seca foram 47% e 63% menores que na época chuvosa nas áreas de caatinga e pastagem, respectivamente.

No período chuvoso, os valores do coeficiente metabólico (qCO₂) foram maiores que no período seco.

A umidade do solo teve correlação positiva com a respiração, enquanto a temperatura teve correlação negativa, tanto nas áreas de caatinga quanto nas áreas de pastagem.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br>>. Acesso em: 05 jul. 2013.

ALVES, A. R.; SOUTO, J. S.; DOS SANTOS, R. V.; CAMPOS, M. C. C. *Decomposição de resíduos vegetais de espécies da Caatinga, na região de Patos, PB*. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. V.1, n. único, p.57 - 63, 2006.

ALTHOFF, T.D.; MARTINS, J.C.R; DUTRA, E.D.; ALBUQUERQUE, R.G.;MENEZES, R.S.C. *Calibração do Century para simulação da produtividade do milho em um Neossolo Regolítico no semiárido*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32. Fortaleza, 2009. Anais. Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 241 p. 2009.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br>>. Acesso em: 05 jul. 2013.

ALVES, A. R.; SOUTO, J. S.; DOS SANTOS, R. V.; CAMPOS, M. C. C. *Decomposição de resíduos vegetais de espécies da Caatinga, na região de Patos, PB*. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. v.1, n. único, p.57 - 63, 2006.

ALCOFORADO FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. *Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia arbórea em Caruaru, Pernambuco*. Acta Botânica Brasília, v. 17, p. 287-303, 2003.

AMARAL, W. G., PEREIRA, I. M., AMARAL, C. S., MACHADO, E. L. M., & RABELO, L. D. O. *Dynamics of the shrub and tree vegetation colonizing An Area Degraded by gold mined In Diamantina, Minas Gerais State*. Ciência Florestal, 23(4), 713-725. 2013.

AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, n.1, p.189-197, 2001.

ANDRADE, M. C. O. *Pernambuco e o trópico*. R. Inst. Est.Bras., 45:11-20, 2007.

ARAÚJO FILHO, J. A. de; CRISPIM, S. M. A. *Pastoreio combinado de bovinos, caprinos e ovinos em áreas de caatinga no nordeste do Brasil*. In: I CONFERÊNCIA VIRTUAL GLOBAL SOBRE PRODUÇÃO ORGÂNICA DE BOVINOS DE CORTE, 2002, Concórdia, Anais...Concórdia, 2003.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos. Biosci. J., 23:66-75, 2007.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. *Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31:1, 099 - 1108, 2007.

ARAUJO, K. D.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P.; PARENTE, H. N. *Cinética de evolução de dióxido de carbono em área de Caatinga em São João do Cariri-PB*. Rev. Árvore [online]. v. 35, n. 5, pp. 1099 - 1106. ISSN 0100-6762. 2011.

ASSIS JÚNIOR, S. L. *Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada*. Revista Árvore, v.27, n.1, p.35 - 41, 2003.

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. *Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos*. Ci. Agrotec., 23: 617-625, 1999.

BARBOSA, R.A. *Morte de pastos de braquiárias*. Campo Grande, Embrapa Gado de Corte, 206p. 2006.

BARRETO, L.V. et al. *Sequestro de Carbono – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB*. Curso de Especialização em Meio Ambiente e Desenvolvimento, 2009.

BARTLETT, R. J.; ROSS, S. D. *Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions*. Soil Sci. Soc. Am. J., 52: 1191-1192, 1988.

BAYER, C. *Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais*. FERTBIO, Lages. Anais. Lages: UDESC e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CD-ROM. 2004.

BEKKU, Y. S.; NAKATSUBO, T.; KUME, A.; ADACHI, M.; KOIZUMI, H. *Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils*. Applied Soil Ecology. v. 22, p. 205 - 210, 2003.

BENATTI, P. Mudanças climáticas: é tempo de agir. 6º Fórum Latino Americano sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Mudanças Climáticas. Belo Horizonte, MG. 2007. Disponível em: http://www.ecolatina.com.br/pdf/anais/6_Forum_Latino_Americano/PaulaBennati.pdf. Acesso em: 20 ago. 2009.

BOUMA, T. J.; NIELSEN, K. L.; EISSENSTAT, D. M.; LYNCH, J. P. *Estimating respiration of roots in soil: interactions with soil CO₂, soil temperature and soil water content*, Plant. Soil, 195, 221–232, 1997.

