

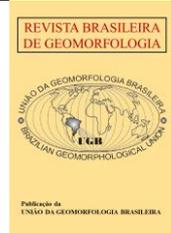


<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 23, n° 3 (2022)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i3.1909>



Artigo de Pesquisa

Influência do relevo na distribuição espacial da textura e fertilidade do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica em Novo Aripuanã, AM

Influence of relief on the texture and soil fertility spatial distribution in an Indian Black Earth in Novo Aripuanã, AM

Alan Ferreira Leite de Lima¹, José Maurício da Cunha², Milton César Costa Campos³, Thalita Silva Martins², Wildson Benedito Mendes Brito¹, Elilson Gomes de Brito Filho³

¹ Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciência Agrárias, Manaus, Brasil. ala_leite@hotmail.com; wild.brito@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7959-8778>; <https://orcid.org/0000-0002-4267-5992>

² Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Brasil.

maujmc@gmail.com; thalitasilva_pvh@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4057-1708>; <https://orcid.org/0000-0001-6662-6637>

³ Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, Brasil. mcesarsolos@gmail.com; bfsambiente@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4267-5992>; <https://orcid.org/0000-0001-7959-8778>

Recebido: 18/04/2020; Aceito: 09/05/2022; Publicado: 01/07/2022

Resumo: As terras pretas arqueológicas estão presentes em toda região amazônica, são solos férteis, que possuem textura variando de arenosa a argilosa. Um dos fatores de formação que influenciam na variabilidade espacial da fertilidade e textura desses solos é o relevo, através dos processos de remoção e adição de partículas e nutrientes. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do relevo na distribuição espacial da textura e fertilidade do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica (TPA) em Novo Aripuanã, AM. Em campo, foram coletadas amostras de solo em área de floresta, nas posições da encosta: terço superior, médio e inferior. Em laboratório, foram realizadas as análises químicas e texturais das amostras, posteriormente foram feitas as análises estatísticas uni e multivariada e também a análise geoestatística. Constatou-se que o relevo influenciou na variabilidade espacial dos atributos Ca^{2+} , Mg^{2+} , carbono orgânico, silte e argila e que o processo de lixiviação causada pela topografia não influenciou os teores de carbono orgânico e o fósforo disponível no solo. Esses resultados possibilitam estabelecimento de zonas de manejo tornando o solo mais adequado e sustentável à agricultura e desenvolvimento florestal.

Palavras-chave: floresta amazônica; posições da encosta; solo antropogênico; zonas de manejo

Abstract: The Archaeological Black Earths are present throughout the Amazon region, they are fertile soils, which have a texture ranging from sandy to clayey. One of the formation factors that influence the spatial variability of the fertility and texture of these soils is the relief, through the processes of removal and addition of particles and nutrients. Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of relief on the spatial distribution of texture and soil fertility in an area of Archaeological Black Earth (IBE) in Novo Aripuanã, AM. In the field, soil samples were collected in a forest area, in the relief positions, upper, middle and lower thirds. In the laboratory, chemical and textural analyzes of the samples were carried out, then uni and multivariate statistical analyzes were carried out, as well as geostatistical analyze. We found that the relief

influenced the spatial variability of the attributes Ca^{2+} , Mg^{2+} , organic carbon, silt and clay and that the leaching process caused by the topography did not influence the organic carbon contents and phosphorus available in the soil. These results enable the establishment of management zones making the soil more suitable and sustainable for agriculture and forest development.

Keywords: Amazonian forest; slope positions; anthropogenic soil; management zones.

1. Introdução

Estudos têm mostrado que as Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) possuem textura variando de arenosa a argilosa, fertilidade elevada com altos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, P disponível, carbono orgânico e pH em água (variando de 4,0 à 5,5), mantendo sua fertilidade mesmo após anos de cultivo (SANTOS et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015b; CAMPOS et al., 2012; KERN et al., 2017). Apesar disso, é importante desenvolver estudos que avaliem a perda de nutrientes nesses solos, visando compreender quais nutrientes são mais sensíveis a perdas e, com isso, propor estratégias de manejo.

A dependência espacial dos atributos do solo é influenciada pelos fatores de formação e sistema de manejo empregado, sendo eles clima, tempo, organismos, material de origem e o relevo (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). Sabe-se que o relevo, como fator de formação, induz variabilidade nos atributos do solo levando à perda de nutrientes por erosão hídrica (LYBRAND E RASMUSSEN, 2018), bem como é responsável por variações no nível do lençol freático e intensidade dos processos de remoção e deposição de sedimentos (CHAGAS et al., 2013). Consequentemente, ocorrem alterações no padrão espacial das propriedades físicas e químicas do solo, dependendo da posição no relevo (MEIRELES et al., 2012). O declive potencializa o deslocamento de nutrientes e partículas de solo, que são conduzidos pelo deflúvio encosta abaixo resultando em maior estratificação da fertilidade (VALTERA et al., 2015).

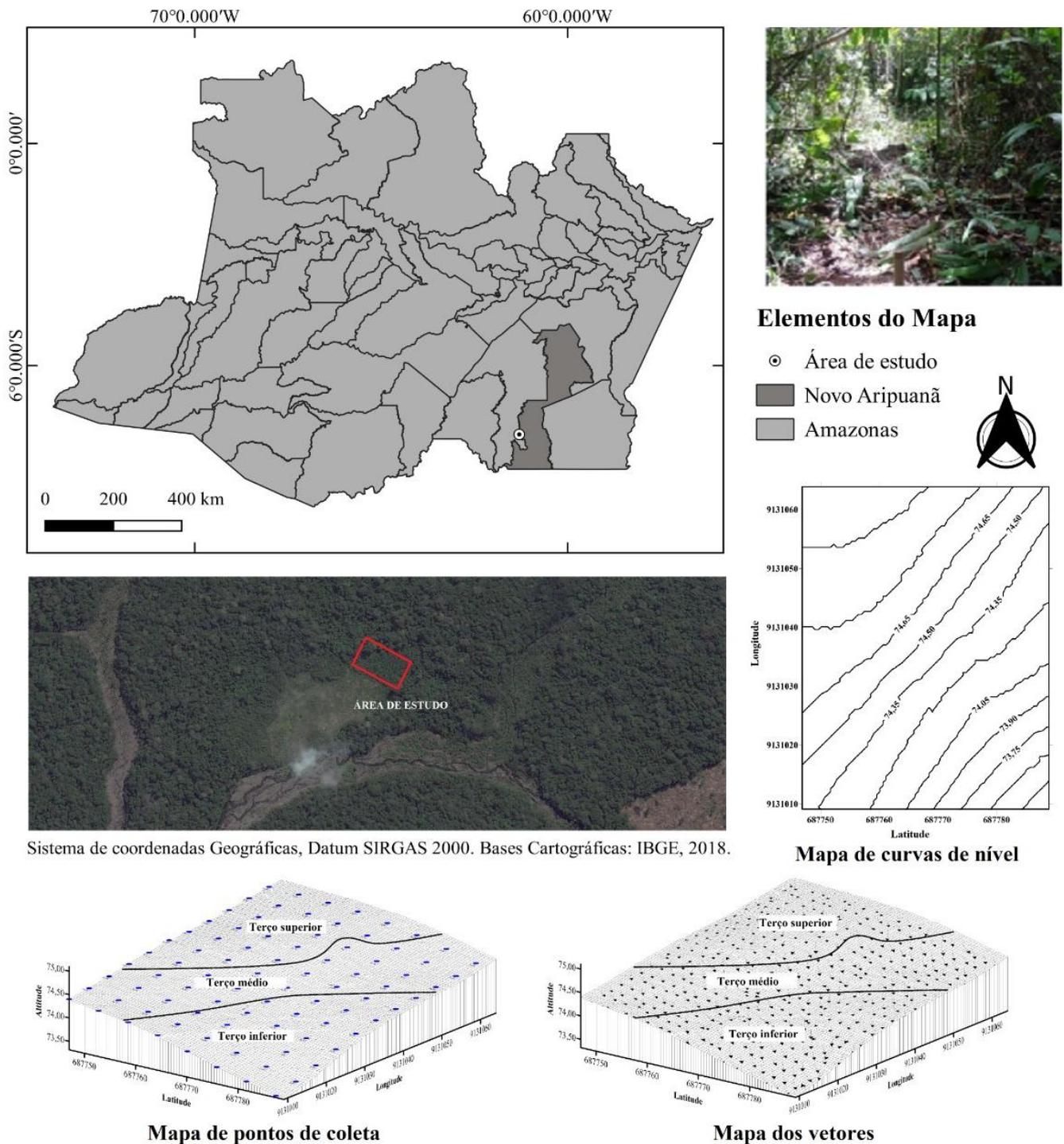
Os estudos que avaliam o efeito do relevo nos atributos do solo consistem em dividir o ambiente em diferentes formas em função da posição das encostas e das pedoformas. Estudos avaliando posições das encostas consistem em dividir as áreas em terço superior, médio e inferior. Já estudos avaliando as pedoformas consistem em dividir o relevo em compartimentos convexos, lineares a côncavos (SILVA et al., 2018). Dentre os estudos avaliando as pedoformas pode-se citar, dentre outros, os desenvolvidos por Souza et al. (2006a), Sanchez et al. (2009) e Santos et al. (2016). Por outro lado, dentre os estudos avaliando as posições das encostas, destaca-se os conduzidos por Pinheiro Junior et al. (2018) e Castione et al. (2015). Além destes, existem estudos que avaliaram as influências do relevo utilizando-se mapas de krigagem, podendo aferir sobre a variabilidade espacial dos atributos de solos, e indicar regiões onde ocorrem perdas e acúmulos de nutrientes e partículas de solo (SOUZA et al., 2006b; CAMPOS et al., 2010c; BRANCO et al., 2013).

