

NOTA DE PESQUISA**ENSAIO DE RESPIRAÇÃO EDÁFICA PARA AVALIAR O EFEITO DE TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO COMO VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA EMISSÃO DE CO₂ EM ESPODOSSOLO**

SILVA, Marco Antonio Gomes da - marco020499@gmail.com
Universidade Federal do Paraná / UFPR

FARIA, Gislaine Garcia de - gisa.faria@ifpr.edu.br
Instituto Federal do Paraná / UFPR

PEREIRA, Leandro Angelo - leandro.pereira@ifpr.edu.br
Instituto Federal do Paraná / UFPR

TONETTI, Emerson Luís - emerson.tonetti@ifpr.edu.br
Instituto Federal do Paraná / UFPR

SANTOS, Everaldo dos - everaldo.santos@ifpr.edu.br
Instituto Federal do Paraná / UFPR

Submetido em: 04/05/2020

Aceito para publicação em: 16/09/2020

Publicado em: 21/09/2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.73500>

RESUMO: O trabalho teve como objetivo avaliar a respiração edáfica, por meio da emissão do gás carbônico (CO₂), que é um gás de efeito estufa (GEE), em amostras de Espodossolo incubadas a diferentes temperaturas e umidades, e relacionar estas com o metabolismo da microbiota do solo tendo como referência os futuros cenários climáticos. O experimento foi conduzido em microcosmo com amostras de solo coletadas em uma parcela de 10x10 metros na profundidade de 0-10 cm em 5 diferentes pontos com quatro repetições. O solo submetido ao experimento foi da classe Espodossolo de uma área de reserva legal sob vegetação Ombrófila Densa das Terras Baixas. O solo coletado foi tamisado em peneira de 2 mm para incubação e determinação da respiração edáfica pela microbiota. Uma alíquota de 10 g de solo foi retirada para determinar a umidade gravimétrica e determinação das diferentes umidades de incubação. As temperaturas de incubação foram determinadas com referência no climograma da região e 5°C a mais, de acordo com um dos possíveis cenários previstos com a Mudança do Clima. As amostras foram incubadas em duplicata para cada tratamento em repetições com 18°C e 9% umidade, 18°C e 20% umidade, 30°C e 9% umidade e 30°C a 20% de umidade em quatro diferentes períodos (168 h; 336 h; 504 e 672 h). A cada semana ou 168 horas foi realizada uma leitura da respiração pelo método indireto por titulação para avaliar a emissão de CO₂. As amostras foram analisadas estatisticamente para determinação da análise de variância. Os resultados da emissão de C-CO₂ sugerem que a atividade da microbiota edáfica foi influenciada pela temperatura mais baixa associada a umidade mais alta. O experimento em microcosmo sugere que o possível aumento no regime de chuvas no período de menor temperatura do ano, como um dos cenários relacionados a Mudança do Clima para Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre Espodossolo na planície litorânea do Paraná, pode alterar a emissão de C-CO₂.

PALAVRAS-CHAVE: Respiração do solo. Efeito estufa. Biologia do solo. Mudança do clima. Ciclagem biogeoquímica

SOIL RESPIRATION TEST TO EVALUATE THE EFFECT OF SOIL TEMPERATURE AND MOISTURE AS CLIMATIC VARIABLES ON CO₂ EMISSION IN SPodosol

ABSTRACT: This work aimed evaluate edaphic respiration, through the emission of carbon dioxide (CO₂), which is a greenhouse gas (GHG), in Spodosols samples incubated at different temperatures and soil moisture, and to relate to the metabolism of the microbiota soil in possible future climatic scenarios. The experiment was conducted in microcosm with soil samples collected in a 10x10 meter plot at a depth of 0-10 cm at 5 different points with four replications. The soil submitted to the experiment was of the Spodosol class of a legal reserve area under Ombrophilous Dense of the Lowlands vegetation. The collected soil was sieved in a 2 mm sieve for incubation and determination of edaphic respiration by the microbiota. An aliquot of 10 g of soil was removed to determine the gravimetric humidity and to determine the different incubation humidity. Incubation temperatures were determined with reference to the region's climaogram and 5°C more according to future climatic scenarios. The samples were incubated in duplicate for each treatment in repetitions with 18°C and 9% humidity, 18°C and 20% humidity, 30°C and 9% humidity and 30°C to 20% humidity in four different periods (168 h; 336 h; 504 and 672 H). Each week or 168 hours, a breath reading was performed using the indirect titration method to assess CO₂ emissions. The samples were analyzed statistically to determine the analysis of variance. The results of the C-CO₂ emission suggest that the activity of the edaphic microbiota was influenced by the lower temperature associated with the higher humidity. The microcosm experiment suggests that future climate change, which increases the rainfall regime in the period of the lowest temperature of the year in the Lowlands Dense Ombrophilous Forest of the over Spodosol in the coastal plain of Paraná state, may alter the emission of C-CO₂.