BRANDÃO, A. B. *Dinâmica temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de cerrado no Pantanal Mato-grossense*. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LIM/_Quadro-LIM.htm. Acesso em: 12 dez. 2008.

BULHÕES, S. M.; COELHO, N. V. T.; VALENTINI, M. A. C.; *Comparação de efluxo de CO₂ do solo de duas áreas do IFMT, Campus Cuiabá- Bela Vista*. Revista Agricultura Tropical, 9:170-181, 2007.

CALLEGARI-JACQUES, SIDIA M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artmed. 365p. 2003.

CARBONE, M. S.; WINSTON, G. C.; TRUMBORE, S. E. *Soil respiration in perennial grass and shrub ecosystems: linking environmental controls with plant and microbial sources on*

seasonal and diel timescales, J. Geophys. Res., 113, G02022, doi:10.1029/2007JG000611, 2008.

CARVALHO, A. M. de. *Uso de plantas condicionadas com a incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases*. Tese (doutorado) Universidade de Brasília. 167 f. 2005.

CARVALHO, P. V. de. *Estudo do fluxo de CO₂ e do estoque de carbono do solo em área de interflúvio no pantanal município de poconé*, Mato Grosso. 68 f. 2013.

CARVALHO, A. J. E. de; GARIGLIO, M. A.; CAMPELLO, F. B.; BARCELLOS, N. D. E. Potencial econômico de recursos florestais em áreas de assentamento do Rio Grande do Norte. Natal, RN: Ministério do Meio Ambiente, (Boletim Técnico, n. 1). 2000.

CASTRO, A. A. J. F. *Florística e fitossociologia de um cerrado marginal brasileiro, Parque Estadual de Vaçununga, Santa Rita do Passa Quatro -SP*. 238f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia. 1987.

CERRI, C. C. *A ciência do solo e o sequestro de carbono*. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 29, n. 3, p. 29-34, 2003.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CERRI, C.E.P. & LAL, R. *Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America*. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J. & CERRI, C.E.P. Carbon sequestration in soils of Latin America. New York, Haworth, p.41-47. 2006.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M. & CERRI, C.C. *Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options*. Sci. Agric., 64:83-99, 2007.

CERRI, C.C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J. & BERNOUX, M. *Brazilian greenhouse gas emissions: The importance of agriculture and livestock*. Sci. Agric., v. 66: 831 - 843, 2009.

CHAMBERS, J. Q.; TRIBUZY, E. S.; TOLEDO, L.; CHISPIM, B. F. O.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; ARAUJO, A. C.; KRUIJT, B.; NOBRE, A. D.; TRUMBORE, S. E. *Respiration from a tropical forest ecosystem partitioning of sources and low carbon use efficiency*. Ecological Application, v. 14, p. S72 - S88, 2004.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo pela dinâmica da matéria orgânica na dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v 5. p. 29. 2005.

CONANT, R. T., DALLA-BETTA, P., KLOPATEK, C. C., KLOPATEK, J.M.: *Controls on soil respiration in semiarid soils*, Soil Biol. Biochem., 36, 945–951, 2004.

CORREIA, K. G., *Biota do solo e atividade microbiana de áreas em diferentes estágios sucessionais e aspectos sócio-econômicos no Município de Santa Terezinha – PB*, pps. Tese - Doutorado em Recursos Naturais - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 143 f. 2010.

COSTA, F. S. et al. *Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera*. Ciência Rural. v.36, n.2, p.693-700, 2006.

COSTA, F. S. *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, n.1, p.323-332, 2008.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; VERCHOT, L. V.; NAVARRO, R. *Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration*. Agricultural and Forest Meteorology. v.113, p.21-37, 2002.

DIAS, J. D. *Fluxo de CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de florestas nativa da Amazônia* - Piracicaba, Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

DE-POLLI, H. & GUERRA, J.G.M. C, *N e P na biomassa microbiana do solo*. In: SANTOS, G.A., CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, p.389-412. 1999.

DRENOVSKY, R. E., VO, D., GRAHAM, K. J., SCOW, K. M.: *Soil water content and organic carbon availability are major determinants of soil microbial community composition*, Microbial. Ecol., 48, 424–430, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 306p. 2006.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MONUVONDY, W.; MABIALA, A., Saint-Andre, L., Joffre, R., Jourdan, C., Bonnefond, J.M., Berbigier, P., Hamel, O. *Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo*. For. Ecol. Manage. 202, 149–160. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 212. p.1997.