Assim, estudar o comportamento dos solos, considerando os diferentes segmentos das encostas, é uma boa maneira de entender a sua distribuição espacial, pois permite compreender os processos que envolvem o movimento e armazenamento de água dentro do perfil do solo e, ainda, sua relação com o transporte e a deposição de sedimentos, de maneira a provocar variabilidade espacial nos seus atributos (CAMPOS et al., 2010a). Por outro lado, apesar de muitos fatores causarem variação nos atributos do solo, os aspectos topográficos são os mais importantes indicadores da variação das propriedades do solo a nível local (CAMPOS et al., 2010b).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do relevo na distribuição espacial da textura e fertilidade do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica em Novo Aripuanã, AM.

2. Área de Estudo

O estudo foi realizado no sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade de Santo Antônio de Matupi, às margens da BR 230, Rodovia Transamazônica, município de Novo Aripuanã - AM, sob as coordenadas geográficas 7° 51' 27" S, 61° 17' 49" W (Figura 1).



Sistema de coordenadas Geográficas, Datum SIRGAS 2000. Bases Cartográficas: IBGE, 2018.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo com as descrições gerais do terreno.

A zona climática da região, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) do tipo climático Am (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração, com precipitação média anual de 2.500 mm, e com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho. As médias anuais de temperatura variam de 25° C a 27° C, e a umidade relativa do ar varia de 85 a 90% (BRASIL, 1978).

A região apresenta configuração do relevo marcada pela presença de platôs nas partes mais elevadas, e por planície nas partes mais baixas, que tem como principais características a presença de uma superfície pediplanada, localmente interrompida por colinas de topo plano (CPRM, 2001). O relevo local é caracterizado como suave ondulado, possuindo declividade média de 2,2 %, forma de encosta retilínea, comprimento de 73 m e apresenta uma superfície pediplano. O solo da área de estudo é classificado como LATOSSOLO AMARELO Eutrófico argissólico, seu material de origem é arenito que dá origem a solos mais arenosos, com alguns locais com presença de uma camada de argila oriunda do período Terciário. A vegetação característica desta região é a Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura (CUNHA, 2016).

3. Material e Métodos

3.1. Metodologia de campo

Em campo, foi selecionada uma área de floresta sob uma Terra Preta Arqueológica (TPA), tendo como critério para essa escolha a vegetação, o tipo de solo, o relevo e a declividade. Nessa área foi delimitada por uma malha amostral que abrangeu da parte mais alta até a parte baixa do terreno, seguindo o padrão do relevo. A malha foi elaborada com espaçamentos regulares de 6 x 6 m, nas dimensões de 60 x 42 m e área de 2.520 m², totalizando 88 pontos de coleta. Nos pontos foram coletados blocos de solos na camada de 0,0-0,20 m, com estrutura preservada em forma de torrão.

Os pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS Garmin Etrex (South American 69) com precisão <15 m, 95% típica, para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE). Para uma melhor representação do relevo, foi realizado o levantamento de campo, utilizando o altímetro com auxílio da mira e do nível de precisão.

Dentro da malha de estudo foram divididas as posições da encosta em terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI), de acordo com o comportamento da declividade do terreno. No mapa foi identificado o sentido do fluxo e posição de acúmulo de água através de setas (Figura 1).

3.2. Análise de laboratório

Após o solo ter passado por processo de secagem a sombra e ser peneirado numa malha de 2 mm, caracterizando uma Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), foram realizadas as análises químicas e textural segundo a metodologia proposta pela Embrapa (2011).

O pH em água foi determinado potenciométricamente utilizando-se água, em relações solo: solução 1:2,5. O cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e alumínio trocável (Al³⁺) foram extraídos por solução de KCl 1 mol L⁻¹, sendo os teores de Al³⁺ determinados por titulação com NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ determinados por espectrometria de absorção atômica.

A acidez potencial (H⁺+Al³⁺) foi extraída com acetato de cálcio tamponado a pH 7,00, e determinada por titulometria utilizando NaOH a 0,025 mol L⁻¹ e fenolftaleína como indicador. O potássio e o fósforo disponível foram extraídos por Mehlich-1. Os teores de P disponível foram determinados por espectrofotômetro-UV-vis e os teores de K⁺ por espectrofotometria de chama.

O carbono orgânico (CO) do solo foi oxidado pelo dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio sulfúrico formando gás carbônico e água. O dicromato de potássio que não foi utilizado na oxidação do carbono orgânico foi titulado com sulfato ferroso amoniacal ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$). Com base nas determinações dos cátions trocáveis e acidez potencial foram calculados: capacidade de troca de cátions (CTC) potencial e saturação por bases (V).

A análise de textura do solo foi determinada utilizando o método da pipeta, com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica, em aparato de alta rotação por 15 minutos. A areia foi separada por tamisação, a argila por sedimentação e o silte pela diferença.

3.3. Análises estatísticas

Após a determinação dos atributos químicos e textura do solo, os dados foram submetidos às análises univariada e multivariada, no software estatístico Statistica 7 (STATSOFT, 2004).

Para avaliar a estatística univariada foram calculados média, mediana, e coeficientes de variação, de assimetria e de curtose. As comparações das médias das variáveis para as posições do terreno estudado foram analisadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. A hipótese de normalidade dos dados das posições do terreno foi examinada pelo teste de Shapiro-Wilk (SW) a 5% de probabilidade.

Para a análise multivariada foi realizada uma análise fatorial dos componentes principais (ACP), a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam as posições dos relevos, e que são mais influenciados pelo mesmo, em área de floresta.

A adequabilidade da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Bartlett, ao qual se pretende 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 apresentaram comunalidades 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 fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais (FIGUEIREDO FILHO E SILVA JÚNIOR, 2010).

A geoestatística foi utilizada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos e textura do solo e dos fatores obtidos pela análise fatorial. Para se fazer a análise geoestatística, foi necessário saber se há dependência espacial ou não dos atributos estudados, o que foi verificado por meio do gráfico do semivariograma. Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, o semivariograma foi estimado por:

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

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 .

O ajuste dos semivariogramas foi feito com base no melhor coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC), estimados pelo Software GS+ 7.0 (Gamma Design Software, 2004). A partir desses ajustes, foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma: efeito pepita (C_0) = valor da semivariância para

a distância zero, que representa o componente da variação ao acaso; variância estrutural (C_1); patamar ($C_0 + C_1$) = valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; e alcance (a) = distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (Trangmar et al., 1985).

Para a análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, foi utilizado a classificação de Cambardella et al. (1994), em que as propriedades do solo são consideradas com dependência espacial forte se a razão do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar (C_0+C_1) for menor que 25%. Se a razão estiver entre 26 a 75%, a dependência espacial é considerada moderada, enquanto que, se o GDE for maior que 75% a aproximadamente 95%, os atributos classificam-se como dependência espacial fraca.

Os semivariogramas escalonados foram utilizados para determinar a variabilidade de todos os atributos em conjunto, reduzir as informações dos semivariogramas para as três posições na encosta e determinar o número mínimo de amostragem do solo para os atributos químicos em área de floresta sob TPA (CEDDIA et al., 2009). Os semivariogramas experimentais foram escalonados por meio da divisão das semivariâncias pela variância estatística (GUIMARÃES, 1993). A escolha do modelo de semivariograma escalonado foi realizada com base no menor resíduo gerado com o ajuste do modelo, além do conhecimento prático do comportamento dos atributos nos ambientes. Em seguida, foi calculado o número mínimo de amostras necessárias para a determinação de uma malha de amostragem, pela Equação 2.

$$N = \frac{A}{a^2/10.000} \quad (2)$$

em que:

N = é o número mínimo de amostras por hectare;

A = área total, em ha;

a = alcance do semivariograma, em m.