KEYWORDS: Soil respiration. Greenhouse effect. Soil biology. Climate change. Biogeochemical cycling.

INTRODUÇÃO

A composição e funcionamento do ambiente edáfico é extremamente sensível às variáveis atmosféricas. As características químicas, físicas e biológicas do solo podem sofrer influência direta das alterações atmosféricas, mas a microbiota seria a mais sensível, podendo responder de forma rápida as mudanças promovidas pela pluviosidade, umidade e temperatura, além da vegetação e matéria orgânica disponível (SHERMAN et al., 2012; SCHINDLBACHER et al., 2012; HAWKES et al., 2020; PEREIRA et al., 2013; FRASER et al., 2016). Os microrganismos desempenham um papel fundamental, atuando como decompositores de matéria orgânica e podem ser considerados bioindicadores da qualidade do solo, principalmente através da emissão de dióxido de carbono (CO₂), liberado a partir da respiração. Reciprocamente, este gás de efeito estufa (GEE), é um importante fator que influencia diretamente a microbiota edáfica, associado a este gás também influenciam a variação de parâmetros físicos e químicos, como a temperatura, distribuição das chuvas, umidade, o pH, a matéria orgânica, dentre outros. Em outras palavras, a resposta ao metabolismo dos microrganismos do solo pode indicar a qualidade por meio do stress no ambiente edáfico (MOREIRA, 2006). Esta, sob estresse, apresenta quocientes metabólicos mais altos, indicando assim um maior consumo de energia e, conseqüentemente, maior liberação de CO₂ na atmosfera. E o entendimento da resposta do metabolismo da microbiota do solo às variáveis atmosféricas são fundamentais para compreender em quais condições o solo emite gases de efeito estufa, principalmente o CO₂ liberado pela respiração da microbiota. Thokchom e Yadava et al. (2017) encontraram

estreita relação entre o fluxo de CO₂ e a umidade e temperatura do solo em ecossistemas florestais e campos. Também Cook e Orchard (2008); relacionaram a água no solo com teores de respiração edáfica. Além de Sherman et al. (2012); Schindlbacher et al. (2012) que observaram relação entre emissão de CO₂ do solo com o regime de chuvas e a vegetação.

Portanto, alterações de temperatura e umidade do solo tornam o ambiente edáfico desfavorável a retenção de carbono e os fatores que interferem nesta alteração metabólica, impactam na emissão de CO₂. A estimativa da respiração microbiológica também pode fornecer dados úteis sobre modificações nas propriedades biológicas dos solos, decorrente de diferentes fatores como práticas agrícolas, diferentes tipos de manejo dos solos e de culturas (ALVAREZ et al., 1995; JORDAN et al., 1995), efeito do uso de fertilizantes orgânicos ou minerais e biocidas em geral. (KUMMER et al., 2008).

Tendo como cenário futuro as projeções de mudança do clima, modelos indicam que haverá aquecimento entre 2,5°C e 5°C até 2100 em média. E no sul da América do Sul poderá chegar a aproximadamente 4,8°C a elevação da temperatura média (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2013). Entender em quais contextos e em quais variáveis atmosféricas, previstos com a Mudança do Clima, o solo emitirá gases de efeito estufa será fundamental para a compreensão da emissão de gases em diferentes ecossistemas. Por isso medir a respiração basal do solo (RBS) e relacionar com as condições abióticas do solo, entre elas a temperatura e a umidade (SILVA et al., 2007) será fundamental para modelagem e funcionalidade dos ecossistemas.

Desta forma, a simulação do comportamento da biota edáfica em diferentes condições de temperatura e umidade em Espodossolo, que tem predominância de ocorrência na planície litorânea do Paraná sob vegetação Ombrófila Densa das Terras Baixas (EMBRAPA, 2006), é fundamental para previsões e futuras tomadas de decisões no manejo e conservação de tal ecossistema. Relacionar temperatura média e umidade do solo, como resultante do regime de chuvas na região, e simular condições atmosféricas a partir do histórico e variáveis do clima da região, assim como estudar a emissão de gases de efeito estufa, neste caso o efluxo de CO₂, é importante devido à escassez destas informações na literatura a respeito de ecossistemas costeiros que compõem a Floresta Ombrófila Densa.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a respiração edáfica, por meio da emissão do gás carbônico (CO₂), que é um (GEE), em amostras de Espodossolo incubadas a diferentes temperaturas e umidades, e relacionar com o metabolismo da microbiota do solo em possíveis futuros cenários climáticos.

