

SUPERFÍCIES GEOMÓRFICAS E ATRIBUTOS DO SOLO EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA DE TRANSIÇÃO VÁRZEA-TERRA FIRME

GEOMORPHIC SURFACES AND SOIL ATTRIBUTES IN A TOPOSSEQUENCE OF THE LOW LAND/HIGH LAND

Milton César Costa CAMPOS¹; Mateus Rosas RIBEIRO²;
Valdomiro Severino SOUZA JUNIOR²; Mateus Rosas RIBEIRO FILHO²;
Renato Eleoterio AQUINO³; Ivanildo Amorim de OLIVEIRA³

1. Professor, Doutor, IEAA – Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Humaitá, AM, Brasil. mcesarsolos@gmail.com; 2. Professor, Doutor, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil; 3. Mestrando no Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, FCAV – Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

RESUMO: Os atributos do solo sofrem influências das superfícies geomórficas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi investigar as interferências das superfícies geomórficas nos atributos do solo em uma topossequência de transição várzea/terra firme na região de Humaitá, AM. Foi estabelecido um caminhamento de 4.500 m a partir do topo da vertente no sentido do caimento mais suave do relevo e as superfícies geomórficas foram identificadas e delimitadas conforme critérios topográficos, estratigráficos e intensas investigações de campo. Foram coletadas 20 amostras em cada um dos segmentos de vertente das superfícies geomórficas (S.G.), nas seguintes profundidades: S.G. I: LAa: 0,0-0,16 e 0,48-0,79 m; S.G. II: LAd₁: 0,0-0,13 e 0,44-0,70 m e LAd₂: 0,0-0,10 e 0,30-0,55 m; S.G. III: RYve₁: 0,0-0,18 e 0,51-0,89 m e RYve₂: 0,0-0,23 e 0,58-0,91 m. O critério de escolha das profundidades de coleta foi a coincidência com os horizontes superficiais e subsuperficiais determinados na descrição morfológica dos perfis. Foram realizadas análises físicas de granulometria, argila dispersa e grau de floculação, densidades do solo e das partículas e porosidade total. As análises químicas realizadas foram: pH em água e KCl; Ca, Mg, K, Na e Al trocáveis; P disponível; H+Al e C orgânico. As variações do relevo favoreceram a presença de solos distróficos na superfície geomórfica I e solos eutróficos na superfície geomórfica III. As técnicas estatísticas multivariadas permitiram separar três grupos heterogêneos, equivalentes às superfícies geomórficas mapeadas.

PALAVRAS-CHAVE: Solos da Amazônia. Análise multivariada. Pedogênese.

INTRODUÇÃO

As superfícies geomórficas são uma porção de terra definida no espaço e no tempo (RUHE, 1956). Em acréscimo a esse conceito, Daniels et al. (1971) afirmaram que estas superfícies apresentam limites geográficos definidos e são formadas por um ou mais agentes em determinado período de tempo. A compreensão das relações entre solos e superfícies geomórficas apresenta-se como uma ferramenta para a modelagem da distribuição espacial dos solos na paisagem (CAMPOS et al., 2011; MOTTA et al., 2002).

Pesquisas desenvolvidas por Cooper et al. (2002) verificaram correlações entre superfícies geomórficas e atributos químicos do solo. Sanchez et al. (2005) destacaram que solos de superfícies geomórficas mais antigas apresentam menor variação de atributos físicos, químicos e mineralógicos, enquanto aquelas de superfícies menos evoluídas apresentam maior variabilidade desses atributos. Para Campos et al. (2007) a maior parte da variabilidade tem continuidade espacial e pode ser prevista quando se faz uso do conceito de

superfície geomórfica, cujas predições são úteis para execução de levantamentos pedológicos detalhados.

Apesar da importância da utilização dos conceitos de superfícies geomórficas no estudo da distribuição dos atributos dos solos, poucos trabalhos consideram esta relação, em parte, pelo desconhecimento do modelo de paisagem ou pela dificuldade de escolha da ferramenta estatística para análise dos dados (CAMPOS et al., 2010a).

Trabalhos realizados por YEMEFACK et al., (2005) destacam que a utilização de sistema de classificação numérica e hierárquica pode revelar os vários níveis da similaridade, permitindo assim, visualizar um número variável de agrupamentos, fazendo com que a variabilidade seja minimizada dentro de um grupo, e maximizada entre os grupos. A análise estatística multivariada surgiu como importante ferramenta para obtenção de maior quantidade de informações, que dificilmente seriam geradas com o uso de métodos univariados. Assim, com o uso de técnicas multivariadas, verifica-se que o fenômeno depende de muitas variáveis, que precisam ser conhecidas na sua totalidade, pois uma

depende da outra e as informações são fornecidas pelo conjunto e não individualmente (LARK, 2005).

O objetivo deste trabalho foi investigar as influências das superfícies geomórficas nos atributos do solo em uma topossequência Várzea/Terra Firme na região de Humaitá, AM.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se em uma faixa com 4,5 km de comprimento na Floresta Nacional de Humaitá, que ocupa uma área total de 468.790 ha, no município de Humaitá – AM, localizada entre as coordenadas geográficas 07°40'81,1" S e 062°53'21,6" W e 07°40'18" S e 062°54'24,5" W. Esta área caracteriza-se pela presença de dois ambientes distintos: as Várzeas, que margeiam os rios de águas barrentas, ricas em material suspenso, que estão sujeitas à inundação sazonal; e as áreas de Terra Firme que não sofrem inundação e são formadas a partir de sedimentos terciários (RODRIGUES; OLIVEIRA, 1997).