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis, foram feitas as interpolações dos dados, por meio da krigagem no software Surfer versão 13.0. A construção dos mapas de Krigagem possibilitou verificar e relacionar espacialmente os atributos químicos e da textura.

4. Resultados

A Tabela 1 mostra os valores médios e a estatística descritiva dos dados para as três posições da encosta. Observa-se que as variáveis se apresentam normais para todos os segmentos de vertente estudadas, confirmada ao avaliar a média e mediana próximas entre si, assimetria e curtose próximas de zero (WEBSTER, 2001) e a significância do teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SW) a 5 % de probabilidade, que variou de 0,94 a 0,95. De acordo com Leão et al. (2010), essa proximidade da média e mediana indica que há assimetria acentuada, isso é comprovado ao avaliar a assimetria e curtose dos dados, que apresentam valores variando de -1,18 a 1,09 para assimetria e -1,25 a 0,95 para curtose. Ainda assim, as variáveis P disponível, areia e silte não apresentaram proximidades entre a média e mediana, mas, apresentaram-se normais pelo teste de SW.

Os coeficientes de variação (CV) apresentaram valores entre 0,15 e 59,85%, sendo classificados como baixo e médio conforme estabelecido por Warrick e Nielsen (1980). As variáveis pH em água e Ca^{2+} no terço inferior, CTC no terço médio e inferior, V% no terço superior e inferior, areia e silte no terço superior e argila apresentaram CV baixo e as demais variáveis nas diferentes posições apresentaram CV médio (Tabela 1).

Ao avaliar se há diferença entre as posições da encosta, observou-se diferença estatística a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey para o pH em água, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CTC, P disponível, CO, areia, silte e argila. Entretanto, H⁺+Al³⁺ e Al³⁺ não apresentaram diferença significativa. O terço superior apresentou os maiores valores de K⁺ (0,04 cmol_c kg⁻¹) e CO (22,43 g kg⁻¹); o terço médio apresentou os maiores valores de pH em água (5,94) e areia (716,67 g kg⁻¹) e o terço inferior maiores teores de Ca²⁺ (6,75 cmol_c kg⁻¹), Mg²⁺ (1,24 cmol_c kg⁻¹), CTC (14,24 cmol_c kg⁻¹), V% (56,62 %), silte (209,43 g kg⁻¹) e argila (99,07 g kg⁻¹) (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos químicos e textura do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta em Novo Aripuanã, AM.

Estatística	pH	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V	P	CO	Areia	Silte	Argila
Descritiva	H ₂ O	cmol _c kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹			%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹		
Terço Superior													
Média	5,82ab	6,16a	0,15a	0,04a	5,66b	0,94b	12,80b	51,70b	32,35a	22,43a	709,60ab	200,72ab	89,68b
Mediana	5,80	6,27	0,13	0,04	5,73	1,00	12,69	53,01	33,14	23,22	703,97	204,38	89,13
² CV%	4,18	17,23	16,75	39,37	19,30	24,60	14,81	11,19	22,37	18,84	3,19	10,74	10,34
Assimetria	0,25	0,22	0,30	0,75	-0,54	-0,14	-0,12	-0,22	-0,22	-0,23	0,88	-0,95	0,44
Curtose	-0,66	-0,68	-0,06	-0,08	0,11	-0,04	-0,39	-0,19	-0,51	-0,38	0,11	0,39	-0,58
³ SW	0,98*	0,99*	0,98*	0,97*	0,98*	0,99*	0,99*	0,99*	0,99*	0,98*	0,96*	0,96*	0,98*
Terço Médio													
Média	5,94a	5,51a	0,15a	0,03b	5,94b	0,96b	12,63b	54,22ab	29,23a	21,48b	716,67a	188,77b	94,56ab
Mediana	5,91	5,45	0,17	0,03	5,81	0,97	12,28	54,42	29,34	20,90	719,43	181,63	94,30
² CV%	5,87	26,04	19,54	21,71	16,37	22,19	10,97	16,63	39,96	14,39	4,63	19,02	10,36
Assimetria	-0,52	-0,19	-0,08	0,62	-0,14	-0,20	0,34	-0,22	0,49	-0,13	-0,75	0,91	-0,04
Curtose	-0,01	-0,56	-0,65	0,61	1,00	0,52	-0,10	-0,08	-0,95	-1,25	0,04	0,38	0,04
³ SW	0,99*	0,99*	0,99*	0,98*	0,98*	0,99*	0,99*	0,99*	0,97*	0,98*	0,96*	0,96*	0,99*
Terço Inferior													
Média	5,66b	6,15a	0,17a	0,03b	6,75a	1,24a	14,24a	56,62a	22,06b	19,51c	691,50b	209,43a	99,07a
Mediana	5,66	6,19	0,17	0,03	6,75	1,22	14,29	56,22	17,76	19,16	689,50	209,83	96,10
² CV%	4,68	12,38	27,46	33,58	11,11	23,13	9,97	6,82	59,85	29,45	4,85	14,38	11,51
Assimetria	0,55	0,18	0,74	0,63	0,41	0,51	0,42	0,21	1,09	0,23	-0,10	0,47	-0,08
Curtose	0,10	-0,45	0,78	-0,50	0,10	0,36	-0,31	0,08	0,28	-0,84	-0,89	-0,33	0,07
³ SW	0,99*	0,99*	0,98*	0,98*	0,99*	0,99*	0,99*	0,99*	0,94*	0,99*	0,99*	0,99*	0,99*

¹Teste de comparação de média Tukey a 5 %, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si à 5% de probabilidade; ²CV: coeficiente de variação; ³SW: teste de normalidade Shapiro-Wilk, *significativo a 5% de probabilidade.

