

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA - CVRM  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ÁREA DE  
TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM NA REGIÃO DE  
MANICORÉ – AM.

Bolsista: Alan Ferreira Leite de Lima

HUMAITÁ/AM

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM  
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA- CVRM  
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE - IEAA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC

RELATÓRIO FINAL

PIB-A/0011/2015

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ÁREA DE  
TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA SOB PASTAGEM NA REGIÃO DE  
MANICORÉ – AM.

Bolsista: Alan Ferreira Leite de Lima

Orientador: Dr. Milton César Costa Campos

HUMAITÁ/AM

2016

## Sumário

1. RESUMO.....	4
2. INTRODUÇÃO.....	4
3. JUSTIFICATIVA.....	6
4. OBJETIVOS.....	7
4.1 Objetivos Gerais .....	7
4.2 Objetivos Específicos .....	7
5. METODOLOGIA.....	7
5.1 Caracterização do Meio Físico.....	7
5.2 Metodologia de Campo .....	8
5.3 Análises Químicas.....	8
5.4 Análise Estatística e Geoestatística .....	9
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	150
Tabela 1.....	12
Tabela 2.....	14
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	155
8. CONCLUSÕES.....	155
9. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO.....	22

## 1. RESUMO

As Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) são manchas de solo encontradas em toda a bacia Amazônica, em cuja origem está relacionada à deposição de restos de materiais de populações pré-colombianas. Esses solos são ricos em nutrientes, principalmente P, Ca e Mg. Foi realizado o mapeamento de uma malha de 56 x 80 m, com espaçamento regular de 08 x 08 m, nas profundidades de amostragem 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 88 pontos. Foram realizadas análises químicas como: pH em água, Ca, Mg, K, Al trocáveis e P disponível. Os dados foram analisados utilizando-se técnicas estatísticas descritivas e de geoestatística. Os atributos apresentaram valores de assimetria e curtose próximos a zero, evidenciando simetria dos dados, para todas as camadas estudadas. A média e mediana estavam próximas entre si, indicando que essas variáveis apresentam distribuição normal. A área estudada apresentou teores elevados de P,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , COT e pH entretanto apresentou baixos teores de  $H^+ + Al^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  e  $K^+$  sendo o teor de potássio quase desprezível. O GDE classificado como forte para quase todos os atributos estudados, exceto para os atributos  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$  na camada 0,10-0,20 m, que apresentaram GDE moderado. As variáveis pH,  $H^+ + Al^{3+}$  e  $Al^{3+}$  na camada de 0,00-0,05 m e pH e  $Mg^{2+}$  na camada de 0,05-0,10 m não apresentaram dependência espacial.

**Palavras chave:** Atributos do solo, Solos antrópicos, Geoestatística.

## 2. INTRODUÇÃO

A maioria dos sítios arqueológicos presentes na Amazônia estão situados nas margens dos rios Purus, Madeira, Juruá, Solimões e Amazonas (KERN et al., 2003) e cerca de 80% dessas áreas têm entre dois e cinco hectares. Áreas de 350 ha foram encontradas, nos estados do Pará e do Amazonas (BALLIETT, 2007). A espessura do horizonte antrópico varia de 10-200 cm, com a maioria situando-se na faixa de 30-60 cm. Essas variações (espessura e características morfológicas, físicas e químicas do solo) têm estreitas relações com o padrão de uso ancestral (PESSOA JUNIOR et al., 2012).

As TPAs são classes de solos que apresentam como características marcantes como a coloração escura, textura mais arenosa, mais bem

estruturada e a presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo (KAMPF; KERN, 2005; GLASER; BIRK, 2012).

As Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) têm uma fertilidade notoriamente superior à grande maioria dos solos típicos da região Amazônica. Encontrados em diversas regiões da Amazônia, são solos que sofreram atividade humana pré-histórica intensa na forma de intensos acúmulos de resíduos que modificaram significativamente as suas propriedades (FAO, 2011).

