

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL



**VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS
DO SOLO COM HORIZONTE A ANTRÓPICO
SOB DIFERENTES USOS NO SUL DO AMAZONAS**

JOÃO JOSÉ COSTA SILVA

MANAUS - AM
2017

JOÃO JOSÉ COSTA SILVA

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO COM HORIZONTE A ANTRÓPICO
SOB DIFERENTES USOS NO SUL DO AMAZONAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Agronomia Tropical da Universidade Federal
do Amazonas, como requisito para obtenção do
título de Doutor em Agronomia Tropical, área de
concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos

MANAUS - AM
2017

JOÃO JOSÉ COSTA SILVA

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO COM HORIZONTE A ANTRÓPICO
SOB DIFERENTES USOS NO SUL DO AMAZONAS

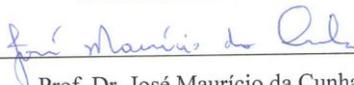
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Agronomia Tropical da Universidade Federal
do Amazonas, como requisito para obtenção do
título de Doutor em Agronomia Tropical, área de
concentração em Produção Vegetal.

Aprovada em 29 de junho de 2017

BANCA EXAMINADORA



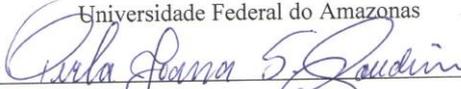
Prof. Dr. Milton César Costa Campos, Presidente
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. José Maurício da Cunha, Membro
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Marcos André Braz Vaz, Membro
Universidade Federal do Amazonas



Profa. Dra. Perla Joana Souza Gondim, Membro
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Paulo Rogério Beltramin da Fonseca, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, João José Costa

S586v Variabilidade espacial de atributos químicos do solo com
horizonte A antrópico sob diferentes usos no sul do Amazonas /
João José Costa Silva. 2017
100 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Prof. Dr. Milton César Costa Campos
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal
do Amazonas.

1. Terra Preta de Índio. 2. Manejo do solo. 3. Geoestatística. 4.
Multivariada. I. Campos, Milton César Costa II. Universidade Federal
do Amazonas III. Título

DEDICO

A minha esposa Flávia Costa e ao meu filho Francisco Costa, por nutrirem as minhas esvaecidas forças, pela superação da ausência e pelos sorrisos a cada retorno...

A memória do meu avó Alcides Vicente Costa.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical (PGATR), bem como todos os docentes e servidores pela oportunidade concedida de cursar o doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos e a FAPEAM pelo auxílio no desenvolvimento desta tese;

À Universidade Estadual de Roraima (UERR), pela liberação para cursar o doutorado e aos colegas pelo esforço durante meu afastamento;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Milton César Costa Campos, pelo ensinamentos mas sobretudo pelo exemplo de dedicação ao trabalho e ao desenvolvimento da ciência na Amazônia;

Aos pesquisadores do Instituto de Educação e Ambiente Prof. Dr. José Mauricio da Cunha, Prof. M.Sc. Douglas Marcelo Pinheiro e Prof. M.Sc. Marcelo Dayron, pelas contribuições;

Aos agricultores que gentilmente cedem suas áreas para estudos e coleta de material;

Aos estagiários e bolsistas do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do IEAA/UFAM, pelo o apoio na logística e auxílio durante as coletas de solo;

Aos meus pais, Joaquim Vieira Silva e Maria de Lourdes Costa Silva e aos meus irmãos Luis Otávio Costa Silva e Mateus Costa Silva, pelo apoio, incentivo e confiança;

Aos amigos e colegas de pós-graduação: Patrick Bayerlen, Tainah Benolo, Alexandre Chaves, Silvio Vieira, Omar Cubas e Marcelo Raizer, pela convivência harmoniosa e companhia e a todos os demais colegas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical.

A DEUS POR TUDO

AGRADEÇO!!!!

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Limite territorial dos municípios da microrregião do Madeira.....17

CAPÍTULO I

Figura 1. Mapa de localização das áreas estudadas.....44

Figura 2. Mapas de krigagem dos atributos químicos na área cultivada com cacau.....61

Figura 3. Mapas de krigagem da CTC potencial nos três tipos de manejo avaliados.....63

Figura 4. Mapas de krigagem do cálcio nos três tipos de manejo avaliados.....65

CAPÍTULO II

Figura 1. Mapa de localização das áreas estudadas.....76

Figura 2. Contribuição dos componentes principais para os diferentes fatores analisados dos atributos químicos do solo em diferentes camadas de Terras Pretas de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM. A = camada 0,0-0,05 m; B = camada 0,05-0,1 m; C= camada 0,1-0,2 m.....90

Figura 3. Análise de componentes principais de atributos químicos do solo em áreas de Terra Preta de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM. A = camada 0,0-0,05 m; B = camada 0,05-0,1 m; C= camada 0,10-0,20 m.....94

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Descrição do uso do solo, localização, tipo de solo e histórico das áreas com presença de horizonte A antrópico.....45

Tabela 2. Média dos atributos químicos do solo em três camadas de áreas de Terra Preta de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM.....52

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos químicos do solo em diferentes camadas de Terras Pretas de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM.....57

CAPÍTULO II

Tabela 1. Descrição do uso do solo, localização, tipo de solo e histórico das áreas com presença de horizonte A antrópico.....77

Tabela 2. Média dos atributos químicos do solo em três camadas de áreas de Terra Preta de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM.....85

Tabela 3. Contribuição das cargas fatoriais e auto valores das variáveis analisadas dos atributos químicos do solo em diferentes camadas de Terras Pretas de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM.....91

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	11
GENERAL ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2 Revisão de Literatura	17
2.1 Mesorregião Sul do Amazonas.....	17
2.1.1 Microrregião do Madeira.....	17
2.2 Vegetação	18
2.2.1 Floresta Ombrófila Densa	18
2.2.2 Floresta Ombrófila Aberta.....	18
2.2.3 Campinarana.....	19
2.2.4 Savana	19
2.2.5 Áreas de formações pioneiras de influência fluvial/lacustre.....	19
2.2.6 Sem Informação	20
2.3 Geologia	20
2.4 Geomorfologia e relevo.....	22
2.5 Solos	22
2.5.1 Terra Preta de Índio	24
2.6 Métodos estatísticos	27
2.6.1 Geoestatística.....	27
2.6.2 Semivariograma.....	28
2.6.3 Krigagem.....	31

2.6.4	Análise Multivariada	32
2.6.5	Análise dos Componentes Principais (ACP).....	33
3.	Referências bibliográficas	35
CAPÍTULO I		40
	Variabilidade espacial dos atributos químicos em horizonte A antrópico sob diferentes usos do solo no sul do Amazonas	40
CHAPTER I.....		41
	Spatial variability of chemical attributes in anthropic A horizon under different soil uses in the south of the Amazonas state.....	41
1	Introdução.....	42
3	Material e Métodos.....	44
2.1	Amostragem	46
2.2	Processamento das amostras	46
2.3	Métodos estatísticos	47
4	Resultados e discussão	50
5	Conclusões	67
6	Referências bibliográficas	68
CAPÍTULO II		72
	Atributos químicos do horizonte A antrópico sob diferentes usos do solo no sul do Amazonas	72
CHAPTER II.....		73
	Chemical attributes of anthropic A horizon under different soil uses in south of Amazonas	73
1.	INTRODUÇÃO	74

2. MATERIAL E MÉTODOS	76
2.1 Amostragem	78
2.2 Processamento das amostras	78
2.3 Análise estatísticas	79
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4. CONCLUSÕES.....	96
5. REFERÊNCIAS	97

RESUMO GERAL

SILVA, J. J. C. **VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO COM HORIZONTE A ANTRÓPICO SOB DIFERENTES USOS NO SUL DO AMAZONAS**. Manaus, 2017, 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas.

Resumo: Ações intervencionistas decorrentes do manejo inadequado dos cultivos comprometem a qualidade dos solos, afetam a produção das culturas e provocam dano ambiental. Sistemas de cultivo não conservacionistas são deletérios ao sistema solo-planta, pois acentuam a queda no rendimento das culturas em decorrência da perda de qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Em toda região amazônica ocorrem inúmeras áreas de solo com presença de horizonte A antrópico, denominado Terra Preta de Índio (TPI), geralmente essas áreas apresentam fertilidade elevada diferente dos solos ácidos e pouco férteis comuns nos trópicos. Assim os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos nas áreas de Terra Preta de Índio (TPI) em três usos do solo (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* e *Theobroma cacao*) na região sul do Amazonas; ii) verificar o grau de similaridade dos atributos do solo das áreas de TPI sob diferentes usos (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* e *Theobroma cacao*), utilizando técnicas estatísticas multivariadas. Selecionou-se três áreas de TPI, onde foram estabelecidos grids amostrais com dimensões de 80 x 56 m com espaçamento regular de 8 x 8 m para área de pastagem, de 100 x 42 m com espaçamentos de 10 x 6 m para área de café, e de 88 x 42 com espaçamento de 8 x 6m para área cultivada com cacau. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha nas camadas 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, perfazendo um total de 88 pontos

amostrais em cada área. Em laboratório, realizou-se as análises químicas: pH, Al^{3+} , H + Al, Ca, Mg, K, P, Carbono orgânico e Estoque de carbono, posteriormente determinou-se soma de bases, CTC potencial, saturação por bases e saturação por alumínio. Os dados foram submetidos a análises: estatística descritiva, geoestatística e multivariada. Os resultados mostraram diferença entre os ambientes com presença de TPI. A análise geoestatística permitiu realizar inferências sobre o comportamento espacial dos atributos avaliados em função do uso do solo e da camada avaliada. Este resultado confirma a geoestatística como eficiente ferramenta na interpretação da dinâmica dos atributos químicos do solo. A análise multivariada evidenciou um padrão de variabilidade distinto para os sistemas de uso do solo avaliados, sendo que a área com *Brachiária brizantha* apresentou nas três camadas avaliadas relação com atributos indicadores de acidez, enquanto que a área com *Theobroma cacao*, apresentou relação com os atributos indicadores de fertilidade.

Palavras-chave: Terra Preta de Índio, manejo do solo, geoestatística; multivariada.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, J. J. C. SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOILS WITH ANTHROPIC A HORIZON UNDER DIFFERENT USES IN THE SOUTH OF THE AMAZONAS STATE. Manaus, 2017, 100 f. Thesis (Doctor's degree in Tropical Agronomy) – Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Amazonas.

Abstract: Inadequate crop management compromise soil quality, affect crop production and cause environmental damage. Non-conservationist crop systems are deleterious to the soil-plant system, as they accentuate crop yield decline as a result of the quality of the physical, chemical and biological attributes of the soil. Soils with anthropogenic A horizon, known as Terra Preta de Índio (TPI), occur in many Amazonian regions. These soils generally present high fertility, in contrast to the acidic and less fertile soils common in the tropics. Thus, the objectives of this study were: i) to evaluate the spatial distribution of chemical attributes in the areas of Terra Preta de Índio (TPI) under three different soil uses (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* and *Theobroma cacao*) in the southern Amazonas state; ii) verify the degree of similarity of soil attributes of TPI areas under the different uses (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* and *Theobroma cacao*), using multivariate statistical techniques. Three areas of TPI were selected, where experimental grids were sampled with dimensions of 80x56m with spacing of 8x8m for the pasture area, dimensions of 100x42m with spacing of 10x6m for the coffee area, and dimensions of 88x42m with spacing of 8x6m for the cocoa area. The soils were sampled at the crossing points in the layers of 0-0.05m; 0.05-0.1m; and 0.1-0.2m, taking a total of 88 sampling points in each area. In the laboratory were determined: pH, Al³⁺, H⁺ Al, Ca, Mg, K, P, Organic Carbon and Carbon Stock, potential CTC, base saturation and aluminum saturation. Data were submitted to descriptive statistics, geostatistics and multivariate analysis. The results showed difference between the environments with

presence of TPI. The geostatistical analysis allowed making inferences about the spatial behavior of the evaluated attributes in function of the use of the soil and the evaluated layer. The results confirm geostatistics as an efficient tool in interpreting the dynamics of soil chemical attributes. The multivariate analysis revealed a distinct variability pattern for the evaluated soil use systems, and the area with *Brachiaria brizantha* presented in the three evaluated layers a relation with attributes that indicate acidity, while the area with *Theobroma cacao* presented a relation with the attributes that indicates fertility.

Key-words: Amazonian dark earths, soil management, geostatistics, multivariate.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Durante os processos de formação do solo as características intrínsecas são constituídas pela ação do clima, relevo e organismos sobre determinado material de origem ao longo do tempo, geralmente em processos que ocorrem de maneira natural, portanto, sem interferência humana. Entretanto, segundo Woods (2003), a atividade antrópica provoca consideráveis modificações nos solos. Estes, quando modificados pelo homem são reconhecidos como Antrossolos ou Antropossolos conforme *World Reference Base* (FAO, 2006), ou fazem parte de solos com horizontes *plaggen* e antrópico (*SOIL SURVEY STAFF*, 1998; Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2013), além de receberem denominações regionais.

Nos solos antrópicos o incremento de material de diversas origens formou ao longo do tempo um horizonte superficial espesso, normalmente fértil, escuro, com presença de restos de fauna e flora, carvão pirogênico, fragmentos cerâmicos e material lítico. Sua ocorrência é descrita em áreas restritas ao norte do Brasil e países vizinhos da Amazônia brasileira conhecidos por designações como Terra Preta de Índio, Terra Preta Arqueológica, Terra Preta Antropogênica, além de uma variante menos comum a Terra Mulata (SOMBROEK, 1966, COSTA; KERN, 1999, GLASER, 1999; McCANN et al., 2001; KERN et al., 2003).

Em toda região amazônica há inúmeras áreas de Terra Preta de Índio (TPI), essas por sua vez, são utilizadas na agricultura por apresentarem, e sobretudo, manterem elevada fertilidade mesmo após sucessivos cultivos. Segundo Silva; Resk (1997), toda ocupação gera um desequilíbrio no ecossistema, provocando perda de biodiversidade, degradação do solo e esgotamento de nutrientes.

Ações intervencionistas decorrentes do manejo inadequado dos cultivos comprometem a qualidade dos solos, afetam a produção das culturas e provocam dano ambiental. Desequilíbrios ambientais podem ser reduzidos se a heterogeneidade e variação das propriedades do solo forem monitoradas e quantificadas o que auxilia a compreensão da influência de fatores externos (SUN; ZHOU; ZHAO, 2003). Estudos realizados por Stefanoski et al. (2013), recomendam a necessidade da adoção de sistemas que favoreçam a estruturação do solo bem como aqueles que elevam os teores de matéria orgânica.

Recentemente diversos autores têm proposto uma abordagem híbrida no mapeamento de solos, utilizando concomitantemente métodos determinísticos e classificação numérica (geoestatística e análise multivariada), como proposta na caracterização dos atributos dos solos (SILVA JÚNIOR et al. (2012). A combinação de ferramentas estatísticas multivariadas e análises geoestatísticas permitem a definição da variabilidade de propriedades do solo (BITENCOURT et. al., 2016). Estudos sobre variabilidade dos atributos do solo têm sido extensivamente abordados nos últimos anos, mas relativamente poucos trabalhos envolveram a variabilidade espacial dos atributos químicos em áreas de Terra Preta de Índio.

Assim os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos nas áreas de Terra Preta de Índio (TPI) em três usos do solo (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* e *Theobroma cacao*) na região sul do Amazonas; ii) verificar o grau de similaridade dos atributos do solo das áreas de TPI sob diferentes usos (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* e *Theobroma cacao*), utilizando técnicas estatísticas multivariadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mesorregião Sul do Amazonas

2.1.1 Microrregião do Madeira

A mesorregião Sul do Amazonas com 474 mil km² ocupa aproximadamente 30% da área do estado, e é formada por três microrregiões: Boca do Acre, Madeira e Purus. Dentre elas a microrregião do Madeira com cerca de 220 mil km² é composta pelos municípios de Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã, Apuí e Borba, representando 14% da área total do Amazonas (Figura 1).

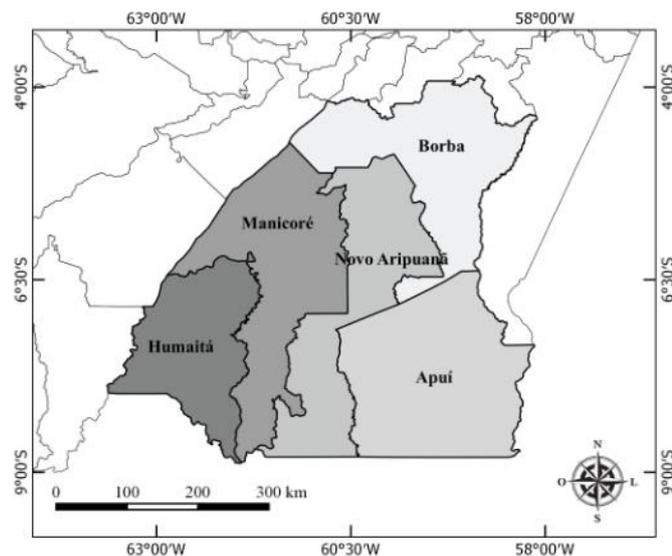


Figura 1 – Limite territorial dos municípios da microrregião do Madeira.

A região amazônica está situada na zona climática, pertencente ao Grupo A, caracterizado pelo clima chuvoso, ausência de estação fria e presença de floresta tropical (KÖPPEN, 1931). Segundo a classificação de Köppen a mesorregião sul do Amazonas, está inserida na zona climática, pertencente tipo Am (chuvas do tipo monção), que apresenta um período seco de pequena duração (BRASIL, 1978).

A elevada pluviosidade é um dos aspectos mais característicos da região, limitada pelas isoietas de 2.200 e 2.800 mm. A maior ocorrência de chuvas se dá na parte leste da região. O período chuvoso, geralmente inicia-se em outubro, prolongando-se até junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25° e 27°C, com uma umidade relativa do ar variando entre 85 e 90% (BRASIL, 1978).

2.2 Vegetação

De forma geral predominam na região sul do Amazonas cinco padrões fitofisionômicos principais: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Campinarana, Savana, Áreas de formações pioneiras de influência fluvial/lacustre e áreas sem informação (BRASIL, 1978; VELOSO et al., 1991; IBGE, 2008).

2.2.1 Floresta Ombrófila Densa

É a classe florestal mais expressiva na região e caracteriza-se por apresentar dossel fechado, compacto, com altura entre 25 e 35 m, do qual podem sobressair árvores emergentes atingindo até 40m (BRASIL, 1978). A heterogeneidade florística da floresta densa contrasta com sua homogeneidade fisionômica, que é alterada apenas em função do posicionamento topográfico e das grandes variações de ordem litológica e climática (em escala regional): caracterizadas pelas formações Aluviais, Terras Baixas e Submontana.

2.2.2 Floresta Ombrófila Aberta

Formação caracterizada fisionomicamente pela presença de grandes árvores espaçadas, possibilitando a penetração de luz até os estratos inferiores, permitindo o aparecimento de palmeiras, cipoal, cocal ou bambuzal, nestes espaços abertos (BRASIL, 1978). Este tipo também se caracteriza pelas formações Aluviais, Terras Baixas, e Submontana.

2.2.3 Campinarana

Esta tipologia geralmente é caracterizada pela densidade alta de árvores finas com altura média de 8-10 m, porém as condições de drenagem do solo imprimem variações à fisionomia dessa vegetação, originando um gradiente vegetacional caracterizado por diferenças na composição florística, na altura do dossel e emergentes, e na densidade de caules. Há Campinaranas localizadas em áreas muito úmidas, próximos do ecótono com a Campina gramíneo-lenhosa, e Campinaranas em áreas melhor drenadas, próximas a Floresta sobre areia branca (SILVEIRA, 2003).

