


EVOLUÇÃO DE C-CO₂ EM SOLOS DE DIFERENTES ECOSSISTEMAS NA REGIÃO DO ALTO ACRE, ACRE, BRASIL

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-232>

Data de submissão: 14/11/2024

Data de publicação: 14/12/2024

Maria Aparecida Barros Mota de Farias

Tecnóloga em Agroecologia

Instituto Federal do Acre – Campus Xapuri

Xapuri, AC

E-mail: ciidynha88@gmail.com

Janiffe Peres de Oliveira

Doutora em Biotecnologia

Docente do Instituto Federal do Acre – Campus Xapuri

Xapuri, AC

E-mail: janiffe.oliveira@ifac.edu.br

Ricardo Bezerra Hoffmann

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas

Docente do Instituto Federal do Acre – Campus Transacarana

Rio Branco, AC

E-mail: ricardo.hoffmann@ifac.edu.br

José Márcio Malveira da Silva

Doutor em Agronomia (Fitotecnia)

Docente do Instituto Federal do Acre – Campus Xapuri

Xapuri, AC

E-mail: jose.silva@ifac.edu.br

Sileno Dias

Especialista em Auditoria e Perícia Ambiental

Docente do Instituto Federal do Acre – Campus Xapuri

Xapuri, AC

E-mail: sileno.dias@ifac.edu.br

Paulo Márcio Beber

Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

Docente do Instituto Federal do Acre – Campus Transacarana

Rio Branco, AC

E-mail: paulo.beber@ifac.edu.br

Maralina Torres da Silva

Doutora em Biodiversidade e Saúde

Docente do Instituto Federal do Acre – Campus Transacarana

Rio Branco, AC

E-mail: maralina.silva@ifac.edu.br

Deborah Virginia Cardoso de Freitas Oliveira

Mestra em Gestão de Áreas Protegidas

Docente do Instituto Federal do Acre – Campus Transacoreana

Rio Branco, AC

E-mail: deborah.freitas@ifac.edu.br

RESUMO

Diferentes estudos, desenvolvidos ao longo dos anos, têm demonstrado que o aumento das atividades humanas sobre o solo pode influenciar na liberação de gases relacionados ao aumento do efeito estufa. Neste sentido, o uso de métodos que avaliam a evolução de C-CO₂ tem sido considerado como importantes indicadores para detectar alterações do ambiente, uma vez que podem ser influenciados pela cultura e seu sistema de cultivo em decorrência de impactos ocorridos na atividade microbiana. O objetivo desse trabalho foi avaliar a liberação de C-CO₂ de solos submetidos a diferentes ecossistemas. Foram realizados ensaios de laboratório onde amostras de solos, submetidos a cinco diferentes ecossistemas, foram coletadas em três períodos distintos ao longo do ano nos municípios de Brasiléia e Epitaciolândia, região do Alto Acre, no estado do Acre sendo, na sequência, incubadas. Posteriormente, foi avaliada a evolução de C-CO₂, sendo as leituras realizadas, periodicamente, até o 500 dia de incubação das amostras. Os dados foram analisados buscando-se avaliar o efeito das diferentes espécies vegetais sobre a evolução de C-CO₂. Com relação a coleta realizada no mês de abril, não houve diferença na evolução de C-CO₂ entre as áreas. Contudo, no mês de junho, que compreende o período de início da transição entre a estação chuvosa para a seca, e no mês de agosto, estação seca, observou-se que na área de mata nativa ocorreram os maiores valores de fluxo de C-CO₂, diferindo estatisticamente de outras áreas dentro desses meses de coleta. Entre as épocas de coleta, apenas na área de sistema agroflorestal não foram registradas diferenças significativas na evolução de C-CO₂. Os maiores valores acumulados de C-CO₂ foram registrados na seguinte sequência: mata nativa > sistema agroflorestal > área com mandioca > pastagem cultivada > área com banana. Conclui-se que as áreas que apresentam um maior aporte de material vegetal ao solo, podem servir de estímulo ao desenvolvimento de micro-organismos que, conseqüentemente, aumentam o fluxo de CO₂, em especial até o início da estação seca e que, a ausência de umidade influencia negativamente na emissão de C-CO₂, ocasionando em diferenças significativas sobre a quantidade de liberação de C-CO₂ entre as áreas de estudo na mesma época de avaliação.