MATERIAL E MÉTODOS

AMOSTRAGEM DE SOLO

O solo coletado é da classe Espodossolo de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). O Espodossolo é uma das classes predominantes de solo na planície litorânea do Paraná sob vegetação Ombrófila Densa das Terras Baixas. Estes solos podem ser hidromofizados ou

não hidromofizados de acordo com a posição na paisagem da planície litorânea (ROCHA, 2006). Tipicamente com horizonte B espódico e raso com proximidade ao lençol freático, além da baixa fertilidade (EMBRAPA, 2006).

As amostras de solo foram coletadas em área mais alta dos cordões marinhos, com umidade mais baixa do que as áreas localizadas nos intercordões. A coleta foi realizada em uma área de Reserva Legal (RL) no Campus Paranaguá do Instituto Federal do Paraná, à margem da rodovia PR 407. Com coordenadas geográficas latitude 25°35' S e longitude 48°33' W no município de Paranaguá. A coleta de solo ocorreu com auxílio de um trado e uma pá, em uma parcela de 10x10m em 5 diferentes pontos aleatórios na profundidade de 0-10 cm. Em cada ponto foram coletadas quatro repetições totalizando vinte no total.

As amostras foram tamisadas em peneira de 2 mm, pesadas e posteriormente submetidas a secagem em estufa de circulação à temperatura de 20 °C. A partir das mesmas amostras foi determinado a umidade gravimétrica retirando uma alíquota de 10g de solo fresco para pesagem, e posteriormente secadas à 105 °C durante 48h, efetuando nova pesagem (EMBRAPA, 1997). No campo também foi aferida a temperatura do solo com termômetro para ajuste nas temperaturas de incubação.

ENSAIO DE RESPIRAÇÃO DO SOLO

Para determinação da Respiração do solo foi utilizada a metodologia descrita por Stotzky (1965) e adaptada por Dionísio et al. (2016), na qual a respiração basal é definida pela quantidade de CO₂ liberado por amostra. Para isso foram pesadas 100g de cada amostra de solo e reumedecidas a 9% e 20%, com o auxílio de uma balança analítica, sendo posteriormente colocadas em frascos hermeticamente fechados. Juntamente com as amostras foram colocados frascos pequenos, com 20 mL de NaOH a 0,5 N e 10 mL de água destilada, para manutenção da umidade do frasco, e submetidas a incubação em estufa microbiológica à temperatura de 18 °C e 30 °C durante 168 h. Após isso, o NaOH foi transferido para um Becker com 2 mL de BaCl₂ a 50 % e duas gotas de fenolftaleína, e titulado com HCl a 0,5 N em bureta digital automática. A cada período de incubação semanal de 168 horas os frascos de NaOH eram retirados para titulação e substituídos. O processo foi repetido por quatro semanas ou 672 horas no total com os intervalos, 168 horas (semana 1), 336 horas (semana 2), 504 horas (semana 3) e 672 horas (semana 4). As amostras foram incubadas em duplicata, totalizando assim 8 amostras por ponto de coleta. Para cada 10 amostras, foi incubada uma amostra em branco, totalizando assim, 44 amostras (Figura 1).

O gás carbônico produzido, pela respiração, foi estimado a partir do CO₂ evoluído utilizando a fórmula para calcular a respiração do solo:

$$RBS \Rightarrow C\text{-CO}_2 \text{ mg kg}^{-1}\text{h}^{-1} = \{[(b-a) \times N \times E \times 1.000]/g^*\}/h$$

Onde:

b= Volume de HCl gasto na prova em branco;

a= Volume de HCl gasto na amostra;

E= Equivalente grama do carbono;

N= Normalidade do HCl;

g= massa do solo seco;

h= tempo de incubação (em horas).