2.2.4 Savana

A ocorrência de savana no interior da floresta tropical se dá em áreas de relevo pediplanado, com solos empobrecidos pela intensa lixiviação, e em áreas de afloramentos residuais arenítico-quartzíticos, com solos rasos e mineralmente pobres (BRASIL, 1978). Na vegetação de savana, o relevo apresenta-se plano e suavemente ondulado, com pequenas depressões que conservam a umidade no solo por maior tempo, definindo então um padrão de diferenciação no porte da Savana. O contato entre essas vegetações (zonas de ecótono) ocorre, em alguns locais, de maneira abrupta, mas em outros a mudança da vegetação entre a floresta e o campo é gradual (FREITAS et al., 2002).

2.2.5 Áreas de formações pioneiras de influência fluvial/lacustre

São formações em processo de sucessão, instaladas em ambientes de solos azonais, que se encontram ao longo dos rios e em locais deprimidos dos interflúvios tabulares do Terciário. Sua presença está associada à ocorrência de solos Cambissolos, Gleissolos (ROSOLEN e HERPIN, 2008) e Neossolos Quartzarênicos (BRASIL, 1978), e apresentam-se com estágios herbáceos e arbustivos.

2.2.6 Sem Informação

As áreas classificadas como sem informação são referentes a paisagens antropizadas até o ano 2000, geralmente áreas desmatadas sob diferentes usos da solo (CENAMO; CARRERO; SOARES, 2011).

2.3 Geologia

A geologia da área de estudo esta inserida na porção Sul do Cráton Amazônico, juntamente com porção dos Estados de Rondônia, Mato Grosso e parte do território boliviano. Esse cráton forma a base da parte norte da América do Sul e cobre uma área de cerca de 430 mil km², que compreende unidades litológicas e sistemas estruturais envolvidos em uma história geodinâmica relativamente estável. Dividido em dois escudos de idade pré-cambriana, “Guaporé” e “Guiana”, que são separados pelas bacias meso-cenozóicas (251 a 65 milhões; 65 milhões de anos até os dias atuais) do Solimões, Acre e Amazônica (BRASIL, 1978).

Segundo Brasil (1978), a leste da microrregião do Madeira têm-se rochas de idade pré-cambriana, constituindo o Complexo Xingu, que em sua maioria são de caráter ortometamórfico, muito distintas daquelas encontradas em outras áreas, em geral polimetamórficas. Os materiais de origem do Grupo Beneficente englobam porções de deposição marinha e continental com contribuições vulcânicas e piroclástica. A Formação Roosevelt, possui rochas de composição predominantemente riolítica e riodacítica subordinada. Os granitos Rondonianos apresentam corpos graníticos, intrusivos, anorogênicos de natureza subvulcânica e por último a Formação Proesperança formada pelo conjunto de sedimentos depositados em ambiente continental.

A Província Amazonas Oriental, em extensas regiões da porção oriental do Cráton Amazônico, envolve terrenos arqueanos e paleoproterozóicos não diferenciados. Essas rochas são representadas pelo Complexo Xingu (SILVA et al., 1974). As rochas do complexo Xingu se estendem do rio Aripuanã ao rio Roosevelt, chegando até a Transamazônica e aos Rios Manicoré, Marmelos e Maici com limites ao sul e leste da região. Este complexo é formado por granulitos, migmatitos, gnaisses, granitos, adamelitos, granodioritos metavulcânicos, granitos cataclásticos, granitos magmáticos transformados, anfibólitos, xistos e metabasitos (BRASIL, 1978).

Na região de Apuí, o Grupo Alto Tapajós encontra-se representado pelas formações Beneficente (basal, arenosa), Juma (essencialmente pelítica), Prainha (arenosa) e Terra Preta (carbonática). Em relação ao grupo Beneficente, considera-se que os sedimentos que o deram origem são produtos de um ciclo sedimentar transgressivo-regressivo, como o que engloba na unidade litoestratigráfica não somente nas porções de deposição marinha, mas também aquelas de deposição continental com contribuições vulcânicas e piroclásticas (ALMEIDA; NOGUEIRA FILHO, 1959) e a sequência vulcanossedimentar da estratigrafia de Libertore et al., (1972).

Os sedimentos marinhos de água rasa e aqueles tidos como francamente continentais têm sido descritos, na região de Apuí, com suas modificações causadas dinâmica e/ou termicamente, e associações vulcânicas e piroclásticas. O mais importante desse grupo é o dos arenitos ortoquartzíticos, que inclui alguns quartzitos e arenitos. Seguem-se os arenitos líticos e arcoseanos, sedimentos finos, siltitos e argilitos, conglomerados e brechas além de sedimentos a base de sílica micro a criptocristalina (BRASIL, 1978).

2.4 Geomorfologia e relevo

De acordo com Brasil (1978), fundamentando-se na altimetria e na homogeneidade das formas de relevo, a interpretação e análise da imagem de radar tornou possível a compartimentação do relevo da região sul do Amazonas, em quatro unidades morfoestruturais, sendo elas: Planície Amazônica, Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional, Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental, Serras e Chapada do Cachimbo (BRASIL, 1978). As áreas de estudo estão inseridas em duas unidades morfoestruturais sendo que a área localizada em Manicoré pertence à unidade Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional já as áreas localizadas no município de Apuí estão inseridas no Planalto Rebaixado da Amazônica.

A Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional foi identificada e mapeada por Melo et al., (1978). Esta unidade morfológica tem altimetria relativa de 150m e caracteriza-se pela predominância de interflúvios tabulares. Essas formas estão talhadas principalmente em rochas pré-cambrianas do Complexo Xingu, Grupo Beneficente e Formação Solimões. Colinas, cristas e relevos residuais do tipo pontão, grupamento de *inselbergs* e superfície tabular erosiva, foram também observadas estreitas faixas de planícies e de terraços fluviais orlando alguns cursos de água.

Quanto ao Planalto Rebaixado da Amazônia foi mapeado inicialmente por Barbosa; Pinto (1973) e recebeu a denominação atual por Nascimento e Prates (1976). Essa região caracteriza-se pela predominância de interflúvios tabulares de intensidade de aprofundamento da drenagem muito fraca e índices de ordem de grandeza variáveis, além dessa forma de relevo, ocorrem superfície pediplanada e colinas.

2.5 Solos

De modo geral, a região Amazônica apresenta paisagem com uma grande variedade de solos, em sua maioria, ácidos com baixa capacidade de troca catiônica e baixa fertilidade natural (VIEIRA, 1975; SANCHEZ; COCHRANE, 1980), logo, a exuberância da Floresta Amazônica ergue-se sobre solos pobres e lixiviados. Na região do médio rio Madeira as informações sobre a distribuição e o comportamento dos atributos dos solos são baseadas, principalmente, em levantamentos generalizados, já que poucos são os trabalhos em nível de detalhes (CAMPOS et al., 2011).

Estudando a diversidade fitofisionômica no Sul do Amazonas, Campos et al.(2012) destacou a grande variedade de solos inter-relacionadas dentro de paisagem, tais como: Argissolos sob floresta em áreas mais altas e portanto melhor drenadas; Cambissolo sob campos altos e zonas de ecótonos, além de Gleissolos sob campo baixo em áreas com excesso de água. Segundo Martins et. al., (2006), solos sob floresta apresentam maior profundidade efetiva, conseqüentemente, maior volume de armazenamento e infiltração de água relacionada aos solos sob campo natural.

Em relação aos solos presentes no município de Apuí, porção sul do estado do Amazonas, ocorre predominância das classes de solos: Argissolos, Neossolos Litólicos associados ou não a afloramentos rochosos e, nos topos planos no relevo suave ondulado, Latossolos Vermelho-Amarelos. A parte norte do município é composta por: Argissolos e Nitossolos em relevo ondulado e forte ondulado e Latossolos, em relevo suave ondulado (SDS, 2004). No município de Manicoré os solos são oriundos de material de origem proveniente da alteração de rochas pré-cambrianas do Complexo Xingu e Grupo Beneficente (BRASIL, 1978), onde também se desenvolvem Latossolos e Argissolos.

Estudos recentes realizados por Santos et al. (2013), caracterizando solos nas regiões de Manicoré e Apuí, relatou três classes de solos, Neossolos, Argissolos e Cambissolos todos eles relacionados com presença de horizonte A antrópico.

2.5.1 Terra Preta de Índio

Sobre a origem da Terra Preta de Índio (TPI), várias hipóteses foram levantadas, porém, a mais aceita baseia-se em evidências pedológicas e arqueológicas, sugerindo que áreas de TPI teriam sido formadas não intencionalmente pelo homem pré-colombiano (WOODS e McCANN, 2001). A TPI é considerada um reflexo das atividades humanas em determinado local, possuindo estreita relação com a duração da ocupação do sítio e/ou a densidade populacional (SMITH, 1980). Para Roosevelt (2002) os sítios extensos foram ocupações permanentes ou semipermanentes de longa duração, permanecendo por vários séculos.

GLASER, (2007) destaca que são três os principais processos responsáveis pela formação das TPI: a) formação do carvão: refere-se à formação do carbono pirogênico, com composição e estrutura molecular complexa (grupos aromáticas) bastante reativo e que contribui com a fertilidade do solo; b) incorporação de nutrientes: os nutrientes são incorporados ao solo por diferentes fontes, por exemplo, excrementos humanos e animais, cinzas, resíduos de combustão incompleta e carvão, biomassa de plantas aquáticas e terrestres; c) ação dos microrganismos: responsáveis pela ciclagem de nutrientes, agindo tanto na decomposição da matéria orgânica como na imobilização de nutrientes do solo evitando as perdas por lixiviação.

Segundo Sombroek et al. (2003) as áreas de TPI ocupam de 0,1 a 0,3% da Bacia Amazônica, correspondendo entre 6-18 mil km². Tem sua ocorrência registrada por toda Amazônia, sendo encontradas geralmente próximas aos cursos de água,

ocupando várzeas, elevações marginais adjacentes, com extensão variando de pequenas manchas de solo a centenas de hectares, ao longo de rios e interflúvios. Estão situadas em locais bem drenados, com posição topográfica que permite boa visualização espacial e acesso aos recursos de diferentes ambientes (KÄMPF e KERN, 2005).

Em termos de taxonomia de solos, a TPI, apresenta como principal particularidade, a presença do horizonte A antrópico formado ou modificado pelo uso contínuo do solo pelo homem como lugar de residência ou de cultivo por períodos prolongados, com adições de material orgânico, em mistura ou não com material mineral, e contendo fragmentos cerâmicos e/ou artefatos líticos e/ou restos de ossos e/ou conchas, conforme estabelecidos pelo SiBCS (EMBRAPA, 2013), independentemente da ordem a que pertencem.

Segundo Smith (1980), as TPI são encontradas em uma grande variedade de solos (Latosolos, Argissolos, Neossolos e Espodossolos) e superfícies geomorfológicas, permanecendo com a coloração escura mesmo sob intensa lixiviação (SMITH, 1980). Segundo Kern et al. (2003), TPI em Latossolos e Argissolos são mais comuns, estendendo-se por grandes áreas e em locais sem ocorrência de inundações periódicas.

As características morfológicas, físicas e químicas da TPI podem variar dentro de cada sítio e entre sítios, dependendo do padrão das comunidades pré-históricas ocupantes (LEHMANN, 2003). Segundo Sombroek (1966) a fertilidade da TPI deve-se, unicamente, à ocupação indígena prolongada, considerando a similaridade entre textura, composição da fração argila e profundidade do horizonte C, entre os perfis de TPI e dos solos adjacentes.

De acordo com McCann et al. (2001) a TPI possui teor de carbono orgânico (CO) elevado, bem como de os terrores de P, Ca, Mg, Zn e Mn, resultantes de cinzas, de resíduos de peixes, conchas, caça e dejetos humanos, apresentando também valores mais elevados de pH em água e saturação por bases. Quanto à presença de micronutrientes, a TPI apresenta teores de Zn e Mn mais elevados em relação aos horizontes subjacentes e a solos não-antropogênicos de terra firme (LIMA et al., 2002). De acordo com Cunha et al. (2007) geralmente a fertilidade das áreas de TPI está fortemente relacionada às características moleculares das substâncias húmicas. Segundo Solomom et al. (2007) estas frações são dinâmicas, refletindo mudanças no uso do solo, sendo, também, responsáveis pela acumulação da matéria orgânica no solo.

Quanto aos atributos físicos, a TPI, apresenta horizontes bem drenados com textura variando entre arenosa e muito argilosa, com boa disponibilidade de água e baixos valores de densidade do solo. Além disso, exibem condições de aeração, porosidade e condutividade hidráulica, adequadas, para promover a infiltração de água e favorecer trocas gasosas (NEVES JÚNIOR, 2008).

Estudos desenvolvidos por Kern et al., (2003) relatam que foram registrados sítios de TPI circundados por solos de cores bruno-acinzentados e alto teor de matéria orgânica, porém com teores de Ca e P mais baixos, com pouca presença ou ausência de artefatos cerâmicos. Este solo apresenta características diferentes dos solos não perturbados adjacentes, sendo resultantes de atividade agrícola pré-histórica, permanente ou semipermanente, sendo identificado como Terra Mulata (TM).

Taxonomicamente TPI e TM enquadram-se nas ordens: Argissolos, Latossolos, Cambissolos e Neossolos (LIMA, 2001), porém a principal particularidade é a

presença do horizonte A antrópico, que apresenta espessura variando entre 30 e 70 cm, sendo mais profundos que os solos adjacentes. De acordo com Kampf; Kern, (2005) alguns processos pedogenéticos são característicos da TPA, tais como melanização, lessivagem e bioturbação, podendo interferir ou não em outros horizontes em sub-superfície.

2.6 Métodos estatísticos

2.6.1 Geoestatística

Estudos desenvolvidos por Krige na década de 50 deram início a uma técnica de estimativa para o cálculo de reservas minerais, que posteriormente foram aprimorados por Matheron (1963), e assim serviram de base para a teoria das variáveis regionalizadas. No entanto, somente a partir da década de 70 que os trabalhos desenvolvidos por Matheron (1971) formalizaram a teoria das variáveis regionalizadas.

Essas variáveis têm em comum, a aleatoriedade, pois os valores numéricos observados podem variar consideravelmente de um ponto a outro no espaço, e a espacialidade, pois apesar de serem muito variáveis no espaço, os valores numéricos observados não são inteiramente independentes (GUERRA, 1988). Segundo Isaaks e Srivastava (1989), a geoestatística fundamenta-se na esperança de que, na média, as amostras próximas, no tempo e no espaço, sejam mais similares.

Nos estudos de ciência do solo a muito tempo há preocupação dos pesquisadores da área com o problema da variação espacial e temporal dos atributos do solo (CARVALHO et al., 2002). No entanto, somente a partir de meados do século passado com o avanço na teoria de estatística espacial, é que os pesquisadores começaram a perceber o potencial desse instrumento para o manuseio de dados

quantitativos (BORROUGH et al., 1994), facilitando a compreensão da variabilidade do solo.

A geoestatística tem apresentado aplicação na ciência do solo, tornando-se ferramenta adicional no estudo de seus atributos espacialmente correlacionados, exatamente porque incorpora em si a possibilidade de se estudar o comportamento da variabilidade espacial, permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura dessa variabilidade (CAVALCANTE et al., 2007).

2.6.2 Semivariograma

Dentre as ferramentas geoestatísticas, segundo McBratney e Webster (1986), o ponto central é o semivariograma, pois descreve variações quantitativas e interpola nos pontos não amostrados. Assim, é importante escolher o modelo apropriado para a estimação do semivariograma. Cada modelo apresenta valores diferentes para o efeito pepita, variância e alcance, os quais são parâmetros críticos da krigagem (TRANGMAR et al., 1985).

O semivariograma é um gráfico que descreve a existência ou não de dependência espacial da variável do solo, e constitui o primeiro passo da análise geoestatística, consistindo-se de uma função que relaciona a semivariância com o vetor distância, podendo ser representada analiticamente e/ou graficamente (SOUZA, 2004), e é estimado pela seguinte equação:

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

Onde $N(h)$ é o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$, separados pela distância h , se a variável for escalar (VIEIRA et al., 1983), e Z representa os valores medidos para os atributos do solo. O gráfico de $\hat{\gamma}^*(h)$ *versus* os valores

correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h , que permite obter a estimativa do valor da variância para as diferentes combinações de pares de ponto e assim assinalar o grau de dependência espacial da variável estudada e definir os parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados (SOUZA, 1999).

Pressupõe-se que à medida que h tende para 0 (zero), $\hat{\gamma}(h)$ também chegue a 0 (zero). Entretanto, na prática observa-se que $\hat{\gamma}(h)$ começa com um valor positivo, chamado efeito pepita e recebe o símbolo C_0 , onde o valor do efeito pepita indica a variabilidade não explicada pelo semivariograma, considerando a distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 2000).

A medida que h aumenta, $\hat{\gamma}(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza, e em termos práticos, é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor constante, sendo representado pelo ponto em que toda semivariância da amostra é de influência aleatória (TRANGMAR et al., 1985). Esse valor no qual $\hat{\gamma}(h)$ se estabiliza chama-se patamar e é por definição $C_0 + C_1$, obtido pela soma do efeito pepita e a variância estrutural (C), sendo aproximadamente igual a variância dos dados (VIEIRA, 2000).

A distância na qual $\hat{\gamma}(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance, e recebe a denominação de a , e é a distância limite da dependência espacial e representa a distância na qual os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance possuem maior semelhança entre si que aqueles localizados fora desta.

O ajuste de um modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da “Teoria das Variáveis Regionalizadas”, onde todos os cálculos da geoestatística dependem do modelo do semivariograma para

cada distância especificada e, do ajuste do modelo matemático aos dados do gráfico, ou seja, a uma função, define os parâmetros do semivariograma (VIEIRA, 2000).

O modelo do semivariograma usado pode ser classificado em duas categorias: a) modelo sem patamar e b) modelo com patamar. Este último é o mais frequentemente usado e subdivide-se em outros quatro modelos: a) modelo linear; b) modelo esférico; c) modelo exponencial e d) modelo gaussiano.

É possível verificar o quanto o semivariograma explica a variabilidade espacial, pelo grau de dependência espacial (GDE) dos atributos do solo, o qual é conferido pela relação entre o efeito pepita e o patamar, apresentado em porcentagem ($C_0/(C_0+C_1) \times 100$). Dessa forma, é classificado como forte dependência espacial o atributo que apresentar efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar, moderada dependência quando $> 25\%$ e $< 75\%$ e fraca quando $\geq 75\%$ e $< 100\%$ do patamar (CAMBARDELLA et al., 1994).

Caso a relação entre o efeito pepita e o patamar seja igual a 100%, ocorre o efeito pepita puro (EPP), que pode ser entendido como a ausência total de dependência espacial para distâncias maiores que a menor distância adotada entre as amostras (VIEIRA, 2000). Estudos sobre variabilidade espacial de atributos do solo desenvolvidos por Souza et al. (2008); Chaves; Farias (2009) e Corrêa et al. (2009), mostraram que com a confecção de mapas para os atributos avaliados foi possível visualizar a distribuição na área e monitorar as alterações desses atributos, como também a relação com a produtividade das culturas.

2.6.3 Krigagem

O conhecimento de determinada característica em locais não amostrados pode ser realizado pelo método da krigagem, técnica utilizada na geoestatística com os pesos atribuídos de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma (VIEIRA et al., 1998), com base nos seus vizinhos. A krigagem comporta-se como um ótimo interpolador, pela maneira como os pesos são distribuídos, não sendo tendenciosos, apresentando variância mínima e possibilitando o conhecimento da variância da estimativa (WEBSTER; OLIVER, 1990).

De acordo com Camargo (1997), o processo de krigagem se diferencia dos outros métodos de interpolação pela forma de atribuição dos pesos (associado a cada valor medido), já que neste método não se utiliza a distância euclidiana entre os pontos, mas uma “distância estatística” que expressa tanto a distância como a estrutura da variabilidade (semivariância ou covariância). Dessa forma, os pesos são atribuídos de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma (VIEIRA; LOMBARDI NETO, 1995).