Palavras-chave: Respirometria, Carbono mineralizável, Dióxido de carbono.

1 INTRODUÇÃO

Os estudos referentes à implantação de diferentes culturas no solo sobre sua biota têm se revelado uma preocupação crescente da sociedade em busca das melhorias da preservação e da conservação de ambientes. Sabe-se que o solo é um corpo natural dinâmico constituído de materiais minerais e orgânicos e que abriga uma série de organismos que determinam o equilíbrio de muitos ecossistemas.

Esse material orgânico, presente nos solos, é fundamental para melhoria de sua fertilidade e, também, no aumento da produtividade vegetal, além de servir de substrato para a atividade microbiana. O conhecimento acerca da dinâmica de decomposição dos resíduos orgânicos presentes nos solos pode contribuir para a definição de procedimentos mais adequados para a condução dos cultivos e um melhor aproveitamento desses materiais com vistas ao incremento da qualidade do solo.

Os processos biológicos que ocorrem na superfície, ou não, dos solos também servem como indicadores de sua qualidade, estando intimamente ligados entre si, constituindo um sistema que é considerado complexo e dinâmico, onde inúmeras vezes não se conhece a densidade e diversidade das comunidades dos micro-organismos e como elas são impactadas pelas alterações climáticas, como aquelas que podem ser provocadas pela emissão de dióxido de carbono na atmosfera, bem como sobre as implicações relacionadas ao próprio ecossistema.

Sabe-se que durante a decomposição de produtos como os materiais orgânicos, esses micro-organismos produzem CO₂, cuja liberação é um indicador da atividade microbiana, do suprimento (quantitativo e qualitativo) de substratos orgânicos e demais interações entre a microbiota e a matriz do solo, conforme relatos de Ciotta *et al.* (2004) e Araujo *et al.* (2016). No solo, os principais responsáveis pela emissão de CO₂, são os fungos e bactérias por meio da degradação do material orgânico (SILVA *et al.*, 2007).

A medição da atividade microbiológica, desses organismos, através da respiração, fixação biológica do nitrogênio, mineralização de compostos orgânicos, atividade enzimática e biomassa microbiana é feita por técnicas bem estabelecidas, sendo essas características utilizadas, entre outros fins, como indicadores sensíveis da poluição (BROOKES, 1995).

Assim, a atividade metabólica da população microbiana no solo pode ser analisada através da quantidade de CO₂ liberada pela respiração dos microrganismos (ZIBILSKE, 1994), aeróbios e anaeróbios (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005). A respiração microbiana é quantificada a partir da oxidação da matéria orgânica do solo pelos micro-organismos aeróbios, o qual pode ser estimado pela emissão de CO₂ (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A respiração do solo é dada pela soma total das funções metabólicas que resultam na produção de CO₂, e que tenham relações com a biota do solo, bem como com a umidade, temperatura e aeração (JOICE, 2012). A atividade dos micro-organismos do solo é dependente de fonte de energia e C, obtida principalmente pela decomposição da matéria orgânica do solo - MOS (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A adição de C abaixo da superfície do solo é tão importante aos micro-organismos quanto a adição sobre a superfície, em que raízes vivas e mortas fornecem substratos prontamente disponíveis para a atividade microbiana transformar os nutrientes e alterar a estrutura do solo (HINSINGER *et al.*, 2009).

O C é o principal constituinte da matéria orgânica do solo (MOS), a qual interfere e interage com praticamente todos os processos e atributos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo, influenciando, por exemplo, a retenção de água, a disponibilidade e ciclagem de nutrientes, a atividade de micro e macro-organismos, a formação de agregados, a complexação de metais pesados, entre outros.

Mais especificamente, dentre os compartimentos globais de C, o solo é o maior reservatório do ecossistema terrestre. Segundo Houghton (2001), o estoque de C orgânico nos solos varia entre 1,5 a 2,0 Pg, sendo cerca de duas vezes maior que o estoque de C na atmosfera e cerca de três vezes maior que o C contido na biomassa vegetal do planeta (LAL, 2004).