EWEL, K. C.; CROPPER, W. P.; GHOLZ, H. L. *Soil CO₂ evolution in Florida slash pine plantations. I. Changes through time*. Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, v. 17, p. 325-329, 1987.

FANG, C.; MONCCRIEFF, J. B. *The dependence of soil CO₂ efflux on temperature*. Soil Biology & Biochemistry. v. 33, p. 155 - 165, 2001.

FANG, C. *The Measurement and Simulation of CO₂ efflux in a Florida Slash Pine Plantation*. PhD. Thesis, University of Edinburgh, Edinburgh.p.184. 1997.

FERNANDES, A. *Biodiversidade da Caatinga*. In: ARAÚJO, E. L., MOURA, A. N.; SAMPAIO, E. S. B., GESTINARI, L. M. S., CARNEIRO, J. M. T. (Orgs.) *Biodiversidade, Conservação e Uso Sustentável da Flora do Brasil*. Imprensa Universitária: UFRPE. p. 42-44. 262, p. 2002.

FERREIRA, E.A.B.; MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C. *Influência das variações ambientais sobre o fluxo de CO₂ em solos de Campo Úmido no Cerrado*. IN: II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, 2008, Brasília. Anais. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. *Medidas do Fluxo de CO₂ do Solo pelos Métodos da Absorção Alcalina e Analisador de Gás Infravermelho em Diferentes Sistemas de Manejo no Cerrado*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária .ISSN 1676-918X Junho, 2005.

FIRME, D. J.; SOUZA, J. L.; RIBEIRO, R. S.; MIGLIORINI, A. J.; BERTOLOTI, G.; *Preparo de solos em áreas acidentadas*. **Circular Técnica** N° 159, IPEF, 2005.

FOLLET, R. F.; SCHIMEL, D. S. *Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics*. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 53, p. 1091- 1096, 1989.

FREIJER, J. I.; BOUTEN, W. *A comparison of field methods for measuring soil carbon dioxide evolution: Experiments and simulation*. Plant and Soil, Dordrecht, 135, p. 133-142, 1991.

FREITAS, H.C. *Efluxo de CO₂ do solo em uma pastagem na Amazônia (Rondônia): observações com câmara portátil e simulação do ciclo de carbono com o modelo SiB2*. 59p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo-ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, p. 227-244. 2005.

GRISI, B. M. *Método químico de medição de respiração edáfica: alguns aspectos técnicos*. Ciência e Cultura, v. 30, n. 1, p.82-88, 1978.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. de Sá B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga*. Brasília/DF Serviço Florestal Brasileiro. 368p. 2010.

HALLETT, P. D.; YOUNG, I. M. *Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity*, Eur. J. Soil Sci., v. 50, 35 – 40, 1999.

HAYNES, B. E.; GOWER, S. T.; *Belowground carbon allocation in unfertilization and fertilized red pine plantations in northern Wisconsin*. Tree Physiology, Victoria, v. 15, p. 317-325, 1995.

HENDRY, M. J.; MENDOZA, C. A.; KIRKLAND, R.; LAWRENCE, J. R. *An assessment of a mesocosm approach to the study of microbial respiration in a sandy unsaturated zone.* Ground Water, Westerville, v. 39, p. 391- 400, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. *Climate change. The scientific basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press; 881 p. 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *The Scientific Basis. Contribution Of Working Group I To The Third Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change .* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom And New York, 881p. Climate Change 2001:

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo agropecuário do Brasil. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/defaulttab_censoagro.shtm. Acesso em: 05 abr. 2009.

JACOMINE, P.K.T. *Distribuição geográfica, característica e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros.* In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, Anais.Aracaju, EMBRAPA-CPATC & CNPMF / EAUFBA /IGUFBA, p.13-26. 1996.

JANSSENS, I. A.; PILEGAARD, K. *Large seasonal changes in Q_{10} of soil respiration in a beech forest.* Global Change Biol. 9: 911–918. 2003.

JASSAL, R. S.; ANDREW BLACK, T.; NOVAK, M. D.; GAUMONT-GUAY, D.; NESIC, Z. *Effect of soil water stress on soil respiration and its temperature sensitivity in an 18-year-old temperate Douglas-fir stand,* Glob. Change Biol., v. 14, 1305 – 1318, 2008.