O relevo da região é variado, estando parte inserido na província geomorfológica de acumulação da Planície Fluvial, periódica ou permanentemente alagada, e a outra localizada em formas de dissecação de interflúvios tabulares, com relevos de topo aplainado, separados geralmente por vales em "V" e/ou localmente por vales de fundo plano (BRASIL, 1978).

A geologia da área de estudo caracterizada por sedimentos aluviais atuais, holocênicos e

sedimentos da Formação Solimões, do Plioceno Médio - Pleistoceno Superior, com materiais provenientes de deposições de ambientes continentais, fluviais e lacustres (BRASIL, 1978). De acordo com o ZEE (2008), os solos presentes na região são os Latossolos Amarelos e Gleissolos. A vegetação característica desta região é a Floresta Tropical Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas, com alturas de 20 a 50 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical chuvoso (chuvas do tipo monção), com um período seco de pequena duração (Am), temperaturas variando entre 25 e 27 °C e precipitação média anual de 2.500 mm. O período chuvoso se inicia em outubro, prolongando-se até junho, e a umidade relativa do ar varia entre 85 e 90%, durante todo o ano.

Para coleta foi estabelecido um caminhamento, seguindo o divisor de águas da vertente no sentido do caimento mais suave do declive, partindo-se do topo até a área de sopé de deposição. A transeção cortou as diferentes superfícies geomórficas existentes. Essas superfícies geomórficas foram identificadas e delimitadas conforme critérios topográficos, como descontinuidades de declives (aumento ou diminuição da declividade) e estratigráficos, como a identificação do material de origem (uso de tradagens profundas), além de observações "in situ" (RUHE, 1956; DANIELS et al., 1971) (Figura 1).

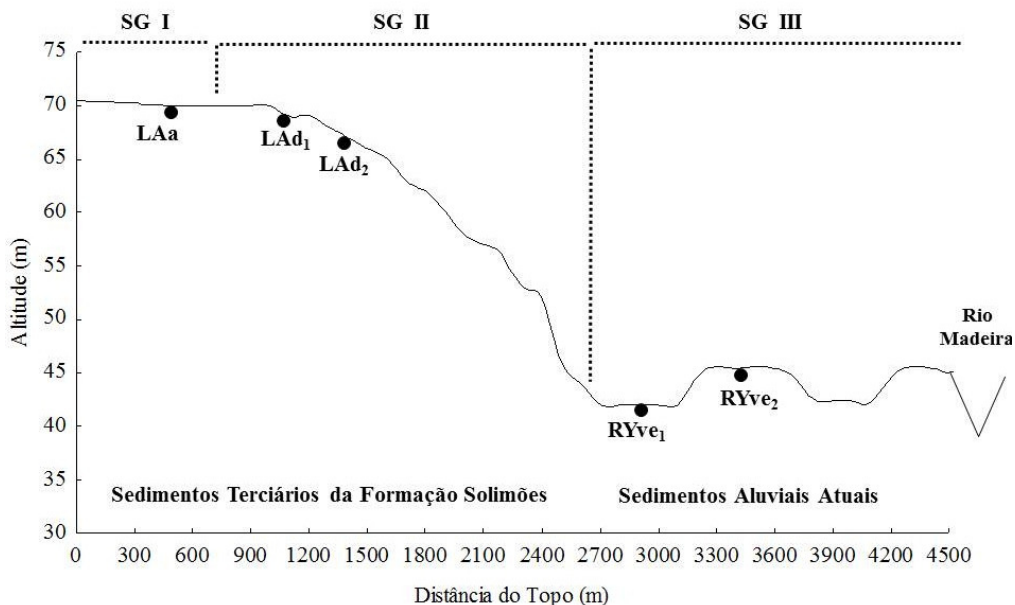


Figura 1. Perfil topográfico, superfícies geomórficas e suas respectivas classes de solos, em uma transição Várzea/Terra Firme na região de Humaitá, AM. S.G. I; S.G. II; S.G. III = Superfícies Geomórficas I, II, III. LAa = Latossolo Amarelo Aluminico típico; LAd₁ = Latossolo Amarelo Distrófico plúntico; LAd₂ = Latossolo Amarelo Distrófico argissólico; NYve₁ = Neossolo Flúvico Ta Eutrófico típico; NYve₂ = Neossolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico

Ao longo do caminhar foram realizadas mensurações das altitudes para a confecção do perfil altimétrico. Com base no modelo de Dalrymple et al. (1968), foram reconhecidos os segmentos da vertente inseridos nas superfícies geomórficas. O reconhecimento baseou-se principalmente na declividade do terreno, direcionado pela transeção escolhida, cuja finalidade foi estabelecer relações entre as unidades de vertente (topo, meia encosta, escarpa, ombro, sopé de transporte e sopé de deposição) e suas correlações com as superfícies geomórficas.

Foram abertas cinco trincheiras localizadas nas superfícies geomórficas mapeadas e realizada a caracterização morfológica seguida da coleta de amostras por horizonte para realização de análises físicas e químicas. A identificação dos horizontes e a descrição morfológica foram realizadas conforme Santos et al. (2005), com coleta de amostras dos horizontes dos solos. Os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos por SiBCS (EMBRAPA, 2006).