A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos para o mesmo ponto deve ser nula, e a condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor medido e o estimado, essas diferenças devem ser mínimas (FIETZ, 1998). Desse modo, a krigagem é uma técnica usada na geoestatística com o objetivo de estimar os valores para locais onde as mesmas não foram medidas a partir de valores adjacentes interdependentes e para construção de mapas (VIEIRA, 2000).

2.6.4 Análise Multivariada

A análise multivariada corresponde a um grande número de métodos e técnicas que utilizam, simultaneamente, todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos (NETO, 2004). De acordo com Hair Jr et al. (1987), o caráter multivariado consiste nas múltiplas variáveis estatísticas (combinações múltiplas de variáveis) e não apenas no número de variáveis e observações. Assim, para uma amostra ser considerada realmente multivariada, todas as variáveis devem ser variáveis aleatórias que se inter-relacionam de tal modo que seus diferentes efeitos não podem ser interpretados separadamente.

Em linhas gerais, os métodos de estatística multivariada são utilizados com o propósito de simplificar a interpretação do fenômeno em estudo por meio da construção de índices que sintetizem a informação original dos dados, construir grupos de elementos amostrais que apresentem similaridade entre si, possibilitando a segmentação do conjunto de dados original, investigar relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao fenômeno e outros fatores (variáveis explicativas), muitas vezes, com objetivos de predição; e, comparar populações ou validar suposições de testes de hipóteses (MINGOTI, 2005).

A estatística multivariada pode ser aplicada com diversas finalidades, mesmo quando não se dispõe previamente de um modelo teórico rigorosamente estruturado das relações entre as variáveis. A finalidade da sua aplicação pode ser de reduzir dados, de simplificar a sua estrutura, de classificar e agrupar, de investigar a dependência entre as variáveis, de prever e de elaborar hipóteses e testá-las (JOHNSON; WICHERN, 2002). Devido às diversas possibilidades de aplicação, as

técnicas analíticas multivariadas, têm sido largamente utilizadas como ferramenta estatística em diversos setores.

Segundo Anderson (1984), existe, basicamente, duas formas de classificar as análises multivariadas, as que permitem extrair informações a respeito da independência entre as variáveis que caracterizam cada elemento, e as que permitem extrair informações a respeito da dependência entre uma ou mais variáveis ou uma com relação à outra. Assim, existem vários métodos de análise multivariada, com finalidades bem diversas entre si, são eles: análise discriminante, análise de correlação canônica, regressão logística, análise de agrupamentos, análise multivariada da variância, análise fatorial e análise de componentes principais.

Os métodos multivariados são escolhidos de acordo com os objetivos da pesquisa, pois sabe-se que a análise multivariada é uma análise exploratória de dados, prestando-se a gerar hipóteses, e não tecer confirmações a respeito dos mesmos, o que seria uma técnica confirmatória, como nos testes de hipótese, nos quais se tem uma afirmação a respeito da amostra em estudo. Trabalhos realizados por Campos et al., (2013), verificaram que a utilização de técnicas estatísticas multivariadas (análise de agrupamento e componentes principais) permitiram separar grupos de solos heterogêneos no sul do Amazonas. Neste trabalho, foram abordadas a análise de agrupamentos e a análise de componentes principais bem como seus aspectos metodológicos e suas aplicações.

2.6.5 Análise dos Componentes Principais (ACP)

A análise de componentes principais tem por objetivo descrever os dados contidos num quadro indivíduos variáveis numéricas: p variáveis serão mediadas com n indivíduos. Esta é considerada um método fatorial, pois a redução do número de

variáveis não se faz por uma simples seleção de algumas variáveis, mas pela construção de novas variáveis sintéticas, obtidas pela combinação linear das variáveis iniciais, por meio dos fatores (BOUROCHE, 1982).

Inicialmente, o objetivo da análise de componentes principais (ACP) foi o de encontrar linhas e planos que melhor se ajustassem a um conjunto de pontos em um espaço p-dimensional (PEARSON, 1901). Atualmente, um dos principais usos da ACP ocorre quando as variáveis são originárias de processos em que diversas características devem ser observadas ao mesmo tempo. Esta técnica vem sendo estudada por autores como MORRISON (1976), JACKSON (1980, 1981), SEBER (1984), REINSEL (1993) e JOHNSON, WICHERN (1992, 1998).

A análise de componentes principais tem a finalidade de substituir um conjunto de variáveis correlacionadas por um conjunto de novas variáveis não correlacionadas, sendo essas combinações lineares das variáveis iniciais, e colocadas em ordem decrescente por suas variâncias, $VAR\ CP1 > VAR\ CP2 > \dots > VAR\ CPp$ (VERDINELLI, 1980).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; NOGUEIRA FILHO, J.V. Reconhecimento geológico no rio Aripuanã. B. **Divisão de Geologia Mineral** Departamento Nacional de Produção. Mineral, Rio de Janeiro, n. 199, 1959. 44 p.
- BITENCOURT, D. G.B, BARROS, W. S., TIMM, L. C., DONGLI SHE, PENNING, L. H., BARBAT PARFITT, J. M., REICHARDT, K. Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil levelling effects on physico-chemical properties. **Soil and Tillage Research**, Volume 156, March 2016, Pages 63-73 .
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil, folha SB. 20**, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.
- CAMARGO E.C.G. Análise Espacial de Superfícies por Geoestatística. In: FUKS, S. D.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G. MONTEIRO, A.M.V. (ed.) **Análise Espacial de Dados Geográficos**. cap. 3, p.1-28, 2007.
- CAMPOS, M. C. C; RIBEIRO, M. R; SOUZA JÚNIOR, V. S; RIBEIRO FILHO, M. R.; AQUINO, R. E.; OLIVEIRA, I. A. Superfícies geomórficas e atributos do solo em uma topossequência de transição várzea-terra firme. **Biosciense Journal**, Uberlândia, V.29, n.1, p. 132-142, 2013.
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 42, n. 3, p. 387-398, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000300011>
- CAMPOS, M. C. C; RIBEIRO, M. R; SOUZA JÚNIOR, V. S; SOUZA, R. V. C. C; ALMEIDA, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas - SP, v. 70, p.598-609, 2011.
- CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO FILHO, M.R.; SOUZA, R.V.C.C. Relações solo-paisagem em uma topossequência sobre substrato granítico em Santo Antônio do Matupí, Manicoré (Am). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:13-23, 2011.
- CARVALHO, J.R.P. de; SILVEIRA, P.M. da; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-1159, ago. 2002.
- CENAMO, M.C.; CARRERO, G.C.; SOARES, P.G. Redução de emissões do desmatamento e degradação florestal (REDD+): Estudo de oportunidades para região Sul do Amazonas. **Série relatórios técnicos**, vol.1, IDESAM, 2011, 56p.
- COOLEY, W. W., LOHNES, P. R. **Multivariate data analysis**. New York: Wiley, 1971.

CPRM - Serviço geológico do Brasil. **Base Cartográfica digital obtida pela CPRM**, a partir da base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo elaborada pelo IBGE. 2005.

CPRM - Centro de pesquisa de recursos minerais. **Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens**. Manaus, 2001. 93 p. Relatório Técnico.

CPRM - Centro de Pesquisa de Recursos Minerais. Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens. Manaus, 2001. 93p. (**Relatório Técnico**)

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v.37, p.91-98, 2007.

DONAGEMA, G. **Manual de métodos de análise de solos** / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011. 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 132

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 2011, 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3a. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

FAO. **World reference base for soil resources**. A framework for international classification correlation and communication. Roma, 2006. 127p.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions the Royal Society B**. v.362, p.187–196, 2007.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral. 145 p.1988.

HAIR Jr., JOSEPH F.; ANDERSON, R. E; TATHAM; R. L. e BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recursos Naturais: Geologia, Geomorfologia, Solos, Hidrografia e Vegetação, **Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**, 2000.

IBGE. **Base pedológica da Amazônia legal**. Base em formato digital referente a levantamento em escala de detalhe compatível com a escala de 1:250.000. Manaus: IBGE/SIPAM, 2001.

JOHNSON, R. A., WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

JOHNSON, R. A., WICHERN, D. W. **Applied multivariate analysis** 5th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 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: TORRADO, P. V.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E. G.; MYERS, T.P. Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; WOODS, W.; GLASER, B. (Org.). **Amazonian dark Earths: Origin, Properties, Management**. 1 ed. Norwell: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, v.1, p.51-76. 2003.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**. Berlim: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

LEHMANN, J.; SILVA, 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**. 249: 343-357, 2003.

McCANN, J. M.; WOODS, W. I.; MEYER, E. W. **Organic matter and anthrosols in Amazônia: Interpreting the Amerindian legacy**. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A., eds. Sustainable management of soil organic matter. Wallingford, CABI Publishing, 2001. P. 180-189.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, n.8, p. 1246-1266, 1963.

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. **Les Cahiers du Centre de Morfologie mathématique**, v.5, 1971.

MELO, D.P. de; COSTA, R.C.R. da; NATALI FILHO, T. Folha SC.20 Porto Velho. II. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministerio das Minas e Energia. Projeto **RADAMBRASIL**. Folha SC.20 Porto Velho: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetacao, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978. p.187-250

NASCIMENTO, D.A. do, PRATES, M. Geomorfologia da folha NA 19 – Pico da Neblina, Série Levantamento dos Recursos Naturais, M.M.E., **Projeto RADAM BRASIL**, vol. 11, Rio de Janeiro, 1976.

NEVES JUNIOR, A. F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. Piracicaba, 2008, 94f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

PANAGOPOULOS, T., JESUS, J., BLUMBERG, D., AND BEN-ASHER, J.: Spatial variability of wheat yield as related to soil parameters in an organic field, **Comm. Soil Sci. Plant**, 45, 2018–2031, 2014.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, R., MARQUES, M., AND BIENES, R.: Spatial variability of the soil erodibility parameters and their reaction with the soil map at subgroup level, **Sci. Total Environ.**, 378, 166–173, 2007.

ROOSEVELT, A. C. Arqueologia Amazônica. In CUNHA, M. C. da (org.) História dos Índios no Brasil. São Paulo: Companhia das Letras, 2002. p. 53-86.

SANCHEZ, P.A.; COCHRANE, T.T. 1980. Soils constraints in relation to major farming systems of tropical America. **International Rice Research Institute**, Los Baños. p.106-139.

SANTOS, L. A. C., CAMPOS, M. C., AQUINO, R. E., BERGAMIM, A. C., SILVA, D. M. P., MARQUE JR. J. e FRANÇA, A. B. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 37:825-836, 2013.

SILVA CAVALCANTE, E.G.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1329-1339, 2007.

SILVA, G.G., LIMA, M.I.C., ANDRADE, A.R.F., ISSLER, R.S., GUIMARÃES, G. 1974. Geologia das folhas SB.22 Araguaia e Parte de SC.22 Tocantins. In: Levantamento de Recursos Naturais. Vol. 4, Programa de Integração Nacional, DNPM, **Projeto RADAM**, Rio de Janeiro,91-143.

SILVA, J. E. da; RESK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A.T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. EMBRAPA Cerrados. Planaltina-DF, 1997, 524 p.

SMITH, N. J. H. Anthrosol and human carrying capacity in Amazonia . In: ANNALS OF THE ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS, 70. 1980, Durham. **Annais...**Durham, 1980. p. 553-566.

SDS – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Relatório técnico síntese dos diagnósticos**: Área estadual sul de Apuí e Manicoré. Manaus, 2004. 20 p.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993. **Soil survey manual**. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

SOMBROEK, W.G. **Amazonian soils**. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon. Wageningen: Centre for Agricultural Publication Documentation, 1966. 292 p.

SOMBROEK, W.G.; RUIVO, M.L; FEARNESIDE, P.M.; GLASER, B.; LEHMANN, J. Amazonian Dark Earths as carbon stores and sinks. In.: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Ed). **Amazonian Dark Earths: origin, properties, and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 125-139.

SUN, B.; ZHOU, S.L.; ZHAO, Q.G. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. **Geoderma**, 115, p 85-99.

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

VELOSO, H.P., A. L. R. RANGEL FILHO, J. C. A. LIMA. 1991. Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal. **IBGE**, Rio de Janeiro, Brazil.p. 123.

VIEIRA, L.S., 1975, **Manual da Ciência do Solo**. 1 ed. São Paulo, Editora Agronômica Ceres.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: **Academic Press**, 1980. cap. 2, p.319-344.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford, Oxford University Press, 1990. 316p.

WOODS, W.I. Development of Anthrosol research. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I., eds. Amazonia dark earths. Origin, properties and management, **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, ,2003. p. 3-14.

WOODS, W.I.; McCANN, J.M. 2001. **El origen y persistencia de lãs Tierras Negras de la Amazonía**. In: Hiraoka, M.; Mora, S. (Eds). Desarrollo Sostenible en la Amazonía, Abya Ayala, Quito, Ecuador. p. 23-30.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication Soil Science Plant Anal**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZIADAT, F. M. AND TAIMEH, A. Y.: Effect of rainfall intensity, slope and land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment, **Land Degrad. Dev.**, 24, 582–590, 2013.

CAPÍTULO I

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM HORIZONTE A ANTRÓPICO SOB DIFERENTES USOS DO SOLO NO SUL DO AMAZONAS

Resumo: Em Amazônia ocorrem áreas de solo com presença de horizonte A antrópico, denominado Terra Preta de Índio (TPI), geralmente apresentam fertilidade elevada diferente dos solos ácidos e pouco férteis comuns nos trópicos. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial dos atributos químicos em áreas de TPI sob três usos do solo (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* e *Theobroma cacao*) na região sul do Amazonas. Selecionou-se três áreas de TPI, onde estabeleceu-se grids amostrais com dimensões de 80 x 56 m com espaçamento regular de 8 x 8 m para área de braquiária, de 100 x 42 m com espaçamentos de 10 x 6 m para área de café, e de 88 x 42 com espaçamento de 8 x 6m para área cultivada com cacau. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha nas camadas 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, perfazendo um total de 88 pontos amostrais por área. Em laboratório, realizou-se as análises químicas: pH, Al^{3+} , H + Al, Ca, Mg, K, P, Carbono orgânico e Estoque de carbono, posteriormente determinou-se soma de bases, CTC potencial, saturação por bases e saturação por alumínio. Os dados foram submetidos a análises estatística descritiva e geoestatística. Os atributos químicos do solo nos diferentes usos e camadas avaliadas apresentaram dependência espacial, para a maioria dos atributos avaliados. Os modelos do semivariograma experimental que mais se ajustaram foram o esférico e o exponencial. Os alcances obtidos demonstram menor variabilidade nas áreas cultivadas com *Brachiaria brizantha* e *Theobroma cacao*.

Palavras chave: Terra preta de índio, geoestatística, krikagem.

CHAPTER I

SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES IN ANTHROPIC A HORIZON UNDER DIFFERENT SOIL USES IN THE SOUTH OF THE AMAZONAS STATE

Abstract: Soils with anthropogenic A horizon, known as Terra Preta de Índio (TPI), occur in many Amazonian regions. These soils generally present high fertility, in contrast to the acidic and less fertile soils common in the tropics. Thus, the objectives of this study was to evaluate the spatial distribution of chemical attributes in the areas of Terra Preta de Índio (TPI) under three different soil uses (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* and *Theobroma cacao*) in the southern Amazonas state. Three areas of TPI were selected, where experimental grids were sampled with dimensions of 80x56m with spacing of 8x8m for the pasture area, dimensions of 100x42m with spacing of 10x6m for the coffee area, and dimensions of 88x42m with spacing of 8x6m for the cocoa area. The soils were sampled at the crossing points in the layers of 0-0.05m; 0.05-0.1m; and 0.1-0.2m, taking a total of 88 sampling points in each area. In the laboratory were determined: pH, Al^{3+} , H^+ Al, Ca, Mg, K, P, Organic Carbon and Carbon Stock, potential CTC, base saturation and aluminum saturation. Data were submitted to descriptive statistics, geostatistics. The chemical attributes of the soil in the different uses and layers evaluated presented spatial dependence for the most of the evaluated attributes. The models of the experimental semivariogram that best fit were spherical and exponential. The results showed lower variability in the cultivated areas with *Brachiaria brizantha* and *Theobroma cacao*.

Keywords: Amazon dark earth, geostatistics, krikagem

1 INTRODUÇÃO

Solos modificados pelo homem são reconhecidos como Antrossolos ou Antropossolos conforme *World Reference Base* (FAO, 2006), ou fazem parte de solos com horizontes *plaggen* e antrópico (*SOIL SURVEY STAFF*, 1998; SiBCS, 2013). O incremento antrópico com material de diversas origens possibilitou a formação de um horizonte A superficial espesso, normalmente fértil, escuro, com presença de restos de fauna, flora, carvão pirogênico, fragmentos cerâmicos e material lítico que é conhecido como Terra Preta de Índio, Terra Preta Arqueológica, Terra Preta Antropogênica, além de uma variante menos comum a Terra Mulata (SOMBROEK, 1966; SMITH 1980, McCANN et al., 2001; KÄMPF, KERN, 2003; GLASER, 2007, KERN et al., 2003).

Quanto à distribuição as Terra Preta de Índio (TPIs), ocorrem em manchas descontínuas por toda a Amazônia, estando normalmente associadas aos cursos de água ou em locais com posição topográfica que permita boa visualização da área (GERMAN, 2003). Em toda região amazônica, áreas de TPI têm sido utilizadas na agricultura, em diversos cultivos, dentre eles mandioca, milho, feijão, olerícolas, frutíferas e pastagens, por apresentarem a peculiaridade de apresentarem e manterem alta fertilidade mesmo após sucessivos anos e ciclos de cultivo.

Os diferentes manejos do solo interferem nas suas propriedades e provocam variações muitas vezes deletérias aos atributos dos solo, dessa forma, ações intervencionistas decorrentes do manejo inadequado dos cultivos comprometem a qualidade do solo, provocam dano ambiental e prejuízo à produção das culturas. Ocupações desordenadas geram desequilíbrio e promovem dano ambiental, perda de biodiversidade, degradação do solo e esgotamento de nutrientes Desequilíbrios

ambientais podem ser reduzidos se a heterogeneidade e variação das propriedades do solo forem monitoradas e quantificadas (SUN; ZHOU; ZHAO, 2003). De acordo com Campos et al. (2014), o uso de técnicas de geoestatística permitiu melhorar a compreensão da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo no sul do Amazonas.

A variabilidade espacial e as interações entre as propriedades do solo são essenciais para a compreensão dos processos dos ecossistemas e possibilitam o planejamento de alternativas de manejo sustentável do solo (PÉREZ-RODRÍGUEZ, MARQUES e BIENES, 2007; ZIADAT; TAMIMEH, 2013). Técnicas de cultivo que observam o manejo regionalizado do solo e das culturas permitem o gerenciamento da variabilidade dentro das áreas. Neste contexto a ferramenta geoestatística possibilita subdividir o campo em zonas que possuem atributos relativamente homogêneos em função da paisagem e condições do solo, permitindo a gestão específica dos insumos via aplicação a taxas variáveis.

Dessa forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos atributos químicos em áreas de Terra Preta de Índio (TPI) cultivadas com *Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* e *Theobroma cacao*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em áreas com diferentes usos do solo e presença de horizonte A antrópico. Os locais de coleta estão localizados no sul do Amazonas, nas imediações da BR 230 “Transamazônica”, nos municípios de Apuí e Manicoré. Foram selecionadas três áreas de Terra Preta de Índio (TPI) cultivadas com de cacau, café e braquiária (Figura 1).