JANSEN, H. H. *Soil carbon: A measure of ecosystem response in a changing world?* Canadian J. Sci., 85:467-480, 2005.

JENSEN, L. S.; MUELLER, T.; TATE, K. R.; ROSS, D. J. MAGID, J.; NIELSEN, N. E. *Soil surface CO₂ flux as an index of soil respiration in situ. A comparison of two chamber methods.* Soil Biology and Biochemistry, Oxford, England, 29, p. 1297-1306, 1996.

JIA, X.; ZHA, T.; WU, B.; ZHANG, Y.; CHEN, W.; WANG, X.; YU, H.; HE, G. *Temperature response of soil respiration in a Chinese pine plantation: hysteresis and seasonal vs. diel Q_{10} ,* Plos One, v. 8, e57858, doi: 10.1371/journal.pone.0057858, 2013.

KABWE, L. K.; HENDRY, M. J.; WILSON, G. W.; LAWERNSE, J. R. *Quantifying CO₂ fluxes from soil surfaces to the atmosphere.* Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 260, p. 1-14, 2002.

KANG, S.; DOH, S.; LEE, D.; JIN, V.L.; KIMBALL, J. *Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea*. Global Change Biology, v.9, p.1427-1437, 2003.

LA SCALA JR., N.; MARQUES JR., J.; PEREIRA, G. T.; CORA, J. E. *Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil*. Soil Biology & Biochemistry. v. 32, p.1459-1462, 2000.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A.C.D.; SOARES, W.A.; SOUZA, E.S.; LIRA, C.A.B.O. *Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi*. R. Bras. Ci. Agron., 1:89-95, 2011.

LIN, X.; ZHANG, Z., WANG, S. *Response of ecosystem respiration to warming and grazing during the growing seasons in the alpine meadow on the Tibetan plateau*. Agricultural and Forest Meteorology, 151, 792–802. 2011.

LINN, D. M.; DORAN, J. W. *Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils*, Soil Sci. Soc. Am. J., v.48, 1267 – 1272, 1984.

LLOYD, J.; TAYLOR, J. A. *On the temperature dependence of soil respiration*, Funct. Ecol., 8, 315–323, 1994.

LIU, W.; ZHANG, Z.; WAN, S. *Predominant role of water in regulating soil and microbial respiration and their responses to climate change in a semiarid grassland*, Glob. Change Biol., 15, 184–195, 2009.

LONGDOZ, B.; YERNAUX, M.; AUBINET, M. *Soil CO₂ efflux measurements in a mixed forest: impact of chamber disturbances, spatial variability and seasonal evolution*. Global Change Biology, 6: 907–917, 2000.

LOVELAND, P. J.; WHALEY, R.W. *Particle size analysis*. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. Soil Analysis – Physical Methods. New York: Marcel Dekker, 1991.

LOVENSTAIN, H.; LEFFELLAR, P. (Ed.). *Principals of production ecology*. Wageningen: University of Wageningen, 115 p. 1993.

LOU, Y.; LIANG, W.; XU, M.; ELE, X.; WANG, Y.; ZHAO, K. *Straw coverage alleviates seasonal variability of the topsoil microbial biomass and activity*. Catena, v.86: 117 - 120, 2011.

LUCHESI, E. B; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. *Fundamentos da química do solo*. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Freitas Bastos Editora, 182p. 2001.

LUND, C.P.; RILEY, W.J.; PIERCE, L.L.; FIELD, C.B. *The effects of chamber pressurization on soil-surface CO₂ flux and the implication for NEE measurements under elevated CO₂*. Global Change Biology, 5; 269-281, 1999.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. *Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco*. R. Bras. Ci. Solo, 34:1883-1890, 2012.

MEDINA, E.; KLINGE, H.; JORDAN, C.F.; HERRERA, R. *Soil Respiration in Amazonian Rain Forests in the Rio Negro* Bras in. *Flora*, v. 170: 240 - 250. 1980.

MEIER, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.; LLOYD, J. *Soil respiration in Amazônia and in cerrado in central Brazil*. *Amazonian Deforestation and Climate*. eds. J. C. H. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts and R. Victória. John Wiley and Sons, Chichester, UK, p. 319-330. 1996.

MELILLO, J. M.; MCGUIRE, A. D.; KICKLIGHTER, D. W.; MOORE, B.; VOROSMARTY, C. J.; SCHLOSS, A. L.. *Global Climate Change and Terrestrial Net Primary Production*. *Nature*, v. 363: 234 - 240. 1993.