A variabilidade espacial das características do solo ocorre naturalmente como consequência do processo de formação, podendo ser acentuada pelas ações antrópicas devido aos diferentes usos e manejo aplicados (BROWN et al., 2000).

As alterações na composição da vegetação de ecossistemas naturais associadas a práticas de manejo, que são atribuídas a fatores como exploração agrícola, pecuária e, principalmente, florestal (ALENCAR et al. 2004), trazem consequências não só em relação à biodiversidade, mas, também, quando se analisa a deterioração causada aos solos e a sua possibilidade de reutilização e/ou conservação (CHAVES et al. 2012).

Os atributos químicos do solo, com exceção do pH, apresentam maior variação que os atributos físicos, em uma área cultivada (BOTEGA et al. 2013). Sendo assim, o uso de uma amostragem aleatória, que utiliza a média para caracterizar determinado atributo do solo, seria insuficiente para caracterizar toda uma classe de solo. Entretanto, vários estudos mostraram que os atributos químicos do solo apresentam intensa dependência espacial, verificada por meio da análise geoestatística (CORÁ et al. 2004, BEKELE & HUDNALL 2006, MOTOMIYA et al. 2006, SOUZA et al. 2006, CAMPOS et al. 2007, CAVALCANTE et al. 2007, ZANÃO JÚNIOR et al. 2007, MARQUES JÚNIOR et al. 2008, LIMA et al. 2013a e 2013b).

As TPAs se caracterizam por possuírem teores elevados de Ca, Mg, P, Zn, Mn, Cu e C orgânico, bem como valores mais altos de pH. Este fato é atribuído à grande quantidade de resíduos orgânicos depositados durante o processo de

formação dos solos antropogênicos. Segundo FALESI (1970), SMITH (1980), EDEN et al. (1984), KERN e KÄMPF (1989), KERN (1996), essa característica é atribuída à alta fertilidade das TPAs.

A geoestatística é uma ferramenta utilizada na detecção da variabilidade existente no ambiente, permitindo analisar características e seus aspectos aleatórios e espaciais, criando imagem da variabilidade de caracteres, identificando o grau de dependência espacial e fornecendo informações que permitam subsidiar o estudo do fenômeno a ser analisado (SILVA NETO et al., 2011). Ela pode ser empregada na detecção de locais que estão sofrendo alguma alteração e, a partir daí, determinar as condições de causa e efeito e a restauração do ambiente.

Assim, a geoestatística permite a interpretação e a projeção dos resultados, com base na estrutura da sua variabilidade natural, podendo indicar alternativas de uso, além de possibilitar melhor compreensão da variabilidade dos atributos, sua influência sobre a produção (SILVA NETO et al. 2012) e a indicação de uma densidade de amostragem ideal, por meio do uso de técnicas de avaliação da variabilidade espacial de atributos do solo (VIEIRA 2000).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob Pastagem em Manicoré, AM.

### **3. JUSTIFICATIVA**

A caracterização da variabilidade espacial dos atributos do solo é essencial para alcançar a melhor compreensão das complexas relações entre as propriedades do solo e os fatores ambientais.

Diferentemente da maioria dos solos da região, as TPAs apresentam altos teores de P, Ca, e Mn disponível e, em alguns sítios, baixos teores de N total, K e B disponível. Assim, são necessários estudos mais aprofundados sobre o efeito, a qualidade e a disponibilidade dos nutrientes nos solos de Terra Preta localizados em diferentes condições edáficas;

A geoestatística, o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo surge como uma alternativa para esses fins, pois permite quantificar a

magnitude e o grau de dependência espacial e descrever, detalhadamente, a variabilidade espacial das variáveis estudadas, por meio de um interpolador exato e preciso.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivos Gerais**

Avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob Pastagem em Manicoré, AM.

### **4.2 Objetivos Específicos**

Investigar a distribuição espacial dos atributos químicos: pH em água, Ca, Mg, K, Al trocáveis e P disponível em área de Terra Preta Arqueológica sob Pastagem em Manicoré, AM.