As amostras foram coletadas nas três superfícies geomórficas estabelecidas, conforme a seguinte descrição: superfície geomórfica I: LAa: 0,0-0,16 e 0,48-0,79 m, com 20 amostras; superfície geomórfica II: LAd₁: 0,0-0,13 e 0,44-0,70 m e LAd₂: 0,0-0,10 e 0,30-0,55 m com 40 amostras; superfície geomórfica III: RYve₁: 0,0-0,18 e 0,51-0,89 m e RYve₂: 0,0-0,23 e 0,58-0,91 m, 40 amostras. As profundidades de coleta foram determinadas pelas profundidades dos horizontes superficiais e subsuperficiais das descrições morfológicas dos perfis.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico, e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 10 minutos. A fração argila foi separada por sedimentação, as areias grossa e fina, por tamisação, e o silte calculado por diferença, segundo metodologia da Embrapa (1997).

A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico e a densidade de partícula pelo método do balão volumétrico conforme metodologia da Embrapa (1997). A porosidade total foi calculada a partir dos dados obtidos das densidades do solo e de partícula (Embrapa, 1997).

Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, o potássio, sódio e fósforo disponível e a acidez potencial (H+Al) foram determinados utilizando-se metodologia proposta pela Embrapa (1997). Com base nos resultados das análises químicas foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação por bases (V%) e

alumínio (m%). O pH foi determinado potenciométricamente utilizando-se relação 1:2,5 de solo: em água e KCl (EMBRAPA, 1997). O carbono orgânico total foi determinado pelo método de oxidação via úmida, com aquecimento externo (YOEMANS; BREMNER, 1988), e a matéria orgânica foi estimada com base no carbono orgânico total.

Com os resultados das amostras coletadas nos ambientes estudados, foram realizadas análises de variância univariada e os resultados foram comparados pelo teste de Tukey a 5%, sendo utilizado o programa estatístico Statística 7.0 (STATISTICA, 2005).

Foram aplicados às amostras de solos das superfícies geomórficas dois métodos estatísticos multivariados, visando classificar os acessos em grupos: análise de agrupamentos hierárquica e análise de componentes principais. Todas as análises multivariadas foram realizadas após a padronização das variáveis ($\mu = 0$, $\sigma = 1$). A análise de agrupamentos hierárquica foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os acessos, para o conjunto das vinte e duas variáveis, e utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos de acessos similares. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma) que auxiliou na identificação dos agrupamentos dos acessos, baseando-se na técnica empírica descrita por Hair et al. (2005).

A Análise de Componentes Principais (ACP) permite condensar a maior quantidade da informação original contida em p variáveis ($p = 22$, neste estudo), em duas variáveis latentes ortogonais denominadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados. Para Gomes et al. (2004), na maioria dos estudos em Ciência do Solo, usam-se apenas os dois primeiros eixos, considerados suficientes para explicar os dados e pela facilidade de interpretação de um gráfico em duas dimensões. Desta forma, o conjunto inicial de vinte e duas variáveis passa a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes, o que possibilita sua localização em Figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais).

Todas as análises estatísticas foram processadas com auxílio do programa estatístico Statística 7.0 (STATISTICA, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos físicos são apresentados na Tabela 1. Em relação as frações granulométricas,

verificou-se que o silte foi à fração dominante nos solos da superfície geomórfica III, em oposição à fração areia que apresentou os menos teores, fato

justificável pela natureza aluvial dos sedimentos que constituem o material de origem (BRASIL, 1978).

Tabela 1. Médias ponderadas das frações granulométricas, Ds, Dp e Pt nos solos das superfícies geomórficas em uma transição Várzea/Terra Firme na região de Humaitá, AM

Superfície Geomórfica	Areia	Silte	Argila	Ds	Dp	Pt
		g.kg ⁻¹		kg.m ⁻³		%
Horizontes Superficiais						
SG I	359 a	432 a	209 b	1,05 ab	2,50 a	58 ab
SG II	353 a	399 b	248 b	1,16 a	2,53 a	54 b
SG III	4 b	577 a	419 a	0,96 b	2,52 a	61 a
Horizontes Subsuperficiais						
SG I	294 a	424 a	282 b	1,27 b	2,63 a	51 a
SG II	335 a	379 a	286 b	1,43 a	2,65 a	46 b
SG III	4 b	539 a	457 a	1,18 c	2,67 a	55 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partícula; Pt = porosidade total

A fração areia apresentou o mesmo comportamento tanto nos horizontes superficiais, como nos subsuperficiais da superfície geomórfica III. Os solos das superfícies geomórficas I e II apresentaram comportamento semelhante, com teores mais elevados e diferindo estatisticamente da superfície geomórfica III (Tabela 1).

Observou-se que os teores de argila (Tabela 1) tenderam a aumentar no sentido das superfícies geomórficas mais rejuvenescidas, ou seja, da superfície geomórfica I para a III. Constatou-se que os teores de argila da superfície geomórfica III diferem estatisticamente das demais superfícies geomórficas. Segundo Lima et al. (2006) esse comportamento pode ser atribuído à natureza sedimentar recente, pois os solos destes ambientes geomórficos guardam estreita relação com o material de origem, quantidade de sedimentos provenientes das regiões, andina e subandina, transportados pelos rios e depositados na planície aluvial.

Em relação à densidade do solo, foi observado que os solos se comportaram de maneira distinta nos ambientes estudados, com aumento nas superfícies geomórficas I e II. Estes resultados são devidos, possivelmente, à maior estabilidade desses ambientes geomórficos (CAMPOS et al., 2010b). A porosidade total mostrou diferenças significativas tanto nos horizontes diagnósticos superficiais como nos subsuperficiais, exibindo valores mais elevados nas superfícies geomórficas I e III (Tabela 1), coincidindo nos ambientes com maiores conteúdos de matéria orgânica, corroborando assim com os

resultados encontrados por Campos et al. (2011) em solos da região de Manicoré, AM.