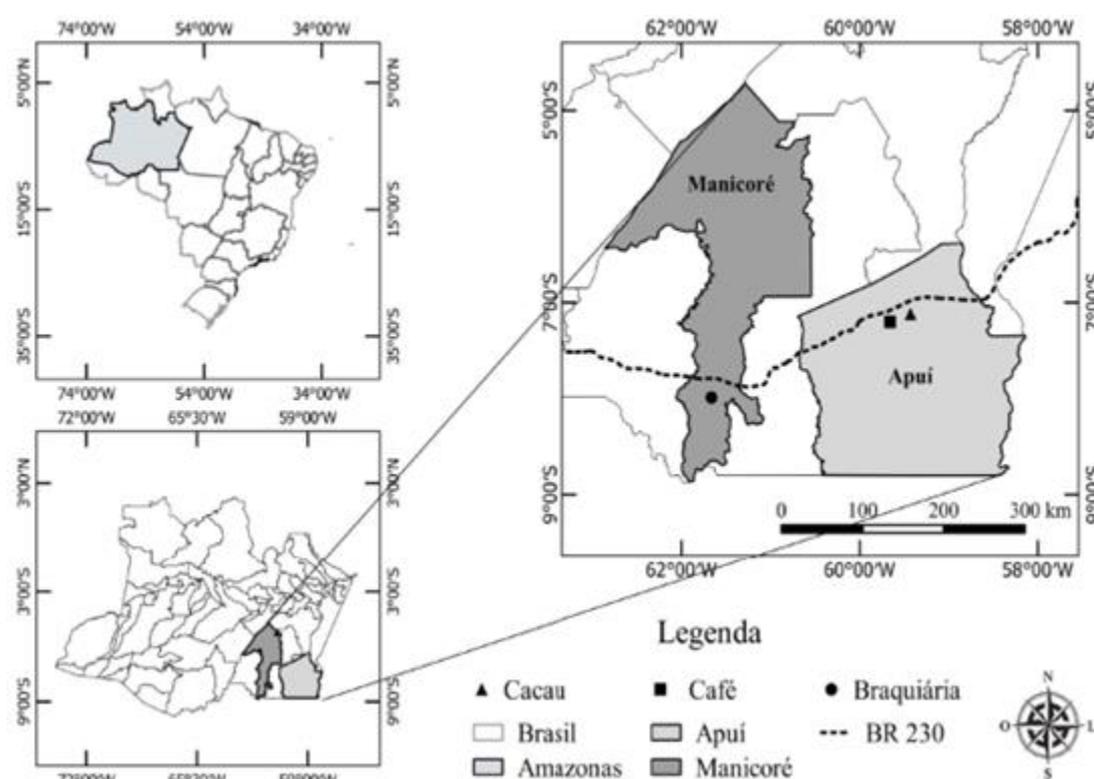


Figura 1: Mapa de localização das áreas estudadas.

O clima da região segundo classificação de Köppen é tipo Am (chuvas do tipo monção), caracterizado por um período seco de pequena duração, com precipitações variando de 2.250 e 2.750 mm, temperaturas médias anuais entre 25 e 27°C e umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978). A vegetação predominante é de Floresta Ombrófila Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre

20 e 50 metros de altura (ZEE/AM, 2008). O relevo é marcado pela presença de platôs, nas partes mais elevadas, combinado com áreas rebaixadas de sopé. No município de Manicoré os solos são oriundos de material de origem proveniente da alteração de rochas pré-cambrianas do Complexo Xingu e Grupo Benficiente (BRASIL, 1978).

Os locais de coleta são lotes de assentamento rural pertencentes a agricultores familiares, sendo uso do solo, localização, tipo de solo e histórico das áreas descritos a seguir (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição do uso do solo, localização, tipo de solo e histórico das áreas com presença de horizonte A antrópico.

Uso do solo	Localização	Solo	Histórico de uso*
Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	Apuí, AM 07°12'S 59°39' W	Luvissolo Crômico	Utilizada inicialmente para cultivo de espécies anuais (arroz, milho, feijão, melancia e mandioca), partir de 2005 foi implantado o cacauero empregando-se um espaçamento regular e poucos tratos culturais.
Café Conilon (<i>Coffea canephora</i>)	Apuí, AM 07°09'S 59°42' W	Argissolo Amarelo	Utilizada inicialmente como área de pastagem, e convertida há 10 anos em café. A cultura tem sido manejada com espaçamento regular e segue recomendações genéricas de manejo.
Braquiária (<i>Brachiaria brizantha</i>)	Manicoré, AM 07°59'S 61°39' W	Argissolo Vermelho-Amarelo	Há mais de 10 anos é utilizada na atividade pecuária como pastejo extensivo. Onde além do pasto o rebanho recebe suplementação mineral.

* As áreas de TPI estudadas neste trabalho tiveram seu revestimento florestal total ou parcialmente removido nos últimos 20 anos com posterior queimada.

Em relação aos solos presentes no município de Apuí, ocorre predominância das classes: Argissolos, Neossolos Litólicos associados ou não a afloramentos rochosos e, nos topos planos no relevo suave ondulado, Nitossolos em relevo ondulado e forte ondulado e Latossolos em relevo suave ondulado (SDS, 2004). Estudos recentes realizados por Santos et al. (2013), relataram três classes de solos, Neossolos, Argissolos e Cambissolos todos eles relacionados com presença de horizonte A antrópico, nas regiões de Apuí e Manicoré.

2.1 Amostragem

Foram demarcadas malhas nas seguintes dimensões (80 x 56; 100 x 42 e 88 x 42 m), em cada malha foram estabelecidos 88 pontos amostrais distribuídos em espaçamentos variáveis (8 x 8; 10 x 6 e 8 x 6 m), para as áreas cultivadas com braquiária, café e cacau respectivamente. Nos pontos de cruzamento da malha, foram abertas trincheiras e coletadas amostras nas camadas: 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 264 amostras em cada uso do solo. Esses pontos foram georeferenciados utilizando equipamento GPSMAP 76CSx, com precisão < 10m.

2.2 Processamento das amostras

Para caracterização química do solo as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm. Determinou-se os valores de acidez ativa (pH em H₂O), acidez trocável (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo disponível (P), carbono orgânico (COT) e estoque de carbono (Est. C.).

Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos por KCl, o potássio trocável e fósforo disponível, foram extraídos por *Mehlich-1* e determinados por fotometria de chama e calorimetria, respectivamente. A acidez potencial (H+Al) foi

extraída com solução tamponada a pH 7,0; de acetato de cálcio, conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (2011).

A acidez ativa foi determinada potenciometricamente, utilizando-se a relação 1:2,5 de solo: em água (EMBRAPA, 2011). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans (1988). Os valores de soma de bases (SB), sendo $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$; capacidade de troca de cátions (T), sendo $T = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + (H + Al)$; porcentagem de saturação por bases (V%), sendo $V = ((Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}) / T) \times 100$, e a porcentagem de saturação por alumínio (m%), sendo $m = (Al^{3+} / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Al^{3+})) \times 100$, foram calculados tendo como referência os resultados analíticos dos atributos avaliados.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011), onde: $Ds = a/b$. Esta análise foi realizada somente para subsidiar a determinação do estoque de carbono. O estoque de carbono (Est. C) foi determinado em todas as áreas estudadas e calculado pela expressão de Weldkamp, 1994; $Est. C. = (CO \times Ds \times e) / 100$ onde:

Est C = estoque de C orgânico ($mg \cdot ha^{-1}$) Ds = densidade do solo
 COT = teor de C orgânico total ($g \cdot kg^{-1}$) e = espessura da camada considerada (cm)

2.3 Métodos estatísticos

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste Tukey a 5 %, seguida da estatística descritiva, calculando-se: média, amplitude, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria, coeficiente de curtose e teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, realizadas no software estatístico RStudio team (2015). O coeficiente de variação (CV%) foi avaliado conforme classificação de Warrick; Nielsen (1980), que classifica variáveis do solo como: $CV <$

12%, $12 < CV < 60\%$, e $CV > 60\%$ para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

A análise da variabilidade espacial dos atributos foi realizada por meio da análise geoestatística, considerando a dependência espacial no intervalo de amostragem (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). A dependência espacial foi realizada por meio de semivariogramas ajustados com base nas pressuposições de estacionariedade da hipótese intrínseca, estimado na equação a seguir:

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

Onde:

$\hat{\gamma}(h)$ - 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 .

Para o ajuste do modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, C_1 ; variância estrutural, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para a distância 0 e simula o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; e o alcance é a distância (em metros) da origem até onde o patamar atinge valores estáveis.

Para determinação do grau de dependência espacial (GDE), utilizou-se o exame dos parâmetros dos semivariogramas proposto por Cambardella et al. (1994), sendo $GDE (\%) = [(C_0/C_0+C_1) \times 100]$. Assim, os semivariogramas que possuem:

$GDE \leq 25\%$, $25\% < GDE < 75\%$, e $GDE > 75\%$, foram considerados como de dependência espacial forte, moderada e fraca, respectivamente.

A qualidade do ajuste do semivariograma aos dados experimentais, e a seleção do que modelo que melhor se adequou, a escolha dos modelos teóricos foi realizada, observando-se o grau de dependência espacial, coeficiente de determinação (R^2), e o valor do coeficiente de correlação obtido pelo método da validação cruzada (VIEIRA et al., 1981).

Comprovada a correlação espacial entre as amostras por meio da análise dos semivariogramas foram elaborados os mapas de isolinhas utilizando a krigagem como técnica de interpolação. A krigagem foi utilizada para estimar valores nos locais não amostrados, considerando os parâmetros do semivariograma (SILVA et al., 2007).

Para a obtenção dos semivariogramas utilizou-se software GS^+ (ROBERTSON, 2008), para a análise geoestatística foi utilizado o software SURFER versão 8.00.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva para os atributos do solo, nos três locais estudados são apresentados na tabela 1. As medidas de tendência central, foram similares na maioria dos atributos avaliados, indicando que os dados obtidos apresentaram pequena variação em torno do valor central quando são avaliados nas diferentes camadas para o mesmo uso do solo. No entanto, quando as médias foram comparadas entre os usos observa-se diferença estatística entre as áreas, sobretudo, das áreas de cacau e braquiária em relação à área de café nas três profundidades estudadas.

Os valores médios dos atributos químicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P_{disp} , CO), decrescem à medida aumenta a profundidade da camada amostrada, este comportamento foi observado em todas os manejos avaliados. Demonstrando o efeito da ciclagem de nutrientes realizada pelos cultivos em questão, em virtude da queda folhas, frutos, flores, pedaços de caule, ramos, ou outras partes de estruturas perenes da planta. Segundo SCHUMACHER et al., (2013), o aporte e a transformação da serapilheira são fundamentais para manutenção das propriedades dos solos tanto para florestas nativas quanto para os plantios de espécies comerciais.

Carvalho et al., (2016), observou aporte de macronutrientes na superfície por meio da decomposição e liberação de macronutrientes foliares. Muitas espécies vegetais conseguem utilizar formas de P menos acessíveis para culturas e o distribuírem pela superfície em formas orgânicas passíveis de mineralização (HINSINGER et al., 2011).

Os valores de cálcio e magnésio encontrados são considerando elevados se considerado as características dos solos tropicais. Trabalhando com TPI, Santos et. al., 2013, encontram em um mesmo estudo valores elevados de Ca e Mg, semelhantes aos

observados neste trabalho, por outro lado, outro ambiente apresentou médias inferiores. Esses resultados podem ser reflexo do tempo de ocupação e densidade da ocupação humana nas áreas (CAMPOS et al., 2012).

O coeficiente de variação (CV%) conforme classificação de Warrick; Nielsen (1980), classifica as variáveis do solo como: $CV < 12\%$, $12 < CV < 60\%$, e $CV > 60\%$ para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente. Ressalta-se que o coeficiente de variação (CV) permite comparar a variabilidade entre as amostras das variáveis com unidades diferentes, porém, não permite avaliar o comportamento espacial dos atributos do solo (CAMARGO et. al. 2008).

Os resultados expressos pelos valores do coeficiente de variação (CV), demonstram que o conjunto de dados estudados apresentaram para a área com Braquiária valores de CV variando entre baixa e média variabilidade, enquanto, as áreas cultivadas com café e cacau houve predomínio de valores de CV classificados em variabilidade média e alta. De acordo com Liu et al., (2014), valores de coeficiente de variação (CV) para atributos de solo variaram de 17,3% a 74,6%, indicando tendência de variação moderada.

A homogeneidade dos dados da área de braquiária, quando comparada aos outros usos, pode ser explicada pelo padrão e percentual de cobertura vegetal e do solo em virtude da morfologia da planta de *Brachiaria brizantha*, quando comparado às áreas cultivadas com cacau e café.

TABELA 2. Média dos atributos químicos do solo em três camadas de áreas de Terra Preta de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM.

Atributo	Cacau						Café						Braquiária					
	Média	¹ CV%	² Amplit.	³ Assim.	⁴ Curt.	⁵ K-S	Média	CV%	Amplit.	Assim.	Curt.	K-S	Média	CV%	Amplit.	Assim.	Curt.	K-S
camada 0,00 – 0,05 m																		
pH _(H₂O)	6,01 a	7,82	2,64	-0,08	1,00	0,07ns	5,39 b	8,71	2,13	0,27	-0,12	0,59ns	5,48 b	4,92	1,74	0,75	2,14	0,04*
COT.	55,31 b	19,77	55,80	0,19	0,04	0,41ns	39,78 c	32,37	53,29	0,41	-0,84	0,02*	137,07 a	4,06	31,19	-0,72	1,50	0,59ns
Est. C.	24,74 b	21,50	27,37	0,24	-0,01	0,00*	21,66 b	32,27	35,96	0,84	0,86	0,00*	88,92 a	8,74	36,74	-0,33	-0,10	0,85ns
P _(disp)	93,70 a	34,93	148,28	0,33	-0,43	0,01*	40,35 b	68,12	153,20	2,37	6,73	0,00*	97,44 a	31,97	96,68	-0,10	-0,75	0,04*
K	0,03 a	33,33	0,02	0,55	-0,29	0,00*	0,01 b	4,05	0,02	1,32	0,83	0,00*	0,02 a	33,24	0,03	0,20	-0,91	0,00*
Ca	19,57 a	16,35	13,50	-0,29	-0,50	0,23ns	8,72 b	36,81	15,00	0,455	0,08	0,20ns	9,28 b	20,30	9,25	0,55	0,09	0,00*
Mg	2,12 b	50,00	4,75	0,47	-0,09	0,12ns	2,45 ab	35,91	3,75	0,02	-0,47	0,15ns	2,29 b	29,57	2,75	-0,02	-0,47	0,03*
Al	0,06 a	16,66	0,06	0,26	-0,54	0,00*	0,10 b	50,00	0,30	1,93	0,29	0,00*	0,39 c	32,82	0,50	0,69	-0,02	0,00*
H+Al	6,54 a	52,59	13,90	0,36	-0,59	0,13ns	8,46 b	23,64	10,23	0,12	-0,11	0,38ns	8,52 b	15,66	7,1	-0,08	-0,12	0,36ns
CTC _{total}	28,28 a	9,83	12,45	0,01	-0,33	0,24ns	19,65 b	16,33	19,10	0,39	-0,15	0,04*	20,14 b	14,49	7,65	0,22	-0,20	0,09ns
SB	21,77 a	15,03	14,48	0,53	-0,09	0,01*	11,19 b	30,29	15,50	0,32	-0,34	0,08ns	11,61 b	18,57	10,29	0,38	-0,24	0,05*
V	77,25 a	14,56	47,07	-0,42	-0,32	0,43ns	56,25 b	17,65	45,57	-0,27	-0,11	0,33ns	57,54 b	9,16	36,24	0,35	2,38	0,41ns
m	0,32 a	40,62	0,59	1,42	1,89	0,01*	1,05 b	81,90	5,29	3,15	11,81	0,00*	2,73 c	34,95	3,77	0,57	-0,37	0,39ns
camada 0,05 – 0,10 m																		
pH _(H₂O)	5,92 a	8,61	2,10	-0,21	-0,57	0,06ns	5,15 c	10,87	2,54	0,58	-0,19	0,11ns	5,75 b	3,50	0,93	0,60	-0,23	0,47ns
COT.	41,40 b	10,26	20,84	0,31	-0,09	0,01*	34,54 c	32,80	46,65	-0,32	-0,70	0,00*	135,28 a	1,69	11,30	-0,69	0,42	0,06*
Est. C.	19,36 b	14,72	12,70	0,52	-0,03	0,09ns	19,95 b	33,63	27,70	-0,10	-0,83	0,00*	86,16 a	7,21	25,50	-0,15	-0,67	0,07ns
P _(disp)	109,61 a	30,68	163,10	0,01	-0,25	0,53ns	32,61 c	67,24	100,60	1,22	1,25	0,00*	52,42 b	41,79	79,92	0,36	-0,90	0,02*
K	0,03 a	33,33	0,04	0,40	-0,14	0,00*	0,00 c	1,23	0,02	0,57	-1,10	0,00*	0,01 b	40,73	0,01	1,04	0,95	0,00*
Ca	11,60 a	34,05	18,10	0,20	-0,32	0,05*	5,19 c	62,80	18,00	1,94	6,01	0,00*	10,09 b	19,03	8,5	0,40	-0,37	0,00*
Mg	4,05 a	36,29	6,15	0,06	-0,79	0,05*	1,59 b	38,99	2,75	0,17	-0,54	0,01*	1,36 b	38,37	2,50	0,02	-0,17	0,00*
Al	0,07 a	42,85	0,14	0,19	0,33	0,00*	0,25 b	80,00	0,80	0,99	0,26	0,05*	0,44 c	19,64	0,30	-0,28	-0,32	0,00*

H+Al	9,15 b	54,31	18,65	0,76	-1,00	0,05*	8,62 b	33,52	12,38	0,09	-0,41	0,97ns	5,46 a	21,04	4,79	0,00	-0,72	0,72ns
CTC _{total}	25,75 a	7,96	8,85	-0,14	-0,62	0,00*	15,42 c	27,56	21,99	0,55	0,63	0,16ns	23,18 c	15,03	12,46	0,42	0,19	0,00*
SB	15,89 a	29,26	19,65	-0,09	-0,74	0,53ns	6,79 c	49,92	18,70	1,73	5,02	0,01*	11,47 b	17,83	8,51	0,34	-0,35	0,01*
V	63,96 a	28,65	65,15	-0,05	-1,06	0,66ns	43,46 b	20,95	63,21	0,37	-0,36	0,75ns	67,74 a	9,57	38,88	0,49	1,72	0,72ns
m	0,78 a	91,00	3,71	2,10	4,78	0,00*	4,58 b	95,63	19,03	1,37	1,31	0,00*	3,71 b	28,95	4,36	0,10	-0,84	0,15ns

camada 0,10 – 0,20 m																		
pH _(H₂O)	5,59 a	10,73	2,39	0,65	-0,59	0,00*	4,98 b	11,04	2,84	0,83	0,51	0,00*	5,71 a	4,02	1,09	0,31	-0,24	0,13ns
COT	31,31 b	17,40	23,34	-0,15	-0,35	0,07ns	33,04 b	22,36	34,71	-0,94	0,68	0,00*	133,91 a	1,56	12,04	0,51	1,17	0,07ns
Est. C.	29,81 c	20,73	31,76	0,04	0,03	0,62ns	40,10 c	26,23	47,01	-0,45	-0,17	0,11ns	164,19 a	7,69	66,18	0,16	0,20	0,88ns
P _(disp)	124,34 a	24,44	143,35	0,04	-0,22	0,54ns	32,70 c	65,68	113,84	1,39	3,04	0,01*	50,43 b	39,02	73,03	0,43	-0,81	0,00*
K	0,02 a	50,00	0,05	0,91	0,26	0,00*	0,01 c	3,88	0,01	3,89	13,48	0,00*	0,00 b	54,13	0,01	0,79	-0,67	0,00*
Ca	10,47 a	40,97	17,63	0,40	-0,44	0,63ns	3,88 b	55,92	8,50	0,74	-0,38	0,00*	9,41 b	20,84	10,50	0,47	0,59	0,00*
Mg	1,99 a	50,25	4,50	0,43	-0,15	0,01*	1,33 b	39,17	3,00	0,72	1,50b	0,00*	1,47 b	35,32	2,75	0,09	0,38	0,00*
Al	0,20 a	37,50	0,16	1,12	0,51	0,00*	0,32 b	28,12	0,40	0,53	0,33	0,01*	0,58 c	25,85	0,30	0,16	-0,58	0,00*
H+Al	11,53 c	43,19	20,79	-0,22	-0,96	0,06ns	9,76 b	33,29	14,68	0,22	-0,35	0,52ns	5,44 a	21,31	4,29	-0,23	-1,27	0,00*
CTC _{total}	24,46 a	7,68	8,89	-0,25	-0,12	0,47ns	14,98 c	24,03	17,46	0,23	-0,55	0,14ns	16,62 b	15,31	12,65	0,57	0,02	0,55ns
SB	14,97 a	34,94	17,27	0,31	-0,85	0,25ns	6,79 c	43,86	10,50	0,86	0,38	0,00*	10,89 b	18,82	11,25	0,69	0,94	0,00*
V	52,65 b	36,20	70,71	0,33	-1,04	0,03*	35,18 c	38,57	56,23	0,72	0,08	0,09ns	65,48 a	10,00	27,84	-0,15	-0,81	0,12ns
m	1,94 a	93,00	10,57	2,12	4,78	0,00*	11,14 b	90,57	40,12	1,10	0,63	0,00*	2,92 a	30,11	3,90	0,33	-0,51	0,01*

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ¹CV%: coeficiente de variação; ²Amplit.: amplitude (diferença entre máximo e mínimo); ³Assim.: assimetria; ⁴Curt.: curtose; ⁵K-S: teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov). COT (carbono orgânico total); Est. C. (estoque de carbono); Ca (cálcio); Mg (magnésio); K (potássio); Al (alumínio); H+Al (acidez potencial); CTC_{total} (Capacidade de troca de cátions a pH 7,0); SB (soma de bases); V (saturação por bases); m (saturação por alumínio). Ca, Mg, K, Al, H+Al, CTC_{total} e SB: (cmol_c.dm⁻³); V e m: (%). Ns (não significativo) e * (significativo a 5% de probabilidade) pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.