O carbono é um dos principais componentes da matéria orgânica do solo (GUEDES, 2009), e os seus estoques variam em função das taxas de adição por resíduos vegetais e, ou, animais, e de perda, dentre elas, as decorrentes da erosão e da oxidação pelos micro-organismos do solo. Em solos sem ação antrópica, o teor e o estoque desses elementos são determinados basicamente pela temperatura, pela umidade e pelo tipo de solo (BAYER *et al.*, 2009).

O ciclo do carbono é sua circulação fechada nos compartimentos da biosfera, atmosfera, hidrosfera e litosfera. Na atmosfera há, principalmente, dióxido de carbono (CO₂), que, mesmo em pequena proporção em relação ao carbono planetário (0,001%), é essencial à vida na Terra ao equilíbrio do clima. Denomina-se de ciclo lento do carbono à circulação do carbono fixado nas rochas sedimentares e combustíveis fósseis, que retornam à atmosfera na escala de milênios, por meio de vulcanismo, erosão (fluvial) e extração. As trocas da biosfera e do oceano com a atmosfera formam o que se chama de ciclo rápido do carbono (ALICE, 2005).

O carbono mineralizável é quantificado a partir da evolução de CO₂ (MENDONÇA; MATOS, 2005; LOSS *et al.*, 2013). A taxa de decomposição do material orgânico e a consequente liberação de C-CO₂ são determinadas principalmente pelas características intrínsecas da própria matéria orgânica,

tais como: relação C/N; teores de carboidrato, lignina; grau de agregação; características do solo (pH, teores de nutrientes e umidade) e características do ambiente (temperatura e precipitação) (DAVIDSON; BELK; BOONE, 1998; BROOKES, 1995).

O CO₂ tem sido o objeto de muitos estudos recentes, tendo em vista que o aumento de sua concentração na atmosfera causa o agravamento do chamado efeito estufa, que provoca alterações climáticas por meio do aquecimento global, ameaçando o equilíbrio natural do planeta. Esse aumento na concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera ao longo dos anos, que causa alterações na vegetação, distúrbios nos níveis aquáticos e na agricultura, afeta a segurança alimentar e nutricional em todo o planeta (HUNGATE *et al.*, 2000; ALPINO *et al.* 2022), sendo denominado hoje como mudanças climáticas.

Santos *et al.* (2024) relatam que o efeito estufa é um fenômeno natural, composto por quantidades pequenas dos GEE, que mantém a temperatura média da Terra devido à absorção da radiação infravermelha, porém, o aumento da concentração desses gases pode bloquear a saída dos raios infravermelhos térmicos e aumentar sobremaneira a temperatura média do planeta, ocasionando consequências negativas, como diminuição das águas; aumento do processo de desertificação; extinção de plantas e animais e diminuição da produtividade agrícola e pecuária.

O relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2021), afirma que o planeta aquecerá nos próximos anos, chegando a um aumento de 1,5 °C até o ano de 2030, e apresenta que no ano de 2019 as concentrações atmosféricas de CO₂ foram mais altas do que em qualquer momento em pelo menos 2 milhões de anos e as concentrações de metano e óxido nitroso, ambos significativos gases de efeito estufa, foram mais altas do que em qualquer momento em pelo menos 800.000 anos.

Os resultados apresentados pelo IPCC demonstram que a redução do desmatamento na Amazônia também seria uma forma de equilibrar o clima, o que demonstra a importância de estudos que avaliam os impactos da implantação de diferentes sistemas agrícolas sobre a dinâmica da evolução de C-CO₂. Segundo SEEG (2018), a maior parte dos gases de efeito estufa emitidos são provenientes de emissões indiretas, resultado da conversão de florestas em áreas de pastagem e agricultura, e outra parcela é proveniente diretamente do setor agropecuário, como pela fermentação entérica e pelo manejo dos solos.

Dentre os reservatórios de C nos ecossistemas terrestres, o solo é o de maior expressão. Conforme trabalho de Jobbágy e Jackson (2000), o estoque mundial de carbono orgânico no solo é de 1.502 Pg para a profundidade de 0 a 100 cm. No Brasil, Vasques *et al.*, (2021), estimam, no primeiro metro de solo, uma quantidade de 67 Pg de carbono orgânico. A floresta amazônica brasileira, conforme estudos de Cerri *et al.* (2006), possui um potencial de sequestrar C da ordem de 421 a 470

Tg ano⁻¹; desse total, cerca de 30 % (126 a 141 Tg ano⁻¹ de C) seria acumulado pelo solo, e os 70 % restantes (295 a 329 Tg ano⁻¹ de C), devido à biomassa aérea.