Os valores do pH em água e KCl em ambos os horizontes apresentaram tendência de decréscimo da superfície geomórfica III em direção a superfície geomórfica I, variando de 3,6 a 4,7, todos considerados baixos, indicando maiores limitações ao cultivo agrícola conforme destaca Farjado et al. (2009) (Tabela 2). Entretanto na comparação entre as superfícies geomórficas constatou-se que os valores mais elevados foram encontrados na superfície geomórfica III diferindo estatisticamente das demais superfícies estudadas. De acordo com Pachepsky et al. (2001) esses resultados devem-se ao movimento anisotrópico da água no solo, condições topográficas e localização no terreno.

Os teores de matéria orgânica nos horizontes estudados foram bastante semelhantes, havendo apenas diferença significativa da superfície geomórfica III em comparação a superfície geomórfica I e II nos horizontes subsuperficiais (Tabela 2). Já os teores de P disponível foram expressivos na superfície geomórfica III apresentando diferenças estatísticas em relação às demais superfícies geomórficas. Segundo Lima et al. (2006) estes resultados são influenciados pela topografia que favorece a deposição e acúmulo de nutrientes oriundos das cheias do rio Madeira, nesta posição mais rebaixada da paisagem (SG III).

Os conteúdos de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ trocáveis (Tabela 2), especialmente o Ca²⁺ foi mais expressivo na superfície geomórfica III, diferindo significativamente dos demais ambientes estudados

(superfície geomórfica I e II), fato atribuído a riqueza do material sedimentado e a morfologia do terreno que favorece a sua deposição (CAMPOS et al. 2010 a). Assim como a morfologia do terreno da

S.G. III favorece, o acúmulo de bases liberados pela hidrólise (devido às condições climáticas severas) nos Latossolos à montante, constituindo uma área de acúmulo propícia à presença de solos eutróficos.

Tabela 2. Médias ponderadas dos atributos químicos nas superfícies geomórficas em uma transição Várzea/Terra Firme na região de Humaitá, AM

¹ S.G.	pH		MO	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	SB	CTC	V	m
	H ₂ O	KCl	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmolc kg ⁻¹			%				
Horizontes Superficiais												
SG I	3,6 c	3,3 b	2,5 a	0,4 b	0,2 b	0,07 b	0,15 a	5,9 a	0,5 b	5,5 b	2,7 c	92,5 a
SG II	3,9 b	3,6 a	2,1 a	2,4 b	0,5 b	0,13 b	0,09 b	1,6 c	1,0 b	3,8 b	28,2 b	60,1 b
SG III	4,3 a	3,5 a	2,3 a	11,6 a	10,2 a	1,39 a	0,16 a	1,8 b	11,8 a	17,1a	71,1 a	12,1 c
Horizontes Subsuperficiais												
SG I	4,0 c	3,5 b	0,6 b	0,1 b	0,1 b	0,01 b	0,04 b	5,1 a	0,3 b	4,7 b	2,2 c	96,1 a
SG II	4,3b	3,7 a	0,8 b	1,6 b	0,4b	0,09 b	0,06 b	2,1 b	0,8b	3,2 b	27,4 b	71,2 b
SG III	4,7 a	3,6 b	1,1 a	2,7 a	16,9 a	1,15 a	0,13 a	2,0 b	18,3 a	22,4a	82,2a	12,7 c

¹ S.G.: superfícies geomórficas. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%

Os conteúdos de Al³⁺ trocável comportaram-se de forma crescentes no sentido da superfície geomórfica I (Tabela 2). Esses teores variaram de médios a altos (1,6 a 5,9 cmol_c kg⁻¹). Entre os ambientes estudados observou-se que a superfície geomórfica I exibiu os maiores teores de Al³⁺ diferindo estatisticamente das superfícies geomórficas II e III. De acordo com Carré & Mcbratney (2005) este fato deve-se possivelmente, à posição mais estável deste ambiente e melhor drenagem que condiciona maior lixiviação de cátions trocáveis.

Foi observado que a soma de bases (SB) apresentou comportamento similar nos horizontes estudados, bastante homogêneo na superfície geomórfica I, ao contrário do que foi observado na superfície geomórfica III. Os resultados demonstram valores baixos nas superfícies geomórficas I e II (variando de 0,3 a 1,05 cmol_c kg⁻¹) e elevados (11,85 a 18,38 cmol_c kg⁻¹) na superfície geomórfica III, concordando com Ruhe (1956) e Campos et al. (2011). Estes autores afirmaram que a relação entre solos e superfícies geomórficas é representada pela tendência de que quanto mais velha e estável é a superfície, mais homogênea ela é em relação aos solos que nela ocorrem, ou seja, a complexidade e variabilidade de solos são inversamente proporcionais à idade da superfície. Para Cunha et al. (2005) esse comportamento evidencia que os solos são dependentes geneticamente e evolutivamente das superfícies geomórficas nas quais estão inseridos (BOCKHEIM et al., 2005).

A capacidade de troca catiônica (CTC) variou nos horizontes, apesar da superfície geomórfica III ter exibido maior variabilidade dos dados em ambos os horizontes estudados. Verificou-se que em ambos os horizontes estudados as superfícies geomórfica I e II diferiram estatisticamente da superfície geomórfica III, esta por sua vez, exibiu valores mais elevados quando comparado aos demais ambientes, corroborando com resultados encontrados por Campos et al. (2010b) em solos de ambientes amazônicos (Tabela 2).