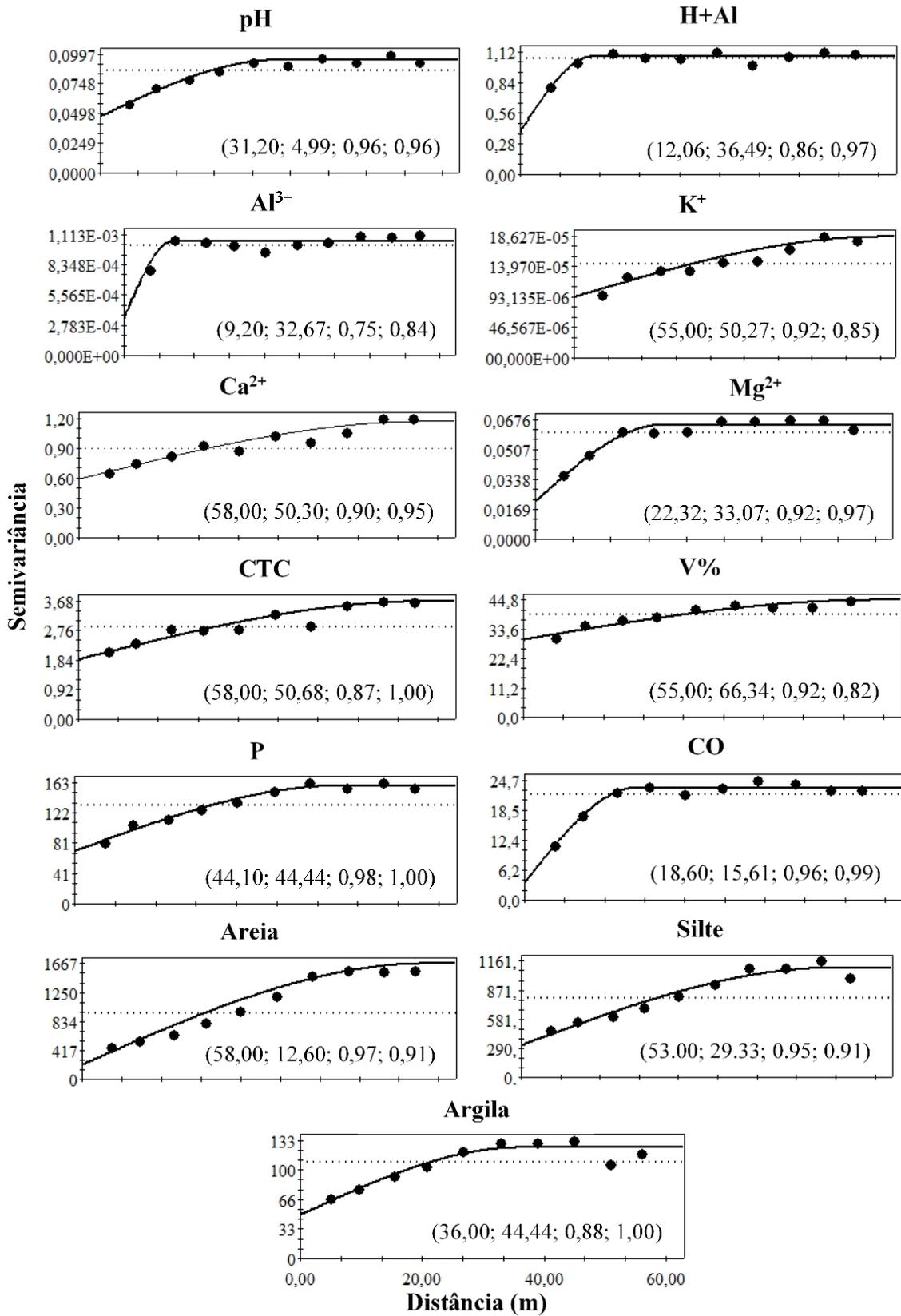


Figura 2. Semivariogramas da fertilidade e textura do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta, no município de Novo Aripuanã, AM. Parâmetros geoestatísticos em parênteses são respectivamente: alcance (m); grau de dependência espacial (GDE); coeficiente de determinação (R²) e validação cruzada (VC).

O estudo da variabilidade espacial foi realizado através dos semivariogramas. O modelo ajustado para todas as variáveis foi o esférico. O coeficiente de determinação (R^2) e validação cruzada (VC) variam de 0,75 a 0,98 e 0,82 a 1,00, respectivamente. O alcance variou de 9,20 a 58,00 m para as variáveis Ca^{2+} , CTC e areia que apresentaram os maiores valores (58,00 m) enquanto o Al^{3+} o menor valor (9,20 m). Segundo classificação de Cambardella et al. (1994), observa-se que o grau de dependência espacial (GDE) dos dados estudados apresentou classificação de forte (<25 %) para pH em água, CO e argila; e moderado (26 a 75 %) para $H^+ + Al^{3+}$, Al^{3+} , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , CTC, V%, P disponível, areia e silte (Figura 2).

Analisando o semivariograma escalonado, observa-se que a permanência do modelo esférico no seu ajuste, apresentando os melhores R^2 e VC, com valores de 0,81 e 0,90, respectivamente, com alcance de 35 m e um GDE moderado de 39,13% (Figura 3). Utilizando a equação 2, obteve-se o número mínimo de amostragem de duas (02) amostras por hectare, para a fertilidade e textura do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta.

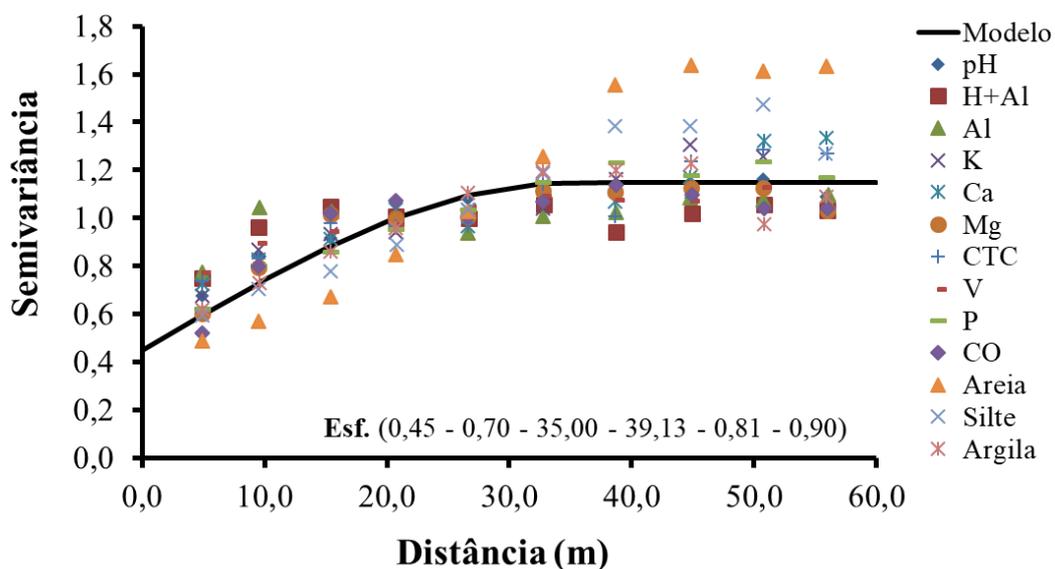


Figura 3. Semivariograma escalonado da fertilidade e textura do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta, no município de Novo Aripuanã, AM. Parâmetros geoestatísticos em parênteses são, respectivamente: efeito pepita (C_0); contribuição (C_1); alcance (m); grau de dependência espacial (GDE); coeficiente de determinação (R^2); e validação Cruzada (VC).

Os mapas de krigagem da fertilidade e textura do solo são apresentados na Figura 4 e 5, respectivamente. Estes mapas fornecem informações da distribuição espacial dos atributos estudados, permitindo identificar quais são mais influenciados pelo relevo. Assim, verifica-se que os atributos que mais obedecem à configuração do relevo são aqueles que tendem a se acumular ou lixiviar para as partes mais baixas, no terço inferior, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC, V%, CO, silte e argila, evidenciando que até mesmo a fertilidade e granulometria de áreas de floresta estão sujeitas à influência do relevo.

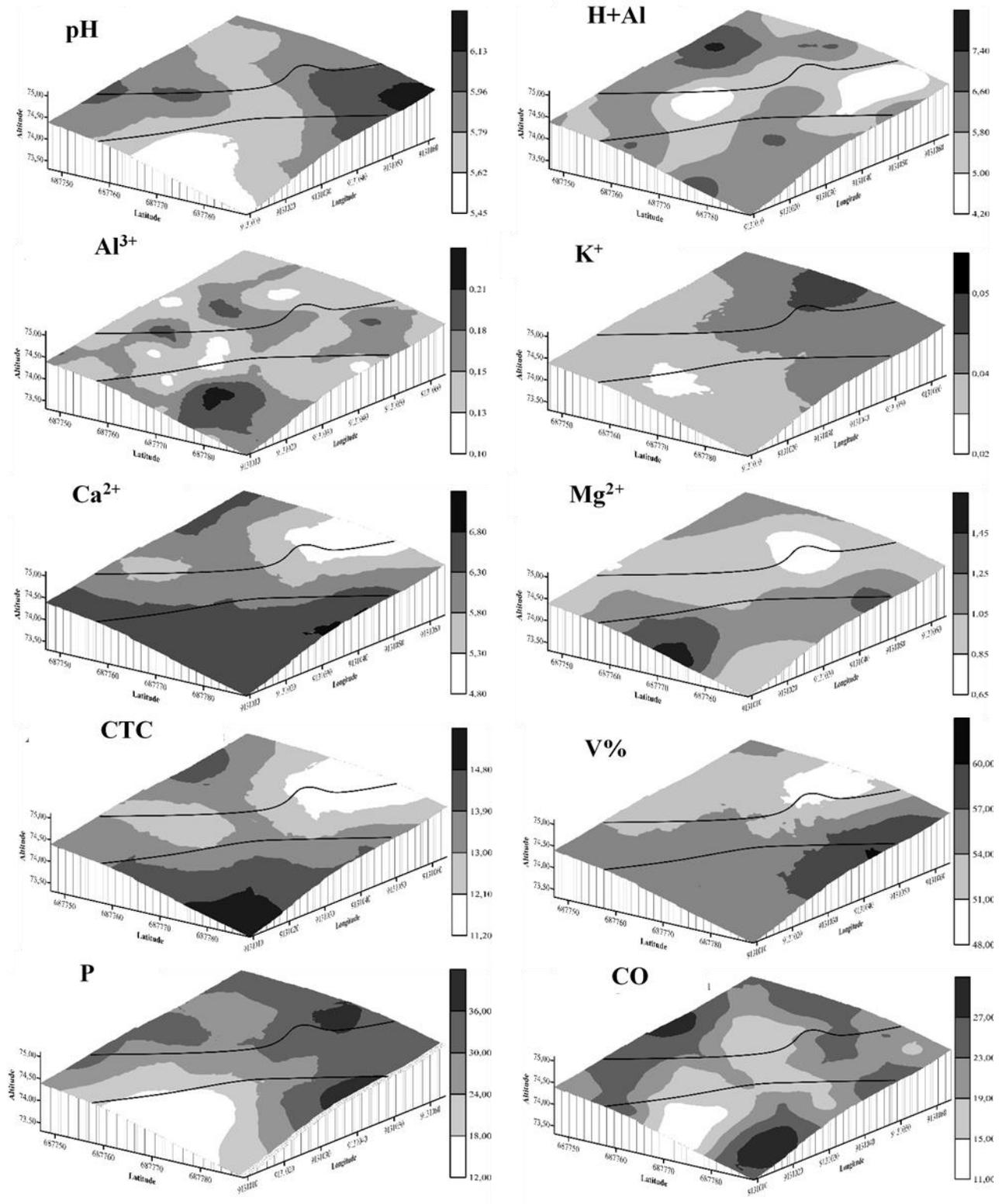


Figura 4. Mapas de krigagem da fertilidade do solo em diferentes posições do relevo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta em Novo Aripuanã, AM.