Conforme Townsend *et al.*, (2006), a principal causa mundial de liberação de CO₂ para a atmosfera é a queima de combustíveis fósseis. Entretanto, a própria decomposição da matéria orgânica do solo afeta diretamente o ciclo e a liberação do CO₂, que pode ser incrementada de acordo com o tipo de cultura e o manejo do solo, por influenciarem na deposição e mineralização da matéria orgânica do solo (LA SCALA *et al.*, 2008; SCHWARTZ *et al.*, 2010 MALUF *et al.*, 2015).

Assim, estudos que visem entender a relação entre a comunidade vegetal, a comunidade microbiana e a emissão de carbono associado ao dióxido de carbono são de fundamental importância para se entender melhor o processo das mudanças climáticas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a evolução de C-CO₂ de solos submetidos a diferentes culturas, buscando evidenciar as consequências potenciais no ambiente.

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado na região do Alto Acre, no estado do Acre, ocorrendo amostragem de solo nos municípios de Brasiléia (11° 00' 36" S - 68° 44' 52" O) e Epitaciolândia (11° 01' 44" S 68° 44' 27" O). De acordo com a classificação de Köppen, o clima no estado do Acre é do tipo equatorial, quente e úmido. Apresenta temperaturas médias anuais variando entre 24,5 °C e 32 °C, permanecendo uniforme em todo o Estado e predominando em toda a região Amazônica. Ocorrem duas estações distintas: uma seca (maio a outubro) e uma chuvosa (novembro a abril). Já os índices pluviométricos variam de 1.600 mm a 2.750 mm ao ano (ACRE, 2010).

Os tratamentos foram constituídos de cinco áreas, sendo quatro no município de Brasiléia (plantio de mandioca, plantio de banana, sistema agroflorestal e mata nativa) e uma área no município de Epitaciolândia (pastagem cultivada), onde amostras de solo, a profundidade de 0 a 20 cm, foram coletadas para caracterização física, sendo determinadas a granulometria e a classificação textural do solo, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos do horizonte superficial (0-20 cm) dos solos das áreas de estudo

Área Experimental	Granulometria				Classificação Textural
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
	----- Kg Kg ⁻¹ -----				
Mandioca	0,086	0,504	0,289	0,121	Franco-arenosa
Banana	0,006	0,588	0,281	0,125	Franco-arenosa
Pastagem	0,435	0,031	0,152	0,082	Franco-arenosa
Agrofloresta	0,081	0,518	0,254	0,148	Franco-arenosa
Mata	0,049	0,394	0,349	0,208	Franca

Com relação às características químicas, esses solos foram analisados quanto ao potencial hidrogeniônico, os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e o conteúdo de matéria orgânica, conforme apresentado na Tabela 2, sendo todas as análises químicas e físicas realizadas no Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa.

Tabela 2. Atributos químicos do horizonte superficial (0-20 cm) dos solos das áreas de estudo

Área Experimental	pH (H ₂ O)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K	Matéria Orgânica
		----- cmol _c dm ⁻³ -----		----- mg dm ⁻³ -----		dag kg ⁻¹
Mandioca	6,08	2,69	0,71	3,6	27	1,98
Banana	6,10	7,34	2,48	17,8	63	0,26
Pastagem	5,87	0,96	0,26	1,2	51	0,79
Agrofloresta	5,47	2,13	1,44	5,8	81	2,96
Mata	5,59	4,94	3,32	4,4	81	3,00

Para o estudo da evolução de C-CO₂ foram coletadas três amostras de solo em cada tratamento na profundidade de 0-20 cm. Essas amostras foram encaminhadas para o Laboratório Multidisciplinar do campus Rio Branco Baixada do Sol do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre, onde foram secas ao ar por 72 horas. Em seguida, foram incubadas 50 g de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) em recipientes plásticos (fechamento hermético) de 500 cm³, com umidade ajustada para 70% da capacidade de campo.