MENEZES, R S M., GARRIDO, M S; PEREZ-MARIN, A M., *Fertilidade dos solos no semi-árido*. In *Proceedings of the XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo 2005*. Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 30 p. CD-ROM. 2005.

MESSIAS, I.A.M. *Monitoramento contínuo do potencial redox e de variáveis complementares em ambiente hipersazonal no Pantanal de Barão de Melgaço*. 57p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, LA SCALA JR, A. R. N. *Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂*. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. vol. 37. no. 6. Viçosa. Nov./Dec. 2012.

MORENO, L. X. *Desenvolvimento de sistema para análise de fluxo de CO₂ do solo pelo método de absorção de radiação infravermelha*. Dissertação. Rio Claro-SP. 2012. STATSOFT, INC. *STATISTICA*, Version 6.0. Tulsa, Stat Soft Inc. 2001.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA. 2006.

MORITA, T.; ASSUMPÇÃO, R. M. V. *Manual de soluções, reagentes e solventes*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 629 p. 1993.

MOYANO, F. E.; VASILYEVA, N.; BOUCKAERT, L.; COOK, F.; CRAINE, J.; CURIEL YUSTE, J.; DON, A.; EPRON, D.; FORMANEK, P.; FRANZLUEB-BERS, A.; ILSTEDT, U.; KÄTTERER, T.; ORCHARD, V.; REICHSTEIN, M.; REY, A.; RUAMPS, L.; SUBKE, J. A.; THOMSEN, I. K.; CHENU, C. *The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties*, *Biogeosciences*, 9, 1173–1182, doi:10.5194/bg-9-1173-2012, 2012.

NAY, S. M.; MATTSO, K. G.; BORMANN, B. T. *Biases of chamber methods for measuring soil CO₂ efflux demonstrated with a laboratory apparatus*. *Ecology*, Washington, DC, v. 75, p. 2460-2463, 1994.

NEFF, J C; HOBBIE, S H; VITOUSEK, P M. *Controls over the production and stoichiometry of dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus in tropical soils*. *Biogeochemistry* 51: 283–302. 2002.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M. E. *Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil*. R. Bras. Ci. Solo, v.32: 2425 - 2433, 2008.

NOORMETS, A., A. R. DESAI, B. D. COOK, E. S. EUSKIRCHEN, D. M. RICCIUTO, K. J. DAVIS, P. V. BOLSTAD, H. P. SCHMID, C.V. VOGEL, E.V. CAREY, H.B. SU, AND J. CHEN. *Moisture sensitivity of ecosystem respiration: Comparison of 14 forest ecosystems in the Upper Great Lakes Region, USA*. *Agricultural and Forest Meteorology* 148(2): 216-230, 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.08.002>

NORMAN, J. M.; GARCIA, R.; VERMA, S. B. *Soil surface CO₂ fluxes and the carbon budget of grassland*. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, Washington, DC, v. 97, p. 18845-18853, 1992.

O'CONNEL. In FANG, C.; MONCCRIEFF, J. B. *The dependence of soil CO₂ efflux on temperature*. *Soil Biology & Biochemistry*. v.33, p.155-165, 2001.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; JARENKOV, J. A.; RODAL, M. J. N. Floristic relations of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution pattern. In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. *Neotropical savannas and seasonally dry forests*. Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 159-190.

OLIVEIRA, M. B. L.; SANTOS, A. J. B.; MAZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. S.; CORREIA, M. F.; MOURA, M. S. B. *Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de Caatinga e atmosfera no Nordeste Brasileiro*. 2006.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; MILORI, D.M.B.P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. *Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under slash-and-burn and green harvest*. *Soil Till. Res.*, v.111:190 - 196, 2012.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JÚNIOR, N. *Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um Latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento*. *Semina: Ci. Agron.*, 30:1017-1034, 2009.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JR., N. *Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo*. *Eng. Agríc.*, 28:227-236, 2007.

PARKIN, T. B.; KASPAR, T. C. *Temperature controls on diurnal carbon dioxide flux: implications for estimating soil carbon loss*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1763-1772, 2003.

PEREIRA, S. V.; MARTINEZ, C. R.; PORTO, R. E. , OLIVEIRA, B. R. B.; MAIA, L. C. *Atividade microbiana em solo de semiárido sob cultivo de *Atriplex nummularia**. *Pesquisa agropecuária*. Bras. Brasília. v.39, n 8. pp.757 - 762. 2001.