Com relação ao V% constatou-se que os resultados são crescentes da superfície geomórfica I para a III, para os dois horizontes, mostrando assim, solos eutróficos na superfície geomórfica III e solos distróficos nas superfícies geomórficas I e II. Campos et al. (2007) afirmaram que a variação dos tipos de solos, assim como a estabilidade geomórfica das superfícies, está estreitamente ligada aos fatores de formação (clima, organismos, material de origem, relevo e tempo). Sanchez et al. (2005) ainda ressaltam que pela natureza tridimensional das superfícies geomórficas, os resultados de fenômenos ocorridos em determinadas épocas e processos específicos (remoção e/ou deposição de sedimentos) introduzem variações no sistema.

Estes resultados indicam solos mais intemperizados na superfície geomórfica I e o contrário na superfície geomórfica III. Segundo Daniels et al. (1971) os solos das superfícies menos intemperizadas apresentam maiores variações nos

valores dos seus atributos. Os intervalos de confiança da superfície geomórfica III são maiores que nas demais superfícies (Tabela 1 e 2). De acordo com Seibert et al.(2007) essa é uma das vantagens dos estudos que incorporam os conceitos da relação solo-paisagem, pois estes concebem os aspectos topográficos como um dos que provocam maior variabilidade nos atributos do solo. Além

disso, Carré e Mcbratney (2005) e Thompson et al. (2006) ainda acrescentaram que, a altitude, declividade e curvatura do terreno são os aspectos topográficos que mais promovem alterações nos processos pedogenéticos.

Os dendrogramas obtidos pela análise de agrupamento para os horizontes superficiais e subsuperficiais são apresentados na Figura 2.

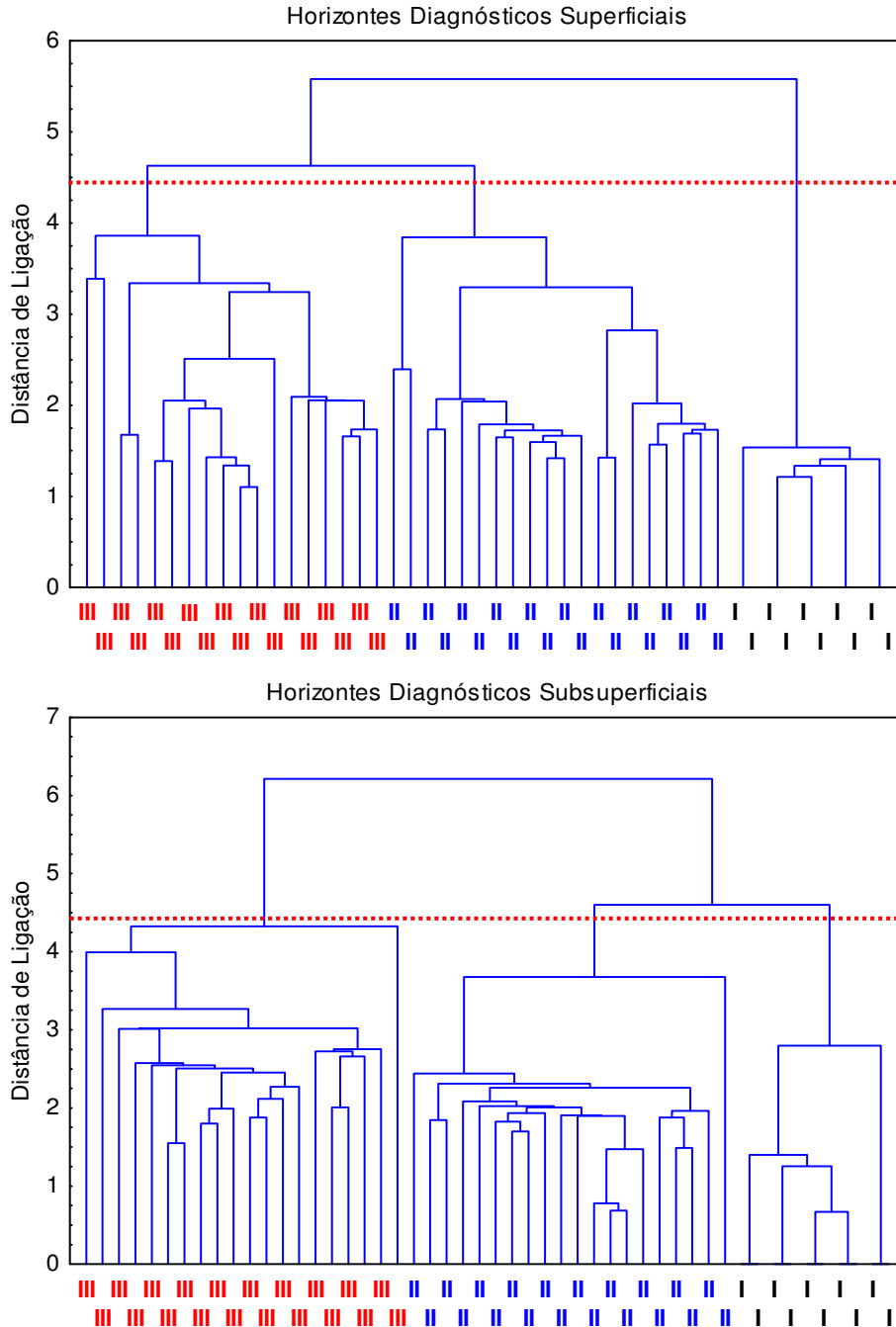


Figura 2. Dendrograma das interrelações das três superfícies geomórficas, referente ao conjunto de parâmetros físicos (areia, silte, argila, Ds, Dp, Pt) químicos (pH em água e KCl, Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, H⁺+Al³⁺, P, SB, CTC, V, m, MO) nos horizontes superficiais e subsuperficiais; **I** = superfície geomórfica I, **II** = superfície geomórfica II, **III** = superfície geomórfica III

