



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Fracionamento físico do carbono e suas interações com os atributos do solo em áreas de pastagens cultivadas e floresta na Amazônia Ocidental

Elyenayra Nogueira Pinheiro¹, Milton César Costa Campos², Elilson Gomes de Brito Filho³, José Maurício da Cunha⁴, Alan Ferreira Leite de Lima⁵, Thalita Silva Martins⁶, Bruno de Oliveira Dias⁷, Ramon Freire da Silva⁸, Romária Gomes de Almeida⁹, Robson Vinício dos Santos¹⁰

¹Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3831-3048>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ²Doutor em Ciência do Solo, Docente da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8183-7069>. ³Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6718-2126>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ⁴Doutor em Física Ambiental, Docente da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6574-4540>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁵Doutorando em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Humaitá – AM, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7959-8778>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁶Mestranda em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6662-6637>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ⁷Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1259-5921>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ⁸Doutor em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4465-2006>, E-mail: robson4651@hotmail.com. ⁹Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6380-4370>, E-mail: mcesarsolos@gmail.com. ¹⁰Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0339-6197>, E-mail: robson4651@hotmail.com.

Artigo recebido em 07/05/2023 e aceito em 25/07/2023

RESUMO

O teor de mudança nos estoques de carbono do solo de grandes áreas florestais sofrerá com futuras transformações na cobertura vegetal ou no uso desordenado da terra, assim como a mudança do clima e o aumento de CO₂. Desta forma, objetivou-se estudar o fracionamento físico do carbono e suas interações com os atributos do solo em áreas de pastagens e floresta na Amazônia Ocidental. O estudo foi realizado no distrito União Bandeirantes- RO, sendo estabelecida uma malha de 90x50 m com espaçamento de 10 m entre os pontos amostrais, dentro das áreas de mombaça, braquiária e floresta, totalizando 120 amostras por área. Foram determinados a densidade do solo, carbono orgânico e suas frações físicas, bem como estoque de carbono. Os dados foram analisados por estatística descritiva e análise geoestatística. Foram gerados os mapas de krigagens das variáveis e realizado as análises de componentes principais. A geoestatística mostrou que a substituição da área de floresta para área de manejo associada ao relevo ocasionou modificações na dinâmica da distribuição e comportamento das variáveis de carbono do solo. Para os ambientes que foram estudados observa-se que a braquiária não teve tanta diferenciação em relação à área de floresta, sendo menos influenciável em comparação a pastagem de mombaça. Os valores de carbono orgânico particulado (COp) com foco maior foi encontrado na área de floresta. Há uma relação do carbono orgânico (CO) com as concentrações do carbono orgânico associado aos minerais (COam) de forma que possuem relação com o aumento ou diminuição dessas taxas.

Palavras-chave: solos amazônicos, uso e manejo do solo, sistemas de pastagens, variações carbono.

Physical fractionation of carbon and its interactions with soil attributes in cultivated pastures in Western Amazonia

ABSTRACT

The rate of change in soil carbon stocks of large forested areas will suffer from future transformations in vegetation cover or from disordered land use, as well as climate change and CO₂ increases. Thus, the objective was to study the physical fractionation of carbon and its interactions with soil attributes in pasture and forest areas in the Western Amazon. The study was carried out in the União Bandeirantes-RO district, establishing a 90x50 m grid with 10 m spacing between the sampling points, within the areas of mombasa, brachiaria and forest, totaling 120 samples per area. Soil bulk density, organic carbon and its physical fractions, as well as carbon stock were determined. Data were analyzed using descriptive statistics and geostatistical analysis. Variable kriging maps were generated, and principal component analyzes were performed. Geostatistics showed that the substitution of the forest area for the management area associated with the relief caused changes in the dynamics of the distribution and behavior of soil carbon variables. For the environments that were studied, it was observed that the brachiaria did not have as much differentiation in relation to the forest area, being less influenced in comparison to the mombasa pasture. The values of particulate organic carbon (COp) with greater focus

were found in the forest area. There is a relationship between organic carbon (CO) and concentrations of organic carbon associated with minerals (CO_{am}) in a way that they are related to the increase or decrease of these rates.

Keywords: amazonian soils, soil use and management, pasture systems, carbon variations.

Introdução

A região Amazônica é formada por uma extensão designada como uma das mais antigas, sendo considerada geologicamente como uma das mais estabilizadas do mundo. Para a região amazônica alguns esforços têm sido centrados com intuito de avaliar as modificações ocorridas no solo (Aquino et al., 2014). Estas modificações que ocorrem e interferem na dinâmica do carbono, podem ser decorrentes da ação natural por processos de emissão, respiração microbiana e retirada das plantas (Costa Junior et al., 2012), ou de antrópica, através de atividades que utilizem direta ou indiretamente estes solos (Matias et al., 2012).

O setor agropecuário e florestal por sua vez como uma dessas atividades, em que as práticas de derrubadas, preparo do solo e retirada da vegetação natural provoquem modificações nos ambientes, servindo como um indicador para verificar o grau de impacto de uso e manejo (Aragão et al., 2012). Assim, estudos sobre avaliação do carbono orgânico (CO) em ambiente natural e cultivado são encontrados de forma que, ocorrem modificações pela agricultura podendo aumentar ou diminuir o carbono orgânico (Souza et al., 2020). Desta forma as transformações na cobertura vegetal ou no uso desordenado da terra, assim como também, a mudança do clima e o aumento de CO₂ (Friedlingstein et al., 2006) em razão do manejo aplicado aos solos.

Nos estudos de Scharrón e Sánchez (2017), afirmam que a degradação ambiental pode ser motivada através de processos que envolvem diminuição do sistema hídrico, assim como também a fertilidade do solo, motivando a degradação ambiental e deixando todo o sistema instável. A fertilidade do solo, biodiversidade subterrânea, e as propriedades físicas, químicas e biológicas são fatores afetados devido a remoção de materiais essenciais para o mantimento desses elementos no solo (Canqui, 2017).

Assim, é importante que se busque averiguar ambientes onde possa ocorrer

modificações, as limitações atribuídas ao ambiente, seja ela de ordem física ou química (Schaefer et al., 2017), uma vez que, a variedade de vida terrestre depende totalmente dos recursos que o solo fornece. Contudo, existem atividades de cultivo que são realizadas de forma acelerada e desordenada, e contribuem para a redução do potencial dos nutrientes e a potencialidade do solo em sua produtividade, e com o tempo essas taxas passam a ser de magnitudes maiores do que a capacidade de reabastecimento desse solo (Amundson et al., 2015).

Para avaliar as diferentes formas de uso do solo num período de tempo mais curto é utilizado o carbono lábil como um indicador (Silva et al., 2011). O carbono lábil é um constituinte de compostos orgânicos com grande facilidade de mineralização pelos microrganismos do solo (Rangel et al., 2008). Essa fração proporciona elevada taxa de decomposição e um curto período de permanência no ambiente e sua principal função é disponibilizar nutrientes às plantas através da mineralização, além de energia e carbono aos microrganismos do solo (Silva et al., 2011). Logo, objetivou-se estudar o fracionamento físico do carbono e suas interações com os atributos do solo em áreas de pastagens cultivadas e floresta na Amazônia Ocidental.

Material e métodos

Localização da área de estudo

Este estudo foi realizado no município de Porto Velho, Rondônia com as coordenadas geográficas (latitude 9° 45' 32" S e longitude 64° 31' 39" W) (figura 1). No local foram utilizadas três áreas, duas com diferentes usos através de cultivo de braquiária (*Brachiaria brizantha*) e mombaça (*Panicum maximum*) e uma área de floresta nativa, sendo definida como Floresta Ombrófila Aberta (IBGE, 2004).