Analisar e comparar o comportamento dos atributos químicos entre as diferentes profundidades estudadas sob Terras Pretas Arqueológicas em Manicoré, AM.

Determinar o grau de dependência espacial para cada atributo estudado em Terras Pretas Arqueológicas sob Pastagem em Manicoré, AM.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 Caracterização do Meio Físico**

A área de estudo, localiza-se no sul do Estado do Amazonas, nas imediações da comunidade de Santo Antônio de Matupi, às margens da BR 230, Rodovia Transamazônica, região de Manicoré, AM, sob as coordenadas geográficas de 7° 30' 24" S e 63° 04' 56" W.

A região apresenta configuração do relevo marcada pela presença de platôs nas partes mais elevadas, apresentando superfícies planas, 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).

A zona climática da região, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e 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 em torno de 25° C e 27° C, e a umidade relativa do ar varia entre 85 e 90%.

Segundo LIMA et al. (2002) e CUNHA et al. (2007), encontram-se na região, áreas conhecidas como Terra Preta Arqueológicas relacionadas com locais de antigos assentamentos, contendo artefatos culturais, e apresentam elevada fertilidade natural.

A vegetação característica desta região é a Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 a 50 metros de altura. De acordo com CAMPOS (2012) as paisagens predominantes dessa região são os Campos Naturais, Campos Naturais/ Florestas e Florestas.

De maneira geral, nessas áreas ocorrem solos que sofrem ação direta das características de origem influenciadas por fatores como as condições bioclimáticas e o relevo, porém, nessas áreas também são incrementados outros fatores determinantes para sua classificação, tais como o nível elevado do lençol freático, inundações periódicas e arraste de sedimentos pelas águas, limitando assim à evolução pedogenética.

## **5.2 Metodologia de Campo**

O estudo foi realizado em uma área de terra preta arqueológica sob pastagem, com aproximadamente 8 anos de uso com pastejo extensivo. Neste local, foi realizado o mapeamento de uma malha de 56 x 80 m, com espaçamento regular de 08 x 08 m, nas profundidades de amostragem 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 88 pontos em cada uma das profundidades totalizando 264 pontos amostrais nas 3 profundidades. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE).

## **5.3 Análises Químicas**



O pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se a relação de solo: solução 1:2,5. (EMBRAPA, 1997).

Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis foram extraídos por KCl (Cloreto de Potássio). O Potássio e o Fósforo disponível, foram extraídos por Mehlich-1, a acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução tamponada a pH 7,0 de acetato de cálcio utilizando-se metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

O carbono orgânico do solo será oxidado pelo dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) em meio sulfúrico formando gás carbônico e água. O dicromato de potássio que não for utilizado na oxidação do carbono orgânico será titulado com sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ). Em seguida será feito o cálculo do teor de carbono orgânico (g/Kg) pela fórmula  $C.O. = [40 - (T \times f) \times 0,6]$ , onde: T = mL de sulfato ferroso gastos na titulação da amostra de solo e  $f = 40/\text{volume de sulfato ferroso gasto na titulação da prova em branco}$ .

#### **5.4 Análise Estatística e Geoestatística**

Os atributos do solo foram analisados por meio da análise estatística descritiva, sendo determinados média, mediana, máximo, mínimo, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e curtose. As hipóteses de normalidade dos dados foram testadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ( $p \leq 0,05$ ), por meio do software computacional Minitab 14 (MINITAB, 2000).

A geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, segundo VIEIRA et al. (1983). Para se fazer a análise geoestatística, foi necessário saber se há dependência espacial ou não dos atributos estudados, onde foi verificado por meio do gráfico do semivariograma.

O semivariograma é uma representação gráfica entre a semivariância  $\gamma(h)$ , representada na coordenada Y, em função de uma determinada distância (h), representada na coordenada X. Para a caracterização da variabilidade espacial, foi utilizada a análise geoestatística (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989). Com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual o semivariograma é estimada 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  $x_i$ .