PHILLIPS, C. L.; NICKERSON, N.; RISK, D.; BOND, B. J. *Interpreting diel hysteresis between soil respiration and temperature*, *Glob. Change Biol.*, 17, 515-527, 2011.

PINTO - JUNIOR, O. B. *Efluxo de CO₂ do Solo em Floresta de Transição Amazônica Cerrado e em Área de Pastagem*. 79p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

RAICH, J. W.; POTTER, C. S.; BHAGAWATI, D. *Interannual variability in global soil respiration*, 1980 – 94, *Glob. Change Biol.*, v. 8, 800 – 812, 2002.

RAYMENT, M.B.; JARVIS, P.G. *Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian boreal forest*. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, p. 35-45, 2000.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. *Solo, planta e atmosfera*. 2a ed. Barueri: Manole, 500p. 2012.

REICHSTEIN, M.; REY, A.; FREIBAUER, A.; TENHUNEN, J.; VALENTINI, R.; BANZA, J.; CASALS, P.; CHENG, Y.; GRÜNZWEIG, J. M.; IRVINE, J.; JOFFRE, R.; LAW, B. E.; LOUSTAU, D.; MIGLIETTA, F.; OECHEL, W.; OURCI-VAL, J. M.; PEREIRA, J. S.; PONTI, F.; QI, Y.; RAMBAL, S.; RAYMENT, M.; ROMANYA, J.; ROSSI, F.; TEDESCHI, V.; TIRONE, G.; XU, M.; YAKIR, D. *Modeling temporal and large scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices*, *Global Biogeochem. Cy.*, 17, 1104, doi:10.1029/2003GB002035, 2008.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. *Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado*. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Editores). *Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. revisada e atualizada –Porto Alegre : Metropole, 654p. 2008.

RIVEROS-IREGUI, D.A., EMANUEL, R.E., MUTH, D.J., MCGLYNN, B.L., EPSTEIN, H.E., WELSCH, D.L., PACIFIC, V.J., WRAITH, J.M. *Diurnal hysteresis between soil CO₂ and soil temperature is controlled by soil water content*. *Geophysical Research Letters* 34. 2007.

ROCHETTE, P.; GREGORICH, E.G.; DESJARDINS, R.L. *Comparison of static and dynamic closed chambers for measurement of soil respiration under field conditions*. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 72, p. 605-609, 1992.

ROCHETTE, P.; ELLERT, B. *Description of a dynamic closed respiration chamber of measuring soil respiration and its comparison with other techniques*. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 77, p. 195-203, 1991.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. (Ed.). *Vegetação e flora da caatinga*. Recife: PNE/CNIP, 2002. p. 11-24.

ROMANO, R. A. *Modelagem e controle de CO₂ em câmaras de topo aberto utilizadas em estudos de fisiologia vegetal*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

ROSOLEM, R.; da ROCHA, H. R.; FREITAS, H. C. *Controles físicos de temperatura e umidade do solo nas emissões de CO₂ do solo em áreas de cerrado e cana-de-açúcar*. In: XII

Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, v. 1, p. 2576-2585, 2002.

ROSS, D. S.; BARTLETT, J. R. *Field-extracted spodo soil solutions and soils: aluminum, organic carbon, and pH interrelationships*. Soil Sci. Soc. Am. J., 60:589. 1996.

SALIMON, C.I.; DAVIDSON, E.A.; VICTORIA, R.L.; MELO, A.W.F. *CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia*. Global Change Biology, v. 10, p. 833-843, 2004.

SANTOS, T. E. B.; NAKAYAMA, F. T.; ARF, O.; CASSIOLATO, A. M. R. *Variáveis microbiológicas e produtividade do arroz sob diferentes manejos do solo e água*. Acta Sci. Agron., 29:355-366, 2007.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C. & BORGES, L.E.P. *Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco*. R. Bras. Ci. Solo, 36:683-696, 2012.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C. & BORGES, L.E.P. *Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco*. R. Bras. Ci. Solo, 36:683-696, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C. Perspectivas de uso do solo no semi-árido nordestino. In: ARAÚJO, Q. R. 500 anos de uso do solo no Brasil. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 339-363.

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

SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 419-441.

SCOTT-DENTON, L. E.; SPARKS, K. L.; MONSON, R. K. Spatial and temporal controls of respiration rate in a high-elevation, subalpine forest. Soil Biology & Biochemistry. n. 35, p.525-534, 2003.

