



Distribuição espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em Terra Preta Arqueológica⁽¹⁾.

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva⁽²⁾; Milton Cesar Costa Campos⁽³⁾; Diogo André Pinheiro da Silva⁽⁴⁾; Uilson Franciscon⁽⁵⁾; Anderson Cristian Bergamin⁽⁶⁾

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos da Fapeam; ⁽²⁾ Professor da Universidade Federal do Amazonas, Humaitá-Amazonas-Brasil, e-mail: dougllasmcarcelo@gmail.com; ⁽³⁾ Professor Adjunto III, da Universidade Federal do Amazonas, Humaitá-Amazonas-Brasil, e-mail: mcesarsolos@gmail.com; ⁽⁴⁾ Acadêmico de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos-UFMG-Belo Horizonte-Minas Gerais-Brasil, e-mail: andredioogo@hotmail.com; ⁽⁵⁾ Acadêmico em Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM- Humaitá-Amazonas-Brasil, e-mail: uilsonfranciscon@gmail.com; ⁽⁷⁾ Professor Adjunto da Universidade Federal de Rondônia, Rolin de Moura-Rondônia-Brasil, e-mail: andersonbergamin@hotmail.com.

RESUMO: Na região amazônica ocorre a presença de solos com alterações em suas propriedades pela ação antrópica, que são ricos em matéria orgânica. O objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial da emissão CO₂, temperatura e umidade do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica (TPA) sob cultivo de cacau no município de Apuí, AM. Foi delimitada uma malha amostral nas dimensões de 42 x 100 m, contendo 88 pontos amostrais, espaçados regularmente nas dimensões de 6 x 8 m. As avaliações da emissão de CO₂, juntamente com a temperatura e umidade foram realizadas no ano de 2013. A emissão de CO₂ (FCO₂) e temperatura foi registrada com um sistema automatizado portátil de fluxo de CO₂ do solo LI-COR (LI-8100) e a umidade com uma sonda TDR. A análise exploratória dos dados foi realizada no software estatística, e para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (Isaaks & Srivastava, 1989). Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o software GS+. As análises geoestatísticas apresentaram dependência espacial para todas as variáveis em estudo.

Termos de indexação: fluxo de CO₂, geoestatística.

INTRODUÇÃO

Na região Amazônica ocorrem solos com horizonte A antrópico (Terras Pretas Arqueológicas, TPA), que por meio de ações antrópicas promoveram modificações nas características físicas e químicas neste horizonte (SILVA et al., 2011). As TPAs localizam-se em antigos assentamentos, apresentam artefatos culturais, com coloração escura e possui um grande aporte estável de matéria orgânica (LIMA et al., 2002).

A matéria orgânica do solo influência direta e indiretamente nos atributos do solo (VIANA et al., 2011) e o seu estudo em agroecossistemas brasileiros é tema estratégico para que se alcance a sustentabilidade da agricultura em ecossistemas

tropicais, e a conservação ambiental mundial (CUNHA et al., 2007), pois, práticas de uso e manejo dos solos, interferem no equilíbrio natural dos ecossistemas e altera os componentes orgânicos tanto em qualidade quanto em quantidade, além das variações em função do tempo e do tipo de uso (MELO & SCHAEFER, 2009).

Considerando que a variabilidade espacial das propriedades do solo ocorre naturalmente devido a fatores pedogênicos diversos. A produção de CO₂ emitido pelo solo ocorre essencialmente pela respiração das raízes das plantas e decomposição da matéria orgânica, promovida pela ação dos microrganismos (PANOSSO et al., 2008) desta forma, a manutenção e melhoria da qualidade do solo é um fator chave para a produtividade de ecossistemas naturais e agroecossistemas, visando a sua estabilidade e sustentabilidade.

Com o uso de técnicas geoestatísticas é possível verificar a variabilidade no comportamento dos atributos do solo no espaço e no tempo (Wang et al., 2002). Pois esta ferramenta incorpora em si funções de relacionar a distância e a covariância dos atributos do solo entre os pontos das análises espaciais tornando assim as determinações mais acuradas do que quando se considera que os atributos não são espacialmente dependentes. De acordo com Vieira et al. (2010), para que isso seja possível lança-se mão aos semivariogramas, a fim de reduzir a necessidade de uma amostragem mais intensa.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de cacau.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada no município de Apuí, sul do Estado do Amazonas, sob as coordenadas geográficas de 7° 12' 05" S e 59° 39' 37" W. A zona climática da região, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo Am (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de



pequena duração, com precipitação média anual variando entre 2.250 e 2.750 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As médias anuais de temperatura variam em torno de 25 - 27° C, com umidade relativa do ar entre 85 e 90%.