Os ajustes dos modelos experimentais ao semivariograma foram baseadas no maior valor do coeficiente de determinação e no menor valor da raiz quadrada do erro médio, e a escolha do melhor ajuste foi realizada utilizando a técnica conhecida por “jack-knifing” de acordo com VIEIRA et al. (2002).

Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos do solo, foi utilizado a classificação de CAMBARDELLA et al., (1994), em que são considerados dependência espacial forte os semivariograma que têm um efeito pepita <25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca, >75%.

Após o ajuste dos modelos matemáticos permissíveis foi feita à interpolação dos dados por meio da krigagem. Foi utilizado o inverso do quadrado da distância como interpolador para os atributos que não apresentaram estrutura de dependência espacial. A análise geoestatística foi feita no software GS+ versão 7.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva evidenciou que os atributos apresentaram valores de assimetria e curtose próximos a zero, evidenciando simetria dos dados, para todas as camadas estudadas, (tabela 1). De acordo com os valores observados na tabela 1, observou-se que a média e mediana estavam próximas entre si, indicando que essas variáveis apresentam distribuição normal. O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov indicou normalidade para todos os atributos nas profundidades estudadas, embora Isaaks e Srivastava (1989) afirmassem que a normalidade dos dados não é uma exigência da

geoestatística, essa permite observar maior precisão das estimativas da krigagem por meio de seus valores médios.

Os atributos apresentaram coeficiente de variação (CV) oscilando entre baixo  $\leq 12\%$ , médio de 12 a 24 % e alto  $\geq 24\%$  para todas as profundidades estudadas. Entre os atributos estudados, o  $K^+$ , P e Mg apresentaram alto CV nas três camadas estudadas, e o alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) na camada de 0,10-0,20 m (tabela 1). Isso pode ser indicativo de alta variabilidade, que pode influenciar nos métodos ou na quantidade de amostragem para determinar os atributos desses solos. A medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não permite analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo nem seu padrão espacial (de Oliveira et al., 2015).

O pH em água, carbono orgânico total (COT), P,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  nas três camadas estudadas apresentaram valores elevados. Esse resultado é em razão da presença do horizonte antrópico na superfície do solo. Campos et al. (2011) encontraram valores semelhantes para  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , os quais afirmaram que as TPAs exibem elevados níveis de nutrientes, principalmente  $Ca^{2+}$  e P, provavelmente proveniente de restos de ossos humanos e de animais, além da formação de complexos matéria orgânica-Ca, de alta estabilidade (elevados teores de Ca), associados ao carvão pirogênico (Novotny et al., 2007). O P normalmente apresenta valores elevados em solos com presença de horizonte antrópico, de acordo com Falcão e Borges (2006), os quais afirmaram que esses altos valores de P são uma característica peculiar das TPAs; essa característica tem sido observada por muitos autores e é atribuída à incorporação de ossos de animais (e, possivelmente, de seres humanos), de espinhas de peixes e de carapaças de quelônios (Lima et al., 2002).

Lima et al. (2002) encontraram valores semelhantes aos resultados encontrados neste trabalho em relação à fertilidade das TPAs e relataram que seria improvável para qualquer solo atingir valores altos de fertilidade sem influência antrópica, ao qual grande quantidade de resíduos orgânicos foram depositados durante o processo de formação desses solos.

O K<sup>+</sup> apresentou valores baixos que também foram observados por Falcão e Borges (2006) em área de TPA, pois, segundo os autores, normalmente solos de terra preta apresentam baixos teores de K<sup>+</sup>. Esses estudiosos comprovaram essa deficiência de K<sup>+</sup> com experimentos de campo em TPA e revelaram que culturas como banana e coco, altamente exigentes em K, não apresentaram boa produtividade quando os produtores não aplicam esse nutriente.