Nesta análise (Figura 2), as amostras (pontos de amostragem de solo) foram agrupadas com base no seu grau de semelhança, com o objetivo de classificá-las em grupos similares. Para os horizontes superficiais, foi admitido um corte na distância de ligação de 4,5; o que permitiu uma divisão clara de três grupos. Isto indica que, o uso conjunto dos atributos físicos e químicos permitiu ordenar os dados nas três superfícies geomórficas mapeadas, ou seja, os atributos do solo que se expressam em uma mesma superfície geomórfica são semelhantes entre si, e diferem daqueles das superfícies geomórficas adjacentes. De acordo com Yemefack et al. (2005) esta técnica permite visualizar uma variabilidade mínima dentro de um grupo e máxima entre os grupos, utilizando-se do sistema de classificação numérico hierárquico que revela os vários níveis das similaridades e permite conhecer um número mais seguro de agrupamentos.

Em relação aos horizontes subsuperficiais, admitindo-se um corte na distância de ligação de 4,6, também observou-se a formação nítida de três grupos individualizando as superfícies geomórficas. De acordo com Siqueira et al. (2010) técnicas estatísticas multivariadas (agrupamento) podem ser utilizadas para fins taxonômicos com sucesso, já que levam em consideração um conjunto de variáveis.

De maneira geral os agrupamentos formados pela análise de agrupamentos confirmaram o aumento da variabilidade dos atributos com a diminuição da idade dos solos das superfícies geomórficas (Figura 2). Segundo Ogg et al. (2000), a análise estatística multivariada é uma ferramenta para a avaliação integrada de dados e pode ajudar os investigadores do solo a extrair mais informações de seus dados, já que os agrupamentos obedecem a uma lógica de ocorrência na paisagem.

Na análise de componentes principais, foram considerados os dois primeiros componentes Fator 1 e Fator 2, pois estes conseguem reter cumulativamente a quantidade suficiente da informação total contida no conjunto das variáveis originais (definido por 20 variáveis), para cada superfície geomórfica, o que possibilitou sua localização com um ponto em um gráfico bidimensional (HAIR et al., 2005).

De maneira geral observou-se que os dois primeiros componentes Fator 1 e Fator 2, armazenaram 78,11% da variância original dos atributos do solo para os horizontes superficiais. Já os horizontes subsuperficiais apresentaram uma variância acumulada de 80,03% (Figura 3). Sena et al. (2002) destaca que em estudos de solos, valores acima de 70% da variância original acumulada são

considerados valores aceitáveis, validando assim as informações do trabalho em questão.

A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada visando a verificar a relação entre os atributos do solo e as superfícies geomórficas estudadas. Na ACP foi utilizado o conjunto dos atributos físicos e químicos para ambos os horizontes estudados, considerando apenas os dois primeiros eixos fatoriais (Figura 3). Verificou-se que os horizontes superficiais apresentaram, nos dois primeiros eixos, uma variância que explica 78,11% da variabilidade total dos dados, sendo 45,58 e 32,53% pelo 1º e 2º eixos, respectivamente (Figura 3). Segundo Toledo et al. (2009) a análise multivariada pode ser aplicada na seleção de variáveis relevantes na caracterização e no planejamento de uso sustentável de ambientes naturais.

Em relação aos horizontes subsuperficiais, verificou-se que os dois primeiros eixos apresentaram variância que explica 80,03% da variabilidade total dos dados, com 56,66 % para o primeiro eixo, e 27,37% para o segundo eixo (Figura 3). Com base nos resultados dos horizontes superficiais, constatou-se a formação de três grupos diferentes, um grupo é referente ao conjunto de dados que contempla a superfície geomórfica I, outro grupo engloba a superfície geomórfica II e um terceiro grupo é formado pelos dados da superfície geomórfica III (Figura 3).

Em relação à análise de componentes principais dos horizontes subsuperficiais, verificou-se a formação de três grupos distintos, equivalente às três superfícies geomórficas estudadas, corroborando assim com afirmativa de Valladares et al., (2008) que o uso da análise multivariada de componentes principais pode servir para agrupar indivíduos com características semelhantes e estudar suas correlações e, neste caso específico, bastante úteis para o estudo de superfícies geomórficas.