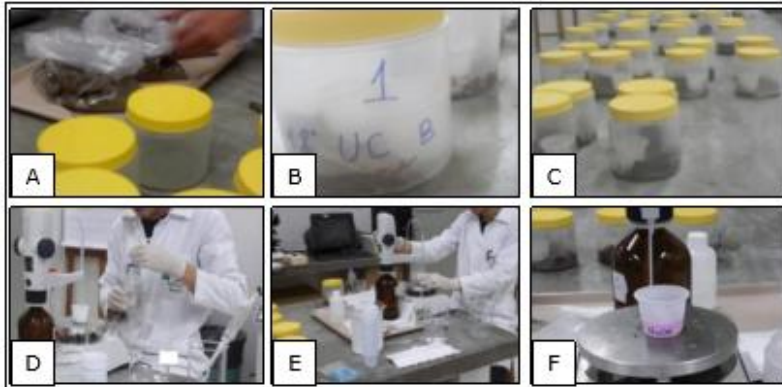


Figura 1 - Preparo e leitura de C-CO₂ das amostras de solos incubadas em estufa microbiológica no laboratório. A) Momento de acondicionamento das amostras de campo, pesadas 100g de cada. B) Amostras reumedecidas. C) Diferentes tratamentos. D e E) Titulação com HCl a 0,5 N utilizando a bureta digital. F) Após incubação semanal de 168 horas os frascos de NaOH eram retirados para titulação e substituídos. Fonte: os autores.

DADOS METEOROLÓGICOS E CLIMA

O clima da região onde as amostras foram coletadas é classificado como CFa (Clima temperado chuvoso e moderadamente quente), úmido em todas as estações e com verão quente, segundo a classificação climática de Koppen de acordo com Vanhoni e Mendonça (2008); Alvares et al. (2013).

As informações sobre as variáveis meteorológicas temperatura média (°C) e precipitação média (mm) no período entre 1961 e 2016, que correspondem ao climograma (Figuras 2A e 2B) foram obtidas a partir dos dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2016) e SIMEPAR (2016).

A série histórica mostra os meses de verão com maiores temperaturas médias e maior índice pluviométricos médios. E inverno com menores temperaturas médias e menores precipitações (mm).

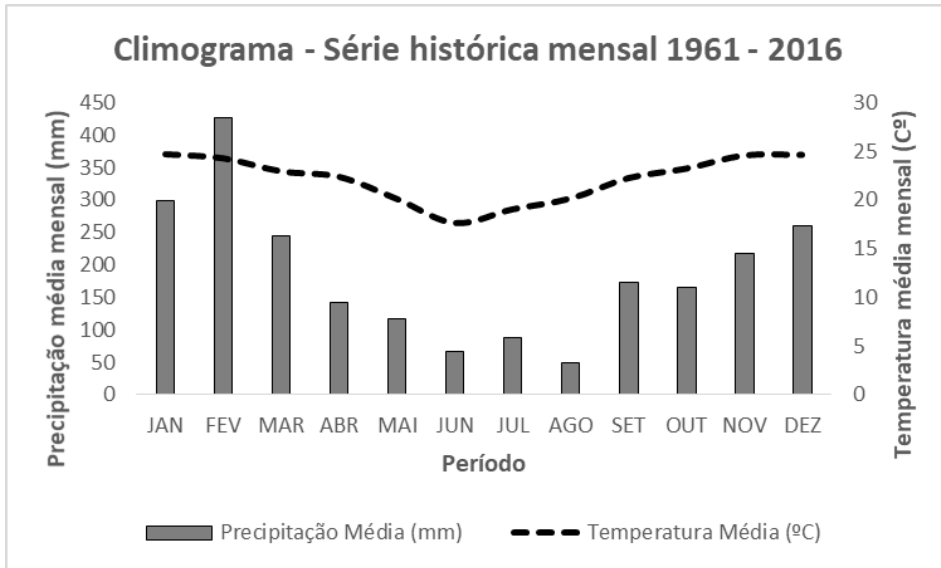


Figura 2 A - Dados da série histórica mensal de temperatura média (°C) e precipitação média (mm) no período de 1961 a 2016. Fonte: INMET (2016) e SIMEPAR (2016).