**Tabela 1.** Estatística descritiva do pH em água, acides potencial (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>), alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), fósforo (P), carbono orgânico total (COT), em áreas de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de pastagem no município de Manicoré-AM.

Estatística descritiva	pH (H <sub>2</sub> O)	-----cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> -----					P mg dm <sup>-3</sup>	COT g dm <sup>-3</sup>
		H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
0,00 – 0,05								
Máximo	6,07	11,72	0,70	0,04	14,75	3,75	117,45	147,60
Mínimo	4,88	4,62	0,20	0,01	5,50	1,00	20,77	116,41
Média	5,47	8,51	0,39	0,02	9,28	2,29	75,17	137,07
Mediana	5,47	8,50	0,40	0,02	9,00	2,25	74,21	136,93
<sup>1</sup> DP	0,25	1,33	0,13	0,01	1,88	0,68	24,03	5,57
Variância	0,06	1,78	0,02	0,00	3,55	0,46	577,42	31,04
<sup>2</sup> CV%	4,54	15,66	32,82	33,24	20,30	29,57	31,97	4,06
Assimetria	0,06	-0,08	0,69	0,20	0,55	-0,02	-0,10	-0,72
Curtose	-0,10	-0,12	-0,02	-0,91	0,09	-0,47	-0,75	1,50
<sup>3</sup> d	0,07*	0,07*	0,22*	0,10*	0,12*	0,12*	0,09*	0,06*
0,05 – 0,10								
Máximo	6,02	7,76	0,50	0,02	14,50	2,75	97,20	139,02
Mínimo	5,34	2,97	0,20	0,00	6,00	0,25	17,28	127,72
Média	5,72	5,46	0,39	0,01	10,09	1,36	52,42	135,28
Mediana	5,76	5,61	0,40	0,01	9,75	1,50	51,67	135,56
<sup>1</sup> DP	0,18	1,15	0,08	0,00	1,92	0,52	21,90	2,28
Variância	0,03	1,32	0,01	0,00	3,68	0,27	479,82	5,22
<sup>2</sup> CV%	3,07	21,04	19,64	40,73	19,03	38,37	41,79	1,69
Assimetria	-0,39	0,00	-0,28	1,04	0,40	0,02	0,36	-0,69
Curtose	-0,77	-0,72	-0,32	0,95	-0,37	-0,17	-0,90	0,42
<sup>3</sup> d	0,10*	0,07*	0,27*	0,13*	0,09*	0,12*	0,13*	0,09*
0,10 – 0,20								
Máximo	6,36	7,43	0,50	0,01	15,25	3,00	90,24	141,76
Mínimo	5,35	3,14	0,20	0,00	4,75	0,25	17,21	129,72
Média	5,73	5,44	0,32	0,00	9,41	1,47	50,43	133,91
Mediana	5,75	5,61	0,30	0,00	9,25	1,50	46,63	134,10
<sup>1</sup> DP	0,22	1,16	0,08	0,00	1,96	0,52	19,68	2,09
Variância	0,05	1,34	0,01	0,00	3,85	0,27	387,17	4,35
<sup>2</sup> CV%	3,88	21,31	25,85	54,13	20,84	35,32	39,02	1,56
Assimetria	0,45	-0,23	0,16	0,79	0,47	0,09	0,43	0,51
Curtose	-0,18	-1,27	-0,58	-0,67	0,59	0,38	-0,81	1,17
<sup>3</sup> d	0,10*	0,14*	0,24*	0,22*	0,11	0,12	0,09*	0,09*

<sup>1</sup>DP: desvio padrão; <sup>2</sup>CV: coeficiente de variação; <sup>3</sup>d: teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, \*significativo a 5% de probabilidade.

O modelo exponencial e esférico prevaleceu ao ajuste dos semivariogramas para os atributos do solo nas três camadas estudadas (tabela 2).

Segundo Isaaks & Srivastava (1989), os modelos exponenciais são melhor ajustados a fenômenos erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos fenômenos erráticos na curta distância. Os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo (Corá et al. 2004, Montanari et al. 2008, Montomiya et al. 2011).