Em cada recipiente contendo solo, foi inserido um frasco contendo 30 mL de solução NaOH 0,5 mol L⁻¹ para captura do CO₂ e outro contendo 30 mL de H₂O, com o intuito de preservar a umidade das amostras. Os recipientes foram fechados hermeticamente e incubados a 25 °C. Após as primeiras 48 horas de incubação, os recipientes foram abertos por aproximadamente 15 minutos para troca de ar e o frasco contendo o NaOH foi retirado. Decorrido o tempo, foi colocado outro frasco contendo 30 mL de uma nova solução NaOH 0,5 mol L⁻¹ para nova incubação.

Enquanto se aguardou o tempo para troca de ar, foi pipetado 10 mL da solução NaOH (previamente incubada com o solo), para erlenmeyer de 125 mL, sendo adicionado ainda 10 mL de solução de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹ e três gotas de fenolftaleína a 1%. Em seguida as amostras foram imediatamente tituladas com solução HCl 0,25 mol L⁻¹ até a solução titulada passar de violeta para incolor. Os períodos de incubação das amostras foram repetidos conforme descrito em Mendonça e Matos (2005). Para as avaliações de evolução de CO₂, as coletas de solo foram realizadas em três épocas, nos meses de abril, junho e agosto do ano de 2021.

Por fim, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância, com o auxílio do programa estatístico Sisvar 5.8 - Programa para Análises e Ensino de Estatística desenvolvido na

Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2011), considerando um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, de acordo com o número de áreas e épocas de amostragem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição da evolução de C-CO₂ não apresentou, no mês de abril, diferenças significativas em nenhuma das áreas em estudo (Tabela 3) em relação ao tipo de cultura e, conseqüentemente, manejo de solo adotado. Contudo, observa-se uma tendência de maior acúmulo de matéria orgânica nos solos com agrofloresta e mata nativa, conforme tabela 2.

Tabela 3. Evolução do C-CO₂ nas áreas de estudo nos três meses de amostragem de solo

Área	Abril	Junho	Agosto	Total acumulado
Experimental	----- mg CO ₂ 100 cm ⁻³ -----			
Mandioca	135,58Ab*	162,26Ba	136,80Ab	434,64
Banana	149,33Aa	157,82Ba	86,75Bb	393,90
Pastagem	137,12Aa	155,17Ba	105,45Bb	397,74
Agrofloresta	152,10Aa	171,75Ba	133,40Aa	457,25
Mata	159,04Ab	199,58Aa	137,45Ab	496,07

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna ou minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Esses resultados do primeiro período de amostragem podem estar associados com as condições de manejo e presença e as áreas de monocultivo vegetal existentes nessas áreas, além da existência de umidade por ainda estar dentro do maior período de chuvas no Estado e por essas áreas também apresentarem o maior conteúdo de matéria orgânica no solo (Tabela 2). Loss *et al.*, (2013), observaram em seu estudo altos níveis de C-CO₂ em sistema agroflorestral após contato com umidade, e relacionam isso a melhor qualidade da matéria orgânica do solo, por haver maior diversidade vegetal, o que também pode ser estendido para a área de mata nativa, quando comparado aos demais sistemas analisados nesse trabalho.

No mês de junho, houve diferença estatística para a evolução de C-CO₂ na área de mata nativa em relação as demais áreas em estudo. Importante lembrar que nesse mês, ocorre o início da estação seca. Entretanto, em se tratando de mata nativa, muito provavelmente essa área possui uma capacidade maior em manter a umidade no solo por um período maior em virtude de ser um ambiente com maior presença de material orgânico sobre o solo, contribuindo para manter o solo úmido.

Conforme Costa *et al.* (2006), a matéria orgânica não decomposta apresenta capacidade de retenção de água em torno de 80% e os materiais humificados podem apresentar de 300 a 400% de capacidade de retenção de água. Assim, na área de mata nativa, a maior quantidade de material

orgânico possuiu uma capacidade maior de reter umidade no solo o que, segundo Miranda *et al.* (2008), favorece a respiração edáfica, conseqüentemente, o aumento do fluxo de CO₂ nesse ambiente.

Com relação a amostragem realizada no mês de agosto, as áreas de pastagem cultivada e com banana apresentaram os menores valores de emissão de C-CO₂, diferindo estatisticamente das demais áreas em estudo. Esse decréscimo pode estar associado a uma menor disponibilidade de umidade nessas áreas e aumento excessivo de temperatura por se tratar do período em que o clima normalmente é mais seco e ensolarado.