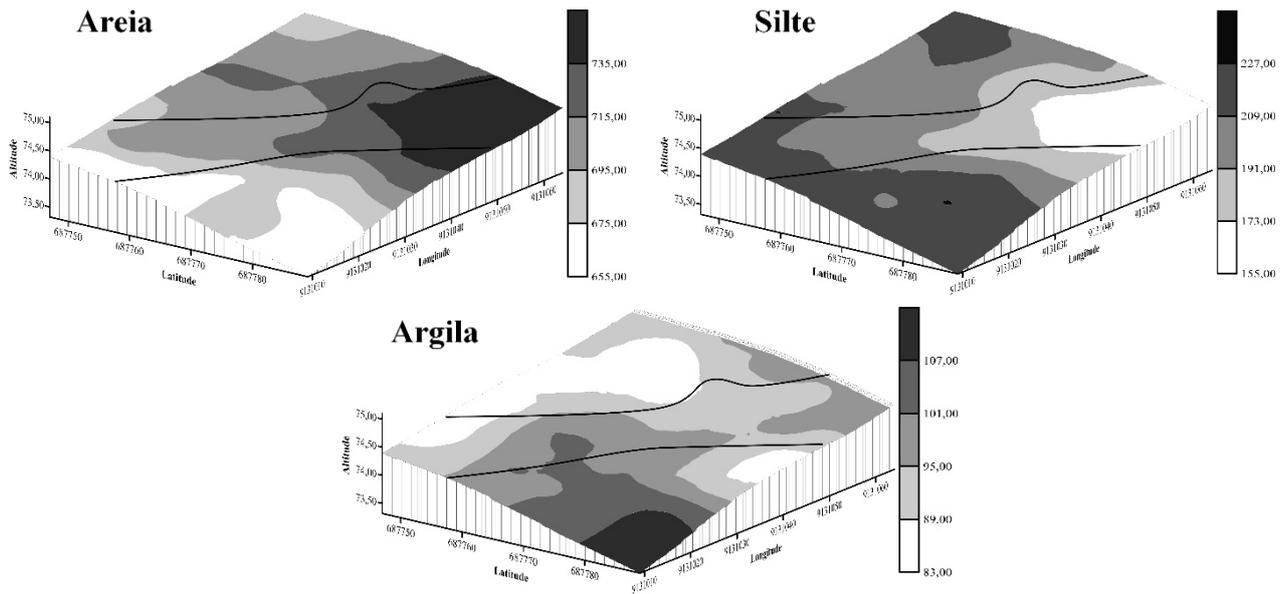


Figura 5. Mapas de krigagem da textura do solo em diferentes posições do relevo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta em Novo Aripuanã, AM.

A análise fatorial apresentou resultados significativos ($KMO = 0,544$ e $p < 0,005$ para o teste de esfericidade de Barlett) para as variáveis avaliadas, mostrando adequação à construção dos Componentes Principais (CPs). Os CPs permitiram a redução dos números de variáveis, agrupando seis variáveis originais em três fatores, sendo eles capazes de explicar 84,52% da variância das variáveis com autovalores maiores que 1. O CP1 explica 41,96%, sendo responsável pela textura do solo (silte e areia). Por outro lado, o CP2 explica 25,57%, sendo responsável por explicar as bases trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e o CP3 explica 16,99%, sendo responsável pelas variáveis de acidez do solo (pH em água e $H^+ + Al^{3+}$) (Tabela 2). Já as variáveis silte, areia, pH em água e $H^+ + Al^{3+}$ apresentaram correlação inversa (antagônica) enquanto Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram correlação direta (Tabela 2).

Tabela 2. Correlação entre cada componente principal com os atributos químicos e textura do solo em diferentes posições do relevo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta em Novo Aripuanã, AM.

Atributos	Variação Comum	Fatores		
		CP1	CP2	CP3
pH em água	0,31	-0,17	-0,11	0,83*
$H^+ + Al^{3+}$	0,27	0,15	0,05	-0,83*
Ca^{2+}	0,45	0,04	0,92*	0,05
Mg^{2+}	0,50	0,06	0,88*	-0,25
Silte	0,89	0,97*	0,02	-0,19
Areia	0,89	-0,97*	-0,08	0,17
Variação explicativa (%)		41,96	25,57	16,99

*Valores mais discriminatórios; CP1= componente principal 1; CP2= componente principal 2; CP3= componente principal 3.

O plano fatorial da distribuição dos escores nas diferentes posições da encosta estudadas e da disposição das cargas fatoriais dos atributos do solo formado pelas CPs estão apresentadas na Figura 6. Observa-se que o terço inferior está sendo mais discriminado pelo silte, Ca^{2+} e Mg^{2+} . Inversamente, o terço médio e terço superior apresentam-se mais influenciados pela areia, pH em água e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$. As bases Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentam a mesma representatividade no gráfico, estando os dois intimamente relacionados, enquanto que a areia e o silte, pH em água e Al^{3+} apresentam comportamento oposto. Observa-se que o pH em água e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ estão próximos ao círculo unitário evidenciando que eles possuem maior contribuição em relação as demais variáveis.