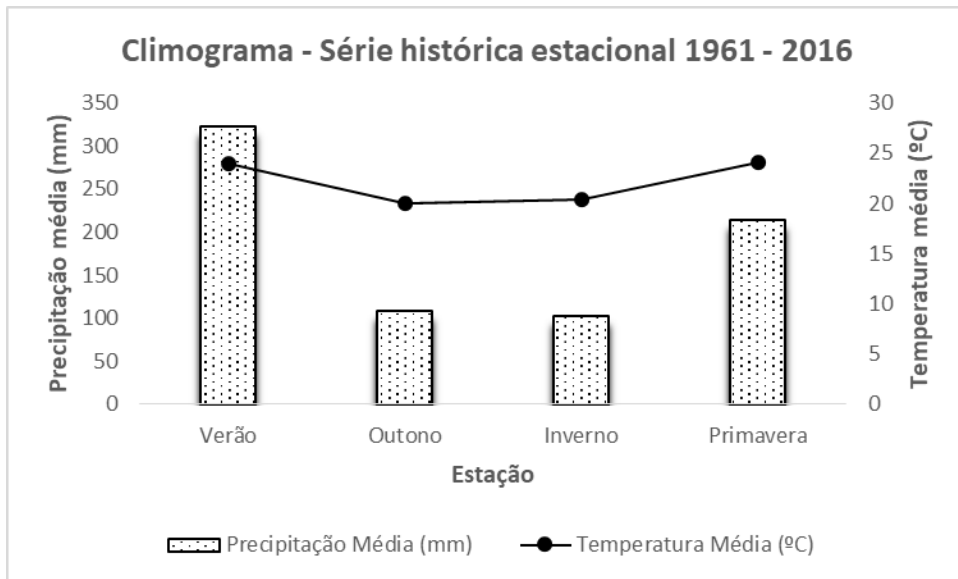


Figura 2 B. Dados das médias históricas estacionais de temperatura média (°C) e precipitação média (mm) no período de 1961 a 2016. Fonte: INMET (2016) e SIMEPAR (2016).

Os parâmetros analisados foram temperatura e umidade do solo, para cada amostra, para relacionar com a respiração edáfica e consequente emissão de C-CO₂. As incubações foram feitas em duas diferentes temperaturas e duas diferentes umidades com referência no histórico de temperatura e chuvas na região conforme dados do climograma na figura 2 (INMET, 2016; SIMEPAR, 2016). Desta forma, as amostras foram incubadas a 18 °C e 30 °C simulando cenários de médias mínimas históricas e máxima acrescida de 5 °C simulando cenário de aquecimento projetado pelo IPCC (2013). Além disso, considerou-se a menor umidade do solo encontrada no campo no período mais seco do ano

com 9% de água, e a máxima umidade de solo no campo observada com 20% de água.

As amostras seguiram o esquema abaixo:

Tratamento A - Temp. 18°C e 9% de umidade (H₂O) – Temp. 18° com 9% de umidade (H₂O);

Tratamento B – Temp. 18°C e 20% de umidade (H₂O) – Temp. 18° com 20% de umidade (H₂O);

Tratamento C – Temp. 30°C e 9% de umidade (H₂O) – Temp. 30° com 9% de umidade (H₂O);

Tratamento D – Temp. 30°C e 20% de umidade (H₂O) – Temp. 30° com 20% de umidade (H₂O);

ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram feitas utilizando teste paramétrico para determinar a variância (ANOVA) da emissão de C-CO₂ das amostras de solo submetidas a incubação no teste de respiração basal do solo (RBS) pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o software PAST (HAMMER et al., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao observar os resultados da respiração do solo na figura 3 a média total de C-CO₂ emitida em 672 horas (4 semanas) foi maior nos dois tratamentos a 18°C, sendo que o tratamento a 18°C com maior porcentagem de umidade no solo com 20% de H₂O respirou mais e emitiu maior volume de gás carbônico do que o tratamento com umidade menor (9% de H₂O). As menores taxas de respiração ocorreram no tratamento com 30°C e 9% de umidade (umidade de campo), e 30°C com 20% de umidade sucessivamente. Comparando as duas temperaturas independente da umidade, observou-se que a temperatura (18°C) teve maior taxa de respiração acumulada no período total nas duas condições de umidade, quando comparado com o tratamento com maior temperatura de incubação (30°C). Kang et al. (2003) encontraram relação entre a respiração edáfica e emissão de CO₂ com a temperatura média do solo. Também foi observado que os dois tratamentos realizados com umidade a 20% foram superiores aos tratamentos com a umidade em 9% nas mesmas temperaturas.

O fato do maior volume de C-CO₂ ter ocorrido a 18°C pode estar relacionado com a microbiota das amostras estarem adaptada ao ambiente com a menor temperatura, pois as amostras foram coletadas no inverno. As diferenças em relação à temperatura, corroboram com os resultados de Andrade (1999) e de Vargas e Scholles (2000). Em relação aos maiores valores médios de emissão de C-CO₂, por meio da respiração edáfica, ocorrerem em solos com maior umidade na mesma temperatura, mostrou que o aumento do percentual de umidade em cada amostra pode ter contribuído para maiores valores na produção de CO₂ em Espodossolo sob Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, como descrito por Peña et al. (2005). Estes resultados corroboram com Sherman et al. (2012) que observaram a influência da chuva, e o consequente aumento no volume de água no solo, além da cobertura vegetal na emissão de

CO₂ do solo em ecossistemas mediterrânicos. Pereira et al. (2013) também encontraram relação direta entre emissão de C-CO₂ e a umidade do solo independente da estação.