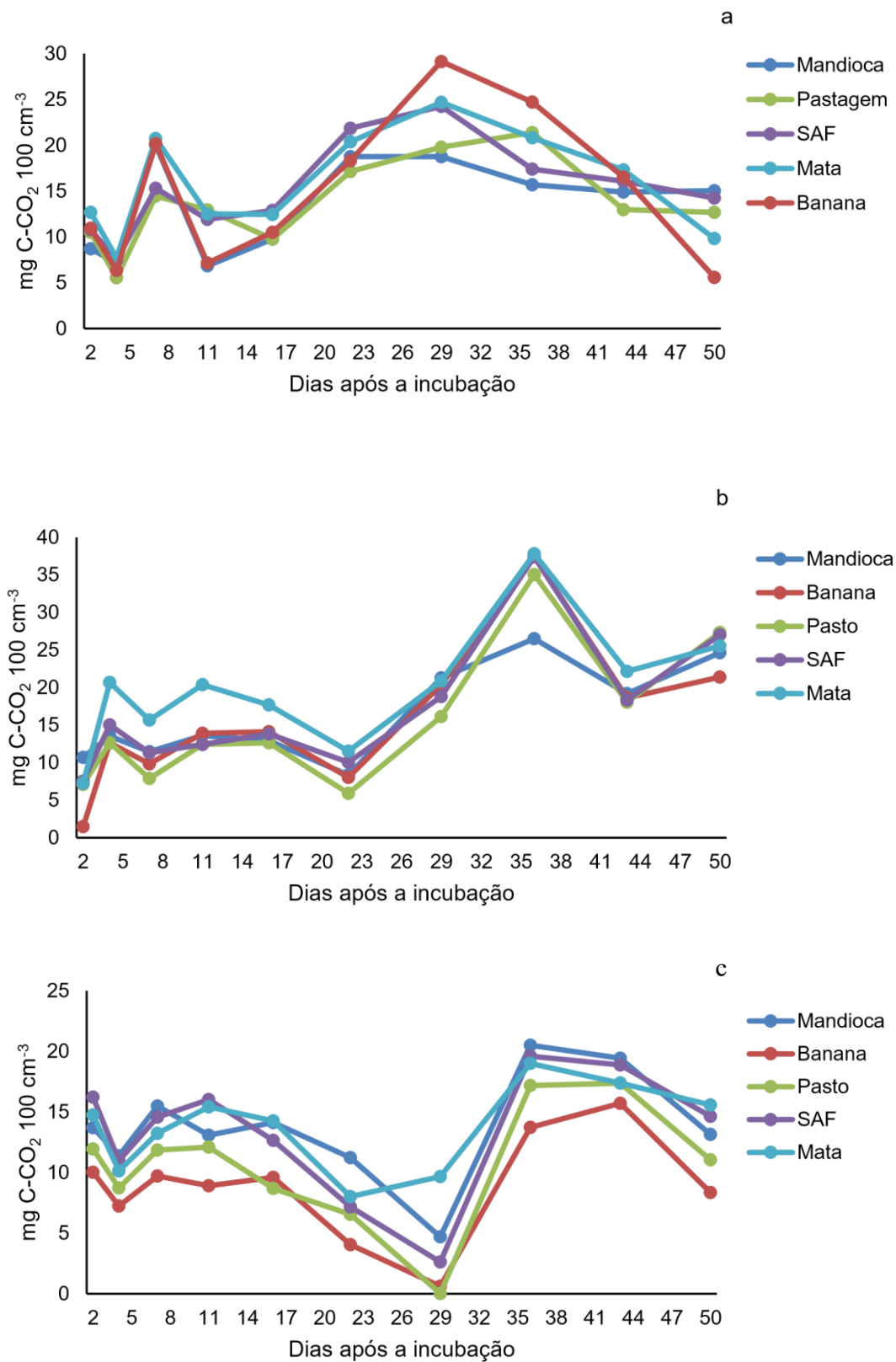
Conforme Araújo *et al.* (2016), a atividade microbiana, responsável pela produção de CO₂, é controlada pela temperatura e conteúdo de água no solo, se não apresentar uma temperatura favorável dentre os limites fisiológicos dos organismos envolvidos, a atividade de emissão de C-CO₂ poderá ser interrompida.