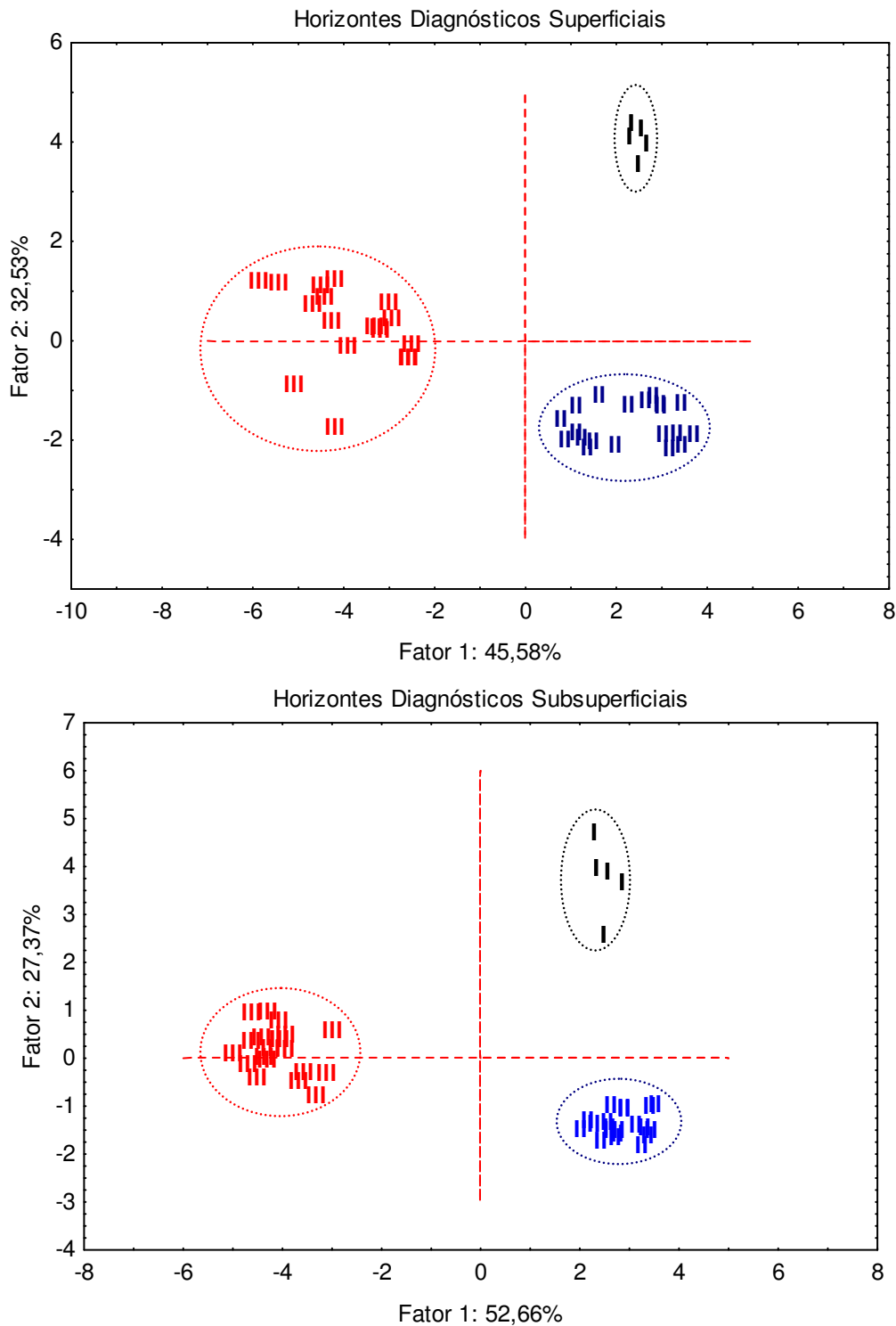


Figura 3. Análise de Componentes Principais para os atributos físicos (areia, silte, argila, Ds, Dp, Pt) e químicos (pH em água e KCl, Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , $H^+ + Al^{3+}$, P, SB, CTC, V, m, MO) separados por superfícies geomórficas, nos horizontes superficiais e subsuperficiais; **I** = superfície geomórfica I, **II** = superfície geomórfica II, **III** = superfície geomórfica III

CONCLUSÕES

As variações do relevo favoreceram a dominância das areia e silte nas superfícies

geomórficas I e II e argila e silte na superfície geomórfica III;

Nas superfícies geomórficas I e II verificou-se presença de solos distróficos, com CTC mais baixa e saturação por alumínio mais alta,

comportamento contrário ao que foi observado na superfície geomórfica III;

A utilização de técnicas estatísticas multivariadas (análise de agrupamento e

componentes principais) possibilitou separar três grupos heterogêneos, equivalentes às superfícies geomórficas.

ABSTRACT: Soil attributes reflect influence of the geomorphic surfaces. Therefore, the objective of this work was to investigate the influence of the geomorphic surfaces on soil attributes in a topossequence from low lands to high lands in the Humaitá region, AM. A transect of 4.5 km, from the top of the slope towards the low lands was established and the geomorphic surfaces were identified and limited according to topographic and stratigraphic criteria, based on detailed field investigation. Twenty soil samples were collected in each one of the slope segments within the geomorphic surfaces (G.S.), at the following depths: G.S. I: LAa (0.0-0.16 and 0.48-0.79 m); G.S. II: Lad₁ (0.0-0.13 and 0.44-0.70) and Lad₂ (0.0-0.10 and 0.30-0.55 m); G.S. III: RYve₁ (0.0-0.18 and 0.51-0.89) and RYve₂ (0.0-0.23 and 0.58-0.91 m). The sampling depths were determined by the surface and subsurface horizon depths, defined during the soil morphological description. Physical analysis involved particle size distribution, disperse clay, soil and particle density and total porosity. The chemical analysis involved determinations of pH in water and KCl, exchangeable cations, exchangeable Al, total acidity (H+Al), available P, organic carbon. The relief variations contributed to the presence of dystrophic soils in the geomorphic surface I and eutrophic soils in the geomorphic surface III. The multivariate statistical techniques were able to separate three heterogeneous groups, equivalent to the mapped geomorphic surfaces.

