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

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA DE CAMPO NATURAL NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS

Bolsista: Bruno Campos Mantovanelli, FAPEAM

HUMAITÁ/AM
2012

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

RELATÓRIO FINAL
PIB-A/0006/2011

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREA DE CAMPO NATURAL NA REGIÃO SUL DO AMAZONAS

Bolsista: Bruno Campos Mantovanelli, FAPEAM.
Orientador: Milton César Costa Campos

HUMAITÁ/AM
2012

RESUMO

A distribuição espacial dos atributos do solo é dependente do manejo e das características intrínsecas do solo. Assim o objetivo deste trabalho foi investigar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo em área de campo natural na região sul do Amazonas. Foi realizado o mapeamento de uma malha de 70x70 m, com espaçamento regular de 10 em 10 m, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,40-0,60 m, totalizando 64 pontos em cada uma das profundidades. Foram realizadas análises físicas (textura, densidade do solo e de partículas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo a penetração, umidade), análises químicas (pH em água, Al trocável, H+Al, C orgânico e matéria orgânica). Após as analises dos dados foram realizadas analises estatísticas descritivas e geoestatística. Os atributos físicos hídricos nas três profundidades analisadas apresentaram de alta a baixa variabilidade na área de estudo sendo que a as técnicas geoestatísticas apresentam-se como ferramentas eficientes nos estudos dos atributos físicos e químicos em área de campo natural.

Palavras Chave: geoestatística, Humaitá, sul do amazonas, campos naturais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 5

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 6

2. 1. Características gerais dos campos naturais 6

2.2 Variabilidade Espacial dos atributos do solo.....67

3. METODOLOGIA.....8

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 1011

5. CONCLUSÃO.....26

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 27

7. ANEXOS 31

1. INTRODUÇÃO

A região Sul do Amazonas apresenta varias fitofisionomias, uma destas é denominada de Campos Naturais, que compreende as áreas dos “Campos de Puciari - Humaitá”, que inclui varias formações campestres, onde se alternam, as vezes, pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos igarapés (BRAUN & RAMOS, 1959). Nessas paisagens ocorrem ampla variação das propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, resultante dos processos pedogenéticos, assim apresentam heterogeneidade tanto no sentido vertical como no plano horizontal (Reichardt et al., 1986).

Por outro lado, a aplicação de tecnologia associada à variabilidade espacial e temporal faz-se necessária, sobretudo em pesquisa agrícola que estuda o solo e a sua capacidade produtiva (GREGO & VIEIRA, 2005). Pois a utilização de técnicas geoestatísticas permite detectar a existência ou não de dependência espacial dos atributos do solo, constituindo assim, como importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade das propriedades do solo (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002; VIEIRA et al., 2002).

O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO & VIEIRA, 2005). Pois conhecendo as coordenadas geográficas do ponto amostrado, pode-se analisar os dados, possibilitando, segundo Vendrusculo (2001), representar a área com maior detalhamento.

Assim princípios de agricultura de precisão possibilitam a identificação da variabilidade espacial de atributos do solo e da produtividade das lavouras (SHATAR & MCBRATNEY, 1999). O conhecimento detalhado das áreas podem favorecer a otimização das aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, melhorando dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pela alta aplicação de insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso de nutrientes.

Dessa maneira, objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo em área de campo natural na região Sul do Amazonas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. 1. Características gerais dos campos naturais

Na região Sul do Amazonas ocorre o contato entre os campos e floresta. A região dos campos naturais compreende as áreas denominadas “Campos de Puciari – Humaitá”, esta região inclui várias formações campestres, com vegetação característica gramíneo-lenhosa baixa, se alternando às vezes pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos rios (BRAUN & RAMOS, 1959), ocupando uma área estimada em 3.418 km^2, com cerca de 18% do município de Humaitá.

De acordo com Freitas et al. (2002) esses campos formam alguns mosaicos com as florestas circundantes, sendo o contato entre essas vegetações, em alguns locais, de maneira abrupta, mas em outros, a mudança da vegetação entre a floresta e o campo natural é gradual. Segundo Campos et al. (2012) a presença destes ambientes é reflexo das condições topográficas e do solo, pois a medida que ocorre elevação do terreno, a vegetação vai mudando de fisionomia, cedendo lugar a uma formação de aspecto mais uniforme, dotada de árvores mais baixas, que constitui o “cerrado”. Para Martins et al. (2006) esta formação por sua vez transforma-se, também gradativamente, com espaçamento cada vez maior entre as arvores e o aparecimento de vegetação rasteira, que domina totalmente, constituindo os campos propriamente ditos.

Para Yimer et al. (2006) as características das fitofisionomias são produto das variações das características edáficas, especialmente da disponibilidade de nutrientes e o teor de alumínio no solo. Por outro lado, Rezaei e Gilkes (2005) sugerem que há uma estreita relação entre os padrões vegetacionais, formas de relevo e a dinâmica da água no solo. Nesse sentido Franzen et al. (2006) afirmam que as condições pedoambientais promovem alterações nos atributos do solo, sendo estas dependentes de características, como forma do relevo, quantidade e fluxos de água e características dos materiais originários, o que vem refletir na expressão da vegetação nativa.

2.2 Variabilidade espacial dos atributos do solo

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se investigar variação espacial e temporal dos atributos que afetam o rendimento das

culturas, com o objetivo de aperfeiçoar o aproveitamento de recursos e diminuir custos (VIEIRA, 2000). A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade espacial das medidas estudadas, constituindo uma importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade dos atributos do solo (CARVALHO et al., 2002; VIEIRA et al., 2002).

Conhecendo as coordenadas geográficas do ponto amostrado, se permiti analisar os dados que segundo VENDRUSCULO (2001), representa a área estudada com maior detalhamento. O nível de detalhamento é obtido por meio da distância entre pontos de amostragem e depende tanto da propriedade a ser analisada quanto da escala de trabalho (tamanho da área amostrada) (GREGO & VIEIRA, 2005). Assim, o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o principio básico para o manejo localizado das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO & VIEIRA, 2005).

A variabilidade do solo é uma conseqüência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, sendo influenciada pelas práticas de manejo (JENNY, 1941). Uma maneira de solucionar problemas relacionados à avaliação da variabilidade espacial do solo seria a adoção de métodos geoestatísticos (DEUTSCH & JOURNEL, 1998).

Os atributos físicos do solo desempenham importante papel, senão o principal dentre as propriedades do solo (WARRICK & NIELSEN, 1980). No entanto, o cultivo acarreta modificações nos seus atributos físicos, dependendo da intensidade de preparo do solo (SOUZA et al., 2004), seja em preparo convencional (ANJOS et al., 1994; UTSET & CID, 2001) ou em plantio direto (STRECK et al., 2004).

Nesse sentido, TRANGMAR et al. (1985) e SIMÕES et al. (2006) ressaltam que, dentre outros, os atributos físicos do solo influenciam diretamente o crescimento e desenvolvimento das culturas. Desta maneira, a avaliação da variabilidade espacial desses atributos é importante ferramenta na determinação de estratégias de manejo do solo que procuram aumentar a produtividade agrícola.

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo torna-se fundamental para otimizar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes e reduzir a degradação ambiental provocada pelo excesso destes, melhorando dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas (ROCHA & LAMPARELLI,1998; SOUZA et al., 2004; SILVA et al., 2007). O estudo da

variabilidade espacial dos atributos químicos do solo tem a sua principal importância atribuída à aplicação de fertilizantes e corretivos em taxas variáveis. SILVA et al. (2007), avaliando os atributos químicos do solo sob a cultura do cafeeiro, concluíram que a variabilidade espacial encontrada nos atributos químicos justifica a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura de café. A variabilidade espacial dos teores de nutrientes no solo pode não ser igual entre si, ou seja, alguns nutrientes necessitam de número maior de amostras que outros, para que se possa descrever o seu comportamento numa determinada área.

3. METODOLOGIA

A área de estudo localiza-se na região de Humaitá, sul do Estado do Amazonas, estando situada sob as coordenadas geográficas de 7º 30’ 24”S e 63º 04’ 56” W. A região apresenta relevo aproximado ao do tipo “tabuleiro”, com desníveis muito pequenos e, bordos ligeiramente abaulados (BRAUN e RAMOS, 1959). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), apresentando um período seco de pequena duração (Am), temperaturas variando entre 25 e 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm, com período chuvoso iniciando em outubro e prolongando-se até junho e umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

Com relação à geologia, a área estudada localiza-se sob sedimentos aluviais indiferenciados ou antigos, que são cronologicamente oriundos do Holoceno. Os sedimentos desta formação são advindos de dois ciclos de sedimentação: a) bancos arenosos, inferiores, que representam a sedimentação plúvio-fluvial e b) sedimentos argilosos superiores, indicando sedimentação lacustrina (BRAUN e RAMOS, 1959).

A região apresenta uma vegetação de contato entre campos e florestas, que se caracteriza por áreas que inclui várias formações campestres, onde a vegetação que prevalece é a gramíneo-lenhosa baixa e se alterna com pequenas árvores isoladas e galerias florestais ao longo dos rios (BRAUN e RAMOS, 1959).