Foi utilizada neste estudo uma área de Terra Preta Arqueológica (TPA), sob cultivo a mais de 20 anos pela cultura de cacau. O qual foi delimitada uma malha amostral nas dimensões de 42 x 100 m, contendo 88 pontos amostrais, espaçados regularmente nas dimensões de 6 x 8 m. As avaliações da emissão de CO₂, juntamente com a temperatura e umidade foram realizadas no ano de 2013, no período chuvoso, nos quais foram efetuadas quatro coletas em dias consecutivos. A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) foi registrada com um sistema automatizado portátil de fluxo de CO₂ do solo LI-COR (LI-8100).

A câmara para solos tem um volume interno de 854,2 cm³ com área de contato circular de 83,7 cm². Essa câmara foi colocada sobre colares de PVC previamente inseridos no solo a uma profundidade de 3 cm. A utilização dos colares de PVC evita que ocorram distúrbios causados pela inserção da câmara diretamente no solo, como a quebra de sua estrutura porosa, por exemplo, causando um aumento de CO₂ emitido pelo solo. Foram instalados os colares no campo 24 horas antes das leituras, e acoplado a câmara de solo LI-8100 sobre os colares, não encostando a câmara no solo minimizando-se assim os distúrbios mecânicos sobre o mesmo.

A temperatura do solo (TS) foi monitorada concomitantemente às avaliações de emissão de CO₂ do solo utilizando-se um sensor de temperatura que é parte integrante do sistema LI-8100. Tal sensor consiste de uma haste de 20 cm que é inserida no interior do solo, o mais perpendicular possível em relação à superfície, na região próxima ao local onde foram instalados os colares de PVC para a avaliação da emissão de CO₂.

A umidade do solo (US), em % volume, foi registrada utilizando-se um aparelho TDR (Time Domain Reflectometry) - Campbell® Hydrosense™ Campbell Scientific - Austrália, constituído por uma sonda apresentando duas hastes de 12 cm e inseridas no interior do solo o mais perpendicular possível em relação à sua superfície, nos locais próximos aos colares de PVC, as medidas foram realizadas simultaneamente às avaliações da emissão de CO₂ e temperatura do solo em cada um dos pontos.

A análise exploratória dos dados foi realizada no software estatística, determinando-se a estatística descritiva e teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov). Para a caracterização da

variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (Isaaks & Srivastava, 1989). Sob a teoria da hipótese intrínseca, pelo semivariograma experimental que é estimado pela **Equação 1**:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

sendo: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou a construção e exame dos semivariogramas, por meio do programa GS+. No caso de mais de um modelo para o mesmo semivariograma, foi escolhido com base no melhor coeficiente de determinação (r^2) e teste de validação cruzada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas para a emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo são apresentadas na Tabela 1. As variáveis apresentaram valores de média e mediana próximos indicando distribuição normal. De acordo com os estudos realizados por Gonçalves et al. (2001), as variáveis relacionadas com a geoestatística não precisam apresentar condições de normalidade no entanto a distribuição dos dados não podem apresentar caudas muito alongadas, já que desta forma possam comprometer a análise.

Tabela 1. Estatística descritiva para as variáveis fluxo de CO₂, temperatura e umidade do solo em uma área de TPA sob cultivo de cacau.

Estatística	FCO ₂	Tsolo	Usolo
	µmol m ⁻²	C°	%
Média	5,49	26,14	39,21
Mediana	5,13	26,15	39,50
Mínimo	1,35	25,68	29,67
Máximo	15,30	26,62	49,00
Assimetria	1,47	0,13	0,09
Curtose	3,52	- 0,57	- 0,50
Desvio Padrão	2,53	0,22	4,38
CV (%)	46,21	0,84	11,16
Valor de p	0,10 ^{ns}	0,07*	0,06*

Fluxo de CO₂ (FCO₂), Temperatura do solo (Tsolo), Umidade do solo (Usolo), CV = Coeficiente de variação; Valor de p = Teste de Kolmogorov Smirnov a 5% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade.