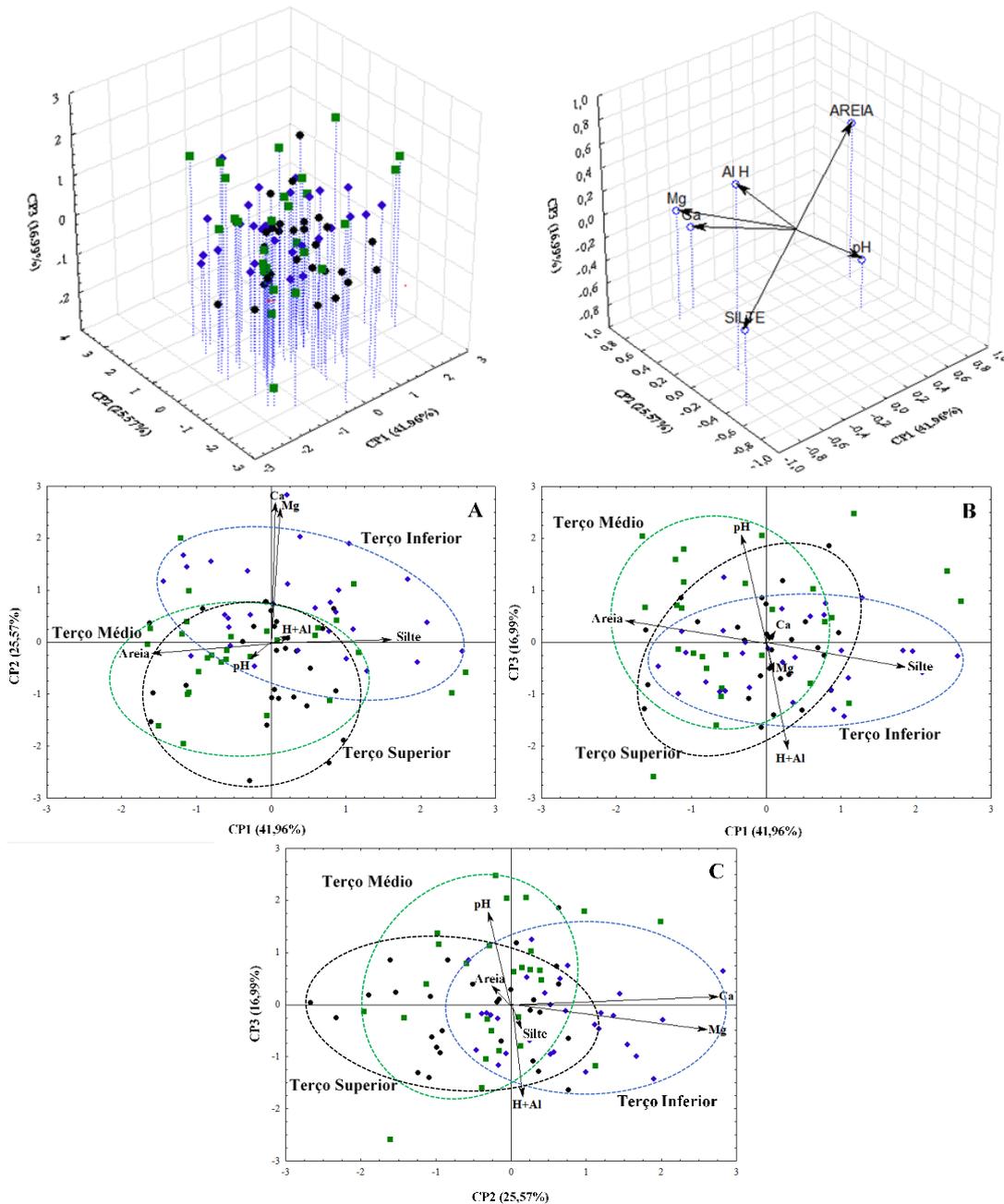


Figura 6. Plano fatorial da fertilidade e textura do solo em diferentes posições do relevo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta em Novo Aripuanã, AM. A = CP1xCP2; B = CP1xCP3; C = CP2xCP3.

Na Figura 7 é apresentada a distribuição espacial dos fatores por meio do ajuste de semivariogramas experimentais, o que permitiu a interpolação por meio da krigagem ordinária. O modelo esférico destacou-se como o mais adequado aos fatores CP, com valores de validação cruzada e coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,75, o que garante boa interpolação dos dados para criar mapas de krigagem. Entre os melhores R^2 , houve uma pequena variação de 0,84 a 0,97 entre os fatores, a fim de perceber a homogeneidade da variabilidade espacial. Os semivariogramas apresentaram alcance da dependência espacial variando de 25,73 e 54,01 m para F2 e F1, respectivamente. Quanto ao grau de dependência espacial, todos os fatores apresentam moderada dependência espacial ($25\% < GDE < 75\%$) conforme Cambardella et al., (1994).

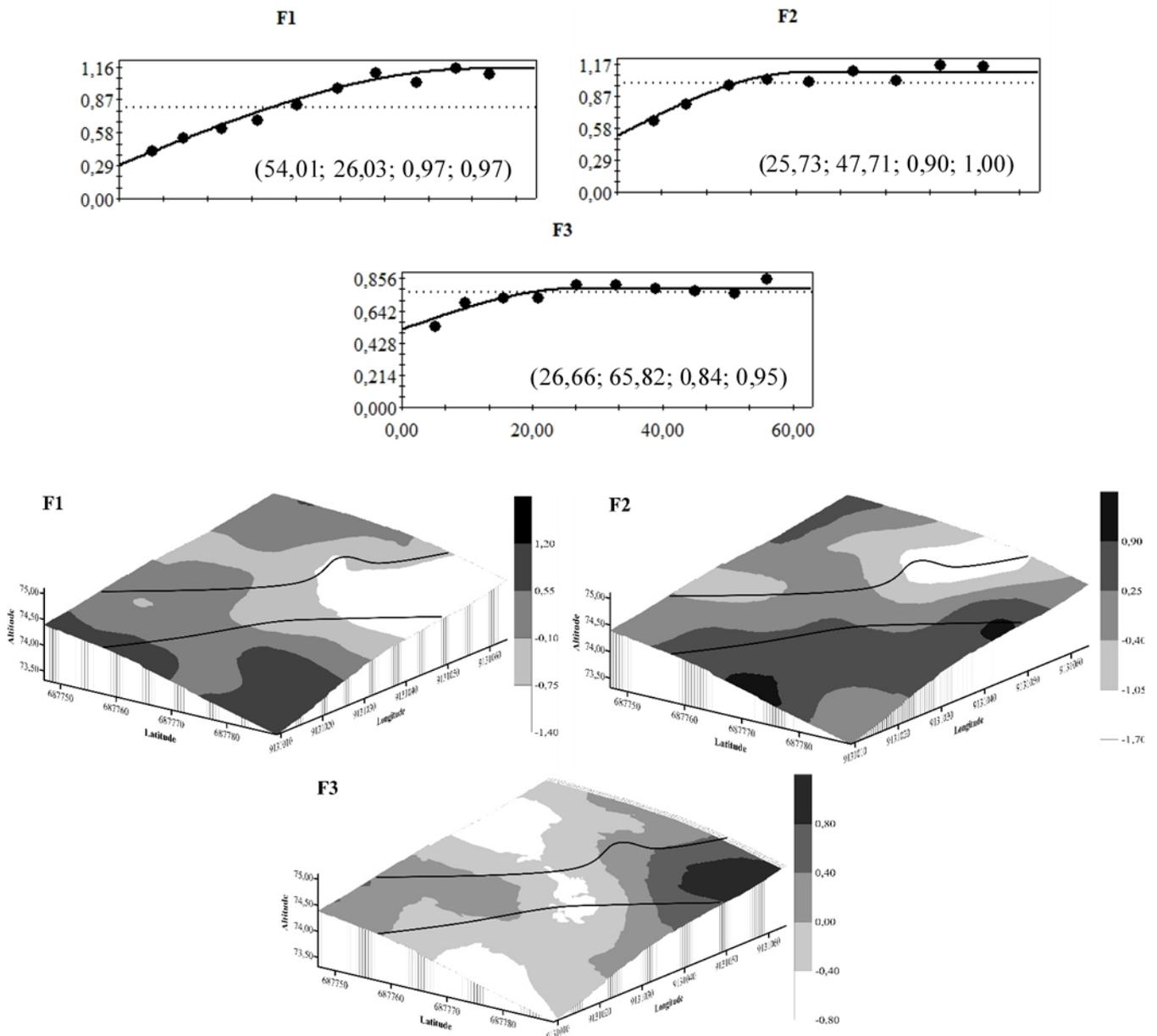


Figura 7. Semivariogramas e mapas de krigagem dos escores dos componentes principais da fertilidade e textura do solo em diferentes posições do relevo em área de Terra Preta Arqueológica sob floresta em Novo Aripuanã, AM. Parâmetros geoestatísticos em parênteses são respectivamente: alcance (m); grau de dependência espacial (GDE); coeficiente de determinação (R^2); e validação cruzada (VC).

5. Discussão

5.1. Dinâmica dos atributos químicos e textura

Os fatores climáticos e o topográfico são importantes condicionadores no desenvolvimento dos solos. O fator climático é expresso pela elevada pluviosidade e temperatura que diretamente influencia no intemperismo e indiretamente no transporte de nutrientes e partículas do solo. O fator topográfico, por sua vez, favorece a remoção do material por lixiviação e em casos extremos a erosão, devido a declividade e baixa drenagem (BOCKHEIM et al., 2005; VALTERA et al., 2015; LYBRAND E RASMUSSEN, 2018). Fato esse observado no estudo em que foi evidenciado maiores teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , silte e argila no terço inferior e menores teores no terço superior, o que proporcionou um aumento na CTC e V% do mesmo, podendo estar relacionado a distribuição da ocupação humana nos locais associada, também, a lixiviação (Tabela 1). No que diz respeito à lixiviação, esse fenômeno pode ser explicado pela textura do solo composta principalmente por partículas do tamanho de areia (quartzo), que favorece a menor estabilização dos agregados que em conjunto com a declividade ocasiona o desprendimento das partículas que são levadas pela água (ALMAJMAIE et al., 2017), além de facilitar a perda por lixiviação, bem como, por escoamento superficial difuso.

Neste estudo, os efeitos erosivos da chuva e relevo parecem não estar afetando a redistribuição do pH em água, P disponível e CO (Tabela 1), ou seja, estes atributos não possuem tendência de acumular ou de serem lixiviados para o terço inferior, corroborando com Pinheiro Junior et al. (2018), que encontraram maiores teores de pH em água, P disponível e CO no terço superior de uma área de floresta. Entretanto, é contrário ao resultado relatado por Li et al. (2018), que observaram um maior acúmulo de CO nas porções inferiores da paisagem. Conforti et al. (2016), estudando solos da região sul da Itália, constatou que os estoques de CO variaram com o gradiente de inclinação, a curvatura e a posição da paisagem com o fundo do vale armazenando um estoque de carbono orgânico significativamente mais alto do que nas encostas suaves e íngremes. Tais achados refletem a interação do solo com a dinâmica geomórfica, que influencia a formação e evolução de perfis através de processos de erosão, deposição, infiltração, escoamento e lixiviação.