Outro fator observado foi a pouca variação entre os valores de CV nas camadas avaliadas. Parte da homogeneidade pode ser justificada pela própria característica do horizonte A antrópico e pela profundidade das camadas avaliadas. Estudos conduzidos por Aquino et al. 2014, observaram comportamentos semelhantes somente para a variável pH.

Os valores de CV obtidos para os atributos fósforo e potássio, foram considerados altos demonstrando a acentuada variação da concentração destes elementos nas áreas estudadas. Todavia, o pH apresentou baixo coeficiente de variação. Os resultados obtidos corroboram com Schlindwein; Anghinoni (2000), que verificaram altos coeficientes de variação para o fósforo e o potássio e baixos para pH e matéria orgânica. Diversos trabalhos apontam os atributos químicos com alta variabilidade (BOTTEGA et. al., 2013; LIMA et, al., 2013; AQUINO et. al., 2014), resultados diferentes aos observados neste estudo, o que pode ser atribuído à origem antrópica do horizonte A avaliado.

Os coeficientes de assimetria e curtose foram diferentes de zero para todas as variáveis avaliadas (Tabela 2). Em relação à assimetria observou-se leves desvios para todos os manejos e camadas avaliadas, confirmando a distribuição assimétrica em função da sensibilidade aos valores extremos, estes resultados indicam variabilidade dos dados. Segundo Cortez et al. (2011), a assimetria e a curtose funcionam como indicadores de distribuição de valores, onde o ideal é que estes valores estejam próximos de zero. Resultados semelhantes para atributos do solo foram encontrados por e Liu et al., (2014) e Shukla et al., (2016).

A assimetria representa o grau de desvio de uma curva na direção horizontal, podendo este desvio ser positivo, com maior concentração de valores altos, ou

negativo, com predomínio de valores baixos. A curtose expressa o grau de achatamento de uma curva em relação a uma curva representativa de uma distribuição normal (ANDRIOTTI, 2013). Vale destacar que o atributo fósforo na área manejada com cacau nas camadas entre 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, apresentou valores de assimetria superiores a 2,0 e de curtose acima de 6,0; indicando a predominância de valores elevados e pronunciado achatamento da curva. No entanto, para os demais atributos na área de cacau e nas demais áreas os valores de assimetria e curtose ficaram próximos a zero. Segundo Souza et al., (2004), valores de assimetria e curtose próximos de zero, são indicativos de normalidade.

Avaliando a distribuição espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo em uma área de agroflorestal na região de Humaitá (AM), Campos et al., (2014), encontrou valores de assimetria variando de - 0,14 a 4,32, valores estes que são semelhantes aos observados neste estudo, onde os valores mais distantes foram observados na área cultivada com café sendo o menor valor para o atributo CO - 0,9085 (0,10 – 0,20m) e maior para K⁺ 7,82 (0,0 – 0,5 m).

Para a aplicação da geoestatística a normalidade não é uma condição restritiva (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989), para utilização desta técnica deve-se considerar que a distribuição dos dados não apresente caudas muito longas. Chaves; Farias (2009) afirmam que mesmo que os dados não apresentem distribuições simétricas e que os coeficientes de assimetria e curtose fiquem próximos a zero, tal como valores médios e medianos próximos, como é o caso da maioria dos atributos neste solo, tratamentos geoestatísticos podem ser aplicados possibilitando avaliar a dependência espacial dos atributos.

A variabilidade espacial dos atributos do solo foi estabelecida por meio da análise dos semivariogramas e seus componentes (Tabela 3), onde se encontram os parâmetros dos semivariogramas. De maneira geral, observaram-se variações expressivas nos valores do alcance da dependência espacial para maior parte dos atributos avaliados. A dependência espacial denotou que o comportamento dessas variáveis regionalizadas não foi aleatório para alguns atributos, principalmente na área de café onde as distâncias entre pontos, utilizadas na malha geoestatística, não foram suficientes para o estudo da variabilidade espacial de alguns atributos do solo.

Os modelos foram ajustados para os semivariogramas experimentais em função do seu melhor ajuste e selecionou-se os modelos teóricos, em função do grau de dependência espacial, coeficiente de determinação (R^2) e posteriormente, o de maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método da validação cruzada, apresentada por Vieira et al. (1981).

As validações cruzadas representantes dos modelos ajustados para expressar a dependência espacial dos atributos bem como os valores de R^2 , demonstraram bom desempenho dos resultados obtidos, valores de R^2 acima de 0,5 melhoram a estimativa de valores pelo método da krigagem (AZEVEDO, 2004).

Observou-se em todos os atributos, usos e camadas avaliadas que houve um predomínio de ajuste ao modelo esférico, seguido pelo modelo exponencial. Outros autores concordam com os resultados obtidos neste trabalho, pois também indicam o modelo esférico como o de maior ocorrência para os atributos do solo (CORÁ et al., 2004; MONTANARI et al., 2008; AQUINO et al., 2014). Das

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados aos semivariogramas dos atributos químicos do solo em diferentes camadas de Terras Pretas de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM.

Atributo	Cacau						Café						Braquiária					
	Mod.	¹ C ⁰	² C ⁰ +C ¹	³ a (m)	⁴ R ²	⁵ GDE%	Mod.	C ⁰	C ⁰ +C ¹	a (m)	R ²	GDE%	Mod.	C ⁰	C ⁰ +C ¹	a (m)	R ²	GDE%
0,00 – 0,05 m																		
pH _(H₂O)	Esférico	0,00	0,44	22,90	0,74	1,13	Esférico	0,18	0,32	17,82	0,78	57,00	Esférico	0,04	0,06	45,00	0,77	61,19
C org.	Exponencial	8,70	75,12	17,70	0,76	11,58	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	12,31	26,24	47,70	0,84	46,91
Est. C	Esférico	1,07	28,84	16,50	0,80	3,71	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	29,85	59,71	62,00	0,91	49,99
P _(disp)	Esférico	8000,00	45780,00	21,90	0,88	17,47	Esférico	505,20	762,60	22,35	0,76	66,00	Esférico	978,00	2135,00	53,10	0,91	45,80
K	Linear	-	-	-	-	EPP	Linear	-	-	-	-	-	Esférico	0,00	0,00	70,00	0,75	50,00
Ca	Esférico	0,00	12,58	9,98	0,91	75,00	Esférico	1,38	4,24	18,47	0,93	68,00	Esférico	1,84	3,40	55,00	0,90	54,19
Mg	Exponencial	0,17	1,89	186,90	0,87	8,99	Esférico	0,70	0,82	19,57	0,86	85,00	Esférico	0,33	0,60	70,00	0,91	55,66
Al	Linear	-	-	-	-	EPP	Exponencial	0,01	0,07	63,2	0,88	21,12	Linear	-	-	-	-	EPP
H+Al	Esférico	8,01	13,57	24,22	0,92	59,00	Esférico	7,92	11,37	14,46	0,93	69,00	Esférico	0,85	1,60	28,00	0,91	52,95
CTC _{total}	Exponencial	0,01	9,02	50,10	0,80	1,10	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	3,90	9,85	59,50	0,95	39,56
SB	Exponencial	0,91	9,47	22,50	0,83	9,60	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	2,31	5,95	81,00	0,96	38,81
V(%)	Esférico	31,00	130,90	29,00	0,98	23,68	Exponencial	11,90	96,40	18,90	0,76	63,00	Esférico	6,82	25,49	35,00	0,87	26,77
m(%)	Linear	-	-	-	-	EPP	Exponencial	0,42	1,48	63,32	0,74	77,00	Esférico	1,40	2,17	60,00	0,76	64,47
0,05 – 0,10 m																		
pH _(H₂O)	Esférico	0,00	0,61	27,43	0,88	0,16	Esférico	0,14	0,30	19,52	0,95	46,00	Esférico	0,02	0,04	30,00	0,82	57,50
C org.	Esférico	7,64	56,20	18,56	0,82	13,59	Esférico	0,00	12,50	8,07	0,94	45,00	Esférico	1,50	5,71	40,00	0,90	26,29
Est. C	Exponencial	1,11	13,76	27,00	0,82	8,06	Linear	-	-	-	-	-	Exponencial	3,10	47,09	56,40	0,97	6,50
P _(disp)	Esférico	1,00	1422,00	25,80	0,88	0,70	Esférico	274,70	474,10	15,50	0,76	57,00	Esférico	494,00	1291,00	68,90	0,89	38,26
K	Esférico	0,00	0,00	20,49	0,85	0,65	Linear	-	-	-	-	EPP	Linear	-	-	-	-	EPP
Ca	Esférico	7,98	15,21	27,48	0,86	77,00	Esférico	0,06	10,36	45,80	0,79	56,00	Esférico	1,23	5,30	75,00	0,96	23,30
Mg	Exponencial	0,41	4,82	237,00	0,84	8,50	Esférico	0,13	0,38	7,67	0,81	34,00	Esférico	0,16	0,33	63,20	0,89	47,78
Al	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	0,09	0,13	19,33	0,91	70,00	Linear	-	-	-	-	EPP

H+Al	Esférico	8,35	24,35	23,03	0,91	34,00	Esférico	6,75	10,57	17,76	0,86	63,00	Esférico	0,75	1,25	40,00	0,74	59,85
CTC _{total}	Esférico	4,83	9,84	92,80	0,86	49,08	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	0,27	10,11	75,00	0,96	24,69
SB	Esférico	0,57	20,00	22,60	0,87	2,85	Esférico	2,16	8,93	13,70	0,85	69,00	Esférico	1,30	5,62	73,90	0,97	23,19
V(%)	Esférico	14,90	328,20	24,40	0,83	4,53	Esférico	14,60	186,70	13,16	0,79	71,00	Esférico	24,85	50,01	75,00	0,79	49,69
m(%)	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	2,98	19,18	10,70	0,85	72,00	Esférico	0,96	1,88	75,00	0,84	51,01
0,10 – 0,20 m																		
pH _(H₂O)	Esférico	0,00	0,53	28,24	0,91	0,18	Esférico	0,14	0,30	19,60	0,92	47,00	Esférico	0,02	0,05	35,00	0,83	42,85
C org.	Exponencial	4,40	52,32	12,90	0,75	8,40	Exponencial	48,85	54,26	24,35	0,92	90,00	Esférico	1,93	5,84	85,10	0,94	32,99
Est. C	Esférico	0,10	38,11	20,50	0,96	0,26	Esférico	100,40	109,73	42,72	0,90	91,00	Esférico	26,40	170,30	26,40	0,89	15,50
P _(disp)	Exponencial	240,00	3640,00	63,48	0,75	6,59	Esférico	737,40	456,30	20,74	0,86	74,00	Esférico	383,62	965,24	75,00	0,91	39,74
K	Esférico	0,00	0,00	20,35	0,77	0,00	Esférico	0,01	0,02	20,49	0,85	76,00	Esférico	0,00	0,00	70,00	0,85	35,70
Ca	Esférico	12,14	17,93	28,86	0,98	67,00	Esférico	1,88	4,94	8,47	0,87	83,00	Esférico	0,50	6,24	80,00	0,96	8,00
Mg	Exponencial	0,00	1,21	56,10	0,83	0,08	Esférico	0,22	0,27	33,44	0,87	83,00	Esférico	0,11	0,27	66,50	0,89	49,77
Al	Linear	-	-	-	-	EPP	Exponencial	0,18	0,25	8,68	0,96	73,00	Linear	-	-	-	-	EPP
H+Al	Esférico	7,70	24,50	22,06	0,93	31,00	Esférico	9,73	12,12	14,27	0,94	80,00	Esférico	1,00	1,70	32,00	0,86	58,82
CTC _{total}	Esférico	3,02	6,94	87,40	0,92	43,50	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	1,38	7,913	80,00	0,97	17,49
SB	Esférico	0,60	17,66	26,20	0,97	3,39	Linear	-	-	-	-	EPP	Esférico	0,75	6,86	80,00	0,96	32,30
V(%)	Esférico	134,40	313,50	38,60	0,93	42,87	Esférico	2,20	178,90	16,30	0,82	76,00	Esférico	26,42	47,15	60,00	0,72	48,75
m(%)	Linear	-	-	-	-	EPP	Exponencial	17,90	109,00	27,00	0,74	75,00	Esférico	0,53	0,94	34,10	0,85	52,30

COT (carbono orgânico total); Est. C. (estoque de carbono); Ca (cálcio); Mg (magnésio); K (potássio); Al (alumínio); H+Al (acidez potencial); CTC_{total} (Capacidade de troca de cátions a pH 7,0); SB (soma de bases); V (saturação por bases); m (saturação por alumínio). Ca, Mg, K, Al, H+Al, CTC_{total} e SB: (cmol_c.dm⁻³); V e m: (%). Mod.: Modelo; Esf.: Esférico; Exp.: Exponencial; Lin.: Linear; ¹C⁰: efeito pepita; ²C⁰+¹C¹: patamar; ³a: alcance (m); ⁴R²: coeficiente de determinação; ⁵GDE%: grau de dependência espacial; EPP: efeito pepita puro.

variáveis estudadas o modelo gaussiano não se ajustou em nenhum atributo, segundo Vieira (2000) o modelo gaussiano indica pequena variabilidade para curtas distâncias.

Quando a variável estudada não apresenta dependência espacial, o valor de C_0 (efeito pepita) é igual a C_1+C_0 (patamar), este apresenta modelo linear e o resultado é denominado de efeito pepita puro (EPP). Observou-se efeito pepita puro em todos os usos do solo independente da camada avaliada. No entanto, as observações predominaram na camada 0,0 – 0,05m, na área com café observou-se este comportamento para os atributos Carbono orgânico, estoque de carbono, CTC e SB. O atributo K^+ apresentou o mesmo comportamento nos três usos do solo, sendo na área de cacau observou EPP na camada 0,0-0,05m já as áreas cultivadas com café e braquiária na camada 0,10-0,20m.

Nestes casos, ocorre uma diferença significativa de valor entre pontos próximos, representando que pode haver uma provável regionalização inferior à escala de trabalho da malha de amostragem e/ou variações espúrias associadas com a coleta e medição das amostras (STURARO, 1988). Segundo Landim (1993), modelos lineares representam o extremo de uma situação de aleatoriedade, onde não ocorre covariância entre os valores e, portanto, a análise variográfica não se aplica.

No que se refere aos resultados do coeficiente de determinação (R^2), os valores extremos foram observados nas áreas de braquiária e cacau variando entre 0,72 e 0,98 ambos para o atributo saturação por bases na área cultivada, estes valores indicam que 72% e 98% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada podem ser explicada pelos modelos variográficos ajustados. Avaliando a variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré sul do Amazonas,

Aquino et al., (2014) verificaram uma faixa de variação para o coeficiente de determinação de 0,59 para areia a 0,98 para microporosidade.

O grau de dependência espacial (GDE), expresso pela razão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C_1$) (CAMBARDELLA et al., 1994), foi classificado como moderado para a maioria dos atributos estudados (Tabela 3). Ainda segundo Cambardella et al., (1994), as variáveis que apresentam forte dependência espacial são influenciadas principalmente por propriedades intrínsecas dos solos, enquanto atributos que apresentam dependência espacial moderada, possuem relação com o manejo do solo. Indicando que o uso do solo nos três ambientes estudados possui efeito no grau de dependência espacial dos atributos avaliados.

Para dependência espacial Oliveira et al., (2014), estudando a variabilidade espacial de um Cambissolo sob cultivos de mandioca e cana-de-açúcar no sul do Amazonas, verificou que a maioria das suas variáveis apresentaram moderada dependência espacial. Ainda recomendou que em novos estudos o ideal seria o adensamento da malha de amostragem. A variabilidade espacial de atributos físicos em áreas de Terra Preta de Índio, apresentaram dependência espacial variando de 6,15% para a variável areia até 80% densidade aparente (AQUINO et al., 2014).

O alcance indica o limite da dependência espacial da variável, de modo que determinações realizadas a distâncias superiores ao alcance possuem distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada a estatística clássica. Por outro lado, determinações realizadas em distâncias menores são correlacionadas umas as outras, permitindo interpolações para espaçamentos menores que os amostrados (ANDRIOTTI, 2013).

Verificaram-se variações expressivas nos valores do alcance da dependência espacial para todas as variáveis, com uma faixa de valores compreendida entre 7,67 a 87,40 m. Na análise dos atributos químicos, os maiores valores de alcance foram observados para CTC (total) na área cultivada com cacau, para a camada de 0,10-0,20m. Já para a área cultivada com braquiária o maior alcance observado foi de 85,10m, também na camada de 0,10-0,20m para o atributo Carbono orgânico. A área cultivada com café apresentou os menores alcances, bem como os maiores alcances foram observados na área cultivada com braquiária brizantha.