Foi realizado o mapeamento de uma área de campos naturais, nesta área foi estabelecida uma malha de 70 m x 70 m, de onde que os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, com espaçamentos regulares de 10 em 10 metros, perfazendo um total de 64 pontos amostrais. Esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS e em seguida coletadas amostras

de solos nas profundidades 0,0-0,20 e 0,40-0,60 m, totalizando 128 pontos amostrais na malha.

Foi realizada análise granulométrica, utilizando-se o método da pipeta, com solução de NaOH 1 mol como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos, seguindo metodologia proposta pela (Embrapa, 1997). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia grossa e fina por tamisação e o silte calculado por diferença.

Para as determinações da macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e porosidade total, foram coletados amostras indeformadas utilizando-se anéis volumétricos na profundidade de 0,0-0,5, 0,5-0,10 e 0,10-0,20 m. Em seguida as amostras foram envoltas em filme de PVC transparente e acondicionadas em formas de isopor. No laboratório, as amostras foram preparadas retirando-se o excesso de solo das suas extremidades, em seguida saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja de alumínio, até atingir cerca de 2/3 da altura das amostras.

A porosidade total foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a 105ºC durante 24 horas. A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão. Pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade foi obtido a macroporosidade. A determinação da umidade foi obtida pela diferença entre a massa do solo úmido e a massa do solo seco em estufa a 105ºC durante 24 horas. A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa do solo seco e o volume do anel volumétrico. A densidade de partícula foi determinada pelo método do balão volumétrico, todas as análises foram realizadas conforme metodologia da Embrapa (1997).

A resistência do solo à penetração foi determinada em laboratório nas amostras coletadas com os cilindros volumétricos, utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA-933, marca Marconi, com velocidade constante de 0, 1667 mm s^{-1}, equipado com uma célula de carga de 200 N, haste com cone de 4 mm de diâmetro de base e semi-ângulo de 30º, receptor e interface acoplado a um microcomputador, para registro das leituras por meio de um software próprio do equipamento.

As seguintes análises químicas como: O pH em água, carbono total e a matéria orgânica que por sua vez, será estimada com base no carbono orgânico, alumínio trocável, e acidez potencial (H+Al).

A variabilidade do solo foi, primeiramente, avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial, utilizou-se a análise geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca o semivariograma experimental foi estimado pela Eq. (1).

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

Sendo: γ(h) - valor da semivariância para uma distância h; N(h) - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; Z(xi) - valor do atributo Z na posição xi; Z(xi+h) - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição xi .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de γˆ (h) são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C0; patamar, C1; variância estrutural, C0 + C1; e o alcance, a). 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.

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, se utilizou o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou o melhor R2 (coeficiente de determinação).

Na elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa Surfer8 (GOLDEN SOFTWARE Inc., 2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes à análise descritiva para as variáveis físico-hídricas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm são apresentados nas (Tabela 1). Observou-se, que todas as variáveis analisadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov apresentaram resultado não significativo ao nível de 5% de probabilidade. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, entretanto é conveniente apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

Nota-se que os valores da média e mediana de todas as variáveis analisadas estão próximos, o que caracteriza distribuição simétrica. Foram encontrados valores próximos a zero de assimetria e curtose nas variáveis analisadas, com exceção de macro e microporosidade na profundidade de 0,05 – 0,10 cm, microporosidade e umidade na profundidade de 0,10 – 0,20 cm estes valores de coeficientes de curtose e assimetria mais elevados mostram que estas variáveis não seguem a curva padrão de distribuição.

Seguindo a classificação do CV, proposta por Wilding & Drees, (1983), observou-se que as variáveis analisadas nas três profundidades apresentaram baixa variabilidade, ou seja, CV < 15%, com exceção da RSP nas três profundidades que apresentou moderada variabilidade isto é, 15 < CV < 35% e macroporosidade também nas três profundidades apresentando alta variabilidade CV > 35% (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva para as variáveis de resistência do solo a penetração, densidade do solo, umidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm em área de campo natural na região sul do Amazonas.

Estatística Descritiva	Atributos físico hídricos					
	Ds	Macroporosidade	Microporosidade	Pt	R.S.P	Umidade
	g cm^{-3}	%		%	MPa	%
			Profundidade 0,0 – 0,05 m			
Mediana	1,37	8,05	25,20	33,39	1,99	28,87
Média	1,36	8,17	25,16	33,33	1,97	28,81
DP[1]	0,07	3,72	1,50	3,21	0,40	2,16
Variância	0,00	13,89	2,27	10,32	0,16	4,68
CV[2]%	5,64	45,60	5,99	9,64	20,65	7,51
Curtose	- 0,87	- 0,85	- 0,43	- 0,40	- 0,59	0,20
Assimetria	- 0,12	0,22	- 0,10	0,20	- 0,27	0,10
d[(3)]	0,05	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07
			Profundidade 0,05 – 0,20 m			
Mediana	1,49	4,85	24,29	29,77	2,14	25,35
Média	1,49	5,79	24,21	30,01	2,07	25,52
DP[1]	0,07	3,35	1,77	2,71	0,34	2,38
Variância	0,00	11,22	3,15	7,37	0,12	5,69
CV[2]%	5,14	57,78	7,33	9,05	16,75	9,35
Curtose	- 0,36	2,66	2,85	0,16	- 0,49	- 0,15
Assimetria	- 0,20	1,50	- 0,93	0,67	- 0,50	0,18
d[(3)]	0,08	0,16	0,07	0,10	0,08	0,07
			Profundidade 0,10 – 0,20 m			
Mediana	1,53	4,20	23,46	27,70	2,02	23,84
Média	1,53	4,97	23,73	28,70	2,08	24,34
DP[1]	0,08	3,63	2,18	3,66	0,47	2,97
Variância	0,00	13,28	4,77	13,45	0,22	8,83
CV[2]%	5,86	73,12	9,21	12,78	22,69	12,21
Curtose	- 0,61	- 0,82	8,04	1,01	0,55	6,30
Assimetria	- 0,20	0,65	1,88	0,51	0,86	1,63
d[(3)]	0,05	0,14	0,12	0,14	0,11	0,10

[(1)] Desvio padrão; [(2)] Coeficiente de variação (%); Ds = Densidade do Solo; Pt = Porosidade Total; R.S.P = Resistência do solo a penetração, [(3)]d= teste de normalidade.

Os resultados dos parâmetros dos semivariogramas das variáveis estudadas são apresentados nas (Figuras 1, 2 e 3). Todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial nas três profundidades, sendo que o modelo esférico e exponencial ajustou-se melhor para as variáveis estudadas. De acordo com Mcbratney & Webster (1986) os modelos matemáticos que mais ajustam-se as propriedades do solo são os modelos esférico e exponencial.

A respeito da razão de dependência (RD), observa-se que na (Figura 1) apenas a variável de RSP na camada de 0-5 cm apresentou alta dependência

espacial (< 26%), enquanto que as demais variáveis apresentaram baixa dependência (> 26%). Enquanto que na camada de 5-10 cm (Figura 2) todas as variáveis apresentaram baixa dependência, com exceção da RSP que apresentou dependência espacial moderada (26-75%). Na camada de 10-20 cm (Figura 3) todos os atributos analisados apresentaram baixa dependência espacial.

Os atributos do solo apresentaram diferentes alcances de dependência espacial nas profundidades analisadas, os maiores valores de alcances encontrados foram para as variáveis de macro e microporosidade na camada de 5-10 cm apresentando alcances de 27,03 e 21,03 m respectivamente (Figura 2), enquanto os menores valores de alcance encontrados foram para as variáveis de porosidade total na profundidade de 0-5 10,95 m e para densidade do solo na camada de 5-10 13,70 m. Segundo Trangmar et al. (1985), o alcance define o raio máximo para o qual amostras vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem. Assim, baixos valores de alcance podem influir na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação.