SCHLENTNER; VAN CLEVE (1985). In FANG, C.; MONCCRIEFF, J. B. *The dependence of soil CO₂ efflux on temperature*. Soil Biology & Biochemistry. v.33, p.155-165, 2001.

SHINE, K. P.; DERWENT, R. G.; WUEBBLES, W. J.; MORCRETTE, J. J. *Radiative forcing of climate*, Zn J. T. Houghton et al. [eds.], Climate change: The IPCC scientific assessment. Cambridge. p. 41-68. 1990.

SKOPP, J.; JAWSON, M. D.; DORAN, J. W. *Steady state aerobic microbial activity as a function of soil water content*, Soil Sci. Soc. Am. J., 54, 1619–1625, 1990.

SILVA JÚNIOR, A.M.; BORGES, E.N.; SOUZA, M.A.; SILVA SOUSA, G.M.; GUIMARÃES, E.C. & BORGES, E.V.S. *Carbono orgânico em diferentes sistemas de manejo no Triângulo Mineiro*. In.: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., Santa Maria, 2004. Anais... Santa Maria, Universidade de Santa Maria, CD-ROM. 2004.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; BRITO, J. Z.; CABRAL, E. L. *Aspectos ecofisiológicos em dez espécies em uma área de caatinga no 48 Caracterização do Bioma Caatinga município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil*. Revista Iheringia, Série Botânica v. 59, p. 201-205, 2004.

SILVA, C. C. M. F.; *Características Morfológicas e Anatômicas de Brachiaria decumbens Stapf (Poaceae) em um Sistema Silvopastoril, (Mestrado), Seropédica*, 40 p., Instituto de Agronomia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Seropédica, 2007.

SILVA, R. B.; SANTOS, C.; BATISTA, R. B. *Respiração Edáfica como indicativo da qualidade do solo em Três agrossistemas*. ENCICLOPEDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiania, vol.6, N.11; Pag.1; 2010.

SILVA, R. A. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; GONDIM, P. S. S.; SOUZA, E. S.; BARROS JR. GENIVAL *Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com Braquiária (Brachiaria decumbens stapf)* R. Bras. Ci. Solo, 38:147-157, 2014.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA JR., N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. *Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane*. Environ. Res. Lett., v. 8: 1 - 8, 2010.

SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A. C. S. *Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos*. Química Nova, São Paulo, v.24, n.3, p.324-330, 2001.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; MIRANDA, J. R. P.; SANTOS, R. V.; ALVES, A. R.; *Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob Caatinga no semi-árido da Paraíba*. R. Bras. Ci. Solo, 32:32:151-160, 2008.

SOUTO, C., ALVES, P.; BAKKE, I.; SOUTO, S. J.; OLIVEIRA, M. V. *Cinética da respiração edáfica em dois ambientes distintos no semiárido da Paraíba, Brasil*. Revista Caatinga, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, vol. 22, núm. 3, pp. 52 - 58, 2009.

SOUZA, J.S. *Dinâmica espacial e temporal do fluxo de CO₂ do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central*. 62p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2004.

SOUZA, E. S.; *Caracterização hidrodinâmica na escala local e da parcela agrícola de dois solos do estado da Paraíba: variabilidade espacial e temporal, e meio homogêneo equivalente, (Doutorado)*, Recife, 138 p., Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, 2005.

SOTTA, E. D.; MEIER, P.; MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; HODNETT, M.; GRACE, J. *Soil CO₂ efflux in a tropical forest in central Amazon*. *Global Change Biology* v.10, p.601-617, 2004.

SINGH, J. S.; S. R. GUPTA. *Plant decomposition and soil respiration in Terrestrial ecosystems*. *Bot. Rev.* 43: 449-528. 1977.

SNYDER, J. D.; TROFYMOW, J. A. *A rapid accurate wet oxidation diffusion procedure for determining organic and inorganic carbon in plant and soil samples*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Abingdon, v. 15, n. 5, p. 587-597, 1984.

SUBKE, J. A.; REICHSTEIN, M.; TENHUNEN, J. D. *Explaining temporal variation in soil CO₂ efflux in mature spruce forest in Southern Germany*. *Soil Biology & Biochemistry*. v.35, p.1467-1483, 2003.

TANG, J.; BALDOCCHI, D. D.; QI, Y.; XU, L. *Assessing soil CO₂ efflux using continuous measurements of CO₂ profiles in soils with small solid-state sensors*. *Agricultural and Forest Meteorology*. v.118, p.207-220, 2003.