KEYWORDS: Amazonian soil. Multivariate analysis. Pedogenesis.

REFERÊNCIAS

BOCKHEIM, J. G. GENNADIYEV, A. N.; HAMMER, R. D.; TANDARICH, J. P. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**. Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 23-36, 2005.

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

CAMPOS, M. C. C., RIBEIRO, M. R., SOUZA JUNIOR, 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**. Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 527-535, 2010a.

CAMPOS, M. C. C., RIBEIRO, M. R., SOUZA JUNIOR, V. S., RIBEIRO FILHO, M. R., COSTA, E.U.C. Segmentos de vertente e atributos do solo de uma topossequência na região de Manicoré, AM. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 501-510, 2010b.

CAMPOS, M. C. C., RIBEIRO, M. R., SOUZA JUNIOR, V. S., RIBEIRO FILHO, M. R., R.V.C.C. Relações solo-paisagem em uma topossequência sobre substrato granítico em Santo Antônio do Matupi, Manicoré (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 35, n. 1, p. 13-23, 2011.

CAMPOS, M. C. C. MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n. 3, p. 519-529, 2007.

CARRÉ, F.; MCBRATNEY, A. B. Digital terrain mapping. **Geoderma**. Amsterdam, v.128, n. 4, p. 340-353, 2005.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Stratigraphical discontinuities, tropical landscape evolution and soil distribution relationships in case study in SE-Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.26, n. 3, p.673-683, 2002.

- CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma seqüência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29, n. 1, p. 81-90. 2005.
- DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit land a surface model. **Geomorphology**. Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 60-76. 1968.
- DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. F.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**. Madison, v. 23, n. 1, p. 51-87, 1971.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 2006. 354p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- FAJARDO, J. D. V.; SOUZA, L. A. G.; ALFAIA, S. S. Características químicas de solos de várzeas sob diferentes sistemas de uso da terra, na calha dos rios baixo Solimões e médio Amazonas. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 39, n. 4, p. 731-740. 2009.
- GOMES, J. B. V., CURI, N., MOTTA, P. E. F., KER, J. C., MARQUES, J. J. G. C. M., SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, n. 1, p. 137-153, 2004.
- HAIR J. R., ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L., BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Bookman, 2005. 211p.
- LARK, R. M. Exploring scale-dependent correlation of soil properties by nested sampling. **European Journal of Soil Science**. Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 307-317, 2005.
- LIMA, H. N., MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C., LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposseqüência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30, n. 1, p. 59-68, 2006.
- MOTTA, P. E. F., CARVALHO FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W.; BLANCANEAU, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 6, p. 869-878, 2002.
- OGG, C. M.; EDMONDS, W. J.; BAKER, J. C. Statistical verification of soil discontinuities in Virginia. **Soil Science**. Baltimore, v. 165, n. 3, p. 170-183, 2000.
- PACHEPSKY, Y. A.; TIMLIN, D. J.; RAWLS, W. J. Soil water retention as related to topographic variables. **Soil Science Society American Journal**. Madison, v. 65, n. 6, p. 1787-1795. 2001.
- RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, R. C. **Solos de várzeas da Amazônia: uso e potencialidade**. In.: Amazônia: agricultura sustentável. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 215-221.
- RUHE, R. V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. **Soil Science**. Baltimore, v. 82, n. 2, p. 441-445. 1956.
- SANCHEZ, R. B., MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 9, n. 04, p. 489-495. 2005.

- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C., ANJOS, L. H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5. ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.
- SEIBERT, J.; STENDAHL, J.; SØRENSEN, R. Topographical influences on soil properties in boreal forests. **Geoderma**. Amsterdam, v. 141, n. 1, p. 139-148, 2007.
- SENA, M. M., FRIGHETTO, R.T.S, VALARINI, P.J., TOKESHI, H., POPPI, R.J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. **Soil Tillage Research**. Amsterdam, v. 67, n. 2, p. 171–181. 2002.
- SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**. Amsterdam, v. 155, n. 1, p. 55-66, 2010.
- STATISTICA. **Statistica 7.0**. EUA Software. Tucksas: StatSof. Baltimore, 250p. 2005.
- THOMPSON, J. A.; PENA-YEWTUKHIW, E. M.; GROVE, J. H. Soil–landscape modeling across a physiographic region: Topographic patterns and model transportability. **Geoderma**. Amsterdam, v. 133, n. 1, p. 57–70, 2006.
- TOLEDO, L. O., ANJOS, L. H. C., COUTO, W. H., CORREIA, J. R., PEREIRA, M. G., CORREIA, M. E. F. Análise multivariada de atributos pedológicos e fitossociológicos aplicada na caracterização de ambientes de cerrado no norte de Minas Gerais. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 33, n. 5, p. 957-967, 2009.
- VALLADARES, G. S., GOMES, E.G., MELLO, J. C. C. B. S., PEREIRA, M. G., ANJOS, L. H. C., EBELING, A. G., BENITES, V. M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, n. 1, p. 285-296, 2008.
- YEMEFACK, M.; ROSSITER, D. G.; NJOMGANG, R. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. **Geoderma**. Amsterdam, v. 125, n. 1, p. 117-143, 2005.
- YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication Soil Science Plant Analysis**. Madison, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.
- ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO SUL - SUDESTE DO AMAZONAS – ZEE, AM. **Zoneamento Ecológico Econômico do Sul-Sudeste do Amazonas**. Manaus, IPAAM, 2008. 53p.