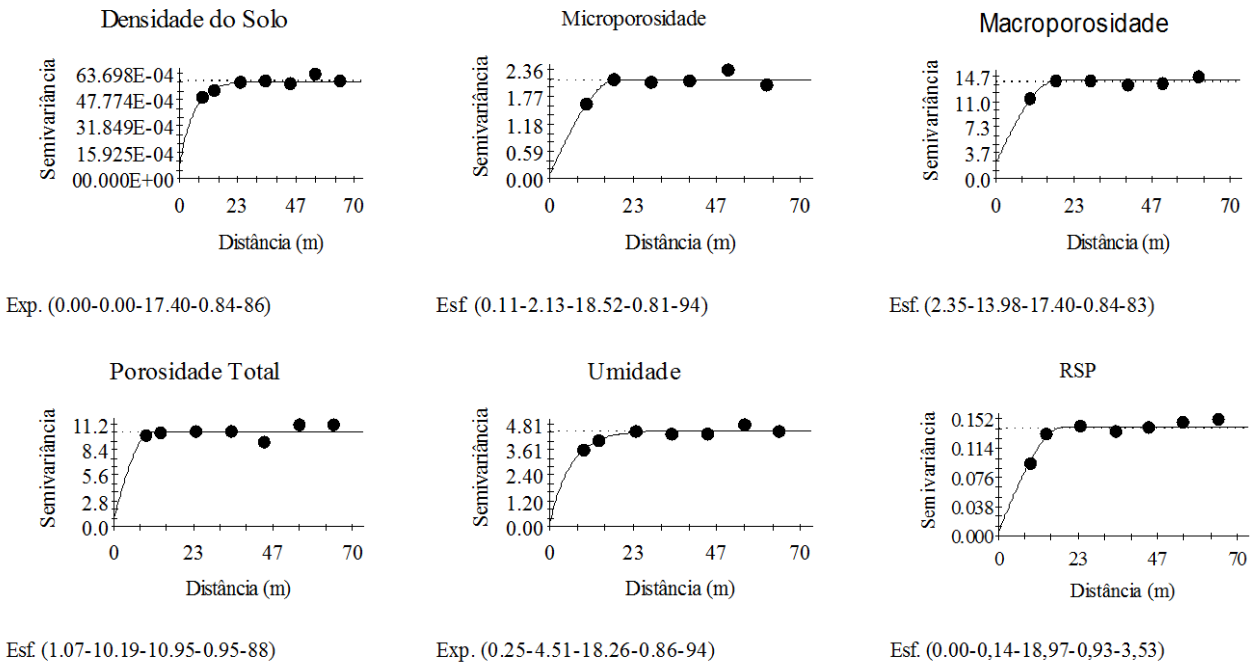


Figura 1: Semivariograma das variáveis de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo a penetração e umidade na profundidade. de 0-5 cm em área de campo natural na região sul do Amazonas. Esf e Exp. (C_0; C_1+C_0; a), Esf = modelo esférico, Exp.= modelo exponencial. C_0 = efeito pepita; C_1+C_0 = patamar; a = alcance.

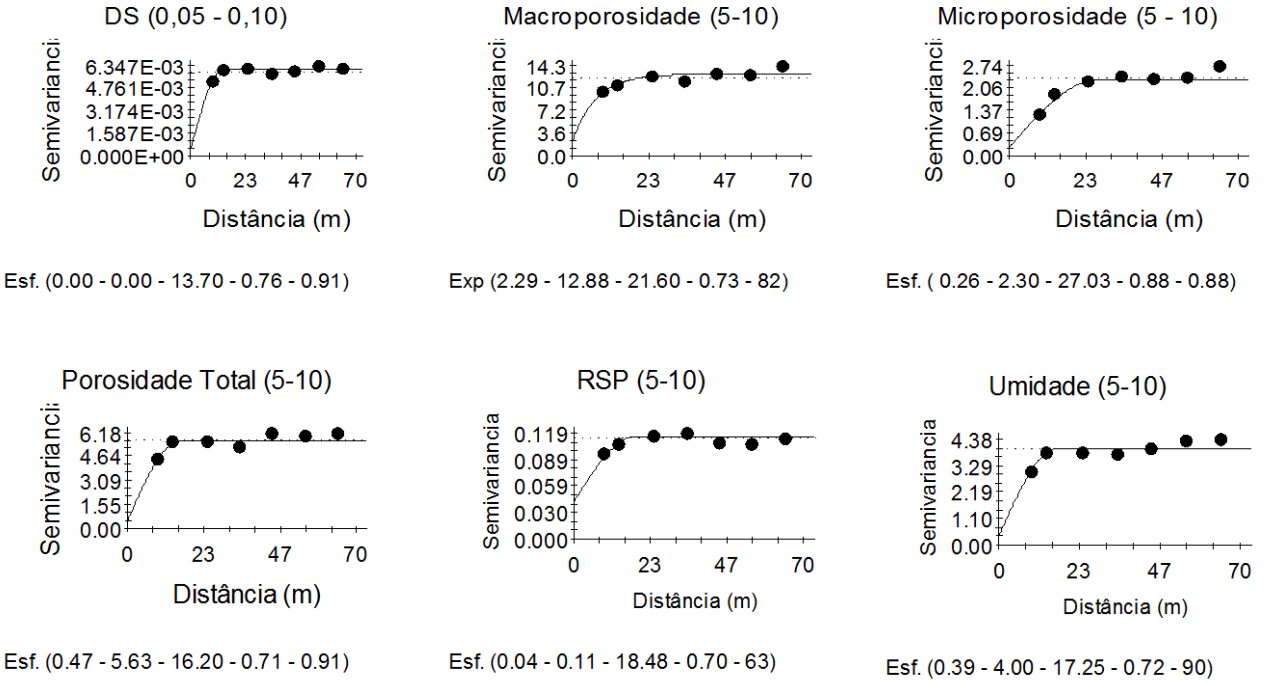


Figura 2: Semivariograma das variáveis de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo a penetração e umidade na profundidade. de 5-10 cm em área de campo natural na região Sul do Amazonas. Esf e Exp. (C_0; C_1+C_0; a), Esf = modelo esférico, Exp.= modelo exponencial. C_0 = efeito pepita; C_1+C_0 = patamar; a = alcance.

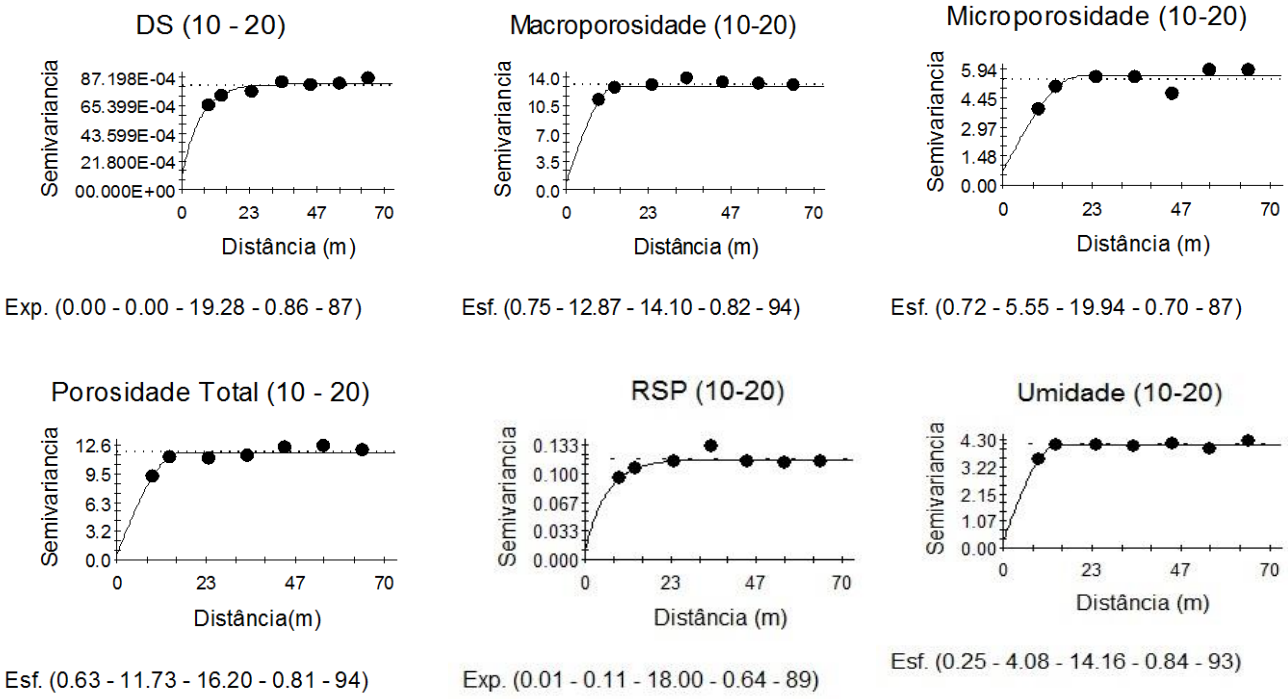


Figura 3: Semivariograma das variáveis de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo a penetração e umidade na prof. de 10-20 cm em área de campo natural na região Sul do Amazonas. Esf e Exp. (C_0; C_1+C_0; a), Esf = modelo esférico, Exp.= modelo exponencial. C_0 = efeito pepita; C_1+C_0 = patamar; a = alcance.

Com os valores estimados por krigagem, foram gerados mapas de distribuição espacial dos atributos analisados nas Figuras 5, 6 e 7, observou-se um arranjo de distribuição espacial dos atributos físico-hídricos diferente nas três profundidades. Para as variáveis na camada de 0-5 os atributos apresentaram correlação espacial. Os valores mais baixos de densidade do solo encontram-se em acordo com os valores de porosidade total e resistência do solo a penetração.