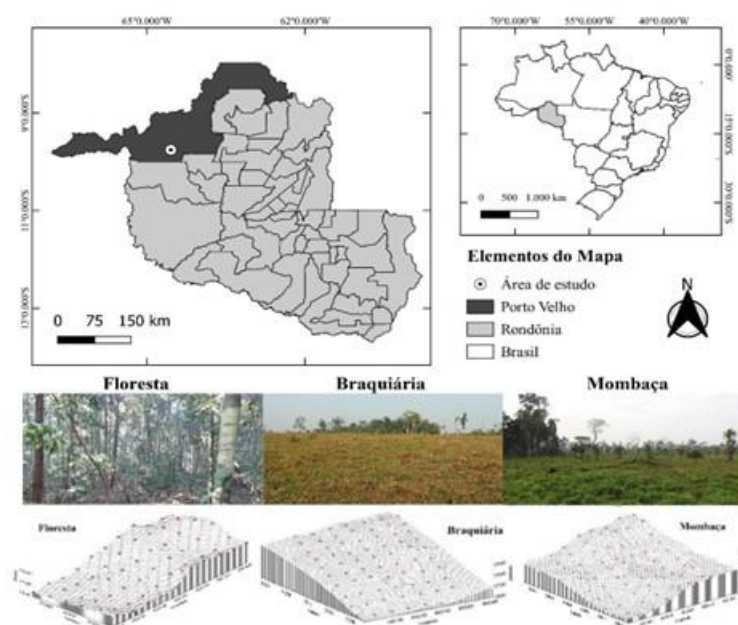


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no município de Porto Velho – RO.

Caracterização do ambiente de estudo

O clima da região segundo classificação de Köppen, caracteriza-se como, Clima Tropical Chuvoso e tipo climático Am com chuvas do tipo monção, onde mostra uma estação seca de pequena duração entre os meses de junho e setembro. A umidade relativa se eleva, variando entre 85% e 90% na época chuvosa e entre 60 a 70% na época seca, enquanto a pluviosidade anual varia de 2.500 a 2.800 mm. A temperatura mostra está entre 24 a 26° C anualmente. O relevo local é caracterizado como suave ondulado com altitude variando de 100 a 200 m (Alvares et al., 2013).

Os solos da região são classificados como Latossolo Amarelo Distrófico típico, apresentando valores positivos para a classe >2mm, DMG, DMP, Pt, com acúmulo considerável de CO, através do predomínio da areia, e com menor valor de DS e RSP nas camadas superficiais. Os solos apresentam boa drenagem e com textura argilosa, o relevo se apresenta como suave ondulado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018) (Tabela 1).

Os atributos químicos mostram uma maior variabilidade nas áreas de pastagens, induzindo a um trabalho específico para essas áreas (Tabela 2).

Descrição física e química das áreas estudadas com valores médios

Tabela 1. Descrição física das áreas Braquiária, Floresta e Mombaça nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Areia	Silte	Argila	Classes de agregados (%)			DMG	DMP	Ug	Pt	MiP	MaP	RSP
g kg ⁻¹			>2 mm	1,0-2,0 mm	<1 mm	mm		kg kg ⁻¹		m ³ m ⁻³		kgf
0,00-0,10 m												
Braquiária												
699,53	23,08	268,32	92,43	1,34	6,11	2,79	3,14	0,20	0,43	0,27	0,16	1,73
Floresta												
536,05	52,96	404,12	96,15	1,41	2,57	3,06	3,26	0,26	0,51	0,31	0,20	1,00
Mombaça												
594,29	36,77	355,34	94,99	1,17	3,64	3,01	3,22	0,23	0,46	0,30	0,16	1,72
0,10-0,20 m												
Braquiária												
651,96	30,46	319,80	80,94	5,50	13,61	2,35	2,82	0,19	0,40	0,28	0,12	1,81
Floresta												
472,60	63,00	456,33	84,08	5,13	10,52	2,52	2,93	0,25	0,45	0,35	0,10	1,98
Mombaça												
527,78	44,55	426,04	77,82	7,13	14,12	2,32	2,76	0,22	0,43	0,31	0,12	1,69

Tabela 2. Descrição química das áreas Braquiária, Floresta e Mombaça nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

pH	Al ³⁺	H+Al	Ca	Mg	K	Na	CTC	V%	m%	P
H ₂ O	cmol _c dm ⁻³						kg kg ⁻¹	m ³ m ⁻³	cmol _c dm ⁻³	
0,00-0,10 m										
Braquiária										
4,67	0,57	8,31	1,21	0,25	0,06	0,01	9,57	16,15	32,59	4,25
Floresta										
3,70	1,82	7,74	0,56	0,09	0,09	0,01	8,64	8,83	70,29	5,38
Mombaça										
4,84	0,77	5,06	0,91	0,41	0,10	0,01	6,64	20,41	34,80	3,37
0,10-0,20 m										
Braquiária										
5,11	0,81	4,78	0,33	0,05	0,02	0,01	5,51	7,78	65,39	1,90
Floresta										
3,47	1,92	6,32	0,49	0,04	0,05	0,01	6,90	8,30	76,44	3,44
Mombaça										
4,37	0,96	4,58	0,39	0,26	0,02	0,00	5,17	12,70	58,94	1,65

Fonte: Lima, 2021.

Metodologia de campo

Foi estabelecida uma malha de 90 m x 50 m com espaçamento regular de 10 m entre os pontos amostrais, dentro de cada área. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento das malhas, sob as profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, perfazendo um total de 60 pontos amostrais em cada área, totalizando 120 amostras por área e total de 360 amostras.

A amostragem se deu em estrutura preservada em forma de torrões e anéis volumétricos de 4,0 cm de altura e 5,1 cm de diâmetro interno. Após a coleta das amostras de solos foram secas à sombra, destorroadas e passadas em peneiras com abertura em 2 mm, separando o cascalho e a terra fina seca ao ar (TFSA). A TFSA foi utilizada para a realização das análises químicas, bem como o fracionamento do carbono, já o anel volumétrico foi aferido a densidade do solo.

Análises físicas e químicas

A partir da amostra de anel volumétrico foi recalculada a densidade do solo, considerando a massa do solo seco e o volume do anel, dado valor em g.cm³ (Teixeira et al., 2017). O carbono orgânico (CO) foi determinado em via úmida pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans e Bremner (1988).

O estoque de carbono (EC) foi calculado pela equação 1:

$$EC = (Ds * h * COT)/10 \quad (1)$$

em que:

EC = estoque de carbono (t ha⁻¹);

Ds = densidade do solo (g cm⁻³);

h = espessura da camada de solo amostrada (cm);

COT = Carbono orgânico (g kg⁻¹).

Fracionamento físicos do carbono orgânico

Para o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS) (Cambardella e Elliott, 1992) foi pesado aproximadamente 20 g de solo e 60mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L⁻¹), esses foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal. A seguir, a suspensão foi passada por peneira de 53µm. O material retido na peneira carbono orgânico particulado (COP) foi seco em estufa a 50°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico do solo - COS (Teixeira et al., 2017). O Carbono orgânico associado aos minerais (COam) foi obtido a partir da diferença entre COS e COP. A partir dos dados de carbono orgânico foram calculadas a labilidade do carbono, o índice de labilidade, índice de compartimento do carbono e por último, o índice de manejo do carbono.