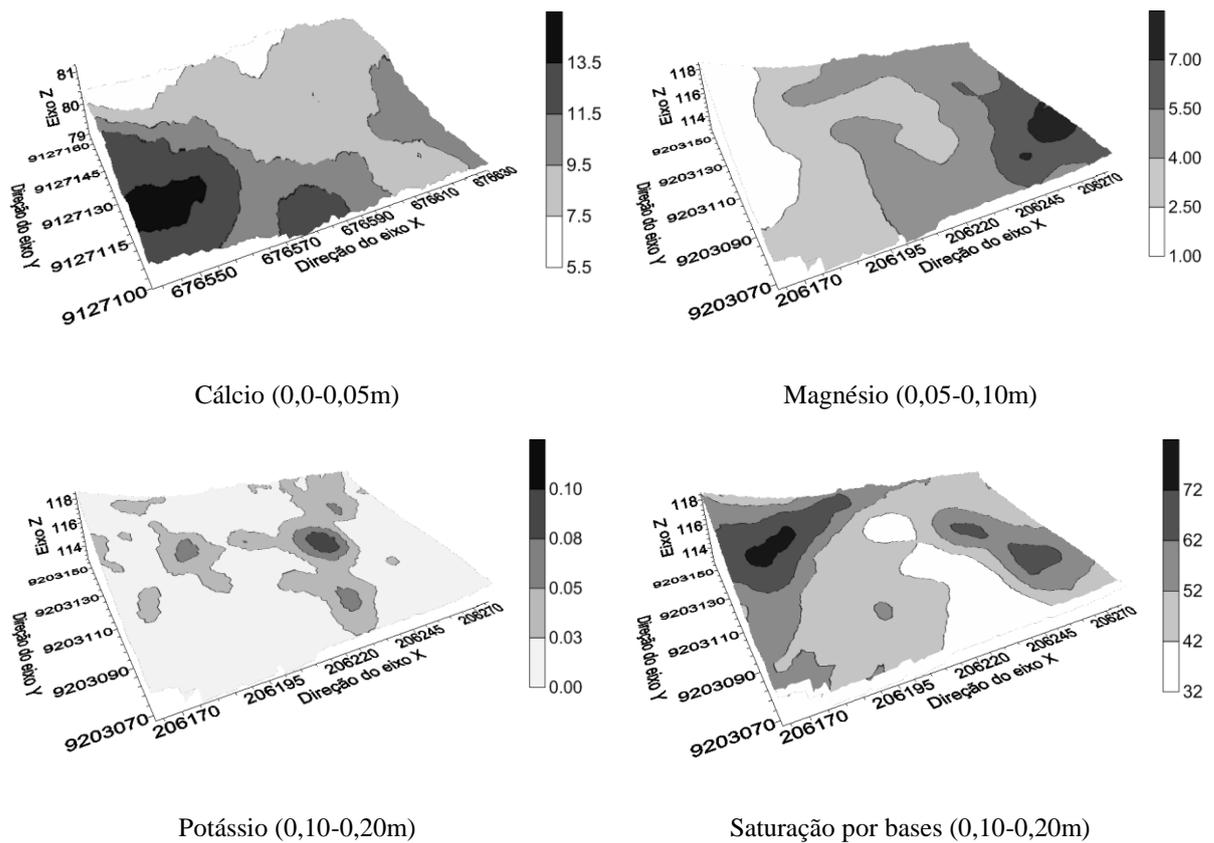


Figura 2: Mapas de krigagem dos atributos químicos na área cultivada com Cacau.

Valores médios de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), observados neste trabalho, foram considerados muito bons para todas as áreas de TPI, independente da camada avaliada, segundo Ronquim (2010), esses resultados justificam a maior parte da CTC do solo. Santos et. al., 2013, trabalhando com TPI, obteve valores de Ca e Mg semelhantes aos observados neste trabalho. Esses resultados podem ser reflexo do tempo de ocupação e densidade da ocupação humana nas áreas (CAMPOS et al., 2012).

A análise dos resultados e obtenção dos mapas de krigagem evidenciou o antagonismo dos valores referentes ao pH, que apresentaram médias baixas na camada superficial para os usos do solo nas áreas cultivadas com cacau e do café, já para a área de pastagem o maior valor de pH foi observado para a camada subsuperficial 0,10-0,20m. Estes resultados podem ser explicados pelos menores teores de alumínio nas camadas superficiais, uma vez que este elemento compete pelos mesmos sítios de adsorção do cálcio e magnésio. Para COHEN et al. (2008) as atividades antrópicas afetam a “auto-organização” das zonas e afetam a estrutura espacial das propriedades do solo, como pH, concentrações de nutrientes e matéria orgânica do solo. Os mapas de pH são semelhantes aos mapas de cálcio e magnésio, em todas as profundidades (FIGURA 2), ocorrendo os maiores valores de pH associados aos maiores valores de cálcio e magnésio nas duas primeiras camadas avaliadas, esses resultados são inversamente proporcionais aos mapas de acidez potencial e alumínio. A análise dos mapas da variabilidade espacial, auxiliam na interpretação mais minuciosa dos atributos do solo, bem como permite a identificação de pequenas variações.

Para todos os mapas gerados observou-se amplitude dos valores, o que explicita possíveis equívocos que podem ocorrer na recomendação de corretivos e fertilizantes pelos métodos tradicionais de amostragem do solo, resultados semelhantes foram obtidos por

Montanari et al., (2008) e Montomiya et al., (2011). O resultado dos mapas de cálcio e magnésio na camada 0,10-0,20m para as áreas de café, cacau e pastagem (FIGURA 3), demonstram que a aplicação de fertilizantes em alguns locais da área poderá ser superior as necessidades da cultura, enquanto em outros estes valores ficaram aquém das exigências nutricionais, o que compromete o rendimento das culturas.

Os mapas da CTC potencial nos três manejos do solo na camada 0-0,05m, exemplificam bem, como a utilização de insumos às taxas variáveis podem, neste caso, possibilitar o uso racional de fertilizantes que além do incremento de produtividade por área em função do manejo regionalizado, diminuem o impacto ambiental.

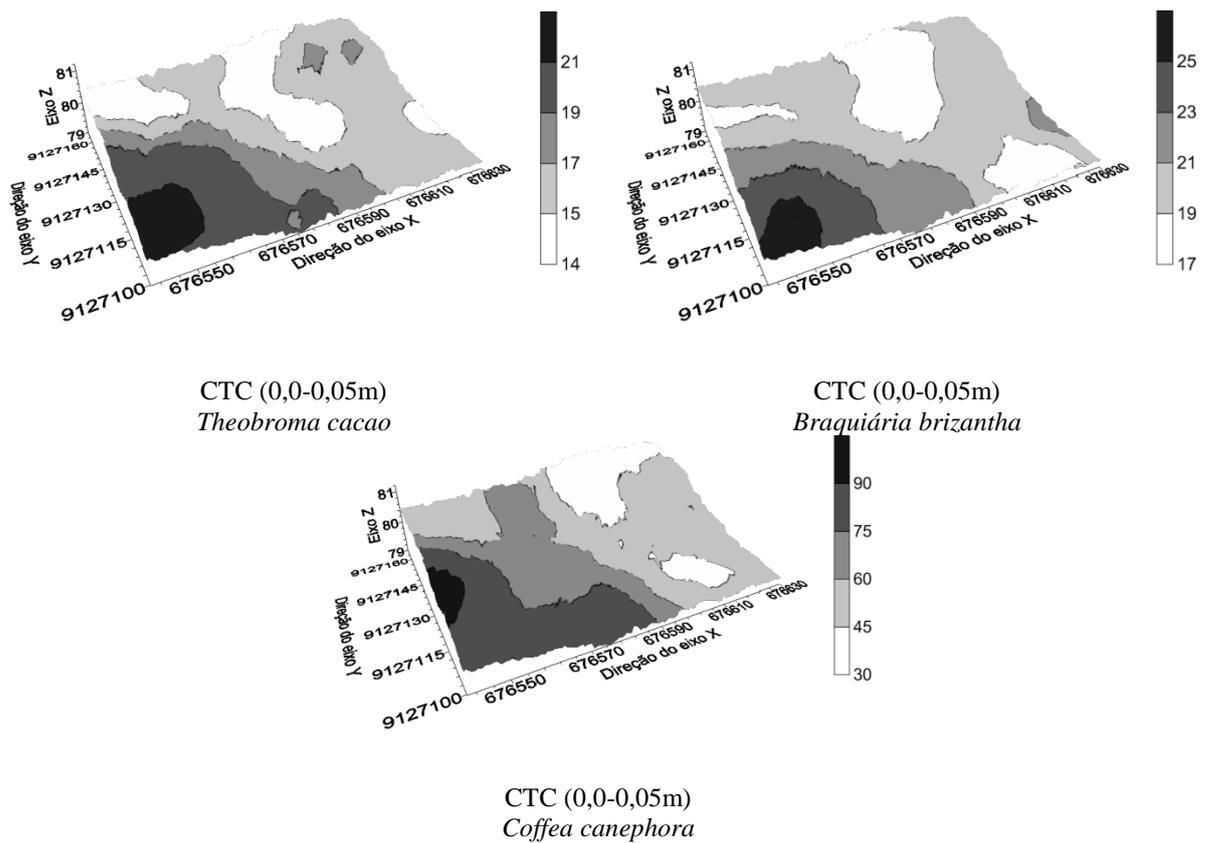


Figura 3: Mapas de krigagem da CTC potencial nos três tipos de manejo avaliados.

A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T) definida como a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas, na área de TPI cultivada com cacau apresentou médias que variaram de 28,28 a 24,46 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, da camada 0,0-0,05m para a camada 0,10-0,20m, estes valores assim como nos demais atributos catiônicos foram superiores aos das áreas de cultivadas com braquiária e café. Embora, as médias da T nas áreas de TPI com café e braquiária terem sido estatisticamente inferiores à área com cacau, o valor médio da T nas três áreas também foi considerado bom. Quanto maior o CTC do solo, maior o número de cátions que este solo pode reter. Portanto, a CTC é uma característica físico-química fundamental ao manejo adequado da fertilidade do solo (LOPES; GUIDOLIN, 1992).

Dentre os nutrientes catiônicos que compõe a soma de bases, saturação por bases e a CTC do solo, o potássio apresentou médias diferentes estatisticamente, porém, muito baixas em todas as áreas e camadas de TPI estudadas. As queimadas são práticas comuns em áreas de assentamento na Amazônia, por limparem a área e promoverem o grande aporte de nutrientes, sobretudo, do potássio contido nas cinzas. No entanto, nas áreas avaliadas não há histórico de queimada nem de adubação potássica, nos últimos anos. Estes fatores aliados à elevada mobilidade do potássio no solo podem justificar os baixos valores desse nutriente. Normalmente áreas de TPI apresentam baixos teores de K (OLIVEIRA et al., 2015; FALCÃO; BORGES, 2006), corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

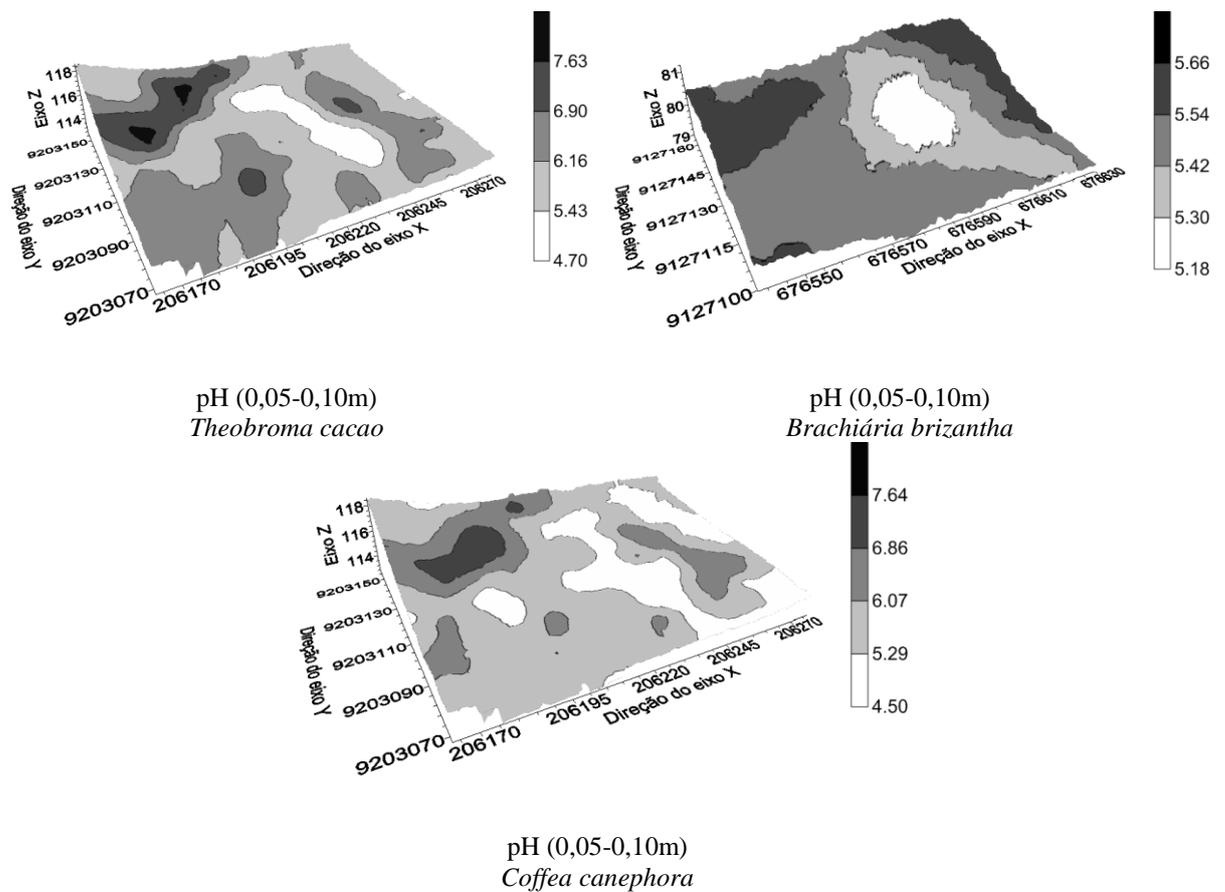


Figura 4: Mapas de krigagem do cálcio nos três tipos de manejo avaliados.

A camada 0,0-0,05m da área de TPI cultivada com cacau apresentou média de pH de 6,0, superior às áreas cultivadas com café e braquiária, cujo valores diferiram entre si e variaram de 5,39 a 5,48 (Tabela 4). Caracterizando TPI no sul do Amazonas, Oliveira et al. (2015), observaram resultados semelhantes, evidenciando que os horizontes A antrópico apresentam valores de pH superiores à média observadas nos solos adjacentes. Nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20m nas três áreas avaliadas, os valores de pH apresentaram aumento de acidez, o que é um comportamento normal desse atributo, as médias ainda são consideradas elevadas para as características de solos tropicais, na camada de 0,10-0,20m, onde os valores de pH para as áreas de braquiária e cacau foram superiores à média observada para área de

café com médias de 5,71; 5,59 e 4,98 para as áreas de braquiária, cacau e café , respectivamente. Os valores médios de pH observados nas áreas de TPI, provavelmente estão relacionados aos elevados níveis de cátions trocáveis, principalmente cálcio e magnésio além do alumínio que normalmente apresenta valores baixos e parece ter parte do seu conteúdo complexado pela matéria orgânica.

Em relação ao carbono orgânico total e estoque de carbono as médias observadas na área de braquiária, variaram de 137,07 a 133,91 g.kg⁻¹ e 88,92 a 164,19 t.ha⁻¹, respectivamente, essas médias diferiram estatisticamente e foram superiores às demais áreas de TPI. O hábito de crescimento da *Brachiaria brizanta* bem como a maior cobertura do solo verificadas *in loco*, quando comparado aos demais usos do solo podem ter favorecido os maiores teores de COT e do Estoque de carbono. Avaliando estoque de carbono na serrapilheira e no solo, em área de Latossolo, Rocha et al., (2014) ressaltou que, a conservação das características da vegetação natural e o mínimo revolvimento do solo contribuem para a preservação da matéria orgânica do solo e aumento do aporte de carbono.

Os valores médios elevados de carbono orgânico total e estoque de carbono independente do uso do solo e da camada avaliada, evidenciam que, os diferentes manejos do solo nas áreas de TPI preservam as características químicas, físicas e biológicas do solo, sobretudo, na camada mais 0,0-0,05m das áreas de TPI cultivadas com café e cacau e na camada 0,10-0,10m da área com braquiária. Áreas de TPI no sul do Amazonas, segundo Campos et al. (2012), apresentaram elevados teores de carbono orgânico total no horizonte A, onde, atribuiu-se os altos teores de carbono orgânico às modificações antropogênicas que esse solo sofreu durante o processo de formação.

5 CONCLUSÕES

- Os atributos químicos das áreas de TPI avaliadas possuem dependência espacial moderada.

- A diferença entre as camadas avaliadas e a origem antrópica explicam parte do comportamento de atributos que apresentaram alcances variados e ausência de dependência especial.

- Os atributos químicos apresentaram pouca sensibilidade a profundidade da coleta e ao manejo do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J. M.; SILVA, D. M. P.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos Antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. *Biosci. J.*, Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 988-997, July/Aug. 2014.
- BITENCOURT, D. G.B, BARROS, W. S., TIMM, L. C., DONGLI SHE, PENNING, L. H., BARBAT PARFITT, J. M., REICHARDT, K. Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil levelling effects on physico-chemical properties. *Soil and Tillage Research*, Volume 156, March 2016, Pages 63-73 .
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.
- CAMARGO E.C.G. Análise Espacial de Superfícies por Geoestatística. In: FUKS, S. D.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G. MONTEIRO, A.M.V. (ed.) Análise Espacial de Dados Geográficos. cap. 3, p.1-28, 2007.
- CAMPOS, M. C. C; SOARES, M. D. R. AQUINO, R. E.; SANTOS, L. A. C., MANTOVANELLI, B. C.. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo em uma área de agrofloresta na região de Humaitá, AM; *Comunicata Science.*, Bom Jesus, v.5, n.4, p.509-517, out./dez. 2014.
- CAMPOS, M.C.C.; SANTOS, L.A.C.; SILVA, D.M.P.; MANTOVANELLI, B.C. & SOARES, M.D.R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. *R. Agro@mbiente On-line*, 6:102-109, 2012.
- CARVALHO, D. C.; PEREIRA, M. G.; TOLEDO, L. O.; SIMON, C. A.; RODRIGUES, J. F.; FERNANDES, J. C. F.; NETO, E. C. S. Ciclagem de nutrientes de um plantio de eucalipto em regeneração de espécies nativas no sub-bosque. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 17 - 27, jan. / mar. 2017. ISSN eletrônico 1982-4688 DOI: 10.5380/ufpr.v47i1.43652
- CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKIN, T.B., TURCO, R.F., KONOPKA, A.E., 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1501–1511.
- 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 de Ciência do Solo*, v.28, p.1013-1021, 2004
- Dalchiavon, F. C.; Carvalho, M. de P. e; Andreotti, M.; Montanari, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, p. 453-461, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3a. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

FAO. World reference base for soil resources. A framework for international classification correlation and communication. Roma, 2006. 127p.

GERMAN, L.A. (2003). Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: Contributions to the debate on Amazonian black earth. *Geoderma*, 111, 307-331

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions the Royal Society B*. v.362, p.187–196, 2007.

HAIR Jr., JOSEPH F.; ANDERSON, R. E; TATHAM; R. L. e BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600 p.

HINSINGER, P. et al. P for two, sharing a scarce resource: soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *Plant Physiology*, v. 156, n. 3, p. 1078–86, jul. 2011.

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: TORRADO, P. V.; ALLEONI, L. R. F; COOPER, M.; SILVA, A. P.; KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E. G.; MYERS, T.P. Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; WOODS, W.; GLASER, B. (Org.). Amazonian dark Earths: Origin, Properties, Management. 1 ed. Norwell: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, v.1, p.51-76. 2003.

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.

LIU, Z.; ZHOU, W.; SHEN, J. H; HE, P.; LEI, Q.; LIANG, G. A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields in South China. *Geoderma* 235–236 (2014) 39–47

MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; AZETO, R.J.; CAMARGO, L.A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. *Ciência Rural*, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.

McCANN, J. M.; WOODS, W. I.; MEYER, E. W. Organic matter and anthrosols in Amazônia: Interpreting the Amerindian legacy. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A., eds. Sustainable management of soil organic matter. Wallingford, CABI Publishing, 2001. P. 180-189.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E. MARQUES JUNIOR, J. M.; NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37:1103-1112, 2013.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, R., MARQUES, M., AND BIENES, R.: Spatial variability of the soil erodibility parameters and their reaction with the soil map at subgroup level, *Sci. Total Environ.*, 378, 166–173, 2007.

RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA.

SDS – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Relatório técnico síntese dos diagnósticos: Área estadual sul de Apuí e Manicoré. Manaus, 2004. 20 p.

SANTOS, L. A. C., CAMPOS, M. C., AQUINO, R. E., BERGAMIM, A. C., SILVA, D. M. P., MARQUE JR. J. e FRANÇA, A. B. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 37:825-836, 2013.

SILVA CAVALCANTE, E.G.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1329-1339, 2007.

SILVA, J. E. da; RESK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A.T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. EMBRAPA Cerrados. Planaltina-DF, 1997, 524 p.

SMITH, N. J. H. Anthrosol and human carrying capacity in Amazonia . In: *ANNALS OF THE ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS*, 70. 1980, Durham. *Annals...Durham*, 1980. p. 553-566.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

SOMBROEK, W.G. Amazonian soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon. Wageningen: Centre for Agricultural Publication Documentation, 1966. 292 p.

SUN, B.; ZHOU, S.L.; ZHAO, Q.G. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 115, p 85-99.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:1040-1048, 1981.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication Soil Science Plant Anal*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZIADAT, F. M. AND TAIMEH, A. Y.: Effect of rainfall intensity, slope and land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment, *Land Degrad. Dev.*, 24, 582–590, 2013.

SHUKLAA, K., SANJIB, K. BEHERAB, N. K. L, PANKAJ; TIWARIA, C. P., R.S. MALIKC, NISHANT K. SINHAA, V.K. SINGHD, ASHOK K. PATRAA, S.K. CHAUDHARY. Spatial variability of soil micronutrients in the intensively cultivated Trans-Gangetic Plains of India *Arvind. Soil & Tillage Research* 163 (2016) 282–289

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. *Ciência Rural.*, v.30, n.4,.611-617, 2000.

SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; VIERA, M.; ARAÚJO, E. F. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus maidenii*. *Cerne*, Lavras, v. 19, n. 3, p. 501-508, 2013.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.6, p.937-944, 2004.

CAPÍTULO II

Atributos químicos do horizonte A antrópico sob diferentes usos do solo no sul do Amazonas

RESUMO: Em toda região amazônica ocorrem inúmeras áreas de solo com presença de horizonte A antrópico, denominado Terra Preta de Índio, geralmente apresentam fertilidade elevada diferente dos solos ácidos e pouco férteis comuns nos trópicos. O objetivo do estudo foi verificar o grau de similaridade dos atributos do solo das áreas de TPI sob diferentes usos (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* e *Theobroma cacao*), utilizando técnicas estatísticas multivariada. Selecionou-se três áreas de TPI, onde foram estabelecidos grids amostrais com dimensões de 80 x 56 m com espaçamento regular de 8 x 8 m para área de pastagem, de 100 x 42 m com espaçamentos de 10 x 6 m para área de café, e de 88 x 42 com espaçamento de 8 x 6m para área cultivada com cacau. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha nas camadas 0,00-0,05; 0,05-0,10; e 0,10-0,20 m, perfazendo um total de 88 pontos amostrais por área. Em laboratório, realizou-se as análises químicas: pH, Al^{3+} , H + Al, Ca, Mg, K, P, Carbono orgânico e Estoque de carbono, posteriormente determinou-se soma de bases, CTC potencial, saturação por bases e saturação por alumínio. Os resultados foram submetidos a análises: estatística descritiva e multivariada. Por serem três diferentes ambientes com presença de TPI, observou-se um padrão de variabilidade com base na ACP distinto para os três sistemas de uso do solo, sendo que a área com braquiária apresentou nas três camadas avaliadas relação com atributos indicadores de acidez do solo (Al^{3+} e H + Al), enquanto que a área com cacau, apresentou relação direta com atributos indicadores de fertilidade (Ca, Mg, K, SB e V%).

Palavras chave: Terra preta de índio, multivariada, manejo do solo.

CHAPTER II

Chemical attributes of anthropic A horizon under different soil uses in south of Amazonas

ABSTRACT: Soils with anthropogenic A horizon, known as Terra Preta de Índio (TPI), occur in many Amazonian regions. These soils generally present high fertility, in contrast to the acidic and less fertile soils common in the tropics. The objective of the study was to verify the degree of similarity of soil attributes of TPI areas under the different uses (*Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* and *Theobroma cacao*), using multivariate statistical techniques. Three areas of TPI were selected, where experimental grids were sampled with dimensions of 80x56m with spacing of 8x8m for the pasture area, dimensions of 100x42m with spacing of 10x6m for the coffee area, and dimensions of 88x42m with spacing of 8x6m for the cocoa area. The soils were sampled at the crossing points in the layers of 0-0.05m; 0.05-0.1m; and 0.1-0.2m, taking a total of 88 sampling points in each area. In the laboratory were determined: pH, Al^{3+} , H^+ Al, Ca, Mg, K, P, Organic Carbon and Carbon Stock, potential CTC, base saturation and aluminum saturation. The results were subjected to descriptive and multivariate statistics. As there are three different environments with presence of TPI, a pattern of variability based on the Principal Coordinates Analysis was observed for the three systems of land use, considering that the brachiaria area showed along the three layers evaluated a relation with attributes that indicate soil acidity (Al^{3+} e H^+ Al), whereas the cacao area showed relation with attributes that indicate fertility (Ca, Mg, K, SB e V%).

Keywords: Amazonian dark earth, multivariate, soil management.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura convencional, eventualmente, utiliza práticas agrícolas incompatíveis com as características dos biomas brasileiros, principalmente num ecossistema frágil como o Amazônico. Sistemas de cultivo não conservacionistas são deletérios ao sistema solo-planta, pois acentuam a queda no rendimento das culturas em decorrência da perda de qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Em toda região Amazônica é comum, que após a perda de qualidade do solo, novas áreas de floresta sejam desmatadas, visando compensar as perdas de produtividade, com áreas maiores. De acordo Brandão Jr. (2013), a cobertura florestal nas áreas destinadas a assentamentos rurais na Amazônia brasileira tem sido intensamente desmatada ou afetada pela degradação florestal. Como reflexo deste processo ocorre a aceleração do desmatamento dentro dos assentamentos rurais colocando em risco importantes serviços ambientais fornecidos pela floresta (FEARNSIDE, 2005).

Na amazônia ocorrem inúmeras áreas de solo com presença de horizonte A antrópico, denominados Terra Preta de Índio (TPI), essas geralmente apresentam fertilidade elevada diferente dos solos ácidos e pouco férteis comuns nos trópicos. A TPI mantém elevada fertilidade mesmo após sucessivos anos e ciclos de cultivos, além da alta fertilidade a TPI possui como característica marcante a coloração escura e presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados a matriz dos horizontes superficiais (KÄMPF; KERN, 2005). Por este motivo são bastante utilizadas na agricultura com diversas culturas, dentre eles: mandioca, milho, feijão, espécies olerícolas, frutíferas e pastagens. Essa ocupação, segundo Silva; Resk, (1997), gera um desequilíbrio no ecossistema, provocando perda de biodiversidade, degradação do solo e esgotamento de nutrientes.

O conhecimento dos danos provocados pelos diferentes usos do solo é essencial para melhorar sua qualidade, pois a conversão da floresta em áreas agrícolas ou de pastagem provocam sérios problemas, em decorrência dos manejos adotados (SOARES et al. 2016). O conhecimento das interações entre as propriedades do solo são essenciais para a compreensão dos processos dos ecossistemas o que possibilita o planejamento de alternativas de manejo sustentável desse recurso (PÉREZ-RODRÍGUEZ; MARQUES; BIENES, 2007; ZIADAT; TAMIMEH, 2013).

A substituição da floresta por sistemas de cultivo no sul do Amazonas proporciona modificações nos atributos do solo, segundo Mantovanelli et al. (2015), o uso de técnicas multivariadas mostrou-se eficiente na distinção de ambientes. Estudos sobre variabilidade espacial dos atributos do solo têm sido extensivamente abordados nos últimos anos, mas relativamente poucos trabalhos envolveram os atributos químicos em áreas de Terra Preta de Índio. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a partir dos atributos químicos do solo áreas distintas de Terra Preta de Índio, cultivadas com *Brachiaria brizantha*, *Coffea canephora* e *Theobroma cacao*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em áreas com diferentes usos do solo e presença de horizonte A antrópico. Os locais de coleta são localizados no sul do Amazonas, nas imediações da BR 230 “Transamazônica”, nos municípios de Apuí e Manicoré. Foram selecionadas três áreas de Terra Preta de Índio (TPI) cultivadas com de cacau, café e braquiária (Figura 1).

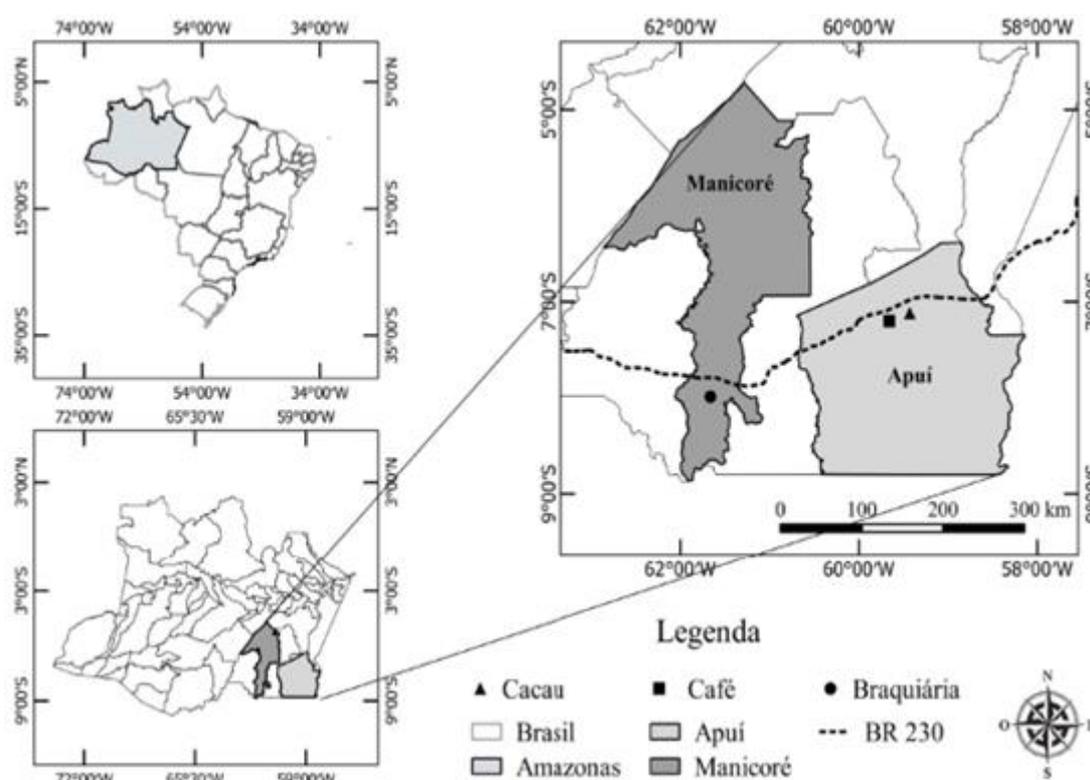


Figura 1: Mapa de localização das áreas estudadas.

O clima da região segundo classificação de Köppen é tipo Am (chuvas do tipo monção), caracterizado por um período seco de pequena duração, com precipitações variando de 2.250 e 2.750 mm, temperaturas médias anuais entre 25 e 27°C e umidade relativa do ar entre 85 e 90% (BRASIL, 1978). A vegetação predominante é de Floresta Ombrofila Densa constituída por árvores adensadas e multiestratificadas entre 20 e 50

metros de altura (ZEE/AM, 2008). O relevo é marcado pela presença de platôs, nas partes mais elevadas, combinado com áreas rebaixadas de sopé. No município de Manicoré os solos são oriundos de material de origem proveniente da alteração de rochas pré-cambrianas do Complexo Xingu e Grupo Beneficente (BRASIL, 1978).

Os locais de coleta são lotes de assentamento rural pertencentes a agricultores familiares, sendo uso do solo, localização, tipo de solo e histórico das áreas descritos a seguir (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição do uso do solo, localização, tipo de solo e histórico das áreas com presença de horizonte A antrópico.

Uso do solo	Localização	Solo	Histórico de uso*
Cacau (<i>Theobroma cacao</i>)	Apuí, AM 07°12'S 59°39' W	Luvisolo Crômico	Utilizada inicialmente para cultivo de espécies anuais (arroz, milho, feijão, melancia e mandioca), partir de 2005 foi implantado o cacauero empregando-se um espaçamento regular e poucos tratos culturais.
Café Conilon (<i>Coffea canephora</i>)	Apuí, AM 07°09'S 59°42' W	Argissolo Amarelo	Utilizada inicialmente como área de pastagem, e convertida há 10 anos em café. A cultura tem sido manejada com espaçamento regular e segue recomendações genéricas de manejo.
Braquiária (<i>Brachiaria brizantha</i>)	Manicoré, AM 07°59'S 61°39' W	Argissolo Vermelho-Amarelo	Há mais de 10 anos é utilizada na atividade pecuária como pastejo extensivo. Onde além do pasto o rebanho recebe suplementação mineral.

* As áreas de TPI estudadas neste trabalho tiveram seu revestimento florestal total ou parcialmente removido nos últimos 20 anos com posterior queimada.

Em relação aos solos presentes no município de Apuí, ocorre predominância das classes: Argissolos, Neossolos Litólicos associados ou não a afloramentos rochosos e, nos topos planos no relevo suave ondulado, Nitossolos em relevo ondulado e forte ondulado e Latossolos em relevo suave ondulado (SDS, 2004). Estudos recentes realizados por Santos et al. (2013), relataram três classes de solos, Neossolos, Argissolos e Cambissolos todos eles relacionados com presença de horizonte A antrópico, nas regiões de Apuí e Manicoré.

2.1 Amostragem

Foram demarcadas malhas nas seguintes dimensões (80 x 56; 100 x 42 e 88 x 42 m), em cada malha foram estabelecidos 88 pontos amostrais distribuídos em espaçamentos variáveis (8 x 8; 10 x 6 e 8 x 6 m), para as áreas cultivadas com braquiária, café e cacau respectivamente,. Nos pontos de cruzamento da malha, foram abertas trincheiras e coletadas amostras nas camadas: 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, totalizando 264 amostras em cada uso do solo. Esses pontos foram georeferenciados utilizando equipamento GPSMAP 76CSx, com precisão < 10m.

2.2 Processamento das amostras

Para caracterização química do solo as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm. Determinou-se os valores de acidez ativa (pH em H₂O), acidez trocável (Al³⁺), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo disponível (P), carbono orgânico (COT) e estoque de carbono (Est. C.).

Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos por KCl, o potássio trocável e fósforo disponível, foram extraídos por *Mehlich-1* e determinados por fotometria de chama e calorimetria, respectivamente. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução

tamponada a pH 7,0; de acetato de cálcio, conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (2011).

A acidez ativa foi determinada potenciométricamente, utilizando-se a relação 1:2,5 de solo: em água (EMBRAPA, 2011). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pelo método de Walkley-Black modificado por Yeomans (1988). Os valores de soma de bases (SB), sendo $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$; capacidade de troca de cátions (T), sendo $T = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + (H + Al)$; porcentagem de saturação por bases (V%), sendo $V = ((Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}) / T) \times 100$, e a porcentagem de saturação por alumínio (m%), sendo $m = (Al^{3+} / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Al^{3+})) \times 100$, foram calculados tendo como referência os resultados analíticos dos atributos avaliados.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011), onde: $Ds = a/b$. Esta análise foi realizada somente para subsidiar a determinação do estoque de carbono. O estoque de carbono (Est. C) foi determinado em todas as áreas estudadas e calculado pela expressão de Weldkamp, 1994; $Est. C. = (CO \times Ds \times e) / 100$ onde:

Est C = estoque de C orgânico ($mg \cdot ha^{-1}$) Ds = densidade do solo
 COT = teor de C orgânico total ($g \cdot kg^{-1}$) e = espessura da camada considerada (cm)

2.3 Análise estatísticas

Após a determinação dos atributos químicos, calculou-se estoque de carbono (Est. C.), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (T), porcentagem de saturação por bases (V%), e a porcentagem de saturação por alumínio (m%). Realizou-se então as análises estatísticas univariadas e multivariadas. A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada na comparação dos atributos individualmente pelo teste de Tuckey, a 5 %.

A análise fatorial dos componentes principais foi realizada a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, em relação ao uso do solo, obtendo-se como resposta quais ambientes cujos atributos sofrem maior influência do manejo.

Realizou-se a adequabilidade da análise fatorial pela medida de KMO, que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Bartlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores foi realizada pela análise dos componentes principais (ACP), incorporando as variáveis que apresentaram comunalidades igual ou superior a cinco (5). A escolha do número de fatores a ser utilizado foi feita pelo critério de Kaiser (autovalores superiores a 1). A fim de simplificar a análise fatorial, foi feita a rotação ortogonal (varimax) e representada em um plano fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais.

Nos gráficos de dispersão da ACP após rotação varimax, os escores foram construídos com valores padronizados, de tal forma que a média é zero e a distância entre os escores é medida em termos do desvio padrão. Dessa forma, as variáveis em um mesmo quadrante (1°, 2°, 3° e 4°) e mais próximas no gráfico de dispersão das ACP são melhor correlacionadas. Da mesma forma, escores atribuídos às amostras que se encontram próximas e em um mesmo quadrante, estão relacionadas com as variáveis daquele quadrante (BURAK et al., 2010). Todas as análises estatísticas foram processadas no software STATISTICA versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias das análises químicas e dos resultados oriundos dessas análises, demonstram que houve diferença significativa entre os atributos avaliados em todas áreas de Terra Preta de Índio (TPI), independente da camada de solo avaliada. De maneira geral, os atributos químicos diretamente relacionados à fertilidade do solo nas áreas de TPI apresentaram elevados valores médios de pH, P, Ca, Mg, T, SB e V%, superior às médias de solos não antropogênicos no sul do Amazonas (CAMPOS et al., 2012).

A camada 0,0-0,05m da área de TPI cultivada com cacau apresentou média de pH de 6,0, superior às áreas cultivadas com café e braquiária, cujo valores diferiram entre si e variaram de 5,39 a 5,48 (Tabela 2). Caracterizando TPI no sul do Amazonas, Oliveira et al. (2015), observaram resultados semelhantes, evidenciando que os horizontes A antrópico apresentam valores de pH superiores à média observadas nos solos adjacentes. Nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20m nas três áreas avaliadas, os valores de pH apresentaram aumento de acidez, o que é um comportamento normal desse atributo, as médias ainda são consideradas elevadas para as características de solos tropicais, na camada de 0,10-0,20m, onde os valores de pH para as áreas de braquiária e cacau foram superiores à média observada para área de café com médias de 5,71; 5,59 e 4,98 para as áreas de braquiária, cacau e café, respectivamente.

Os valores médios de pH observados nas áreas de TPI, provavelmente estão relacionados aos elevados níveis de cátions trocáveis, principalmente cálcio e magnésio além do alumínio que normalmente apresenta valores baixos e parece ter parte do seu conteúdo complexado pela matéria orgânica.

Em relação ao carbono orgânico total e estoque de carbono as médias observadas na área de braquiária, variaram de 137,07 a 133,91 g.kg⁻¹ e 88,92 a 164,19 t.ha⁻¹, respectivamente, essas médias diferiram estatisticamente e foram superiores às demais áreas de TPI. O hábito de crescimento da *Brachiaria brizanta* bem como a maior cobertura do solo verificadas *in loco*, quando comparado aos demais usos do solo podem ter favorecido os maiores teores de COT e do Estoque de carbono. Avaliando estoque de carbono na serrapilheira e no solo, em área de Latossolo, Rocha et al., (2014) ressaltou que, a conservação das características da vegetação natural e o mínimo revolvimento do solo contribuem para a preservação da matéria orgânica do solo e aumento do aporte de carbono.