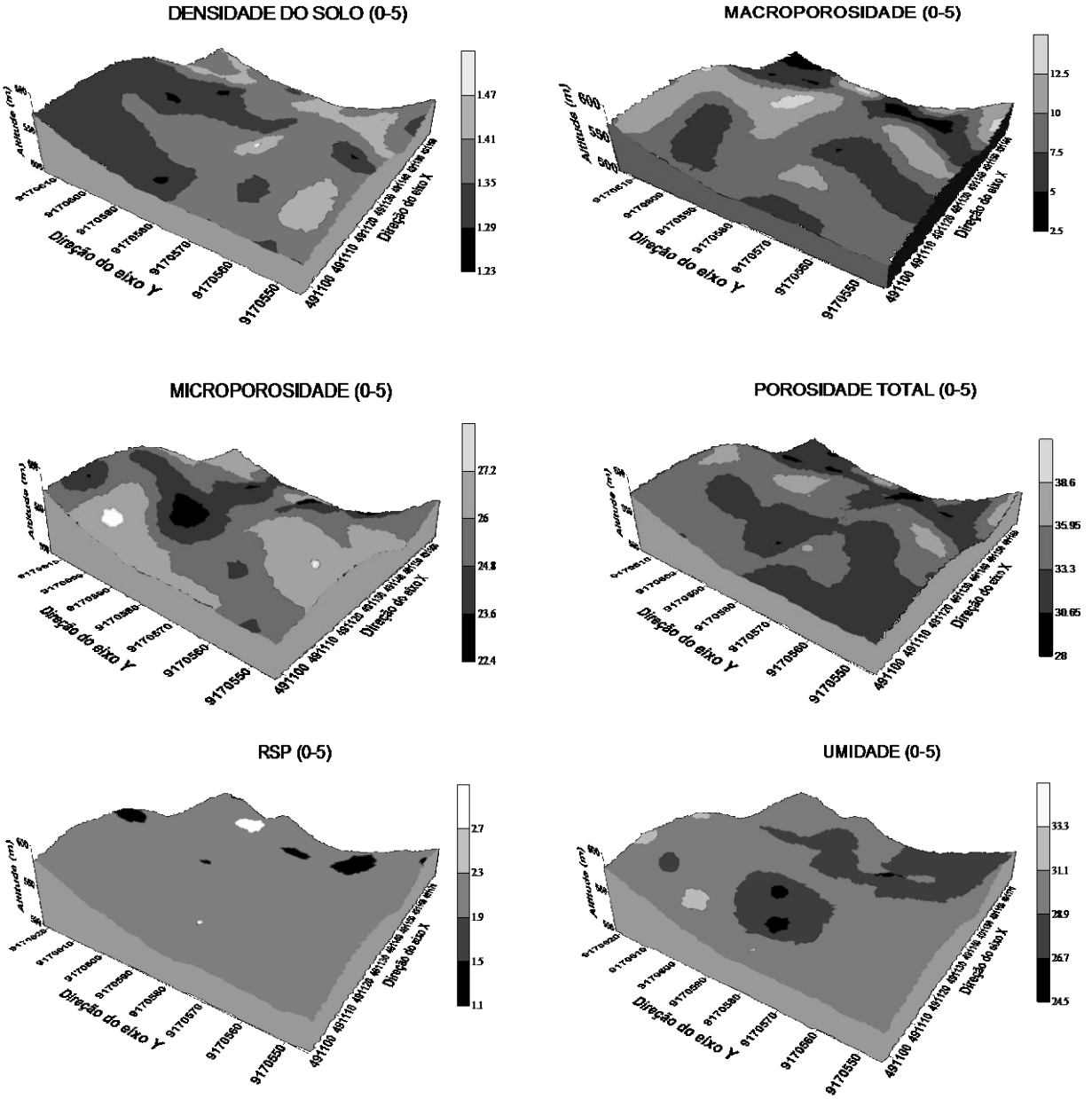


Figura 5: Mapas de krigagem das variáveis de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo a penetração e umidade na camada de 0-5 cm em área de campo natural na região Sul do Amazonas.

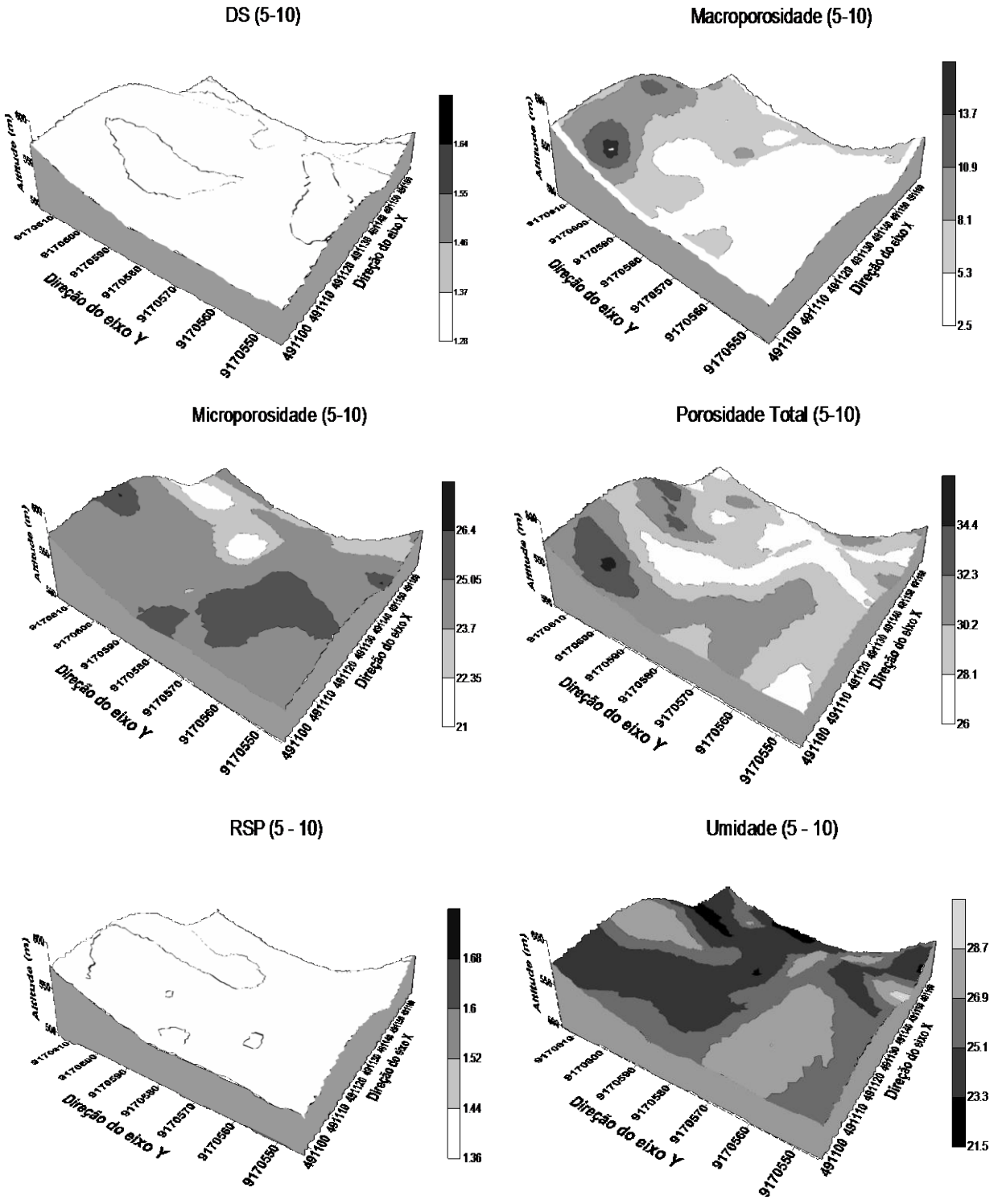


Figura 6: Mapas de krigagem das variáveis de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo a penetração e umidade na prof. de 5-10 cm área de campo natural na região Sul do Amazonas.