Com base nos valores de COT foi designado um índice de compartimento de carbono (ICC), na seguinte expressão: ICC=COT cultivado/COT referência. Com base nas mudanças na proporção de carbono lábil CL (L = CL/CNL) no solo, um Índice de Labilidade (IL) foi determinado como: IL = L cultivado/L referência. Estes dois índices foram usados para calcular o Índice de Manejo de Carbono (IMC), obtido pela

seguinte expressão: $IMC = ICC \times IL \times 100$ (Blair et al., 1995).

Análise Estatística

Após a determinação dos atributos do solo, os dados foram submetidos às análises estatísticas descritivas, onde foram calculados os valores de média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose, mínimo e máximo dos atributos determinadas em laboratório. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de normalidade segundo Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade, no software estatístico (Statsoft, 2004). As comparações das médias das variáveis dentro de cada ambiente estudado foram analisadas pelo teste de Tukey a 5 %, utilizando o Programa computacional statistic 7 (Statsoft, 2004) utilizado para comparar as variáveis na mesma profundidade por se tratar de 3 tratamentos, também foi aplicado o teste t student a 5% de probabilidade para comparar variáveis pares na mesma profundidade onde houve apenas 2 tratamentos.

Para a análise multivariada, foi realizada análise fatorial dos componentes principais, aos quais foram realizadas a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, com relação as diferentes áreas em estudo, obtendo como resposta quais são os ambientes cujos atributos sofrem maior influência pela ação antrópica (Reis, 2001). A adequabilidade da análise fatorial foi feita pela medida de KMO, que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Bartlett, ao qual se pretendeu-se rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade.

A extração dos fatores foi realizada pela análise de componente principal (ACP), incorporando as variáveis que apresentarem communalidades igual ou superior a cinco (5,0). A escolha do número de fatores a ser utilizado foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superiores a 1,0). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (varimax) e representada em um plano utilizados nos ajustes do semivariograma foram o esférico (Eq. 3) e o exponencial (Eq. 4) identificados nas figuras como: Mod. (C_0 , C_1+C_0 , a , R^2 , VC, GDE):

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \text{ se } 0 < h < a \quad (3)$$

$$= C_0 + C_1, \quad \text{se } h \geq a$$

fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais.

Nos gráficos de dispersão da ACP após rotação varimax, os escores foram construídos com valores padronizados, de tal forma que a média é zero e a distância entre os escores é medida em termos do desvio padrão. Dessa forma, as variáveis em um mesmo quadrante (1° , 2° , 3° e 4°) e mais próximas no gráfico de dispersão das ACP são mais bem correlacionadas (Reis, 2001). Da mesma forma, escores atribuídos às amostras que se encontram próximos e em um mesmo quadrante, estão relacionadas com as variáveis daquele quadrante (Burak, 2010).

A análise geoestatística foi feita com base no semivariograma experimental, estimado pela equação 2:

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

sendo, $\hat{\gamma}(h)$ o valor da semivariância para uma distância h ; $n(h)$ o número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ o valor do atributo Z na posição x_i ; e $Z(x_i + h)$ o valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, foi utilizada a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão $\left[\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right]$ for menor ou igual a 25%. Se essa razão estiver entre 26 a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que, se a propriedade do solo for maior que 75% a aproximadamente 95%, classificam-se como dependência espacial fraca.

Os semivariogramas apresentaram padrão de comportamento que podem ser descritos por modelos teóricos. A escolha para o modelo teórico do semivariograma foi realizada pelo menor erro residual (SQR), maior coeficiente de determinação (R^2) e de máximo coeficiente de correlação (r) da validação cruzada. Os modelos

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 = \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right], 0 < h < d \quad (4)$$

em que, os valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, C_0 é o efeito pepita; $C_0 + C_1$ é o patamar; $[(C_0/(C_0 + C_1)) \times 100]$ é o grau de dependência espacial (GDE%); a representa a distância com que os atributos estão

correlacionados, de acordo com uma área com um raio uniforme estimado; e d é a máxima distância em que o semivariograma foi definido.

O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas. Os modelos do semivariograma para os atributos a serem estudados foram estimados pelo Software GS+, versão 7.0 (Robertson, 2004). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, irá se considerar o melhor r^2 (coeficiente de determinação). Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa GS+.

Resultados e discussão

Atributos químicos e variáveis do carbono no solo

Os teores de DS, CO, EC, COp, COam, L, IL, ICC e IMC das diferentes áreas de manejo foram testados e comparados em cada camada, são apresentados na Tabela 3. Observou-se que o ambiente de floresta apresentou os menores valores de DS com 1,18 e 1,40 g cm⁻³ nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m e CO mostrando valores maiores na área de floresta com 24,20 e 17,66 g kg⁻¹ nas mesmas camadas (Tabela 3). Esses valores indicam a inexistência de práticas que degradam o solo nas florestais nativas, fazendo com que haja baixos valores de Ds e teores elevados de CO, isso se deve ao maior depósito de biomassa nestes ecossistemas (Rossi, 2012a).

Tabela 3. Comparação de médias de variáveis do carbono em área de braquiária, floresta e Mombaça no leste da Amazônia oriental.

DS	CO	EC	COp	COam	L	IL	ICC	IMC
g.cm ⁻³	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					
0,00-0,10 m								
Braquiária								
1,36A	21,88B	29,05A	6,10A	15,75AB	0,33B	1,03b	0,91a	93,84b
Floresta								
1,18B	24,20A	26,50B	5,31B	17,52A	0,32B	-----	----	----
Mombaça								
1,34A	21,61B	26,84B	6,55A	14,60B	0,41A	1,28a	0,89a	113,92a
0,10-0,20 m								
Braquiária								
1,52A	9,11B	13,84B	2,51B	5,70B	0,49A	2,58a	0,52a	134,16a
Floresta								
1,40A	17,66A	24,72A	4,02A	22,35A	0,19B	-----	-----	
Mombaça								
1,45A	10,78B	15,63AB	2,29B	7,80B	0,23B	1,21b	0,61a	73,81b

DS: densidade do solo; CO: carbono orgânico; EC.: estoque de carbono; COp: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; L: labilidade; IL: índice de labilidade; ICC: índice de compartimento do carbono; IMC: índice de manejo do carbono. Média com letras maiúsculas diferentes na mesma coluna e camada se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias com letras minúsculas diferentes na mesma coluna e mesma camada se diferem estatisticamente pelo teste t student a 5% de probabilidade.

Nas camadas mais superficiais, observou-se valores maiores de EC, 29,05, 26,50 e 26,84 Mg.ha⁻¹ estando relacionado ao teor de carbono orgânico (Tabela 3) para braquiária, floresta e mombaça respectivamente. As taxas de crescimento e decomposição do solo varia de acordo com a substituição da vegetação nativa por cultivos, pela qualidade e quantidade de material

vegetal depositado (Zinn et al., 2005). Estudos distintos, porém, utilizando do mesmo princípio, mostram que na Amazônia, a mudança da floresta para áreas de pastagens, ocorrem perdas ou diminuições com o decorrer do tempo nos teores de biomassa no solo quando se utiliza o fogo como um instrumento de manuseio para a condução do manejo, (Longo et al., 2016), o que mostra os

valores de 13,84 e 15,63 Mg.ha⁻¹ de EC expressos na camada 0,10-0,20 m, nas áreas de pastagens.