O elevado teor de fósforo disponível no terço superior deve-se à decomposição de compostos com presença de P, já a sua fixação se dá, principalmente, pelo alto teor de matéria orgânica que aumenta a CTC do solo (FREITAS et al., 2017). O baixo teor de P disponível e pH em água no terço inferior, é devido a maior manutenção da umidade, contribuindo para a redução da temperatura, que pode ter influenciado positivamente a atividade microbiana (XU et al., 2016), reduzindo assim o pH do solo. De acordo com Sidari et al. (2008) e Fissore et al. (2017), a ocorrência de microclimas induzidos pelo aspecto topográfico, causa alterações no componente biótico do solo, afetando sua atividade. Os valores mais baixos de pH em água nessa posição da vertente, podem, por sua vez, influenciar negativamente a disponibilidade de P (Pinheiro Junior et al., 2018).

5.2. Aspectos espaciais

O modelo esférico ajustado aos atributos químicos (Figura 2) corrobora com resultados encontrados por Oliveira et al. (2015), que estudou o uso de semivariogramas escalonados no planejamento amostral de atributos químicos, em diferentes ambientes no sul do Amazonas. Segundo Isaaks e Srivastava (1989), os modelos esféricos descrevem propriedades do solo com alta continuidade espacial, ou seja, menos erráticas a curtas distâncias.

A forte dependência espacial encontrada para o pH em água, CO e argila, indicam que essas variáveis são influenciadas por propriedades intrínsecas do solo ligadas aos fatores de formação, como o relevo. Por outro lado, as variáveis que apresentaram fraca dependência espacial são mais influenciadas por fatores atípicos, como a

cobertura vegetal (CAMBARDELLA et al., 1994). Sendo assim, a predominância de classes de dependência espacial variando de forte a moderada neste estudo indica a influência do microrrelevo, uma vez que os solos da área são do mesmo material de origem e clima, corroborando com resultados encontrados por Oliveira et al. (2013) e Artur et al. (2014), que atribuíram o efeito de microrrelevo como condicionador de fluxos e transporte de partículas de solo, bem como, as ações adversas antrópicas nesses locais (PANTALENA e MAIA, 2014).

Os atributos Mg^{2+} , Al^{3+} e $H+Al$ apresentaram os menores valores de alcance, indicando que eles possuem distribuição heterogêneas e maior variabilidade espacial, enquanto que os demais atributos exibiram os maiores alcances, indicando uma distribuição homogênea e menor variabilidade. É importante ressaltar que o alcance é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística representando a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial, sendo que a partir desta distância o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (LEMOS FILHO et al., 2008).

A redução dos semivariogramas experimentais (semivariograma escalonado) possibilitou avaliar a variabilidade como um todo, sendo encontrado dependência espacial moderada, com um espaçamento ideal para amostragem de solo entorno de 35 m e densidade amostral de 2 pontos por hectare (Figura 3). Esses resultados corroboram com Oliveira et al. (2015a) e Oliveira et al. (2015b), que avaliaram a variabilidade espacial de solos antropogênicos, por meio do semivariograma escalonado. Segundo Cambardella et al. (1994), as variáveis com dependência espacial moderada podem ser devidas à homogeneidade do solo.

Considerando o comportamento espacial dos atributos, Souza et al. (2007) observaram que os atributos do solo poderiam ser interpolados em mapas por meio de krigagem, quando apresentavam dependência espacial. Esses autores também afirmaram que as informações inseridas nesses mapas podem ser usadas para melhor visualizar e entender o padrão de distribuição espacial, bem como para definir diferentes zonas de manejo em uma determinada área. A partir da variação da distribuição espacial evidenciada nas Figuras 4 e 5, a influência do relevo fica clara na distribuição dos atributos químicos e textura. Dessa forma, é possível estabelecer uma relação entre a posição da paisagem com a distribuição do Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC, V%, CO, silte e argila, permitindo que eles sejam utilizados como um indicador pedoambiental do potencial de perdas de nutrientes e partículas de solo. Essa distribuição também foi observada por Artur et al. (2014), que avaliaram a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo associada ao microrrelevo. Fissore et al. (2017) explicam que a topografia da erosão e deposição afeta a quantidade e a qualidade do carbono no solo, sendo uma ferramenta útil para monitorar seu acúmulo.

5.3. Indicadores de perdas

Observou-se que o relevo determina regiões com características diferenciadas em relação ao Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC, V%, CO, silte e argila, devendo ser considerado na definição de áreas mais homogêneas e na utilização de técnicas de manejo diferenciadas para a implantação de culturas (Figuras 4 e 5). Entretanto, com base na estatística multivariada observa-se três fatores principais que são influenciados pelo relevo, a textura (CP1), as bases trocáveis (CP2) e a acidez do solo (CP3). A textura do solo é representada pelo silte e areia que são responsáveis por explicar 41,96% da variância explicativa. Esse comportamento era de se esperar, pois as frações de tamanho de partícula do solo seguem regularmente o padrão de distribuição de relevo (Oliveira et al., 2018). As bases trocáveis são representadas pelo Ca^{2+} e Mg^{2+} que explicam 25,57% da variância explicativa. E, por último, a acidez é representada pelo pH em água e $H+Al^{3+}$ que explicam 16,99%. Observou-se correlação negativa entre areia e o silte e o pH em água e $H+Al^{3+}$, indicando que esses atributos têm efeitos antagônicos em função do relevo, onde, no terço inferior foram observados baixos teores de areia e elevados teores de silte (Tabela 2 e Figura 6). Em relação ao Ca^{2+} e Mg^{2+} , constatou-se relação direta entre os dois, onde o terço inferior apresentou os maiores teores, corroborando com

Branco et al. (2013), que avaliaram a influência do relevo nos atributos químicos e observaram correlação inversa do relevo com Ca^{2+} e Mg^{2+} . Já uma relação inversamente proporcional da areia e silte foi verificado devido ao seu deslocamento sob influência da topografia, e isso também é um indicativo de intemperismo marcante nesses locais.

A área estudada mostrou que os fatores relacionados a textura (F1) e bases trocáveis sofrem mais ações do relevo (Figura 7). O conhecimento destes fatores favorece a identificação de zonas onde há maior e menor acúmulo de bases, ou seja, zonas com elevado potencial fértil e infértil, visto que mesmo solos de ambientes naturais também estão sujeitos a perdas de nutrientes por lixiviação. Com isso, fica claro que estabelecer manejos desuniformes são mais apropriados, pois nesta condição o manejo uniforme poderá aumentar o potencial de erosão e degradação do solo. Isto pode ser feito através da criação de zonas de manejo (Oliveira et al., 2019), em que cada zona será submetida a um manejo diferenciado de acordo com a sua situação de fertilidade e em relação ao relevo, tornando-o mais adequado e sustentável.

6. Conclusões

O relevo e o material de origem, o qual é formado em grande parte por quartzo, influenciaram no comportamento das bases trocáveis e das frações silte e argila do solo, proporcionando seu acúmulo no terço inferior, porém, essas condições não influenciaram na dinâmica do carbono orgânico e do fósforo disponível no solo;

O Ca^{2+} , Mg^{2+} , carbono orgânico, silte e argila foram indicadores pedoambientais do potencial de perdas de nutrientes e partículas de solos em ambiente natural de terra preta arqueológica;

O estudo do relevo através dos fatores da análise de componentes principais possibilitou a formação de zonas de manejo para as diferentes posições do relevo, mostrando a necessidade de um manejo diferenciado para as bases trocáveis, acidez e textura do solo.

Contribuições dos Autores: metodologia, Lima, A. F. L., Cunha, J. M., Martins, T. S.; preparação de dados, Lima, A. F. L., Cunha, J. M., Campos, M. C. C., Brito Filho E. G.; escrita do artigo, Lima, A. F. L., Martins, T. S., Brito, W. B. M.; revisão, Lima, A. F. L., Martins, T. S., Brito, W. B. M., Brito Filho E. G.; supervisão, Cunha, J. M., Campos, M. C. C.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

Agradecimentos: A Universidade Federal do Amazonas, em especial, a pró-reitoria de pesquisa pelo excelente trabalho no incentivo e desempenho da iniciação científica.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ALMAJMAIE, A.; HARDIE, M.; DOYLE, R.; BIRCH, C.; ACUNA, T. Influence of soil properties on the aggregate stability of cultivated sandy clay loams. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, n. 3, p. 800–809, 2017. DOI: 10.1007/s11368-016-1568-1
2. ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 141-149, 2014. DOI: 10.1590/S1415-43662014000200003
3. BOCKHEIM, J. C.; GENNADIYEV, A. N.; HAMMER, R. D.; TANDARICH, J. P. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 23-26, 2005. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.03.004
4. BRANCO, S. B.; SALVIANO, A. A.; MATIAS, S. S.; JÚNIOR, J. M.; SANTOS, H. L. Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 324-330, 2013. DOI: 10.5039/agraria.v8i2a2418
5. Brasil. Ministério das Minas e Energia. Projeto **RadamBrasil**, folha **SB. 20**, **Purus**. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.