A análise geoestatística mostrou que as variáveis pH,  $H^+ + Al^{3+}$  e  $Al^{3+}$  na camada de 0,00-0,05 m e pH e  $Mg^{2+}$  na camada de 0,05-0,10 m não apresentaram dependência espacial, que é denominado efeito pepita puro (tabela 2). Trata-se de uma indicação clara de que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição casual ou de que o espaçamento de amostragem usado é maior que o necessário para revelar a dependência espacial e de que a única estatística aplicável é a clássica (Silva et al., 1989).

O efeito pepita puro é importante e indica variabilidade não explicada, podendo ser decorrente de erros de medidas ou microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada (Cambardella et al., 1994; Paz et al., 1995; Salviano et al., 1998); é necessário, portanto, menor distância entre os pontos de amostragem para se detectar a dependência.

O grau de dependência espacial (GDE) para os semivariogramas é expresso pela razão entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar  $(C_0 + C_1) \times 100$  (Cambardella et al., 1994), foi classificado como forte para quase todos os atributos estudados, exceto para os atributos  $Al^{3+}$  e  $Ca^{2+}$  na camada 0,10-0,20 m, que apresentaram GDE moderado (tabela 2). Para Cambardella et al. (1994), as variáveis que evidenciam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de

formação do solo, enquanto a dependência espacial moderada possivelmente seria em razão da homogeneização do solo.

A distância na qual a semivariância se estabiliza é considerada o alcance da dependência espacial. As variáveis estudadas apresentaram diferentes alcances de dependência espacial, variando de 13,40 m a 22,50 m na camada de 0,00-0,05 m, de 14,70 m a 29,40 m na camada de 0,05-0,10 e de 16,20 m a 55,20 m na camada de 0,10-0,20 m. O atributo  $Mg^{2+}$  apresentou o menor alcance com 13,40 m na camada de 0,00-0,05 m, entretanto o atributo que apresentou o maior alcance foi  $Al^{3+}$  com 55,20 m na camada de 0,10-0,20 m.

Um parâmetro importante no estudo dos semivariogramas é o alcance, que significa a distância máxima em que uma variável está correlacionada espacialmente, ou seja, determinações realizadas a distâncias maiores que o alcance têm distribuição aleatória e, por isso, são independentes entre si, devendo ser aplicada a estatística clássica. O alcance de um atributo garante que todos os vizinhos – dentro de um círculo com esse raio – são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (Machado et al. 2007).

**Tabela 2.** Geoestatística do pH em água, acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ), alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), potássio ( $K^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), fósforo (P) e carbono orgânico total (COT), em áreas de Terra Preta Arqueológica sob cultivo de pastagem no município de Manicoré-AM.

Geoestatística	pH ( $H_2O$ )	$H^+ + Al^{3+}$	$Al^{3+}$	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	P	COT
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>
0,00 – 0,05								
Modelo	EPP	EPP	EPP	Exp.	Exp.	Esf.	Exp.	Exp.
C0	-	-	-	0,00	0,33	0,02	131,00	1,59
C0 +C1	-	-	-	0,00	3,78	0,41	1403,90	27,09
a (m)	-	-	-	22,50	19,2	13,40	14,68	22,20
R <sup>2</sup>	-	-	-	0,78	0,81	0,72	0,66	0,79
GDE %	-	-	-	10,32	8,73	4,88	9,33	5,87
VC	-	-	-	0,76	0,76	0,85	0,92	0,90
0,05 – 0,10								
Modelo	EPP	Exp.	Exp.	Esf.	Exp.	EPP	Esf.	Esf.
C0	-	0,16	0,00	0,00	0,30	-	80,00	0,01
C0 +C1	-	1,33	0,01	0,00	3,64	-	1158,00	5,20
a (m)	-	14,70	18,00	29,40	19,80	-	20,40	17,50
R <sup>2</sup>	-	0,73	0,90	0,78	0,81	-	0,77	0,75
GDE %	-	12,30	12,27	11,29	8,24	-	6,91	0,19
VC	-	0,98	0,82	0,90	1,00	-	0,79	0,83