O carbono orgânico particulado (COp) é apresentado como uma fração relativamente sensível aos tipos de práticas de manejo a curto prazo (Conceição et al., 2005). Avaliando o atributo, foi possível observar que entre as camadas houve diferença significativa nas áreas (Tabela 3). Na camada 0,00-0,10 m observa-se menor valor na área de floresta, o que pode estar relacionado a lixiviação do carbono orgânico particulado (COp) devido ao índice de precipitação da região ser elevado (Silva Neto et al., 2019). Já no perfil de 0,10-0,20 m o maior valor foi observado na área de floresta 4,02 g kg⁻¹ devido ao COp se apresentar mais lábil, pode estar mais susceptível a ação como processo de lixiviação que possivelmente proporcionou o deslocamento do COp para camadas inferiores. Fato observado por Assunção (2016) onde notou que excesso de irrigação ocasionava a lixiviação do carbono, o excesso de irrigação pode ser situação análoga ao regime hídrico intenso da Amazônia.

Desta forma, a sensibilidade mostrada através da fração particulada, demonstra que este atributo pode ser usado como um indicador da qualidade do solo para estimativas em sistemas de manejo (Rossi et al., 2012b). O maior aporte de carbono orgânico na fração lábil da matéria orgânica do solo resultante em determinados sistemas, se dá pelo aporte de resíduos conservado consecutivamente. Sendo assim as características do solo como textura, camada, carbono orgânico e condições climáticas da região, são fatores que influenciam nesses resultados (Santos, 2017).

Resultados encontrados por Silva et al. (2011) indicaram que independente do sistema de manejo, são encontradas maiores concentrações de carbono na fração mais recalcitrante da matéria orgânica, evidenciando o COam. Para Souza et al. (2012), o acréscimo de carbono no solo dá-se pelo crescimento de nutrientes no sistema solo-planta, e também se deve ao fato de que, o estoque desta fração é influenciado por condições climáticas propícias à decomposição da MOS. A menor quantidade em relação a camada superficial de carbono orgânico associado aos minerais (COam), é um fator que mostra a pouca interação são fatores que determinam esses valores (Lal, 2005).

Análise Multivariada

Na análise fatorial foi utilizado os atributos químicos e físicos de forma conjunta, onde através da ACP para os atributos físicos (Tabela 4, Figura

subsuperficial entre a fração mineral e orgânica do solo (Tabela 1) indicando que de fato esses componentes estão mais expressos na zona de maior interação do carbono no solo, nas camadas mais superficiais do solo (Silva e Mendonça, 2007).

A labilidade do carbono (L) é absolutamente associada à liberação de CO₂ para atmosfera, compostos orgânicos que são mineralizados com mais facilidade em reações catalisadas por enzimas contidas no solo (Rangel et al., 2008). Desta forma observou-se na camada de 0,00-0,10 m, 0,41 g kg⁻¹ na área de mombaça e 0,49 g kg⁻¹ na camada 0,10-0,20 m para braquiária (Tabela 3). Para Silva e Mendonça, (2007), o maior valor de L presente na superfície da pastagem, pode estar relacionado à maior adição anual e manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo.

Para o índice de labilidade (IL), os valores variaram de 1,03 a 2,58 (Tabela 3), destacando a inferioridade da área Braquiária na camada 0,00-0,10 m, e valor maior em 0,10-0,20 m, sendo distinto das demais áreas estudadas. O aspecto das pastagens cultivadas apresenta condição intermediária para a labilidade que aportam tanto ou mais material orgânico quanto na área de floresta. Para o maior valor do IL, observa-se que há maior disponibilidade de carbono lábil e consequentemente, maior proteção física da matéria orgânica e, portanto, um ambiente menos oxidativo (Guareschi et al., 2013).

Os valores de índice de compartimento do carbono (ICC) não diferiram entre si quando comparados em camadas de acordo com o teste t student a 5% de probabilidade (Tabela 3). As perturbações causadas pelo manejo convencional, que reduzem a agregação do solo são fatores que motivam o aumento ou diminuição do teor da ICC (Lal, 2005). De outra forma, para os valores de IMC menores que 100 indicam impacto negativo das práticas de uso e manejo sobre os teores do material orgânico e a qualidade do solo. Observa-se o pior valor do IMC inferiores a 100, na área de mombaça com 73,81 g kg⁻¹. As perturbações induzidas pelo manejo convencional, que diminuem a agregação e a proteção física do solo

2) observa-se nas duas camadas, os dois componentes. A CP1 demonstra 31,77% e CP2 49,03% responsável pelas propriedades físicas (areia, Silte, argila, >2, 1,0-2,0, <1, DMG, DMP, UG, Pt, MiP, MaP, RSP, DS) na camada 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. Os valores positivos foram encontrados nos atributos areia, Silte, argila, >2,

DMG, DMP, UG, Pt, MaP. Contudo a areia apresentou valor negativo na CP1 0,00-0,10 m. Estudos realizados por Oliveira et al. (2015), mostraram que existem relações positiva entre COT e porosidade, bem como relações inversas em meio aos agregados de maior tamanho com menor

tamanho, para diferentes ambientes. Através da PCA também pode se verifica que houve interação forte entre os atributos físicos do solo MaP, MiP e DS nas duas áreas de pastagem, evidenciando o efeito da compactação do solo pelo tráfego de animais na área.

Tabela 4. Contribuição dos atributos do solo para a variância da análise de componentes principais em áreas de braquiária, Mombaça e floresta.

Físicos	0,00-0,10 m		0,10-0,20 m		Químicos	0,00-0,10 m		0,10-0,20 m	
	CP1	CP2	CP1	CP2		CP1	CP2	CP1	CP2
Areia	0,10	-0,78	-0,89	0,13	pH	0,91	0,05	-0,65	-0,47
Silte	0,04	0,53	0,57	-0,08	Al ³⁺	-0,88	0,04	0,69	0,57
Argila	0,12	0,71	0,81	-0,11	H+Al	-0,52	0,48	0,59	0,57
>2	0,98	0,04	0,20	0,93	Ca	0,61	0,47	0,40	-0,69
1,0-2,0	-0,89	0,10	-0,03	-0,82	Mg	0,85	0,05	-0,14	-0,69
<1	-0,89	-0,20	-0,29	-0,88	K	0,28	0,25	0,70	-0,06
DMG	0,92	0,14	0,19	0,89	Na	0,51	-0,03	0,11	0,10
DMP	0,95	0,09	0,21	0,89	CTC	-0,18	0,64	0,67	0,43
UG	0,17	0,87	0,94	0,04	V%	0,88	0,01	-0,05	-0,95
Pt	0,18	0,86	0,64	0,24	m%	-0,91	-0,16	0,21	0,91
MiP	-0,13	0,29	0,83	-0,14	P	-0,29	0,50	0,69	0,21
MaP	0,23	0,65	-0,09	0,34	DS	0,37	-0,38	-0,56	0,11
RSP	-0,20	-0,62	0,11	-0,32	CO	0,07	0,89	0,94	0,15
DS	-0,27	-0,77	-0,42	-0,35	Est.C	0,28	0,68	0,93	0,16
CO	0,25	0,31	0,82	0,24	COp	0,22	0,18	0,20	0,20
EC	0,07	-0,20	0,82	0,23	COam	-0,18	0,66	0,83	0,21
COp	0,05	0,07	0,28	0,01	L	0,24	-0,04	-0,02	-0,08
COam	0,18	0,22	0,80	0,14	-----	-----	-----	-----	-----
L	0,10	-0,78	-0,89	0,13	-----	-----	-----	-----	-----
Variância explicada	0,04	0,53	0,57	-0,08	Variância explicada	5,36	3,07	5,69	3,96

DMG: diâmetro médio gravimétrico; DMP: diâmetro médio ponderado; UG: umidade gravimétrica; PT: porosidade total; MiP: microporosidade; MaP: macroporosidade; RSP: resistência do solo a penetração; DS: densidade do solo; CO: carbono orgânico; EC: estoque de carbono; COp: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; L: labilidade; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: saturação por bases; m%: saturação por alumínio.