Com relação a evolução de C-CO₂ entre as diferentes épocas de amostragem dos solos, é possível perceber que houve uma tendência de aumento nos valores de evolução de C-CO₂ do mês de abril para junho, coincidindo com o término da estação de chuvas e, na sequência, redução dessa evolução de junho para agosto, quando se acentua os efeitos da estação de seca (Tabela 3).

Conforme alguns autores (COSTA *et al.*, 2008; PANOSSO *et al.*, 2009; SILVA-OLAYA *et al.*, 2013), a temperatura e a umidade do solo são as variáveis que melhor explicam as mudanças nas emissões de CO₂ ao longo do tempo, conforme pode-se observar ao longo do período de incubação durante os meses em estudo (Figura 1). Oliveros (2008), afirma que a umidade do solo exerce grande influência nas emissões de CO₂, pois pode tanto favorecer como inibir a produção de CO₂, havendo teoricamente uma umidade ótima que maximiza a respiração biológica.

Carvalho *et al.* (2008) e French *et al.* (2009), explicam que os micro-organismos do solo ao se alimentarem da MOS disponível, liberam C-CO₂, culminando em picos que podem ser observados ao longo do tempo (Figura 1). Entretanto, conforme vão morrendo por falta de substrato, a evolução de C-CO₂ diminui. Contudo, estes organismos que morreram serão utilizados como fonte de energia pelos restantes, que se multiplicarão continuando o processo de evolução de C-CO₂.

Figura 1. Evolução de C-CO₂ nas amostras (0-20cm) incubadas até os 50 dias nos meses de abril (a), junho (b) e agosto (c).



Junior Reis e Mendes (2007), enfatizam que uma alta taxa de respiração pode ser interpretada também como uma característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos irá disponibilizar nutrientes para as plantas. Além disso, sabe-se que a própria atividade dos micro-organismos também depende de haver disponibilidade de nutrientes para que exista quantidade e qualidade de material orgânico para servir de fonte de energia para essa população (GNANKAMBARY *et al.*, 2008).

4 CONCLUSÕES

As áreas que apresentam um maior aporte de material vegetal ao solo, podem servir de estímulo ao desenvolvimento de micro-organismos que, conseqüentemente, aumentam o fluxo de CO₂, em especial até o início da estação seca;

Em solos com baixa umidade ocorre a redução da emissão de C-CO₂, ocasionando em diferenças significativas sobre a quantidade de liberação de C-CO₂ entre as áreas de estudo na mesma época de avaliação.

REFERÊNCIAS

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000): Documento Síntese. 2. ed. Rio Branco: SEMA, 2010. 356 p.
- ALPINO, T. de M. A.; MAZOTO, M. L.; BARROS, D. C. de; FREITAS, C. M. de. Os impactos das mudanças climáticas na Segurança Alimentar e Nutricional: uma revisão da literatura. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 27, n. 1, p. 273-286, 2022.
- ARAUJO, K. D.; SOUZA, M. A.; SANTOS, G. R.; ANDRADE, A. P.; FERREIRA NETO, J. V. F. Atividade microbiana no solo em diferentes ambientes da região semiárida de Alagoas. *Geografia (Londrina)*, v. 25, n. 2, p. 5-18, 2016.
- BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil Tillage Research*, 54:101-109, 2009.
- BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, v. 19, n. 4, 1995, p. 269-279.
- CARVALHO, A. M.; VALE, H. M.; FERREIRA, E. M.; CORDERO, A. F.; BARROS, N. F.; COSTA, M. D. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 2709 – 2716, 2008.
- CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; RONDÓN, M. A. Potential of soil carbon sequestration in the Amazonian Tropical Rainforest. 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. 245-266, 2006.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. & ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e seu efeito sobre componentes da acidez de um Oxisol sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 27, p. 527-535, 2004.
- COSTA, A. S. V. et al. Alterações na capacidade de retenção de água no solo após a aplicação de resíduo sólido proveniente de uma fábrica de celulose. *Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida*, v. 26, n. 1, p. 01-10, 2006.
- COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008.
- DA ROCHA, H. R. et al. Ciclo do carbono. Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE), 2005.
- DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology, Urbana*, v. 4, p. 217-227, 1998.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRENCH, S.; LEVY-BOOTH, D.; SAMARAJEEWA, A.; SHAN NON, K. E.; SMITH, J.; TREVORS, J. T. Elevated temperatures and carbon dioxide concentrations: effects on selected microbial activities in temperate agricultural soils. *World J. Microbiol. Biotechnol.* v. 25, n. 11, p. 1887-1900, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. & SANTOS, G. A. S. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 3, p. 893-901, 2005.