De forma geral a emissão de gás carbônico foi maior à temperatura de 18 °C quando comparado com a temperatura mais alta de 30 °C, em amostras de solo com maior umidade. Esses resultados estão alinhados com Schindlbacher et al. (2012) e Pereira et al. (2013).

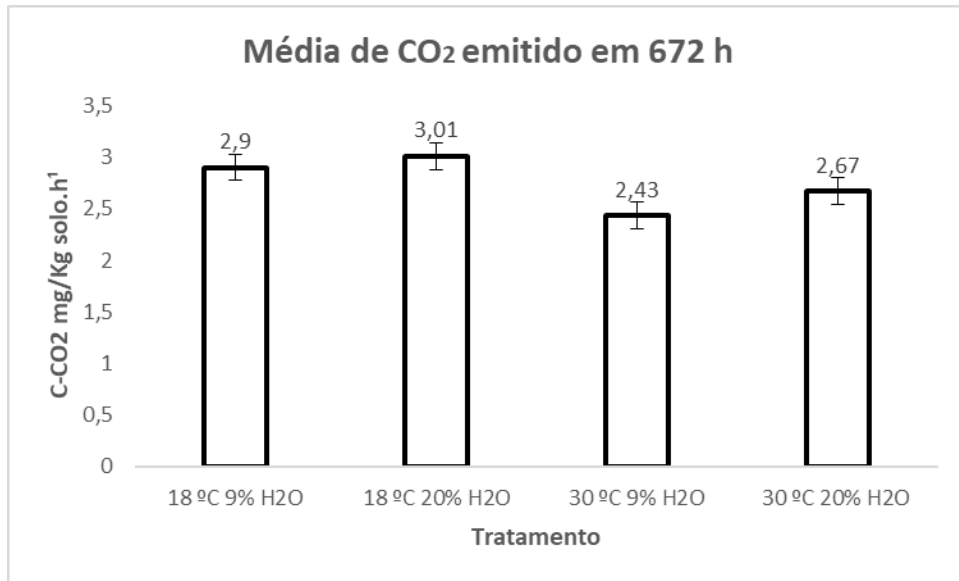
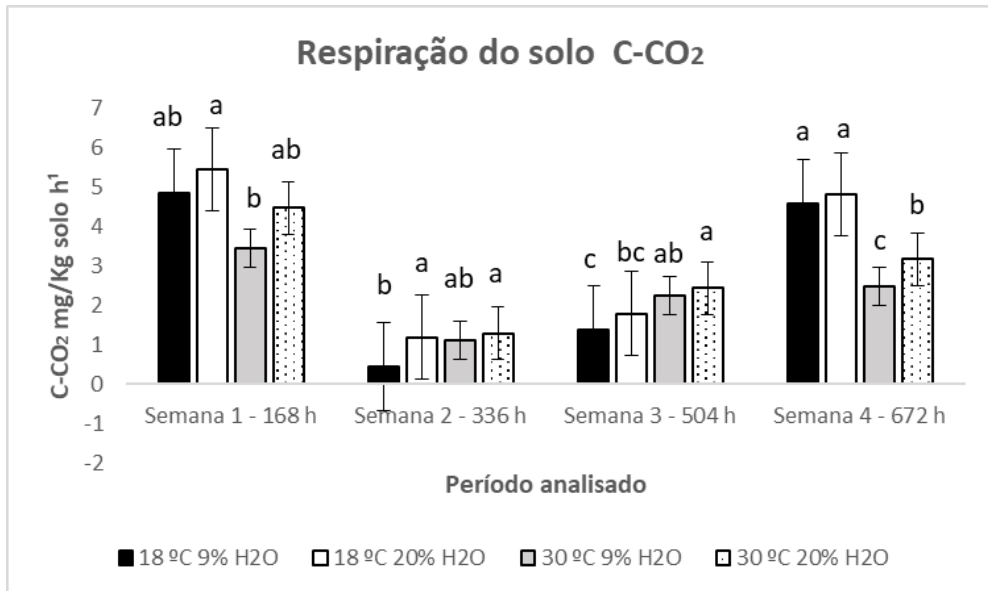


Figura 3 - Gráfico de respiração basal do solo comparando o total de CO₂ produzido em 4 semanas submetido a incubação em 4 diferentes tratamentos: 18°C a 9% de umidade (Umidade de campo), 18°C a 20% de umidade, 30°C a 9% de umidade (Umidade de campo) e 30°C a 20% de umidade.