0,10 – 0,20								
Modelo	Esf.	Exp.	Exp.	Esf.	Esf.	Exp.	Exp.	Esf.
C0	0,00	0,20	0,00	0,00	1,05	0,03	125,00	0,22
C0 +C1	0,05	1636,00	0,01	0,00	3,43	0,23	1003,00	3,62
a (m)	17,70	21,00	55,20	21,00	26,90	16,20	23,10	17,40
R <sup>2</sup>	0,84	0,85	0,75	0,78	0,77	0,80	0,86	0,86
GDE %	0,20	12,22	49,94	7,02	30,61	13,04	12,46	6,08
VC	0,98	0,85	0,90	0,90	0,85	0,68	0,90	0,96

Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; C<sub>0</sub>: efeito pepita; C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub> : patamar; a: alcance (m); R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; GDE%: grau de dependência espacial e; VC: validação cruzada.

## 7. CONCLUSÕES

A área estudada apresentou teores elevados de P, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, COT e pH entretanto apresentou baixos teores de H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> e K<sup>+</sup> sendo o teor de potássio quase desprezível.

Atributos estudados, o K<sup>+</sup>, P e Mg apresentaram alto CV nas três camadas estudadas, e o alumínio trocável (Al<sup>3+</sup>) na camada de 0,10-0,20 m.

Os atributos pH, H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> e Al<sup>3+</sup> na camada de 0,00-0,05 m e pH e Mg<sup>2+</sup> na camada de 0,05-0,10 m não apresentaram dependência espacial.

O atributo Mg<sup>2+</sup> apresentou o menor alcance com 13,40 m na camada de 0,00-0,05 m, entretanto o atributo que apresentou o maior alcance foi Al<sup>3+</sup> com 55,20 m na camada de 0,10-0,20 m.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A. et al. Desmatamento na Amazônia: indo além da “emergência crônica”. Belém: **Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia**, 2004.

BALLIETT, A. Terra Preta. Magic Soil of the Lost Amazon. **ACRES**, Austin, TX, V. 37, n. 2, 2007. BEKELE, A.; HUDNALL, W. H. Spatial variability of soil chemical properties of a prairie-forest transition in Louisiana. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 280, n. 1, p. 7-21, 2006.

BRASIL. **Ministério das Minas e Energia**. Projeto Radambrasil, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561p.

BROWN, S; SCHREIER, H; SHAH, P.B. Soil phosphorus fertility degradation: a Geographic Information System-based assessment. **Journal of Environmental Quality, Madison**, v.29, n.4, p.1152-1160, 2000.

CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C. et al. Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 4, p. 350-359, 2007.

CAMPOS, M. C. C.; **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. 260f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, I.A.; SANTOS, L.A.C.; AQUINO, R.E.; SOARES, M.D.R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista-RR, v. 6, n. 1, p. 09-16, 2012.

CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CENTRO DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens**. Manaus, 2001. 93 p. Relatório Técnico.

CENTRO DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens**. Manaus, 2001. 93 p. Relatório Técnico.

CHAVES, A. A. A. et al. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia**, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.



CORÁ, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CUNHA, T.J.F. *et al.* Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônia**. n. 37, p. 91-98, 2007.

de Oliveira, I. A., Junior, J. M., Campos, M. C. C., de Aquino, R. E., de Freitas, L., Siqueira, D. S., & da 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, 2015.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

Falcão NPS, Borges LF. Efeito da fertilidade de Terra Preta de Índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão Hawai (Carica papaya L.). **Acta Amaz.** 2006;36:401-6.

FAO, **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em: Janeiro de 2011.

GLASER, B.; BIRK, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (Terra Preta de Índio). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 82, p. 39-51, 2012.