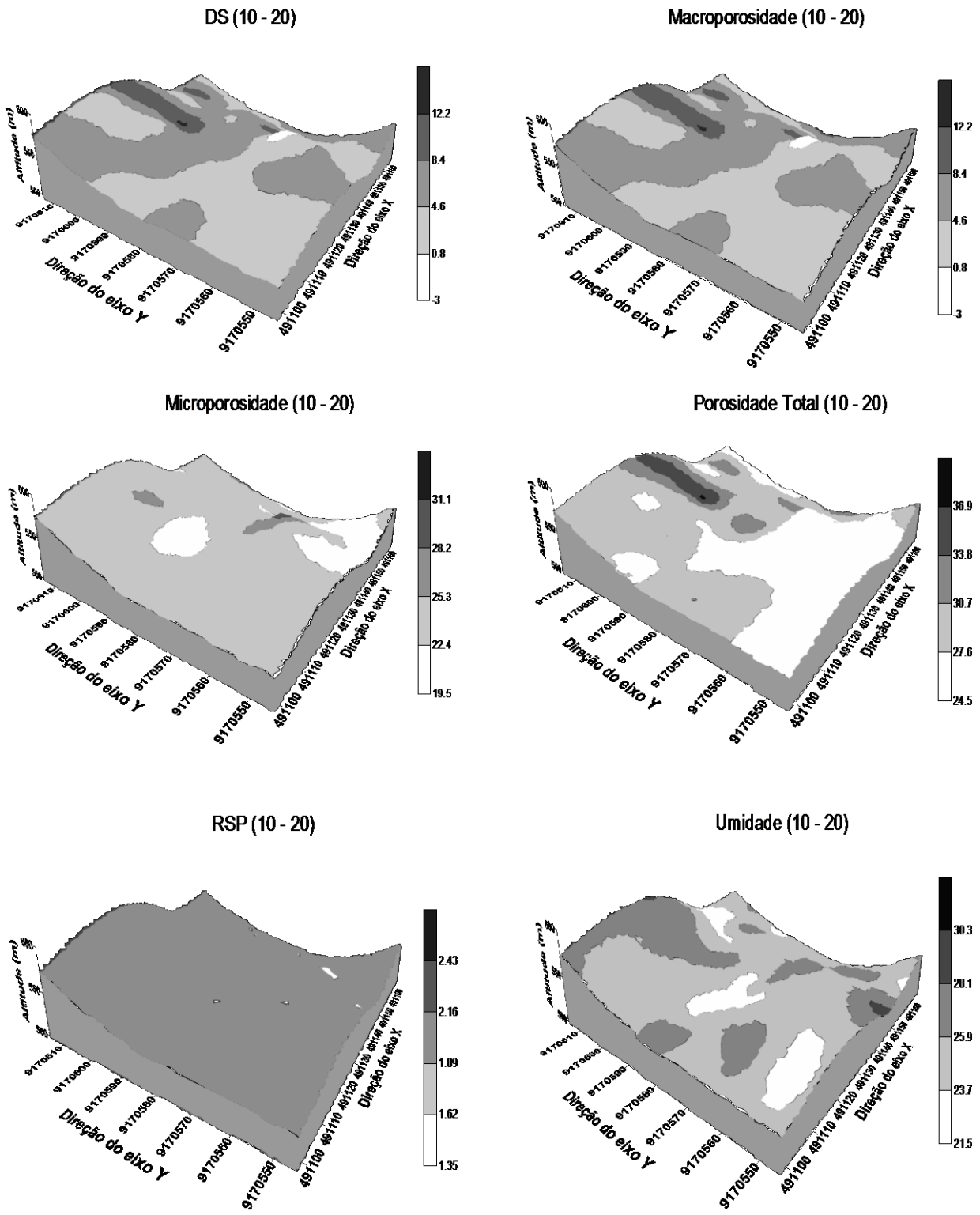


Figura 7: Mapas de krigagem das variáveis de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, resistência do solo a penetração e umidade na camada de 10-20 cm área de campo natural na região Sul do Amazonas.

Ao comparar os valores médios das variáveis granulométricas, apresentados na (Tabela 2), observou-se que não houve diferença significativa entre os valores das duas profundidades, com exceção da fração argila que apresentou valores elevados na camada mais profunda com relação a camada mais superficial, resultado semelhante foram encontrado por Barbosa et al. (2009) para essa variável. Todavia observou-se que os valores de média e mediana de todos os atributos da textura nas duas profundidades estão próximos, o que caracteriza uma distribuição simétrica dos dados.

O coeficiente de variação (CV) permite a comparação entre os diferentes atributos do solo, e pode ser o primeiro indicador da heterogeneidade quando apresenta valores elevados (CAMPOS et al., 2007). Segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), a areia fina e areia grossa apresentaram baixa variabilidade na camada superficial (CV ≤ 12%) e média variabilidade (12% > CV ≤ 60%) na camada subsuperficial, enquanto o silte e a argila apresentaram baixa e média variabilidade, respectivamente, em ambas as profundidades (Tabela 2).

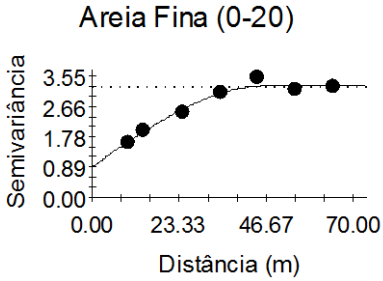
O modelo esférico foi o que melhor se ajustou respectivamente para todas as variáveis analisadas nas duas profundidades (Figura 8). A razão em percentagem entre o efeito pepita e o patamar do semivariograma pode indicar o grau de dependência espacial (GDE). Neste sentido, apenas as variáveis de areia fina na profundidade de 0,0-0,2 m e silte e argila na profundidade de 0,4-0,6 m mostrou moderada dependência espacial (GDE entre 25 e 75%), enquanto todas as outras variáveis granulométricas mostraram fraca dependência espacial (GDE acima de 75%) nas duas profundidades (Figura 1).

Observou-se o maior alcance para o silte na profundidade de 0,4-0,6 m fina equivalente a 53,80 m, na camada subsuperficial, as demais variáveis apresentaram alcance entre 19 e 46 m, indicando que os pontos são mais semelhantes entre si entre essas distâncias (Figura 8). O silte e a argila são as frações dominantes na área de estudo representando mais de 68% e 25%, respectivamente, do total em relação às outras variáveis. Essa característica é reflexo da natureza aluvial dos sedimentos que compõe seu material de origem (BRASIL, 1978).

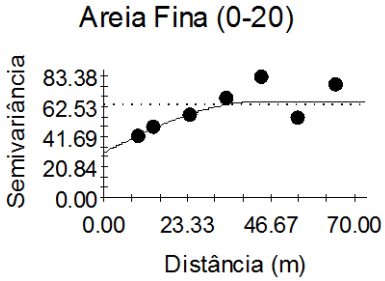
Tabela 2. Estatística descritiva para as variáveis de Areia Fina, Areia Grossa, Silte e Argila nas profundidades de 0-20 e 40-60 cm em área de campo natural na região Sul do Amazonas.

Estatística descritiva	Atributos granulométricos			
	Areia Fina	Areia Grossa	Silte	Argila
	g.kg^{-1}			
	0,0-0,2 m			
Média	36,6	24,6	569,5	190,60
Mediana	37,1	24,6	568,8	183,30
[1]DP	2,30	1,20	44,10	50,90
Variância	5,30	1,40	1945,2	2592,8
[2]CV (%)	6,30	4,80	7,70	26,70
Assimetria	0,06	0,51	-0,87	0,90
Curtose	-0,96	-0,12	3,49	1,33
[3]d	0,13	0,08	0,07	0,11
	0,4-0,6 m			
Média	39,90	30,70	549,90	262,90
Mediana	35,70	25,50	543,30	259,70
[1]DP	9,70	9,50	40,40	52,40
Variância	93,80	90,20	1629,9	2742,20
[2]CV (%)	24,30	30,90	7,30	19,90
Assimetria	0,96	0,98	0,19	0,25
Curtose	-0,82	-0,87	-0,66	-0,69
[3]d	0,31	0,36	0,10	0,07

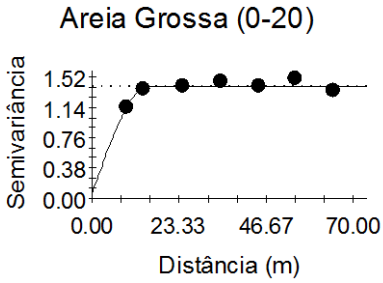
[(1)] Desvio padrão; [(2)] Coeficiente de variação (%); [(3)]d= teste de normalidade.



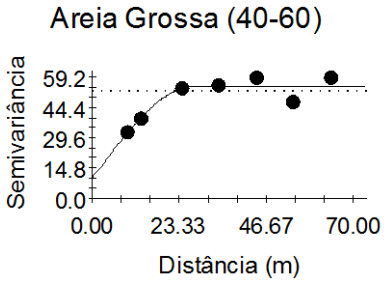
Esf. (0.88 - 3.26 - 46.60 - 0.97 - 72)



Esf. (30.68 - 65.57 - 42.47 - 0.66 - 53)



Esf. (0.05 - 1.40 - 15.38 - 0.83 - 96)



Esf. (9.34 - 55.02 - 27.91 - 0.84 - 83)