A figura 4, mostra a comparação das médias da emissão de CO₂ pela respiração do solo em quatro diferentes tempos de incubação de amostras nos diferentes tratamentos combinados de temperatura e umidade do solo. Nas primeiras 168 horas ou primeira semana a produção de CO₂ atingiu um pico de produção no tratamento com temperatura à 18°C, sem diferença significativa pelo teste de Tuckey à 5% entre as amostras com 9% e 20% de umidade. Nas duas próximas semanas (336h e 504h) houve um decréscimo na produção de CO₂ pela respiração da microbiota do solo com diferença significativa. Neste período houve um decréscimo na produção de CO₂ devido a provável seletividade dos organismos que consumiram prioritariamente a matéria orgânica mais lábil na primeira semana. Na quarta semana (672h) a produção de CO₂ aumentou novamente e teve comportamento similar a primeira semana (168h), com maiores produções de gás carbônico à 18°C e umidade de 20% e 9% respectivamente. A partir das 672 horas a microbiota estava consumindo a matéria orgânica mais recalcitrante e os organismos decompositores resilientes tinham maior afinidade pelo substrato. A quantidade de matéria orgânica de mais fácil decomposição tende a diminuir ao longo do tempo de incubação o que mostra que a matéria orgânica se converte em CO₂ mais rapidamente ou mais lentamente, de acordo com Vries e Caruso (2016).

Este fato mostra que as variáveis relacionadas a temperatura e pluviosidade reflete na umidade do solo e interferem na composição e na funcionalidade da microbiota edáfica, associando as características e qualidade da matéria orgânica disponível, corroborado por Vries e Caruso (2016). Pereira et al. (2013) também encontraram relação direta entre emissão de C-CO₂ e a umidade do solo independente da estação. Hawkes et al. (2020) observaram efeito da umidade no efluxo de CO₂ do solo, mas principalmente em resposta a vegetação que contribui com a deposição de matéria orgânica. Para Fraser et al. (2016) a constituição da comunidade microbiana é tão importante quanto as propriedades físico-químicas de um solo para direcionar a resposta respiratória à adição de matéria orgânica (MO).

Considerando prováveis cenários futuros de mudança do clima, onde o aumento da umidade do solo, em virtude de uma possível elevação no regime de chuvas no inverno, pode elevar a emissão de CO₂ do solo. E observando o climograma nas figuras 2A e 2B percebe-se que o inverno é a estação com menores temperaturas médias e pluviosidade média, e neste caso, se houver alteração nas chuvas do período poderá também elevar-se a produção de CO₂ em virtude do aumento da umidade do solo. Thokchom e Yadava et al. (2017) observaram que a taxa de emissão de gás carbônico é altamente influenciada pela estação do ano além da vegetação nos diferentes ecossistemas. Este fato reforça os resultados de Sherman et al. (2012) e Pereira et al. (2013) que observaram a influência direta da chuva com aumento da umidade do solo, com maior emissão de CO₂ do solo.



Médias seguidas pelas mesmas letras, no mesmo período, não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tuckey ($p < 0,05$).

Figura 4 - Gráfico da análise de variância (ANOVA) das médias de respiração do solo (C-CO₂) pelo teste de Tuckey a ($p < 0,05$), dos 4 diferentes tratamentos: 18°C a 9% de umidade (Umidade de Campo), 18°C a 20% de umidade (Umidade de campo) e 30°C a 20% de umidade nos períodos ou tempos de incubação de 168 horas (semana 1), 336 horas (semana 2), 504 horas (semana 3) e 672 horas (semana 4).

CONCLUSÕES

Os resultados da emissão de C-CO₂ sugerem que a atividade da microbiota edáfica foi influenciada pela temperatura mais baixa associada a umidade mais alta.

O metabolismo da microbiota edáfica mostrou estreita relação com a umidade do solo, resultante de período de maior pluviosidade.

O experimento em microcosmo sugere que um aumento o regime de chuvas no período de menor temperatura do ano, previsto como um dos cenários da mudança do clima, associado para a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre Espodossolo na planície litorânea do Paraná, podem afetar o metabolismo da microbiota edáfica e resultar conseqüentemente num aumento no efluxo de C-CO₂ do solo neste ecossistema.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e Fundação Araucária pelo apoio ao projeto com bolsa e ao IFPR por meio de edital interno de fomento a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n. 6, 711-728 p. 2013. DOI10.1127/0941-2948/2013/0507
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil and tillage Research**, v.33, n. 1, p. 17-28, 1995.
- ANDRADE, G. Interacciones microbianas en la rizosfera. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L, R, G,; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Soil Fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 551-575. 1999.
- COOK, F. J; ORCHARD, V. A. Relationships between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology Biochemistry**. n. 40, 1013-1018 p. 2008. DOI.10.1016/j.soilbio.2007.12.012.
- DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; DE PAULA, A. M.; MACEDA, A.; MATTANA, A. L. **Guia prático de biologia do solo**. SBCS/NEPAR. Curitiba, 2016.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 p. 1997.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Brasília: EMBRAPA, 306 p. 2006.
- FRASER, F. C.; TODMAN, L. C.; CORSTANJE, R.; DEEKS, L. K.; HARRIS, J. A.; PAWLETT, M.; WHITMORE, A. P.; RITZ, K. Distinct respiratory responses of soils to complex organic substrate are governed predominantly by soil architecture