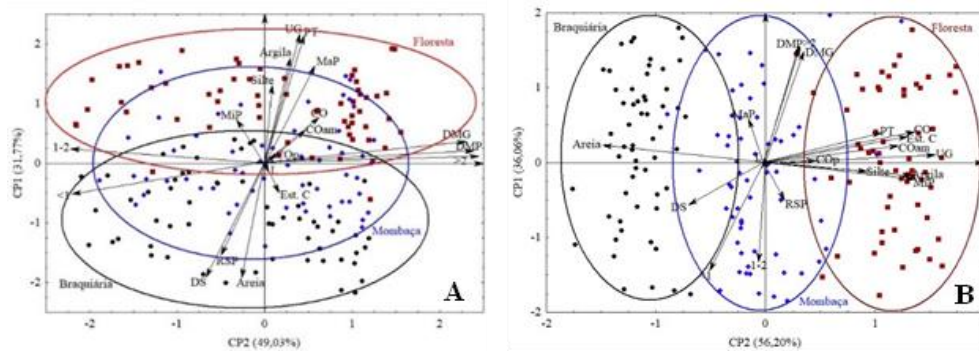


Figura 2. Análises de componentes principais dos atributos físicos do solo nas camadas de 0,00-0,10, 0,10- 20 m, nas áreas de Braquiária, Mombaça e floresta.

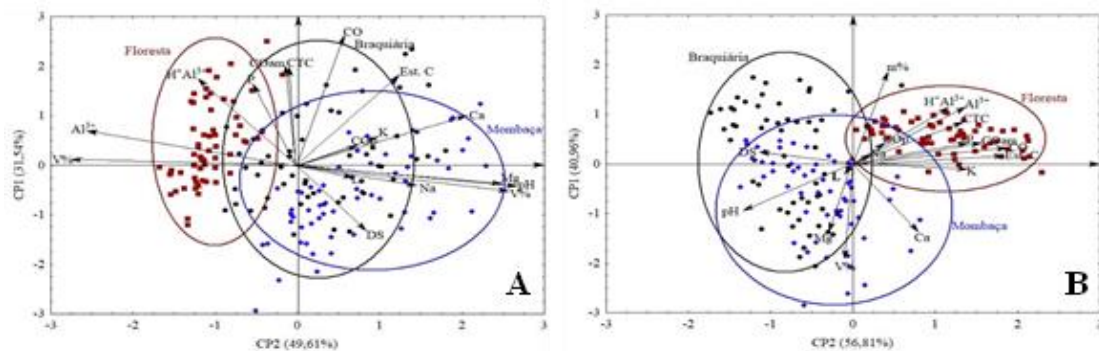


Figura 3. Análises de componentes principais dos atributos químicos do solo nas camadas de A=0-10 m, B=0,10- 0,20 m, nas áreas de Braquiária, Mombaça e Floresta.

Enquanto para os atributos químicos (pH, Al^{3+} , $H+Al$, Ca, Mg, K, Na, CTC, V%, P, DS, CO, EC, COp, COam, L) nas camadas 0,00-0,10 m os valores da CP1 e CP2 de 31,54 e 46,61%, para a camada 0,10-0,20 m utilizando os mesmos atributos CP1 e CP2 foram de 40,96 e 56,91%, mostrando valores negativos para Al^{3+} , $H+Al$, CTC, COam). No entanto os outros atributos mostraram valores negativos, mostrando que esses atributos com os mesmos sinais positivos se correlacionam diretamente, por outro lado os sinais negativos estão correlacionados inversamente.

A análise fatorial apresentou resultados satisfatórios para as camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m com KMO maior que 0,8 para as variáveis nas três áreas avaliadas braquiária, floresta e mombaça, mostrando adequação à construção dos Componentes Principais (CPs), que possibilitou reduzir as variáveis originais em dois fatores (Figura 2 e 3). Pode-se observar que nas duas camadas para as áreas de pastagens e floresta, estas diferiram estatisticamente entre elas. De acordo com Zenero et al. (2016) as práticas de manejo como limpeza através da queima do material vegetal, e adição de carbono através das cinzas, há um aumento no valor de elemento como pH.