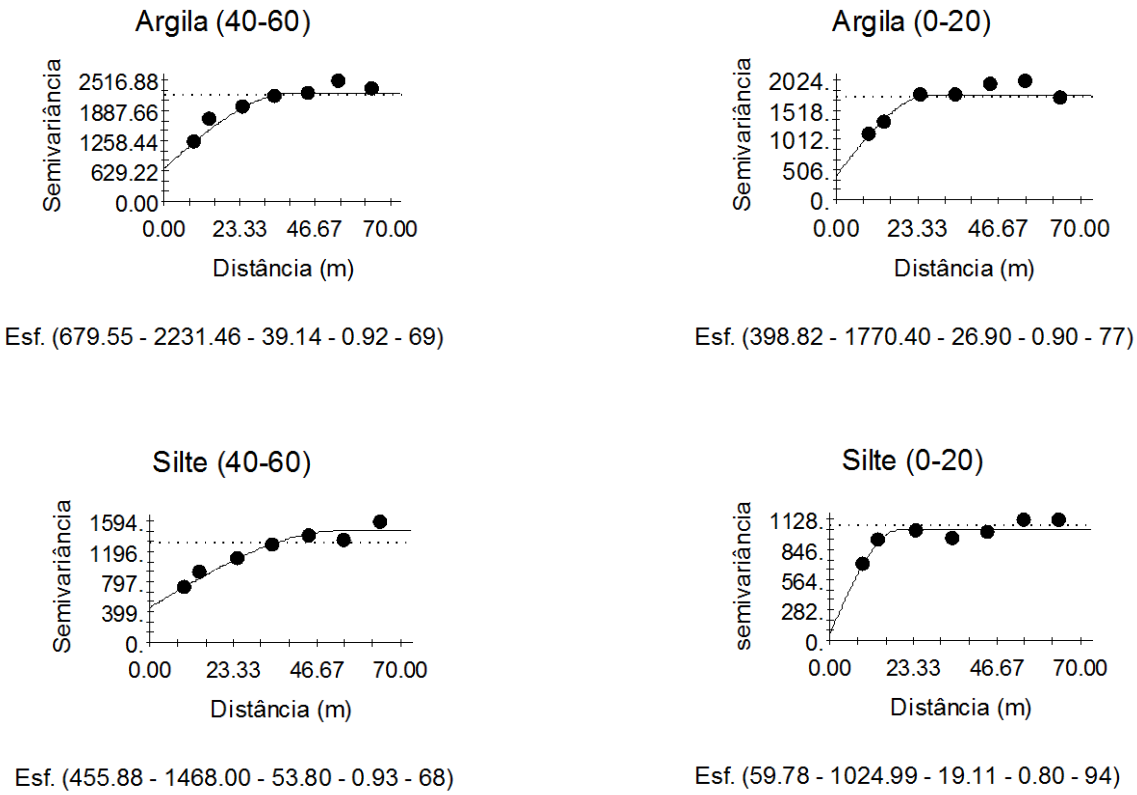


Figura 8: Semivariograma das variáveis de areia fina, areia grossa, silte e argila nas profundidades de 0-20 e 40-60 cm em área de campo natural na região Sul do Amazonas. Esf. (C_0; C_1+C_0; a), Esf = modelo esférico. C_0 = efeito pepita; C_1+C_0 = patamar; a = alcance.

A figura 9 apresenta os mapas com os valores estimados por krigagem, sendo que observou-se um melhor arranjo das variáveis em estudo na camada subsuperficial em relação à camada superficial, fato justificável pela maior ação do escoamento da água da chuva em decorrência do suave declive do relevo na camada superficial, como observado por Rodrigues et al. (2007).

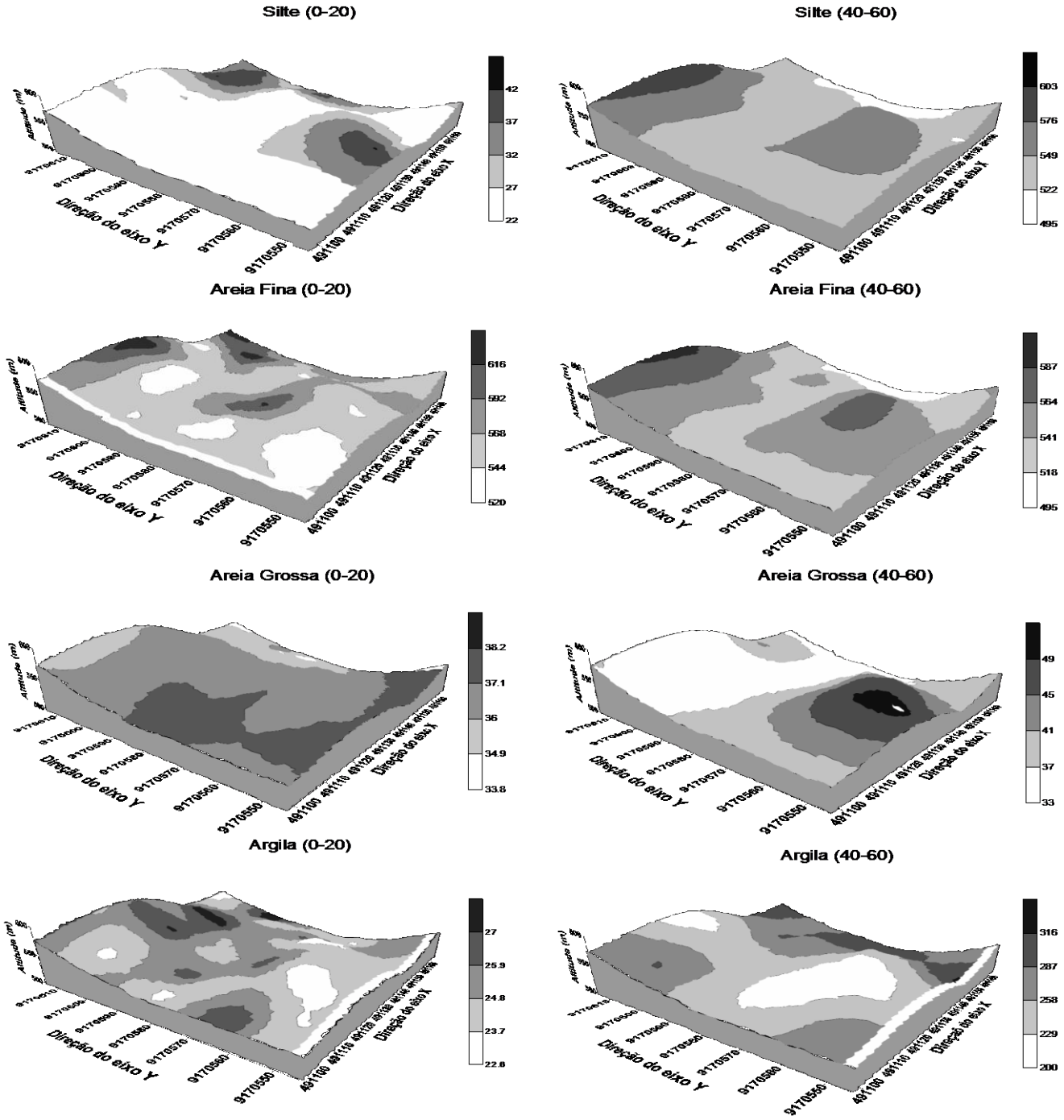


Figura 9: Mapas de krigagem das variáveis de Areia Fina, Areia Grossa, Silte e Argila nas camadas de 0-20 e 40-60 cm.

Os resultados referentes à análise descritiva para as variáveis químicas na profundidade de 0-20 cm são apresentados nas (Tabela 3). Verificou-se a normalidade da distribuição desses atributos do solo pelo teste de Kolmogorov Smirnov.

Os valores correspondentes à média e à mediana coincidem, presumindo tratar-se de uma distribuição simétrica dos dados. Outro fato é que os coeficientes de assimetria e curtose foram diferentes de zero, com valor negativo para pH, carbono e matéria orgânica, indicando assimetria negativa para a distribuição dos teores, os coeficientes de assimetria e de curtose dos atributos são apresentados para efeito de comparação com a distribuição normal, para o qual esses coeficientes são, respectivamente, zero e três, esses resultados concordam com os encontrados por Cambardella et al. (1994) que afirmam que isso pode ser indicativo de que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição.

Seguindo a classificação do CV, proposta por Wilding & Drees, (1983), observou-se que as variáveis analisadas na camada de 0-20 cm apresentaram baixa variabilidade, ou seja, CV < 15%, com exceção da acidez potencial e alumínio trocável que apresentou moderada variabilidade isto é, 15 < CV < 35% (Tabela 3).

Tabela 3. Estatística descritiva para as variáveis de pH em água, acidez potencial, carbono orgânico, matéria orgânica e alumínio trocável nas profundidades de 0-20 cm em área de campo natural na região Sul do Amazonas.

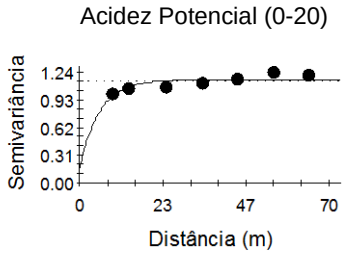
	Atributos químicos				
Estatística Descritiva	pH H_2O	Al+H	Carbono Orgânico	Matéria Orgânica	Al^{3+}
	Profundidade 0 – 20 cm				
Mediana	5,11	5,45	23,50	40,55	1,40
Média	5,09	5,63	23,57	40,64	1,47
DP[1]	0,19	1,13	1,70	2,96	0,41
Variância	0,03	1,28	2,91	8,76	0,17
CV[2]%	3,78	20,14	7,24	7,28	28,18
Curtose	- 0,41	- 0,60	0,63	0,68	1,48
Assimetria	- 0,10	0,32	- 0,11	- 0,10	1,22
d[(3)]	0,08	0,07	0,05	0,07	0,09

[(1)] Desvio padrão; [(2)] Coeficiente de variação (%); Al^{3+} = alumínio trocável; [(3)]d= teste de normalidade.

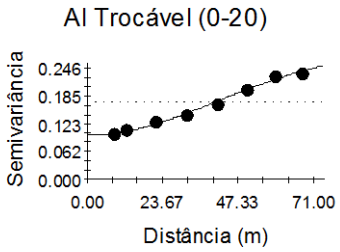
Os resultados dos parâmetros dos semivariogramas das variáveis químicas estudadas são apresentados na (Figura 10). Todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial nas três profundidades, sendo que o modelo esférico e exponencial ajustou se melhor para todas as variáveis, exceto para a variável de Al trocável que se ajustou ao modelo Gaussiano. De acordo com Mcbratney & Webster (1986) os modelos matemáticos que mais se ajustam as propriedades do solo são os modelos esférico e exponencial.