A média da emissão de CO₂ foi de 5,49 µmol m⁻² s⁻¹. A quantidade média apresentada de CO₂ emitido nesta classe de solo é inferior comparada aos estudos de D'Andrea et al (2010) sob variações de curto prazo no fluxo e variação



espacial do CO₂ do solo em floresta nativa. O mesmo autor afirma que as variações das emissões de CO₂ em sistemas florestais apresenta-se como um fenômeno de natureza muito complexa visto que não se pode levar em consideração um único atributo do solo ou do ambiente que explique a variação do CO₂ no espaço. Possivelmente estes valores possam estar relacionados com altos valores de carbono presentes no solo assim como as variáveis, temperatura e umidade do solo que possam estar influenciando na atividade microbiana do solo.

Os coeficientes de assimetria e curtose indicam se a distribuição dos dados está próxima à distribuição normal (coeficientes iguais a zero). Como a condição de normalidade não se torna crucial segundo Gonçalves et al. (2001), então a análise geoestatística foi realizada para as variáveis. Os valores de coeficientes de variação foram classificados de acordo com Warrick & Nielsen (1980), mediante a análise dos coeficientes de variação tem-se que o fluxo de CO₂ apresenta valores maiores que 24% sendo classificados como altos. Schwendenmann et al. (2003) em estudo semelhante em solos de floresta tropical, observaram valores de CV entre 35 e 45%. Em estudo sobre a variabilidade da emissão de gases do efeito estufa, Dasselaar et al. (1998) encontraram um coeficiente de variação de 55% para a emissão de CO₂ em solo vegetado.

A umidade apresentou valores médios de CV estando entre 11,16 %. Para a umidade do solo SOUZA et al. (2004) e JÚNIOR et al. (2006) observaram valores de coeficientes de variação baixos pelo método gravimétrico. Panosso (2006) também observou valores baixos de CV em estudo sobre variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade em Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar em sistemas de colheita manual com queima e mecanizada. A temperatura do solo apresentou os menores valores de CV, sendo classificados como baixos.

Os parâmetros dos modelos matemáticos dos semivariogramas ajustados para as variáveis emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo são apresentados na Tabela 2. A emissão de CO₂ apresentou dependência espacial com modelo esférico ajustado para esta variável. Estudando a variabilidade da emissão de CO₂ diária por 18 dias numa mesma área, La Scala et al. (2000) encontraram, em sua maioria, modelos esféricos de variabilidade espacial, porém alguns desses dias também apresentaram modelos exponenciais.

Tabela 2. Modelos e parâmetros para as variáveis fluxo de CO₂, temperatura e umidade do solo em uma área de TPA sob cultivo de cacau.

Modelo	Esf	Exp.	Exp.
Co	0,42	0,03	2,62
C₀ + C₁	0,720	12,9	0,042
a (m)	40	25	27
C₀/ C₀ + C₁	27	13	12
r²	0,85	0,99	0,97
VC	0,88	0,72	0,73

FCO₂ = fluxo de CO₂; Tsolo = temperatura do solo; Usolo = umidade do solo; Exp. = exponencial; Esf. = esférico; C₀: Efeito Pepita; C₀+C₁: Patamar; a (m): Alcance (metros); r²: Coeficiente de determinação; VC: Validação cruzada.

A umidade do solo apresentou modelo exponencial, diferindo dos resultado encontrado por Souza et al. (2004), que constataram o modelo esférico como aquele que melhor descreve a sua variabilidade. A variável temperatura do solo apresentou modelo exponencial, Al-Kayssi (2002) estudou os aspectos de variabilidade espacial da temperatura do solo em casa de vegetação e o modelo esférico foi aquele que melhor descreveu a variabilidade encontrada.

Os valores de alcance (a) é um importante parâmetro no estudo do semivariograma, uma vez que representa a distância máxima que pontos da mesma variável ainda estão correlacionados espacialmente. Valores estimados a partir dos modelos de semivariogramas da emissão de CO₂ do solo para o alcance foram de 40,00 m. Schwendenmann et al. (2003) em estudos de fluxos de CO₂ em áreas de floresta encontraram resultados distintos para o alcance em função da variação sazonal no ano. Rochette et al. (1991) encontraram valor de alcance bem definido de 20 m para a respiração do solo em área com a cultura do milho. Dasselaar et al. (1998) encontraram valores de alcance de 55 e 75 m para a emissão de CO₂ em solos com cobertura vegetal.