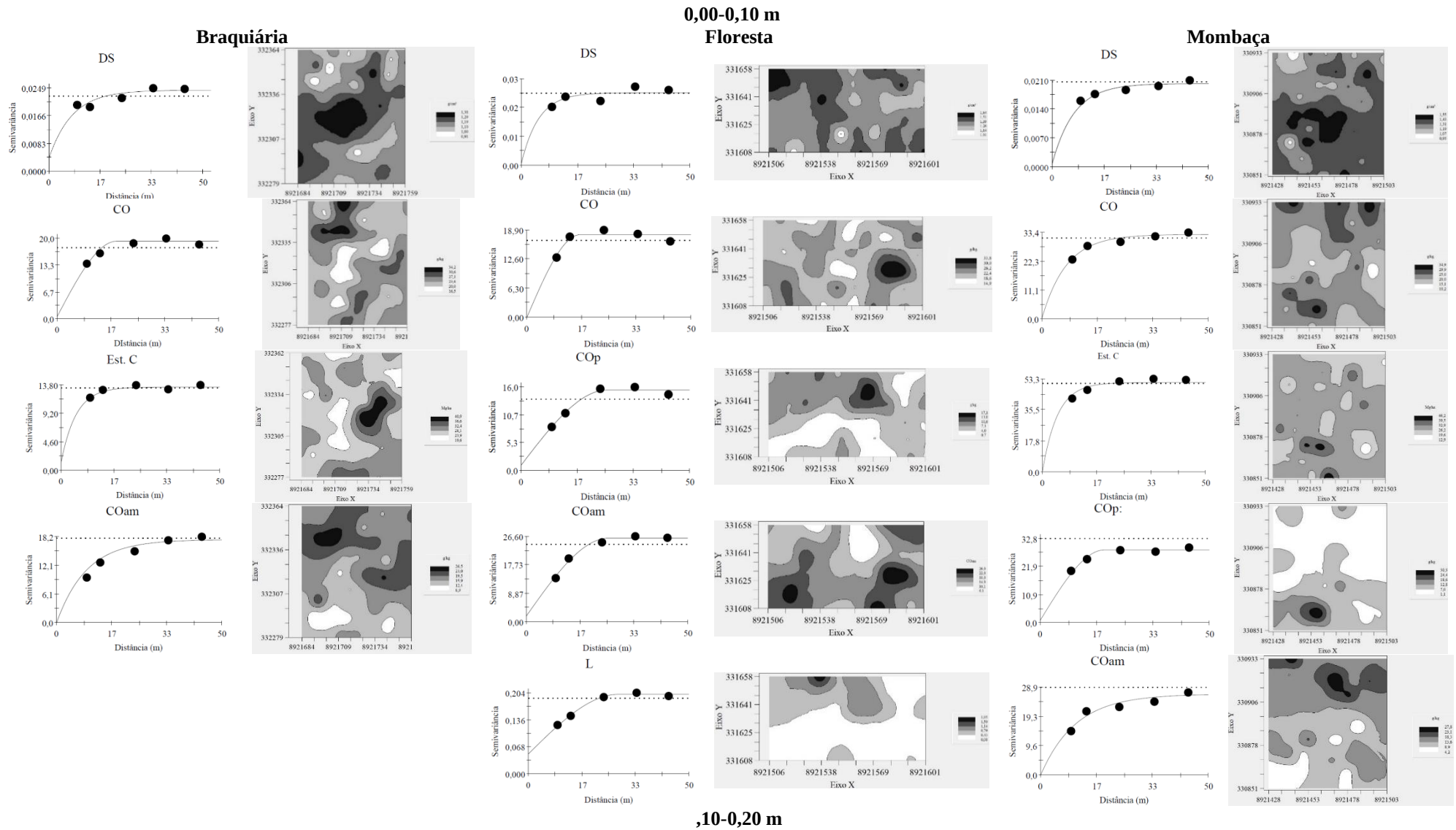
Análise geoestatística

Na tabela 5 e semivariogramas da figura 4, é possível verificar que os modelos que mais se adequaram aos gráficos foram o exponencial e o esférico, esses mostrando um comportamento linear na origem e alcança um patamar C_0+C_1 assintoticamente, bem como, um comportamento linear próximo da origem que representa fenômenos contínuos, respectivamente (Carvalho et al., 2002). Houve também a presença do ajuste ao modelo linear, que diz respeito a fenômenos heterogêneos, que, consequentemente, ocasionou efeito pepita puro no carbono orgânico particulado, no associado aos minerais e na labilidade, ou seja, com ausência total de correlação espacial desses atributos e logo uma variabilidade grande (Bertolani e Vieira 2001).

Tabela 5. Parâmetros geoestatísticos das variáveis relacionadas ao carbono em área de braquiária, floresta e mombaça.

Parâmetros	0,00-0,10 m						0,10-0,20 m					
	DS	CO	Est. C	COp	COam	L	DS	CO	Est. C	COp	COam	L
Braquiária												
Modelo	Exp.	Esf.	Exp.	Lin	Exp.	Lin	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.	Lin	Esf.
C ₀	0,00391	0,70046	1,33	---	0,01	---	0,00053	0,27	0,022	0,001	---	0,00004
C ₀ +C ₁	0,02432	19,35062	13,44826	---	17,56671	---	0,009	7,86693	0,08285	5,39511	---	0,01354
a (m)	7,50	18,40	4,70	---	9,00	---	20,60	18,40	18,32	34,00	---	15,60
r ²	0,754	0,921	0,866	---	0,972	---	0,981	0,995	0,864	0,890	---	0,917
VC	0,829	0,806	0,789	---	0,824	---	0,869	0,916	0,957	0,911	---	0,759
GDE (%)	16,08	3,62	9,90	EPP	0,05	EPP	5,88	3,43	26,82	0,01	EPP	0,31
Floresta												
Modelo	Exp.	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.	Esf.	Exp.	Exp.	Lin	Esf.	Esf.
C ₀	0,0009	0,01	1,59	1,12	1,99	0,0511	0,00001	0,69933	0,0095	---	0,7589	0,0001
C ₀ +C ₁	0,02515	17,85	24,496	15,440	26,01	0,2002	0,01022	4,51633	0,0677	---	6,959	0,2902
a (m)	5,12	16,20	14,30	25,50	25,40	28,00	20,40	7,99	8,30	---	28,02	24,80
r ²	0,760	0,837	0,817	0,973	0,979	0,992	0,914	0,959	0,921	---	0,978	0,974
VC	0,755	0,752	0,758	0,922	0,799	0,801	0,788	0,897	0,902	---	0,921	0,855
GDE (%)	3,57	0,05	6,49	7,25	7,65	25,52	0,09	15,48	14,03	EPP	10,90	0,03
Mombaça												
Modelo	Exp.	Exp.	Exp.	Esf.	Exp.	Lin	Esf.	Esf.	Lin	Lin	Lin	Lin
C ₀	0,00073	0,60046	0,70887	1,1487	0,010	---	0,0003	0,01	---	---	---	---
C ₀ +C ₁	0,02017	32,61	51,17263	28,50	26,62873	---	0,0099	11,53	---	---	---	---
a (m)	7,00	7,32	4,61	19,05	10,40	---	17,00	18,65	---	---	---	---
r ²	0,871	0,945	0,963	0,958	0,911	---	0,983	0,994	---	---	---	---
VC	0,859	0,902	0,811	0,899	0,781	---	0,752	0,752	---	---	---	---
GDE (%)	3,62	1,84	1,37	4,03	0,05	EPP	3,03	0,09	EPP	EPP	EPP	EPP

DS: densidade do solo; CO: carbono orgânico; Est. C: estoque de carbono; COp: carbono orgânico particulado; COam: carbono orgânico associado aos minerais; L: labilidade; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: saturação por bases; m%: saturação por alumínio; Exp.: exponencial; Esf.: esférico; EPP: efeito pepita puro; C₀: efeito pepita; C₀+C₁: patamar; a: alcance; VC: validação cruzada; GDE%: grau de dependência espacial.