GLASER, B.; LEHMANN, J., ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soil in the tropics with charcoal – a review. **Biology Fertility Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, p. 561, 1989.

KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p.277-320.

KERN, D. C. Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na florestanacional de Caxiuanã (Portel-PA). 1996. 124p . **Tese de Doutorado**. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 13, p. 219-25, 1989.

KERN, D. C.; RODRIGUES; SOMBROEK, W. **Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon**. In: J. Lehmann, D.C.; Kern, B. Glaser. Amazonian Dark Earths: origin, properties, Management. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. p. 51-75, 2003.

LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343-357, 2003.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C.E.R.; MELLO, J. W.V.; GILKES, R.J .; KER, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of western Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v.11, n.1-2, p. 1-17, 2002.

LIMA, H.N. et al. Pedogenesis and pre-columbian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**. v. 110, p. 1-17, 2002.

LIMA, J. S. S. et al. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de flocculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 539-546, 2013b.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013.

MACHADO, L.O.; LANA, A.M.Q.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C. & FERREIRA, C.V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:591-599, 2007.

MARQUES JÚNIOR, J. et al. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 8, n. 1, p. 153-152, 2008.

MINITAB Release 14.1. **Statistical Software**. US/Canada, 2000.

MONTANARI, R. et al. Variabilidade especial de atributos químicos em latossolo e argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 5, p. 1266, 2008.

MOTOMIYA, A. V. A. et al. Variabilidade especial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 1, p.1-9, 2011.

MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 485-496, 2006.

Novotny EH, Azevedo ER, Bonagamba TJ, Cunha TJJ, Madari BE, Benites VM, Hayes MHB. Studies of the compositions of humic acids from Amazonian dark earth soils. **Environ Sci Technol**. 2007;41:400-5.

PAZ, A.; TABOADA, M.T. & GOMEZ, M.J. Spatial variability in topsoil micronutrient contents in a one-hectare cropland plot. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*, 3:479-503, 1996.

PESSOA JUNIOR, E. S.; SOUZA, W. B. DE; SOUZA, K. DOS S. DE; PIO, M. C. DA S.; SANTANA, G. P. Terra Preta de Índio na Região Amazônica. *Scientia Amazonia*, v. 1, n.1, 1-8, 2012. Revista on-line <http://www.scientia.ufam.edu.br>.

RIBEIRO, G. A. A. Produção e teor de nutrientes da liteira fina de capoeiras em Terra Preta de Índio e solos adjacentes. 2006. 98f. Dissertação (Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido) - Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas. Manaus.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. R. Bras. Ci. Solo, 22:115-122, 1998

SILVA NETO, S. P. et al. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 41-53, 2012.

SILVA NETO, S.P; SANTOS A.C; LIMA LEITE, R.L; DIM, V.P; CRUZ, R.S; PEDRICO, A; NEVES NETO, D.N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Seminário: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.2, p. 541-552, 2011.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção. **R. Bras. Ci. Solo**, 13:1-5, 1989.

SOUZA, Z. M. et al. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 249-256, 2006.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Ed. **Tópicos ciência do solo Campinas**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1:1-54, 2002.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; SPAROVE, K. G. Variabilidade espacial de atributos de solo e *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.115-122, 1998

ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010. ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.

## 8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Nº	Descrição	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
		201 5	201 5	201 5	201 5	201 5	201 6	201 6	201 6	201 6	201 6	201 6	201 6
1	Atualização da Revisão de Literatura	X											
2	Seleção e Identificação da área de estudo.	X											
3	Divisão da área em Malhas		X										
4	Coleta do Material no Campo		X	X									
5	Análises Laboratoriais				X	X	X						
6	Análises Estatísticas							X					
7	Discussão dos Resultados								X	X	X		
8	Elaboração do Resumo e Relatório Final (atividade obrigatória)											X	
9	Preparação da Apresentação Final para o Congresso (atividade obrigatória)												X