O coeficiente de determinação R² para os ajustes dos modelos ao semivariograma foram acima de 0,80 próximos a 1, mostrando que os modelos foram os melhores para expressar a variabilidade das variáveis em estudo.

Para a análise da razão de dependência espacial (C₀ / C₀+C₁), expressa em percentual do efeito pepita em relação ao patamar tendo por objetivo a melhor compreensão da dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), para razão de dependência espacial (RD) < 25%; 25% < RD > 75%; e RD > 75%, para variabilidade forte, moderada e fraca, respectivamente. A variável FCO₂ apresentou dependência espacial moderada, e Usolo e Tsolo com forte dependência espacial. Em estudos sob solos desprovidos de vegetação Herbst et al. (2010), encontraram estruturas de dependência espacial variando de fraco a forte.

FCO₂ Tsolo Usolo



CONCLUSÕES

As análises geoestatísticas apresentaram dependência espacial para todas as variáveis em estudo.

O fluxo de CO₂ apresentou dependência espacial moderada, enquanto que umidade do solo e temperatura do solo apresentaram forte dependência espacial.

REFERÊNCIAS

- AL-KAYSSI, A. W. Spatial variability of soil temperature under greenhouse conditions. *Renewable Energy*, Amsterdam, 27:453-462, 2002.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK J.M.; PARKIN T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society America Journal*, 58:1501-1511, 1994.
- CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a Antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazônica*, 37 p. 91-98, 2007.
- D' ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F.; CURTI, N.; SILVA, C.A. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO₂ do solo em floresta native. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 30:85-92. 2010.
- DASSELAAR, A.V.P.V.; CORRÉ, W.J.; PRIEMÉ, A.; KLEMEDTSSON, Å. K.; coppicing. *Global Change Biology*, 12:10-121, 2006.
- GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MATA, J.D.V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum*, 23:1.149-57, 2001.
- HERBST, M.; PROLINGHEUER, N.; GRAF, A.; HUISMAN, J.A.; WEIHERMULLER, L.; VANDERBORGHT, J.; VERECKEN, H. Multivariate conditional stochastic simulation of soil heterotrophic respiration at plot scale. *Geoderma*, 160:74-82, 2010.
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- JÚNIOR, V. V., CARVALHO, M. P.; DAFONTE, J.; FREDDI, O. S.; VÁZQUES, E. V., INGARAMO, O.E. Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferralsol. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, 85:166-177, 2006.
- LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E. R.; MELLO, J. W. V.; GILKES, R.J.; KER, J.C. Pedogenesis and pre-Columbian land use of "Terra PretaAnthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. *Geoderma*. Amsterdam, 110:1-17, 2002.
- MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Matéria Orgânica em Solos Desenvolvidos de Rochas Máficas no Nordeste de Roraima. *Acta Amazônica*, 39: 53-60, 2009.
- PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T.; LOPES, A.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA J. R, N. Emissão de CO₂ em um Latossolo após preparo convencional e reduzido em períodos seco e chuvoso. *Científica*, 34:257-262, 2006.
- PANOSSO, A.R.; PEREIRA, GENER, T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolo sob cultivo de cana de açúcar em dois sistemas de manejo. *Engenharia Agrícola*, 28:227-236, 2008.
- ROCHETT, P.; DESJARDINS, R. L.; PATTEY, E. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Canadian Journal of soil Science*, 71:189-196, 1991.
- SCHWENDENMANN, L.; VELDKAMP, E.; BRENES, T.; O'BRIEN, J.J.; MACKENSEN, J. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, la selva, Costa Rica. 64:111-128, 2003.
- SILVA, F. W. R., LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G., MOTTA, M. B.; SANTANA, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos Antrópicos (terras pretas de índio) na Amazônia central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:673-681, 2011.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J. PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8:51-58, 2004.
- VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 2105-2114, 2011.
- VIEIRA, S.R.; CARVALHO, J.R.P.; GONZÁLEZ, A.P.; Jack knifing for semivariogram validation. *Bragantia Campinas*, 69:97-105, 2010.
- WANG, G.; GERTNER, G.; SINGH, V.; SHINKAREVA, S.; PARYSOW, P.; ANDERSON, A. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity R factor. *Ecological Modelling*, 153:143-155, 2002.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.) *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. 385p.