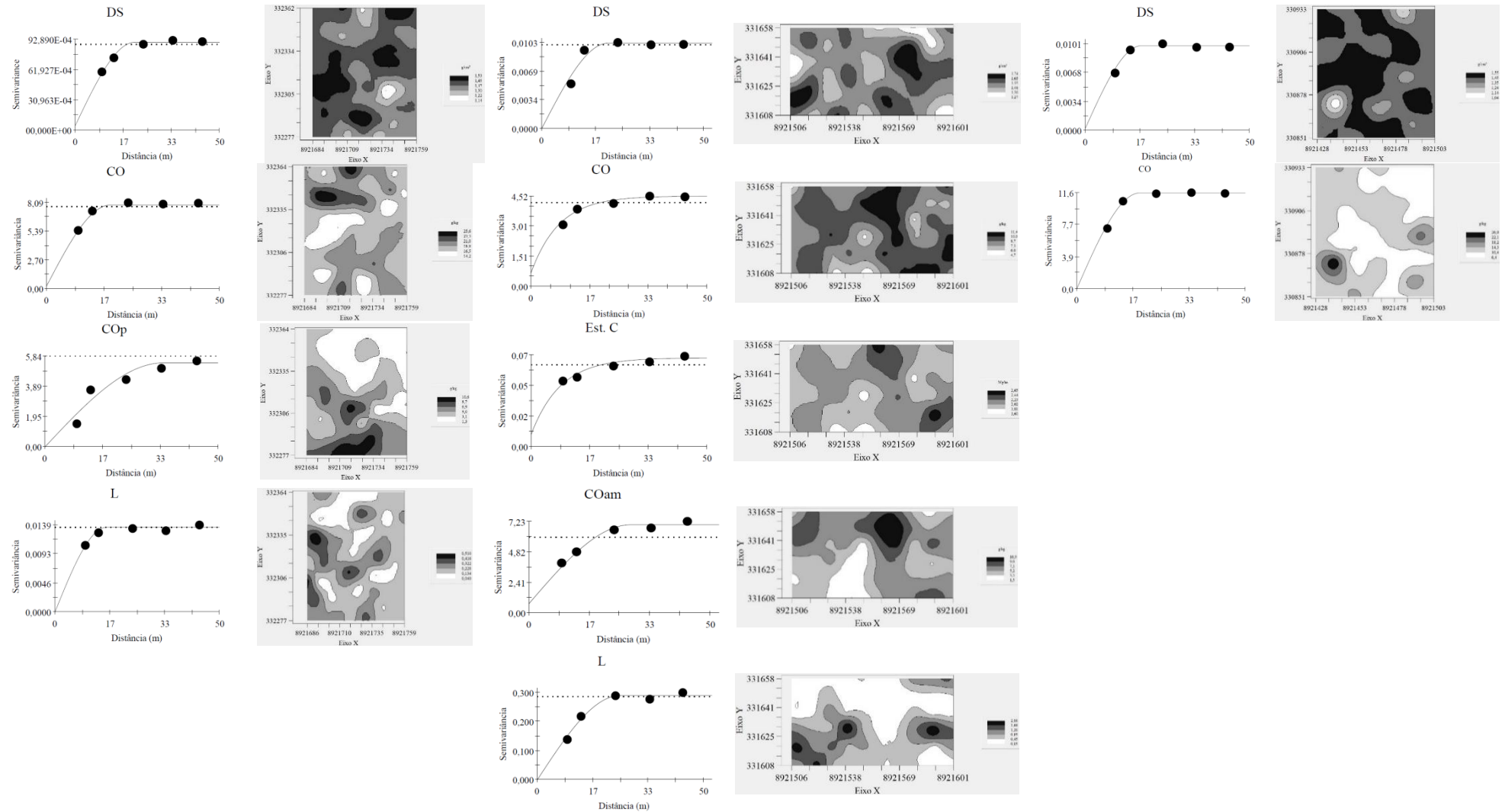


Figura 4. Semivariogramas e mapas de krigagem (2D) das variáveis de carbono em área de braquiária, floresta e Mombaça.

Com relação ao coeficiente de determinação (r^2) e a validação cruzada, nos casos em que não foram diagnosticados com efeito pepita puro (EPP), os mesmos ficaram acima de 0,75, mostrando uma confiabilidade de dados maior que 75%, esses valores quanto mais próximos a 1 ou 100% são ótimos, pois vai influenciar diretamente no melhor desempenho dos valores da krigagem (Wanderley et al., 2013). Valores maiores que os encontrados no estudo de Soares et al. (2018), avaliando dentre outros atributos, o carbono orgânico e o estoque de carbono em área de pastagens em uso no sul da amazônica ocidental.

O alcance (a) representa distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (Silviano et al., 1998), na análise dos atributos do solo a mesma irá aferir a respeito da variabilidade espacial (Grego e Vieira, 2005). Foi possível verificar que a área de floresta teve os maiores alcances e a mombaça os menores, configurando uma maior variabilidade na área de mombaça e maior homogeneidade na variabilidade espacial na área de floresta.

Em comparação entre os estudos de Soares et al. (2018) e Novais Filho et al. (2015) que trabalharam com carbono em área de pastagem e floresta, respectivamente, na Amazônia, tiveram resultados semelhantes, onde a área de floresta tem um alcance maior, isso porque a floresta em si, trata-se de um ambiente natural em equilíbrio (Huguchi et al., 2004). Se tratando da Amazônia, a mesma possui vegetação adensada o que garante uma distribuição uniforme de material vegetal que irá gerar o carbono do solo e suas frações (Silva et al., 2007), associados, também, as condições de relevo mais plano da área, em relação as áreas de braquiárias e mombaça (Galvão et al., 2005).

Enfim, o grau de dependência espacial pode ser medido e classificado de acordo com a métrica de Cambardella et al. (1994), onde quando o GDE% for menor que 25 significa dependência espacial forte, índice entre 25 e 75% caracterizam dependência espacial moderada e valores maiores que 75% indica dependência espacial fraca. Com exceção dos atributos que apresentam EPP, em sua maioria foram classificadas em grau de dependência forte, sendo a área de floresta com os maiores valores seguidas pela área de braquiária e por último a mombaça, ou seja, pode inferir que a dinâmica da distribuição e do comportamento dos atributos está mais fortemente relacionada ao espaço ou local, e, se tratando de manejo, no caso a pastagem (Araújo et al., 2011), comprovado pelo padrão distinto de distribuição dos atributos

(Figura 4 – krigagem) nas áreas de pastagem comparando com área de floresta e semelhante quando comparado nas áreas de pastagens.

Comparando as krigagens da densidade e estoque de carbono com medida para avaliar os impactos nos compartimentos de carbono, pode-se verificar um aumento da densidade e um aumento acentuado dos estoques de carbono, notável na tabela de média e comprovado na krigagem, comprovando que o manejo das pastagens aumenta a estocagem de carbono no solo, outros estudos com pastagens evidenciaram isso como os de Cano e Villanueva (2013) e Cardoso et al. (2010).

Conclusões

A área de braquiária apresentou com variáveis significativamente mais próximas da área de floresta, embora menores IMC superficialmente, não há perda, mas sim melanização em camada, se configurando, consequentemente, a menos impactante às condições naturais do solo.

Superficialmente (0-10 cm) no solo o manejo de pastagem com braquiária induz a uma elevação no estoque de carbono, CO_{am}, CO_p e outros atributos químicos, incluindo a CTC, evidenciada pela multivariada

A geoestatística mostrou que a substituição da área de floresta para área de manejo com pastagem ocasiona modificações na dinâmica e comportamento das variáveis de carbono do solo.

A maior variabilidade espacial das variáveis de carbono foi na área de pastagem com mombaça, sendo isso atribuído ao seu manejo.

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711–728.
- Amundson, R., Berhe, A.A., Hopmans, J.W., Olson, C., 2015. Soil and Human Security in the 21st century.
- Aquino, R.E., Campos, M.C.C., Marques Júnior, J., Oliveira, I.A., Mantovanelli, B.C., Soares, M. D.R., 2014. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em latossolo sob floresta nativa e pastagem na Região de Manicoré, Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 397-406.
- Aragão, D.V.D., Carvalho, C.J.R.D., Kato, O.R., Araújo, C.M.D., Santos, M.T.P.D., Mourão Júnior, M., 2012. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de