A respeito da razão de dependência (RD), observa-se que na (Figura 10) apenas a variável de Al trocável na camada de 0-20 cm e pH em água na camada de 40-60 cm apresentaram dependência espacial moderada (26-75%), enquanto que as demais variáveis apresentaram baixa dependência (> 26%).

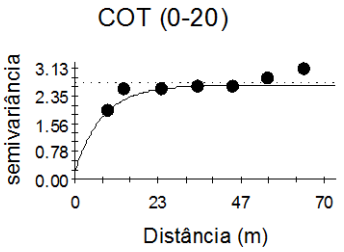
O alcance (a) é uma medida importante, uma vez que pode auxiliar na definição de práticas de amostragem, ou seja, pontos coletados em uma área circular de raio igual ao alcance são correlacionados e, acima deste, são independentes, podendo utilizar a estatística clássica para o estudo dos atributos do solo (Vieira, 2000). O maior alcance foi observado para o atributo de alumínio trocável na camada de 0-20 cm (98,32 m), indicando maior continuidade espacial e o menor valor para o MO (16,18 m), indicando variação de escala de acordo com o atributo estudado. Os valores de alcance podem influenciar na qualidade das estimativas, uma vez que ele determina o número de valores usados na interpolação, estimativas feitas com interpolação por krigagem ordinária, utilizando valores de alcances maiores, tendem a ser mais confiáveis, apresentando mapas que representem melhor a realidade (Corá et al.,2004).



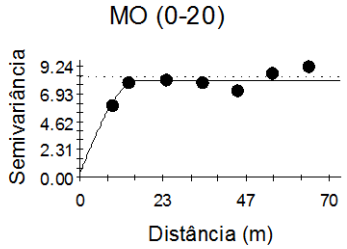
Exp. (0.16 - 1.15 - 16.57 - 0.61 - 85)



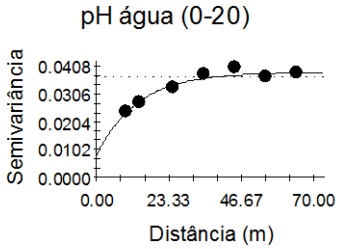
Gau. (0.09 - 0.28 - 98.32 - 0.99 - 66)



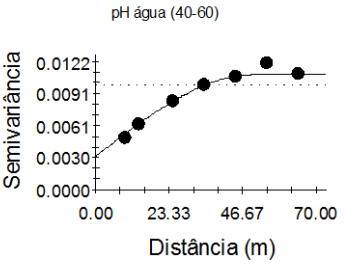
Exp. (0.21 - 2.65 - 23.76 - 0.72 - 91)



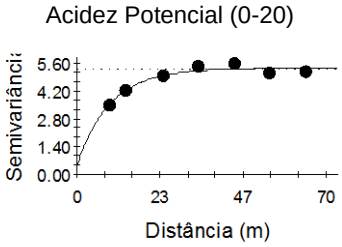
Esf. (0.32 - 8.06 - 16.18 - 0.64 - 96)



Exp. (0.00 - 0.03 - 39.76 - 0.95 - 79)



Esf. (0.00 - 0.01 - 50.24 - 0.97 - 0.71)



Exp. (0.39 - 5.32 - 27.60 - 0.93 - 92)

Figura 10: Semivariograma das variáveis de acidez potencial, Al trocável, carbono orgânico total, matéria orgânica e pH em água na camada de 0-20 e 40-60 cm. Esf, Exp e Gau. (C_0; C_1+C_0; a), Esf = modelo esférico, Exp.= modelo exponencial, Gau= Gaussiano. C_0 = efeito pepita; C_1+C_0 = patamar; a = alcance.

Na figura 11 são apresentados os mapas interpolados por krigagem da distribuição espacial dos atributos químicos da área o que possibilitou identificar regiões heterogêneas, o que reforça a necessidade de ampliação da malha amostral e da densidade dos pontos de forma a caracterizar a variabilidade espacial de todos os atributos da área.

Todos os atributos analisados apresentaram maior continuidade no eixo X e menor no eixo Y. Essa menor continuidade espacial no eixo Y pode estar relacionada com vários fatores, como a pedoforma, a cobertura do solo, o transporte de partículas do solo no escoamento superficial o que é muito comum em áreas não manejadas. Souza et al (2003) observaram que pequenas variações, na pedoforma,

condicionam variabilidade diferenciada em relação aos atributos químicos do solo. Observou-se baixa amplitude nos atributos químicos analisados, esta baixa amplitude revela que não á a possibilidade de ocorrer erros grosseiros quando se usa a média dos valores. Para qualquer um destes atributos analisados é possível notar que uma amostragem ao acaso, sem levar em consideração o alcance de dependência espacial, falharia em apresentar as variações encontradas.

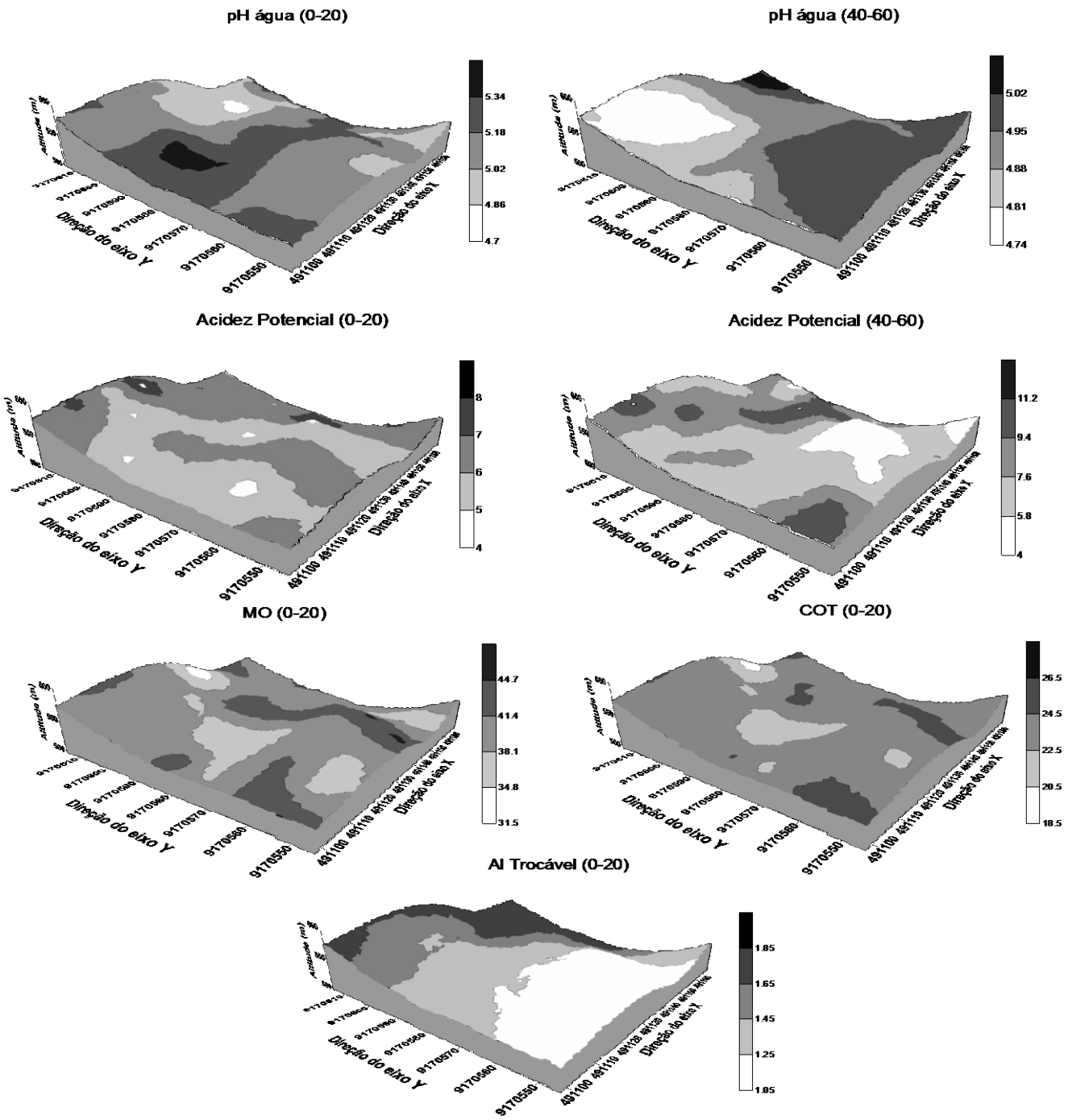


Figura 11: Mapas de krigagem das variáveis de acidez potencial, Al trocável, carbono orgânico total, matéria orgânica e pH água nas camadas de 0-20 e 40-60 cm em área de campo natural na região Sul do Amazonas.