and its microbial community. **Soil Biology & Biochemistry**. n. 103, p. 493-501. 2016. DOI.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.015

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. **Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. Paleontological Data Analysis. Blackwell. PAST. 2001.

HAWKES, C. V.; SHINADA, M.; KIVLIN, S. N. Historical climate legacies on soil respiration persist despite extreme changes in rainfall. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 143, april. 2020. DOI.org/10.1016/j.soilbio.2020.107752.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2018.

IPCC, **Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S. K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA. Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom New York, NY, USA, p. 33. 2013. doi.org/10.1017/CBO9781107415324.

JORDAN, D.; KREMER, R.J.; BERGFELD, W.A.; KIM, K.Y.; CACNIO, V.N. Evaluation of microbial methods as potential indicators of soil quality in historical agricultural fields. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, n. 4, p. 297-302, 1995.

KANG, S.Y.; DOH, S.; LEE, D., JIN, V.L; KIMBALL, J.S. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. **Global Change Biology**. v. 9, n.10, p. 1427-1437. 2003. DOI. 10.1046/j.1365-2486.2003.00668.x.

KUMMER, L.; BARROS, Y.J.; SCHAFER, R.F.; FERREIRA, A.T.S.; FREITAS, M.P.; PAULA, R.A.; DIONÍSIO, J.A. Respiração e biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de uso. Curitiba: **Scientia Agraria**, p. 559- 563. 2008. DOI.10.5380/rsa.v9i4.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras, MG. UFLA, 2006. 744 p.

PEÑA, M.L.P.; MARQUES, R.; JAHNEL, M.C.; ANJOS, A. **Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal**. FLORESTA, Curitiba, v. 35, n. 1, p.117-127, 2005. DOI.10.5380/rf.v35i1.

PEREIRA, J.; BARETTA, D.; BINI, D.; VASCONCELLOS, R. L. F.; CARDOSO, E. J. B. N. Relationships between microbial activity and soil physical and chemical properties in native and reforested Araucaria angustifolia forests in the state of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p.572-586, 2013. DOI.10.1590/S0100-06832013000300003.

QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.S.; ALLEN, K.; BOSCHUNG, J. A.; NAUELS, Y. XIA. **IPCC, Climate Change 2013 : The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker, T.F.** Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom New York, NY, USA, p. 33, 2013. DOI.10.1017/CBO9781107415324.

SCHINDLBACHER, A.; WUNDERLICH S.; BORKEN, W.; KITZLER, B.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S.; JANDL, R. Soil respiration under climate change: prolonged summer drought offsets soil warming effects. **Global change Biology**. v. 18, 2270–2279 p. 2012. DOI.10.1111/j.1365-2486.2012.02696.x.

SHERMAN, C. A.; STERNBERG, B. Y.; STEINBERGE, R. M. Effects of climate change on soil respiration and carbon processing in Mediterranean and semi-arid regions: An experimental approach. **European Journal of Soil Biology**. p. 52. p. 48-58, 2012. DOI.10.1016/j.ejsobi.2012.06.001.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, A. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica: EMBRAPA. 2007.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ - **SIMEPAR**. Banco de dados meteorológicos do SIMEPAR. Disponível em: <http://www.simepar.br/>. Acesso em 10 jan. 2019.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. (ed). **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy. v.2, p.1550-1570, 1965.

THOKCHOM, A.; YADAVA P.S. **Biomass, carbon stock and sequestration potential of *Schizostachyum pergracile* baboo forest of Manipur, north east India**. In: Tropical Ecology, 23-32, 2017.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 49 – 63, ago. 2008. DOI.10.5380/abclima.v3i0.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 35-42, 2000. DOI.10.1590/S0100-06832000000100005.

VRIES, F. T.; CARUSO, T. Eating from the same plate? Revisiting the role of labile carbono inputs in the soil food web. **Soil Biology e Biochemistry**. n. 102, p. 4-9, 2016. DOI.10.1016/j.soilbio.2016.06.023