- recuperação do solo no Nordeste Paraense. *Acta amazônica*, 42, 11-18.
- Araújo, E.A.D., Ker, J.C., Mendonça, E.D.S., Silva, I.R.D., Oliveira, E.K., 2011. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta amazônica*, 41, 103-114.
- Assunção, S.A., 2016. Efeitos nas frações da matéria orgânica do solo pela aplicação de N-fertilizante em cana crua com deposição da palhada. 58 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.
- Bertolani, F.C., Vieira, S.R., 2011. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 987-995.
- Blair, G.J., Lefroy, R.D.B., Lisle, L., 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46, 1459-1466.
- Burak, D., 2010. Modelagem Matemática sob um olhar de Educação Matemática e suas implicações para a construção do conhecimento matemático em sala de aula. *Modelagem na Educação Matemática*, 1, 10-27.
- Cano, R.M.Y., Villanueva, M.C., 2013. Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria*, 4, 313-319.
- Cardoso, E.L., Silva, M.L.N., Silva, C.A., Curi, N., Freitas, D.A.F.D., 2010. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 45, 1028-1035.
- Carvalho, J.R.P.D., Silveira, P.M.D., Vieira, S.R., 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37, 1151-1159.
- Conceição, P.C., Amado, T.J.C., Mielniczuk, J., Spagnollo, E., 2005. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos correlacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 777-788.
- Costa Júnior, C., Píccolo, M.D.C., Siqueira Neto, M., Camargo, P.B.D., Cerri, C.C., Bernoux, M., 2012. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 1311-1322.
- Cox, P.M.R.A., Betts, C.D., Jones, S.A., 2000. Spall, and I. J. Totterdell, Acceleration of global warming due to carbon cycle feedbacks in a coupled climate model, *Nature*, 408, 184-187.
- Embrapa., 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 4.ed. revisada e ampliada. Brasília, p. 353.
- Friedlingstein, P., Cox, P., Betts, R., Boop, L., Von Bloh, W., Brovkin, V., Cadule, P., Doney, S., Eby, M., Fung, I., Bala, G., John, J., Jones, C., Joos, F., Kato, T., Kawamiya, M., Knorr, W., Lindsay, K., Matthews, H.D., Raddatz, T., Rayner, P., Reick, C., Roeckner, E., Schnitzle, K.G., Schnur, R., Strassmann, K., Weaver, A.J., Yoshikawa, C., Zeng, N., 2006. Climatecarbon cycle feedback analysis: Results from the (CMIP)-M-4 model intercomparison. *Journal of Climate*, 19, 3337-3353.
- Galvão, S.R.D.S., Salcedo, I.H., Santos, A.C.D., 2005. Frações de carbono e nitrogênio em função da textura, do relevo e do uso do solo na microbacia do agreste em Vaca Brava (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 955-962.
- Grego, C.R., Vieira, S.R., 2005. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 169-177.
- Guareschi, R.F., Pereira, M.G., Perin, A., 2013. Oxidizable carbono fractions in Red Latosol under different management systems. *Revista de Ciência Agronômica*, 44, 242-250.
- Hickmann, C., Costa, L.M., 2012. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, 1055-1061.
- Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest ecology and management*, 220, 242-258.
- Longo, M., Keller, M., Santos, M.N., Leitold, V., Pinagé, E.R., Baccini, A., Saatchi, S., Nogueira, E.M., Batistella, M., Morton, D.C., 2016. Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. *Global Biogeochemical Cycles*, 30, 1639-1660.
- Matias, S.S., Correia, M.A., Camargo, L.A., Farias, M.T., Centurion, J.F., Nóbrega, J.C., 2012. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7, 414-420.

- Oliveira, I.A.D., Campos, M.C.C., Marques Junior, J., Aquino, R.E.D., Teixeira, D.D.B., Silva, D.M.P.D., 2015. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil chemical properties in Southern Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 31-39.
- Rangel, O.J.P., Silva, C.A., Guimarães, P.T.G., Guilherme, L.R.G., 2008. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com café em diferentes espaçamentos de plantio. *Ciência e Agrotecnologia*, 32, 429-437.
- Reis, E., 2001. *Estatística Multivariada Aplicada*. 2ª ed. Edições Sílabo: Lisboa.
- Robertson, G.P., 2004. *GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 152 p.
- Rossi, C.Q., Pereira, M.G., Giacomio, S.G., Betta, M., Polidoro, J.C., 2012a. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. *Revista Ciência Agronômica*, 43, 38-46.
- Rossi, C.Q., Pereira, M.G., Giacomio, S.G., Betta, M., Polidoro, J.C., 2012b. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 7, 233-241.
- Salviano, A.A.C., Vieira, S.R., Sparovek, G., 1998. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22, 115-122.
- Santos, F.A.S., Pierangeli, M.A.P., Silva, F.L., Serafim, M.E., Sousa, J.B., Oliveira, E.B., 2017. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. *Scientia Agraria*, 18, 43-53.
- Schaefer, C.E.G.R., Lima, H.N., Teixeira, W.G., Vale Jr, J.R., Souza, K.W., Corrêia, G.R., Mendonça, B.A.F., Amaral, E.F., Campos, M.C.C., Ruivo, M.L.P., 2017. *Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Schaller, F.W., Stockinger, K.R., 1953. A comparison of hve methods for expressing aggregation data. *Soil Science Society of America*. 17, 310-313.
- Scharrón, C.E.R., Sánchez, Y.F., 2017. Efeitos de parcelas, fazendas e bacias hidrográficas do cultivo de café na produção de escoamento e sedimentos no oeste de Porto Rico. *Journal of Environmental Management*, 202, 126-136.
- Selva, E.C.E.G., Couto, M.S., Johnson, J., 2007. Lehmann, Litterfall production and fluvial export in headwater catchments of the southern Amazon, *Journal Tropical Ecology*, 23, 329 - 335.
- Silva Neto, E.C.D., Pereira, M.G., Frade Junior, E.F., Silva, S.B.D., Carvalho Junior, J.A.D., Santos, J.C.D., 2019. Temporal evaluation of soil chemical attributes after slash-and-burn agriculture in the Western Brazilian Amazon. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41, e42609.
- Silva, C.J.D., Sanches, L., Bleich, M.E., Lobo, F.D.A., Nogueira, J.D.S., 2007. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de transição Amazônia-Cerrado do centro-oeste brasileiro. *Acta Amazonica*, 37, 543-548.
- Silva, E.F., Lourentes, E.P.R., Marchetti, M.E., Mercante, F.M., Ferreira, A.K.T., Fujii, G.C., 2011. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 1321-1331.
- Silva, F.S.F., Ferreira, V.C., Catter, K.M., Viana, A.P.Q., Mendonça, K.V., Sousa, O.V., Fernandes Vieira, R.H., 2017. Produção de biossurfactantes por cepas bacterianas de origem marinha utilizando querosene como fonte de carbono. *Revista de Ciências Ambientais*, 11, 7-18.
- Silva, I.R., Mendonça, E.S., 2007. Matéria Orgânica do Solo. Coord. In: Novais, R.F., Alvarez, V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L., Editores. *Fertilidade do Solo - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa- MG, p. 1017.
- Silva, R.G.C., 2014. A regionalização do agronegócio da soja em Rondônia. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, 18, 298-312.
- Silviano, A.A.C., Vieira, S.R., Sparovek, G., 1998. Variabilidade espacial de atributos de solo e *Crotalaria juncea* L. em áreas severamente erodidas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22, 115-122.
- Soares, M.D.R., Campos, M.C.C., Cunha, J.M.D., Souza, Z.M.D., Oliveira, I.A.D., Aquino, R.E.D., Oliveira, L.S., 2018. Variabilidade espacial do estoque de carbono e atributos físicos do solo em terra preta arqueológica sob pastagem. *Revista Ambiente & Água*, 13, 1-13.
- Souza, F.G.D., Campos, M.C.C., Pinheiro, E.N., Lima, A.F.L.D., Brito Filho, E.G.D., Cunha, J.M.D., Brito, W.B.M., 2020. Aggregate stability and carbon stocks in Forest conversion to different cropping systems in Southern Amazonas, Brazil. *Carbon Management*, 11, 81-96.

- Souza, H.A.D., Marcelo, A.V., Centurion, J.F., 2012. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, 43, 658-663.
- STATSOFT Inc 7.0., 2004. *Statistica* (data analysis software system). USA.
- Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. *Manual de métodos de análise de solo*. 3.ed. revista e atualizada. Embrapa, Brasília. p. 573.
- Wanderley, H.S., Amorim, R.F.C., Carvalho, F.O., 2013. Interpolação espacial da precipitação no Estado de Alagoas utilizando técnicas geoestatística. *Campo Digital*, 8, 1-12.
- Zenero, M.D.O., Silva, L.F.S.D., Castilho, S.C.D.P., Vidal, A., Grimaldi, M., Cooper, M., 2016. Characterization and classification of soils under forest and pasture in an agroextractivist project in Eastern Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, 1-17.
- Zinn, Y.L., Lal, R., Resck, D.V.S., 2005. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, 127, 168-173.