TANG, J.; MISSON, L.; GERSHENSON, A.; CHENG, W.; GOLDSTEIN, A. H. *Continuous measurements of soil respiration with and without roots in a ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada Mountains*. *Agricultural and Forest Meteorology* . v.132, 212 – 227. 2005.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. (Boletim Técnico, 5). 1995.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. *Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos*. VENEGAS, V. H. A. et al. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p.195-276. 2002.

VAN'T HOFF, J. H. *Lectures on theoretical and physical chemistry*. In: *Chemical Dynamics: Part 1*, edited by: Leffeldt, R. A., 224–229, Edward Arnold, London, UK, 1898.

VALENTINI, C. M. A. *Efluxo de CO₂ do solo de uma área de floresta de transição no Nordeste do Mato Grosso*. Dissertação. 2004.

VALENTINI, C.M.A.; SANCHES, L.; PAULA, S.R.; VOURLITIS, G.L.; NOGUEIRA, J.S.; PINTO JR. O.B., LOBO F.A. *Soil respiration and aboveground litter dynamics of a tropical transitional forest in northwest Mato Grosso, Brazil*. *Journal of Geophysical Research*, 113. 2008.

VAN'T HOFF, J. H. *Lectures on theoretical and physical chemistry*. In: *Chemical Dynamics: Part 1*, edited by: Leffeldt, R. A., 224–229, Edward Arnold, London, UK, 1898.

VARGAS, R.; ALLEN, M. F. *Environmental controls and the influence of vegetation type, fine roots and rhizomorphs on diel and seasonal variation in soil respiration*, *New Phytol.*, 179, 460–471, 2008.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR., J. H. *Seasonal variations in evapotranspiration of a*

transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brazil. Water Resources Research. v.38, n.6, p.30-1 - 30-11, 2002.

WAGAI, R.; BRYE, K. R.; GOWER, S. T.; NORMAN, J. M.; BUNDY, L. G. *Land use and environmental factors influencing soil surface CO₂ flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin.* Soil Biology & Biochemistry, v. 30, p. 1501-1509, 1998.

WANG, S.; DUAN, J.; XU, G. *Effects of warming and grazing on soil N availability, species composition, and ANPP in an alpine meadow.* Ecology, 93, 2365–2376. 2010.

WANG; B. T. S. ZHA; X. JIA; B. WU; Y. Q. ZHANG; S. G. Qin. *Soil moisture modifies the response of soil respiration to temperature in a desert shrub ecosystem.* Biogeosciences, 11, 259–268, 2014.

WETHERALD, R. T.; MANABE, S. *Simulation of hydrologic changes associated with global warming.* J. Geophys. Res., 107, 1–15, 2002.

XU, M.; QI, Y. *Soil surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California.* Glob. Change Biol., 7, 667–677, 2001.

YIM, M. H.; JOO, S. J.; SYODOU, K.; NAKANE, K. *Spatial variability of soil respiration in a larch plantation: estimation of the number of sampling points required.* Forest Ecology and Management, v. 175, n. 1-3, p. 585-588, 2003.

YDOYAGA, D. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JR, J. C. B.; SILVA, M. C.; SANTOS, V. F.; FERNANDES, A. P. M.; *Métodos de recuperação de pastagens de Brachiaria decumbens Stapf. no Agreste Pernambucano,* Revista Brasileira de Zootecnia, v.35, n.3, p. 699 - 705, 2006.

YUSTE, J. C.; JANSSENS, I.A.; CARRARA, A.; CEULEMANS, R. *Annual Q₁₀ of soil respirations reflects plant phenological patterns as well as temperature sensitivity.* Global Change Biology.v.10, p.161-169, 2003.

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; KRUIJT, B.; KESSELMEIER, J.; LUIZÃO, F. J.; MANZI, A. O.; DOLMAN, A. J. *Soil CO₂ efflux in central Amazonia: environmental and methodological effects.* Acta Amazônica, v. 42, n. 2, p. 173-184, 2012.

ZHOU, T.; SHI, P.; HUI, D.; LUO, Y. *Global pattern of temperature sensitivity of soil heterotrophic respiration (Q₁₀) and its implications for carbon-climate feedback,* J. Geophys. Res., 114, G02016, doi:10.1029/2008JG000850, 2009.