5. CONCLUSÃO

1. Todas as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, variando entre fraca e moderada com exceção da RSP na profundidade de 0-5 cm que apresentou estrutura de dependência forte.
2. Os menores valores de alcance foram encontrados para densidade do solo na profundidade de 0-5 cm e porosidade total na profundidade de 10-20 cm, sedo estes, menores que o estabelecido pela malha e a variável de Al trocável apresentou alcance maior do que o estabelecido pela malha indicando assim maior continuidade na distribuição espacial das propriedades do solo.
3. Ajustou-se o modelo esférico e exponencial para todos os atributos físicos e químicos que apresentaram dependência espacial, com exceção do Al trocável na profundidade de 0-20 cm que se ajustou melhor ao modelo gaussiano.
4. Os mapas interpolados por krigagem da distribuição espacial dos atributos químicos e físicos da área possibilitou identificar regiões heterogêneas, o que reforça a necessidade de ampliação da malha amostral e da densidade dos pontos de forma a caracterizar a variabilidade espacial de todos os atributos da área.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:139-145, 1994.

BARBOSA, L. C.; SILVA, R. B. **Caracterização física de um Latossolo Amarelo sob cultivo de chá no município de Registro-SP**. In: Congresso de Iniciação Científica da Unesp 2009, São José do Rio Preto-SP, Unesp, 2009. v.1. p.1-4.

BOTTEGA, E. L., BOTTEGA, S. P., SILVA, QUEIROZ, S. A., SOUZA, C M. A. RAFULL, L. Z. L.. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Dourados/MS, v.6 p.331-336. 2011.

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

BRAUN, E. H. G.; RAMOS, J. R. A. Estudo agroecologico dos campos Puciari-Humaita (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). **Revista Brasileira de Geografia**. v. 21,n. 04, p. 443-497, 1959.

BURROUGH, P. A., MCDONNEL, R. A. **Priciples of geographical information systems**. Oxford University Press, Oxford, UK., 2000.

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 Soil. **Soil Science Society American Journal**, v. 58, p. 1501-1508, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; FERRAZ, F. B.; FREITAS, E. V. S. SOUZA, Z. M. Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um espodossolo da zona da mata de Pernambuco. **Revista Biologia e Ciência da Terra**. Campina Grande-PB, v.7, n.1. p. 84-91. 2007.

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

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Santo Antônio de Goiás, GO v.37, p.1151-1159, 2002.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Jaboticabal/SP, v. 28, n. 6, p. 1013-1021. 2004.

DEUTSCH, C.V.; JOURNEL, A.G. GSLIB: geostatistical software library and user's guide, New York: Oxford University, 1998. 369p. CD-Rom.

DIAS FILHO, M.B. Pastagens cultivadas na Amazônia oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: Dias, L.E.; Mello, J.W.V. (eds.). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: UFV-DPS/**Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas**, 1998. p.135-149.

FRANZEN, D.W. et al. A survey of soil attributes in North Dakota by landscape position. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 04, p. 1015-1022, 2006.

FREITAS, H. A. et al. Florestas X Savanas no passado na Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 32, n. 189, p. 40-46, 2002.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas. (SP) v.29, p.169-177, 2005.

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

JENNY, H. Factors of soil formation: **a system of quantitative pedology**. New York, MacGraw Hill, 1941. 281p.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, 2001. 176f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa.

MARTINEZ, L.L.; FIEDLER, N.C.; LUCATELLI, G.J. Análise das relações entre desflorestamentos e focos de calor: estudo de caso nos municípios de Altamira e São Félix do Xingu, no Estado do Pará. **Revista Árvore**, v.31, n.4, p. 695-702. 2007.

MARTINS, G. C. et al. Campos nativos e matas adjacentes da região de Humaitá (AM): atributos diferenciais dos solos.**Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 02, p. 221-227, 2006.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v. 37, p. 617-639, 1986.

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

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:1-6, 1986.

REZAEI, S. A.; GILKES, R. J. The effects of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands.**Geoderma**, v. 125, n. 01/02, p.167-176, 2005.

RODRIGUES, L. A., CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; CURI, N. Efeitos de solos e topográficas sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.1, p.25-35, 2007.

ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Geoprocessamento. In: Silva, F.M. Mecanização e agricultura de precisão. Poços de Caldas: UFV, p.1-30, 1998.

RODRIGUES, T.E.; OLIVEIRA, R.C. Solos de várzeas da Amazônia: uso e potencialidade. In.: Amazônia: agricultura sustentável. Viçosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p.215-221, 1997.

SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) Tópicos ciência do solo Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Sol**o, 2000, v.1, p.1-54.

SHATAR, T.M.; McBRATNEY, A.B. Empirical modeling of relationships between sorghum yield and soil properties. Precision Agriculture, **Guilford**, v.1, n.1, p.125-152, 1999.

SILVA, F.M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, n.37, p.401-407, 2007.

SIMÕES, W.L.; SILVA, E.L.; LIMA, D.M.; OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.30, p.1061-1068, 2006.

SOUZA, C.K. et al. Variabilidade do relevo na variação Anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um latossolo em Jaboticabal SP. **Revista. Engenharia Agrícola**., Sorocaba, v. 23, n.3, p.48, 2003.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.491-499, 2004

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004.

TRANGMAR, B. B; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial estudies of soil properties. **Advances Agronomy**, v. 38, p. 45-93, 1985.

UTSET, A. & CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil Till Revist**., v. 61, p. 193-202, 2001

VAUCLIN, M., VIEIRA, S. R., VACHAUD, G., NIELSEN, D. R., The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society American Journal**, Madison 47, 175-184. 1983.

VENDRUSCULO, L.G. **Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística**. Campinas, 2001. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas, 2001.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; VIEIRA, S.R., LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, p. 405-412, 1995.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2000. v. 1, p. 1-53.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. **Geoestatiscal theory and application to variability of some agronomical properties**. Hilgardia. Oakland, v.51, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2002. v.2, p.1-45.

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. p.319-344.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. **Spatial variability and pedology**. In: WILDING, L. P. & DREES, L. R., eds. **Pedogenesis and soil taxonomy**: concepts and interactions. New York, Elsevier, 1983. p. 83-116.

WOLLENHAUPT, N. C., MULLA, D. J., CRAWFORD, G. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: Pierce F J, Sadler E .J. The state of site-specific management for agriculture. **Madison**, p. 19-53, 1997.

YIMER, F. et al. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. **Forest Ecology and Management**. v. 232, n. 01/03, p. 90-99, 2006.

7. ANEXOS

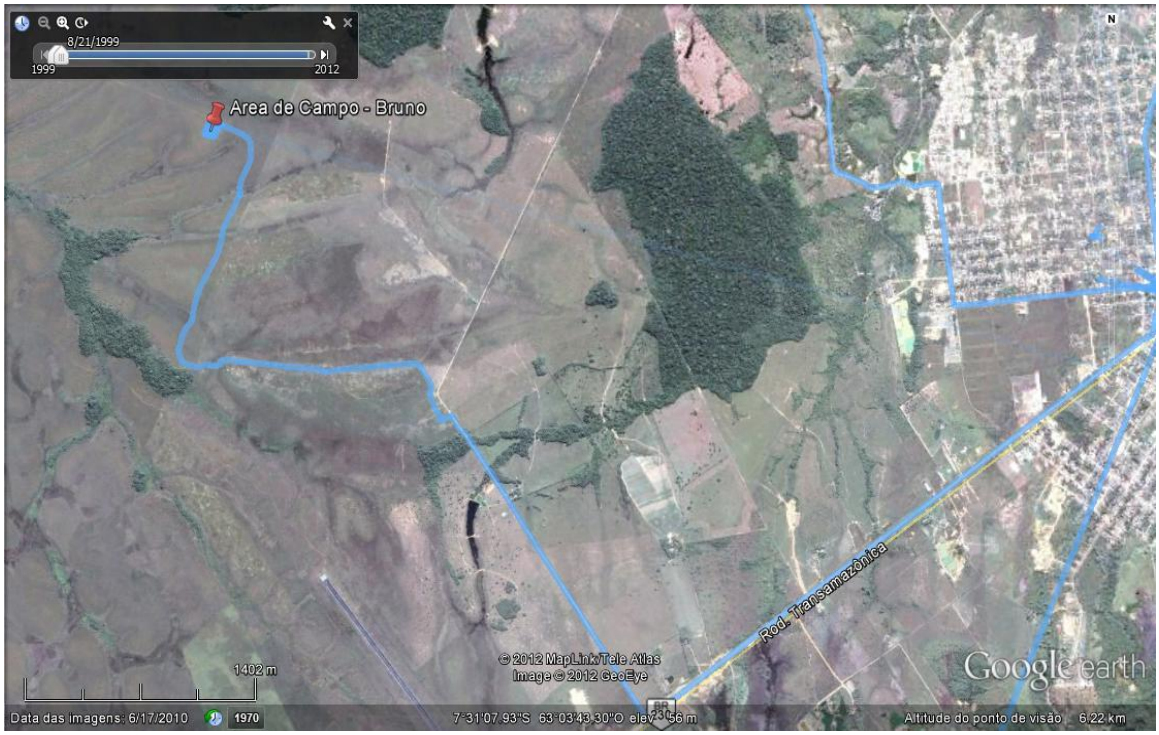


Figura 12: Mapa de localização da área de estudo localizada a 5 km da sede do município de Humaitá-AM.
Fonte: Image U.S. Geological Suvery, 2012 Map Link/ Tele Atlas. Google Earth

Figura 13: Mapa de representação da malha amostral.
Fonte: Image U.S. Geological Suvery, 2012 Map Link/ Tele Atlas. Google Earth