6. 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 of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x
7. CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Influência das superfícies geomórficas na distribuição espacial dos atributos do solo em área sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 2, p. 133-141, 2010c. DOI: 10.5216/pat.v40i2.4786
8. CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; COSTA, E.U. CAVALCANTI. Segmentos de vertente e atributos do solo de uma topossequência na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 501-510, 2010a. DOI: 10.1590/S1806-66902010000400001
9. CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; OLIVEIRA, I.A. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 527-535, 2010b. DOI: 10.1590/S1806-66902010000400004
10. CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; SOARES, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 6, n. 2, p. 102-109, 2012. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v6i2.682
11. CASTIONE, G. A. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; CAMPOS, M. C. C.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da textura do solo em área irrigada por pivô central em diferentes posições na paisagem. **Revista Agro@ambiente on-Line**, v. 9, n. 3, p. 219-226, 2015. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v9i3.2392
12. CEDDIA, M. B.; VIEIRA, S. R.; VILLELA, A. L. O.; MOTA, L. S.; ANJOS, L. H. C.; CARVALHO, D. F. Topography and spatial variability of soil physical properties. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 338-352, 2009. DOI: 10.1590/S0103-90162009000300009
13. Centro de Pesquisa De Recursos Minerais (CPRM). **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens**. Manaus, 2001. 93 p.
14. CHAGAS, C. S.; FONTANA, A.; CARVALHO JUNIOR, W.; CAIRES, S. M. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1441-1453, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000600002
15. CONFORTI, M.; LUCÀ, F.; SCARCIGLIA, F.; MATTEUCCI, G.; BUTTAFUOCO, G. Soil carbon stock in relation to soil properties and landscape position in a forest ecosystem of southern Italy (Calabria region). **Catena**, v. 144, p. 23-33, 2016. DOI: 10.1016/j.catena.2016.04.023
16. CUNHA, J. M. **Atributos do solo e emissão de CO₂ em Terra Preta Arqueológica preservada e sob cultivo em Novo Aripuanã, Amazonas, Brasil**. Manaus Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2016. 98p.
17. EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 212 p.
18. FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião pública**, v. 16, n. 1, p. 160-185, 2010. DOI: 10.1590/S0104-62762010000100007
19. FISSORE, C.; DALZELL, B. J.; BERHE, A. A.; VOEGTLE, M.; EVANS, M.; WU, A. Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland. **Catena**, v. 149, p. 140-149, 2017. DOI: 10.1016/j.catena.2016.09.016

20. FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, p. 08-25, 2017.
21. GAMMA DESIGN SOFTWARE (GS+). **Geostatistics for the environmental sciences**. 7. ed. Plainwell: Gamma Design, 2004.
22. GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo**. Dissertação (Mestrado) 1993. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 1993. 57p.
23. ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press; 1989.
24. KERN, D. C.; LIMA, H. P.; COSTA, J. A.; LIMA, H. V.; BROWNE RIBEIRO, A.; MORAES, B. M.; KÄMPF, N. Terras pretas: Approaches to formation processes in a new paradigm. **Geoarchaeology**, v. 32, n. 6, p. 694-706, 2017. DOI: 10.1002/gea.21647
25. LEÃO, M. G.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M. D.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob cultivo de citros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 121-131, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000100016
26. LEMOS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIAS, M. A.; ANDRADE, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 193-202, 2008. <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/47>
27. LI, X.; MCCARTY, G. W.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. Topographic metric predictions of soil redistribution and organic carbon in Iowa cropland fields. **Catena**, v. 160, p. 222-232, 2018. DOI: 10.1016/j.catena.2017.09.026
28. LYBRAND, R. A.; RASMUSSEN, C. Climate, topography, and dust influences on the mineral and geochemical evolution of granitic soil in southern Arizona. **Geoderma**, v. 314, p. 245-261, 2018. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.10.042
29. MEIRELES, H. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; PEREIRA, G. T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012. DOI: 10.1590/S1983-40632012000200001
30. OLIVEIRA, D. P.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E.; FARIAS, P. R. S.; E COSTA, M. C. G. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 676-684, 2013. DOI: 10.1590/S1806-66902013000400003
31. OLIVEIRA, I. A. D.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JUNIOR, J.; AQUINO, R. E. D.; TEIXEIRA, D. D. B.; SILVA, D. M. P. D. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil chemical properties in Southern Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 31-39, 2015a. DOI: 10.1590/01000683rbcs20150525
32. OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; FREITAS, L.; SIQUEIRA, D. S.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 668-681, 2015b. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140496

33. OLIVEIRA, I. A.; FREITAS, L.; AQUINO, R. E.; CASAGRANDE, J. C.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, L. S. Chemical and physical pedoindicators of soils with different textures: spatial variability. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 81, 2018. DOI: 10.1007/s12665-017-7216-2
34. OLIVEIRA, J. F.; MAYI, S.; MARCHÃO, R. L.; CORAZZA, E. J.; HURTADO, S. C.; MALAQUIAS, J. V.; TAVARES FILHO, J.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M. F. Spatial variability of the physical quality of soil from management zones. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 6, p. 1251-1273, 2019. DOI: 10.1007/s11119-019-09639-9
35. PANTALENA, A. F., MAIA, L. P. Marcas da ação antrópica na história ambiental do Rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 3, p. 459-468, 2014. DOI: 10.5894/rgci431
36. PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PEREIRA, M. G.; FILHO, J. S. O.; BEUTLER, S. J. Can topography affect the restoration of soil properties after deforestation in a semiarid ecosystem? **Journal of Arid Environments**, v. 162, p. 45-52, 2019. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2018.11.004
37. SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M. D.; PEREIRA, G. T.; MARTINS FILHO, M. V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1095-1103, 2009. DOI: 10.1590/S0006-87052009000400030
38. SANTOS, G. L.; PEREIRA, M. G.; LIMA, S. S.; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA, V. M. M.; DELGADO, R. C. Landform curvature and its effect on the spatial variability of soil attributes, Pinheiral-RJ/BR. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 431-438, 2016. <http://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/1406>
39. SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIM, A. C.; SILVA, D. M. P.; MARQUES JUNIOR, J.; FRANÇA, A. B. C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 825-836, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000400001
40. SIDARI, M.; RONZELLO, G.; VECCHIO, G.; MUSCOLO, A. Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a *Pinus laricio* forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy). **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 4, p. 364-372, 2008. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2008.05.001
41. SILVA, A. D. P.; RESENDE, A. S. D.; CHAER, G. M.; GONÇALVES, F. L. A.; CAMPELLO, E. F. C. Influência da forma e posição da encosta nas características do solo e na regeneração natural em áreas de pastagem abandonadas. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1239-1252, 2018. DOI: 10.5902/1980509833366
42. SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 161-168, 2006b. DOI: 10.1590/S0103-90162006000200008
43. SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R. Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 829-836, 2006a. DOI: 10.1590/S0103-84782006000300016
44. SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; CAMPOS, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 371-377, 2007. DOI: 10.1590/S1413-70542007000200016
45. STATSOFT Inc 7.0. **Statística (data analysis software system)**. USA: 2004.
46. TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1985. DOI: 10.1016/s0065-2113(08)60673-2
47. VALTERA, M.; SAMONIL, P.; SVOBODA, M.; JANDA, P. Effects of topography and forest stand dynamics on soil morphology in three natural *Picea abies* mountain forests. **Plant Soil**, v. 392, n. 1-2, p. 57-69, 2015. DOI: 10.1007/s11104-015-2442-4

48. 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. cap. 2, p. 319-344. DOI: 10.1016/b978-0-12-348580-9.50018-3
49. WEBSTER, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal of Soil Science**, v. 52, n. 2, p. 331-340, 2001. DOI: 10.1046/j.1365-2389.2001.00383.x
50. XU, Z.; HOU, Y.; ZHANG, L./ LIU, T.; ZHOU, G. Ecosystem responses to warming and watering in typical and desert steppes. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 1-14, 2016. DOI: 10.1038/srep34801
51. ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; PEREIRA, J. M. A. Variabilidade espacial de nutrientes em Latossolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 389-400, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000200012



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.