GNANKAMBARY, Z.; ILSTEDT, U.; NYBERG, G.; HIEN, V.; MALMER, A. Nitrogen and phosphorus limitation of soil microbial respiration in two tropical agroforestry parklands in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: The effects of canopy and fertilization. *Soil Biol. Biochem.*, v. 40, p. 350-359, 2008.

HOUGHTON, J.T. et al. *Climate change 2001: This scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 234-247p.

HUNGATE, B. A.; JAEGER III, C. H.; GAMARA, G.; CHAPIN III, F. S.; FIELD, C. B. Soil microbiota in two grasslands: responses to elevated atmospheric CO₂. *Oecologia*, v. 124, p. 589-598, 2000.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, England, United Kingdom. 2021.

JUNIOR REIS, F. B.; MENDES, I. C. *Biomassa microbiana do solo*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007.

JOBBÁGY, E. G.; JACKSON, R. B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, v. 10, n. 2, p. 423-436, 2000.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, Amsterdam, v. 123, p. 1-22, 2004.

LA SCALA, N.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; BOLONHEZI, D.; ARCHER, D. W.; REICOSKY, D.C. Short-term temporal changes of soil carbon losses after tillage described by a first-order decay model. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 99, n. 1, p. 108-118, 2008.

LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Evolução e acúmulo de C-CO₂ em diferentes sistemas de produção agroecológica. *Acta Agronômica*, v. 62, n. 3, p. 242-250, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; Y ANJOS, L. H. 2013. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. *Semina. Cien. Agrárias* 34(5):2153 - 2168.

MALUF, H. J. G. M.; SOARES, E. M. B.; SILVA, I. R. da; NEVES, J. C. L.; SILVA, L. de O. G. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 39, n. 6, p. 1681-1689, 2015.

MENDONÇA, E. S. Y MATOS, E. S. 2005. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. 1ª ed. Ponte Nova: D & M Gráfica e Editora Ltda. 107 p.

MIRANDA, A. A. C. de. Relação entre indicadores de qualidade de solo sob diferentes sistemas de manejo. 2018. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras-PB, 2018.

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

OLIVEROS, L. F. C. Emissões de CO₂ do solo sob preparo convencional e plantio direto em latossolo vermelho do Rio Grande do Sul. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. Seminário: Ciências Agrárias, Londrina, v. 30, n. 4, p. 1017-1034, 2009.

SANTOS, J. J. T. dos; OLIVEIRA, L. M. S. R. de; OLIVEIRA, L. S. de. Agricultura familiar e o mercado de carbono. Revista Aracê, São José dos Pinhais, v. 6, n. 2, p. 4073-4084, 2024.

SCHWARTZ, R. C.; BAUMHARDT, R. L.; EVETT, S. R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 110, n. 2, p. 221-229, 2010.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA. Emissões de GEE do Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris. 2018. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/08/Relatorios-SEEG-2018-SinteseFINAL-v1.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2021.

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. Environmental Research Letters, Bristol, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2013.

SILVA, R. I. da; MENDONÇA, E. S. da. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M; HARPER, J. L. Fundamentos em ecologia. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 592 p.

VASQUEZ, G. M.; COELHO, M. R.; DART, R. O.; CINTRA, L. C.; BACA, J. F. M.; MENDONÇA-SANTOS, M. L. Soil Organic Carbon Stock Maps for Brazil at 0-5, 15-30, 30-60, 60-100 and 100-200 cm Depth Intervals with 90 m Spatial Resolution. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/maps/3175>. Acesso em: 2 fev. 2022.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. R. Bras. Ci. Solo, v. 33, p. 743-755, 2009.