Os valores médios elevados de carbono orgânico total e estoque de carbono independente do uso do solo e da camada avaliada, evidenciam que, os diferentes manejos do solo nas áreas de TPI preservam as características químicas, físicas e biológicas do solo, sobretudo, na camada mais 0,0-0,05m das áreas de TPI cultivadas com café e cacau e na camada 0,10-0,10m da área com braquiária.

Áreas de TPI no sul do Amazonas, segundo Campos et al. (2012), apresentaram elevados teores de carbono orgânico no horizonte A, onde, atribuiu-se os altos teores de carbono orgânico às modificações antropogênicas que esse solo sofreu durante o processo de formação. Outro fator que parece corroborar para que áreas de TPI mantenham alto teor de carbono orgânico deve-se, possivelmente, às características químicas e da resistência do material à decomposição microbiana (MOREIRA, 2007).

A tabela 2 mostra os valores médios de fósforo disponível (P) nas áreas de TPI divididos nas três camadas avaliadas. Para os três usos do solo observou-se variabilidade dos teores de fósforo em relação ao uso e a camada avaliada. Apesar da diferença estatística

entre as médias nas áreas de TPI, verificou-se elevados teores fósforo em todas as áreas, comportamento semelhante foi observado Santos et al., 2013. A baixa acidez observada nas áreas estudadas independente da camada avaliada, parece proporcionar melhores condições para a eficiência do fósforo, principalmente devido a diminuição da capacidade do solo em absorver ou fixar os íons fosfatos. Segundo Pessoa Júnior; Santana, (2017), o fósforo presente nas TPI tem como principal origem a decomposição de compostos orgânicos de restos de alimentos e ossos de animais. Abandono temporário do sítio, mudança do tamanho da população indígena, período de residência nas localidades e forma de subsistência também são apontados por Sjoberg, (1976), como fatores que ajudam a interpretar a variabilidade dos teores de fósforo nas áreas de TPI.

Na área com cacau os teores médios de P aumentaram a medida que se variou a profundidade da camada coletada 93,70; 109,61 e 124,34 mg.dm^{-3} ; respectivamente para as camadas 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. Esse acréscimo em profundidade dos teores de fósforo na área utilizada com pastagem pode ser explicado pela sua associação com o alumínio (COSTA et al., 2011), pois observa-se na área cultivada com braquiária que o comportamento do alumínio é semelhante ao do fósforo.

Segundo Sanchez; Logan, 1992, mesmo se tratando de um horizonte com altos teores de fósforo total e disponível, a TPI pode ser passível a depleção do fósforo nas camadas superiores devido à mobilidade de suas formas para camadas subsuperficiais. A exploração agrícola, erosão superficial, não adoção de práticas de manejo de conservação do solo provocam perdas deste elemento (MOREIRA, 2007).

Os valores médios de cálcio variaram de 19,57; 11,60 e 10,47 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, para as três camadas avaliadas na área de TPI cultivada com cacau, essas médias foram superiores

aos demais usos em todas as camadas avaliadas. O magnésio apresentou a maior média na camada 0,0-0,05m com valor $2,45 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, para a área sob café. Para as camadas subsequentes as médias superiores de 4,05 e $1,99 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, foram novamente observados na área cultivada com cacau.

Valores médios de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), observados neste trabalho, foram considerados muito bons para todas as áreas de TPI, independente da camada avaliada, segundo Ronquim (2010), esses resultados justificam a maior parte da CTC do solo. Santos et. al., 2013, trabalhando com TPI, obteve valores de Ca e Mg semelhantes aos observados neste trabalho. Esses resultados podem ser reflexo do tempo de ocupação e densidade da ocupação humana nas áreas (CAMPOS et al., 2012).

Dentre os nutrientes catiônicos que compõe a soma de bases, saturação por bases e a CTC potencial, o potássio apresentou médias diferentes estatisticamente, porém, muito baixas em todas as áreas e camadas de TPI estudadas. As queimadas são práticas comuns em áreas de assentamento na Amazônia, por limparem a área e promoverem o grande aporte de nutrientes, sobretudo, do potássio contido nas cinzas. No entanto, nas áreas avaliadas não há histórico de queimada nem de adubação potássica, nos últimos anos. Estes fatores aliados à elevada mobilidade do potássio no solo podem justificar os baixos valores desse nutriente. Normalmente áreas de TPI apresentam baixos teores de K (OLIVEIRA et al., 2015; FALCÃO; BORGES, 2006), corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

TABELA 2. Média dos atributos químicos do solo em três camadas de áreas de Terra Preta de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM.

Atributo	Cacau						Café						Braquiária					
	Média	¹ CV%	² Amplit.	³ Assim.	⁴ Curt.	⁵ K-S	Média	CV%	Amplit.	Assim.	Curt.	K-S	Média	CV%	Amplit.	Assim.	Curt.	K-S
camada 0,00 – 0,05 m																		
pH _(H₂O)	6,01 a	7,82	2,64	-0,08	1,00	0,07ns	5,39 b	8,71	2,13	0,27	-0,12	0,59ns	5,48 b	4,92	1,74	0,75	2,14	0,04*
COT.	55,31 b	19,77	55,80	0,19	0,04	0,41ns	39,78 c	32,37	53,29	0,41	-0,84	0,02*	137,07 a	4,06	31,19	-0,72	1,50	0,59ns
Est. C.	24,74 b	21,50	27,37	0,24	-0,01	0,00*	21,66 c	32,27	35,96	0,84	0,86	0,00*	88,92 a	8,74	36,74	-0,33	-0,10	0,85ns
P _(disp)	93,70 a	34,93	148,28	0,33	-0,43	0,01*	40,35 b	68,12	153,20	2,37	6,73	0,00*	97,44 a	31,97	96,68	-0,10	-0,75	0,04*
K	0,03 a	33,33	0,02	0,55	-0,29	0,00*	0,01 b	4,05	0,02	1,32	0,83	0,00*	0,02 a	33,24	0,03	0,20	-0,91	0,00*
Ca	19,57 a	16,35	13,50	-0,29	-0,50	0,23ns	8,72 b	36,81	15,00	0,455	0,08	0,20ns	9,28 b	20,30	9,25	0,55	0,09	0,00*
Mg	2,12 b	50,00	4,75	0,47	-0,09	0,12ns	2,45 ab	35,91	3,75	0,02	-0,47	0,15ns	2,29 b	29,57	2,75	-0,02	-0,47	0,03*
Al	0,06 a	16,66	0,06	0,26	-0,54	0,00*	0,10 b	50,00	0,30	1,93	0,29	0,00*	0,39 c	32,82	0,50	0,69	-0,02	0,00*
H+Al	6,54 a	52,59	13,90	0,36	-0,59	0,13ns	8,46 b	23,64	10,23	0,12	-0,11	0,38ns	8,52 b	15,66	7,1	-0,08	-0,12	0,36ns
CTC _{total}	28,28 a	9,83	12,45	0,01	-0,33	0,24ns	19,65 b	16,33	19,10	0,39	-0,15	0,04*	20,14 b	14,49	7,65	0,22	-0,20	0,09ns
SB	21,77 a	15,03	14,48	0,53	-0,09	0,01*	11,19 b	30,29	15,50	0,32	-0,34	0,08ns	11,61 b	18,57	10,29	0,38	-0,24	0,05*
V	77,25 a	14,56	47,07	-0,42	-0,32	0,43ns	56,25 b	17,65	45,57	-0,27	-0,11	0,33ns	57,54 b	9,16	36,24	0,35	2,38	0,41ns
M	0,32 a	40,62	0,59	1,42	1,89	0,01*	1,05 b	81,90	5,29	3,15	11,81	0,00*	2,73 c	34,95	3,77	0,57	-0,37	0,39ns
camada 0,05 – 0,10 m																		
pH _(H₂O)	5,92 a	8,61	2,10	-0,21	-0,57	0,06ns	5,15 c	10,87	2,54	0,58	-0,19	0,11ns	5,75 b	3,50	0,93	0,60	-0,23	0,47ns
COT.	41,40 b	10,26	20,84	0,31	-0,09	0,01*	34,54 c	32,80	46,65	-0,32	-0,70	0,00*	135,28 a	1,69	11,30	-0,69	0,42	0,06*
Est. C.	19,36 b	14,72	12,70	0,52	-0,03	0,09ns	19,95 b	33,63	27,70	-0,10	-0,83	0,00*	86,16 a	7,21	25,50	-0,15	-0,67	0,07ns
P _(disp)	109,61 a	30,68	163,10	0,01	-0,25	0,53ns	32,61 c	67,24	100,60	1,22	1,25	0,00*	52,42 b	41,79	79,92	0,36	-0,90	0,02*
K	0,03 a	33,33	0,04	0,40	-0,14	0,00*	0,00 c	1,23	0,02	0,57	-1,10	0,00*	0,01 b	40,73	0,01	1,04	0,95	0,00*
Ca	11,60 a	34,05	18,10	0,20	-0,32	0,05*	5,19 c	62,80	18,00	1,94	6,01	0,00*	10,09 b	19,03	8,5	0,40	-0,37	0,00*

Mg	4,05 a	36,29	6,15	0,06	-0,79	0,05*	1,59 b	38,99	2,75	0,17	-0,54	0,01*	1,36 b	38,37	2,50	0,02	-0,17	0,00*
Al	0,07 a	42,85	0,14	0,19	0,33	0,00*	0,25 b	80,00	0,80	0,99	0,26	0,05*	0,44 c	19,64	0,30	-0,28	-0,32	0,00*
H+Al	9,15 b	54,31	18,65	0,76	-1,00	0,05*	8,62 b	33,52	12,38	0,09	-0,41	0,97ns	5,46 a	21,04	4,79	0,00	-0,72	0,72ns
CTC _{total}	25,75 a	7,96	8,85	-0,14	-0,62	0,00*	15,42 c	27,56	21,99	0,55	0,63	0,16ns	23,18 c	15,03	12,46	0,42	0,19	0,00*
SB	15,89 a	29,26	19,65	-0,09	-0,74	0,53ns	6,79 c	49,92	18,70	1,73	5,02	0,01*	11,47 b	17,83	8,51	0,34	-0,35	0,01*
V	63,96 a	28,65	65,15	-0,05	-1,06	0,66ns	43,46 b	20,95	63,21	0,37	-0,36	0,75ns	67,74 a	9,57	38,88	0,49	1,72	0,72ns
M	0,78 a	91,00	3,71	2,10	4,78	0,00*	4,58 b	95,63	19,03	1,37	1,31	0,00*	3,71 b	28,95	4,36	0,10	-0,84	0,15ns
camada 0,10 – 0,20 m																		
pH _(H₂O)	5,59 a	10,73	2,39	0,65	-0,59	0,00*	4,98 b	11,04	2,84	0,83	0,51	0,00*	5,71 a	4,02	1,09	0,31	-0,24	0,13ns
COT	31,31 b	17,40	23,34	-0,15	-0,35	0,07ns	33,04 b	22,36	34,71	-0,94	0,68	0,00*	133,91 a	1,56	12,04	0,51	1,17	0,07ns
Est. C.	29,81 c	20,73	31,76	0,04	0,03	0,62ns	40,10 c	26,23	47,01	-0,45	-0,17	0,11ns	164,19 a	7,69	66,18	0,16	0,20	0,88ns
P _(disp)	124,34 a	24,44	143,35	0,04	-0,22	0,54ns	32,70 c	65,68	113,84	1,39	3,04	0,01*	50,43 b	39,02	73,03	0,43	-0,81	0,00*
K	0,02 a	50,00	0,05	0,91	0,26	0,00*	0,01 c	3,88	0,01	3,89	13,48	0,00*	0,00 b	54,13	0,01	0,79	-0,67	0,00*
Ca	10,47 a	40,97	17,63	0,40	-0,44	0,63ns	3,88 b	55,92	8,50	0,74	-0,38	0,00*	9,41 b	20,84	10,50	0,47	0,59	0,00*
Mg	1,99 a	50,25	4,50	0,43	-0,15	0,01*	1,33 b	39,17	3,00	0,72	1,50b	0,00*	1,47 b	35,32	2,75	0,09	0,38	0,00*
Al	0,20 a	37,50	0,16	1,12	0,51	0,00*	0,32 b	28,12	0,40	0,53	0,33	0,01*	0,58 c	25,85	0,30	0,16	-0,58	0,00*
H+Al	11,53 c	43,19	20,79	-0,22	-0,96	0,06ns	9,76 b	33,29	14,68	0,22	-0,35	0,52ns	5,44 a	21,31	4,29	-0,23	-1,27	0,00*
CTC _{total}	24,46 a	7,68	8,89	-0,25	-0,12	0,47ns	14,98 c	24,03	17,46	0,23	-0,55	0,14ns	16,62 b	15,31	12,65	0,57	0,02	0,55ns
SB	14,97 a	34,94	17,27	0,31	-0,85	0,25ns	6,79 c	43,86	10,50	0,86	0,38	0,00*	10,89 b	18,82	11,25	0,69	0,94	0,00*
V	52,65 b	36,20	70,71	0,33	-1,04	0,03*	35,18 c	38,57	56,23	0,72	0,08	0,09ns	65,48 a	10,00	27,84	-0,15	-0,81	0,12ns
M	1,94 a	93,00	10,57	2,12	4,78	0,00*	11,14 b	90,57	40,12	1,10	0,63	0,00*	2,92 a	30,11	3,90	0,33	-0,51	0,01*

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ¹CV%: coeficiente de variação; ²Amplit.: amplitude (diferença entre máximo e mínimo); ³Assim.: assimetria; ⁴Curt.: curtose; ⁵K-S: teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov). COT (carbono orgânico total); Est. C. (estoque de carbono); Ca (cálcio); Mg (magnésio); K (potássio); Al (alumínio); H+Al (acidez potencial); CTC_{total} (Capacidade de troca de cátions a pH 7,0); SB (soma de bases); V (saturação por bases); m (saturação por alumínio). Ca, Mg, K, Al, H+Al, CTC_{total} e SB: (cmol_c.dm⁻³); V e m: (%). Ns (não significativo) e * (significativo a 5% de probabilidade) pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.

As maiores médias dos nutrientes foram observadas na camada 0,0-0,05m, a concentração dos nutrientes na superfície pode ser explicada pela ciclagem de nutrientes realizadas pelos cultivos em questão. A ciclagem dos nutrientes fixa na superfície do solo nutrientes extraídas pelas raízes, por meio dos restos vegetais (folhas, flores, frutos e ramos) oriundos dos cultivos. No caso de elementos pouco móveis caso do cálcio e fósforo, comparado com os outros nutrientes, essa dinâmica parece contribuir para os valores observados na camada 0,0-0,05m. Resultados semelhantes foram observados por Albuquerque et al. (2005) e Silva et al., (2014), trabalhando com culturas de cobertura do solo e café respectivamente.

Segundo McBride (1994), o acúmulo de matéria orgânica no estágio final de sua mineralização, oxida e libera elétrons, podendo ocasionar um aumento no pH. Os resultados da soma de bases, saturação por bases e da T das três áreas de TPI avaliadas ajudam a explicar este fenômeno, os valores médios da soma de bases (SB), variaram 21,77 a 14,97; 11,90 a 6,79 e 11,61 a 10,89 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, para as áreas de cacau, café e braquiária, conforme esperado, os valores de soma de bases apresentou comportamento semelhante ao das bases catiônicas.

Os valores da saturação por bases (V%), apresentaram médias superiores na camada de 0,0-0,05m para a área de TPI cultivada com cacau com valor médio de 77,25%, para as camadas subsuperficiais as médias superiores foram observadas para a área de braquiária de 67,74 e 65,48%; para as camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m respectivamente. A área de TPI cultivada com café apresentou saturação por bases inferior as médias das áreas de cacau e braquiária, para todas as profundidades

avaliadas, faz-se a ressalva que, a área de café nas profundidades 0,05-0,10 e 0,10-0,20, apresentou valores de saturação por bases inferior a 50%.

A área de TPI cultivada com cacau apresentou médias superiores às demais áreas para os atributos relacionados à fertilidade do solo, exceto para o potássio. Entretanto, todas as médias observadas foram considerados elevadas para os três usos do solo, comparado com solos adjacentes (Santos et al., 2013). Os elevados teores de COT observados nas áreas de TPI e o aporte anual de restos vegetais oriundos dos cultivos, justificam os elevados valores de soma de bases, saturação por bases e T. Em solos de regiões de clima tropical a matéria orgânica do solo, mesmo que em pequenas quantidades, contribui com mais de 50% da CTC devido à reduzida atividade das argilas (PREZOTTI et al., 2007). Um dos principais motivos da estabilidade dos teores de matéria orgânica no presente estudo deve-se principalmente ao acúmulo de folhas e galhos nas áreas, resultados semelhantes foram observados por (GODINHO et al., 2013). A elevada fertilidade das TPI, segundo Cunha et al., (2009), esta especialmente relacionada à grande quantidade de matéria orgânica e as suas características físicas e químicas tal como, a alta reatividade das frações húmicas.

A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T) definida como a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas, na área de TPI cultivada com cacau apresentou médias que variaram de 28,28 a 24,46 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, da camada 0,0-0,05m para a camada 0,10-0,20m, estes valores assim como nos demais atributos catiônicos foram superiores aos das áreas de cultivadas com braquiária e café. Embora, as médias da T nas áreas de TPI com café e braquiária terem sido estatisticamente inferiores à área com cacau, o

valor médio da T nas três áreas também foi considerado bom. Quanto maior o CTC do solo, maior o número de cátions que este solo pode reter. Portanto, a CTC é uma característica físico-química fundamental ao manejo adequado da fertilidade do solo (LOPES; GUIDOLIN, 1992).

Os valores médios de alumínio e saturação por alumínio observados foram menores na camada de 0-0,05m, portanto, apresentaram comportamento diferente dos demais atributos avaliados, observou-se acréscimo dos valores proporcional à medida que aumenta a profundidade da camada coletada. Os valores de Al variaram de 0,06 a 0,20 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, na área de cacau que apresentou menores médias já a área com braquiária observou-se maiores valores para esta variável 0,39 a 0,58 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. Estes resultados podem ser explicados pela acidificação natural dos solos pelo balanço catiônico das raízes e pela ação das chuvas. Os teores de alumínio trocável bem como de saturação por alumínio, foram classificados em baixo e muito baixo, indicando que solo não é considerado ácido e não apresenta toxidez por alumínio.

A maior média de acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$) 11,53 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, foi observada para a área de TPI cultivada com cacau na camada 0,10-0,20 seguido da média 9,15 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para a mesma área na profundidade 0,05-0,10, no entanto, para a camada superficial o valor da acidez potencial na área de cacau foi menor que as áreas de café e braquiária. A área cultivada com café apresentou médias de acidez potencial que aumentaram com a profundidade da coleta 8,46; 8,62 e 9,76 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, para as camadas 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20m respectivamente. Estes resultados podem ser explicados pela acidificação natural dos solos pelo balanço catiônico das raízes e pela ação das chuvas. Os valores médios de $\text{H}+\text{Al}$ na área de braquiária foram inferiores

aos valores observados nos outros ambientes. Estes valores provavelmente ocorrem em consequência da maior lixiviação promovida pelo intenso regime hídrico associado às condições de drenagem (Campos et al., 2012), observadas nas áreas de TPI.

A análise dos componentes principais (ACP) foi realizada com base na matriz de correlação existente entre os componentes e os atributos químicos, gerando-se novos valores para cada ponto amostral de forma a identificar novas variáveis que explicam a maior parte da variabilidade.

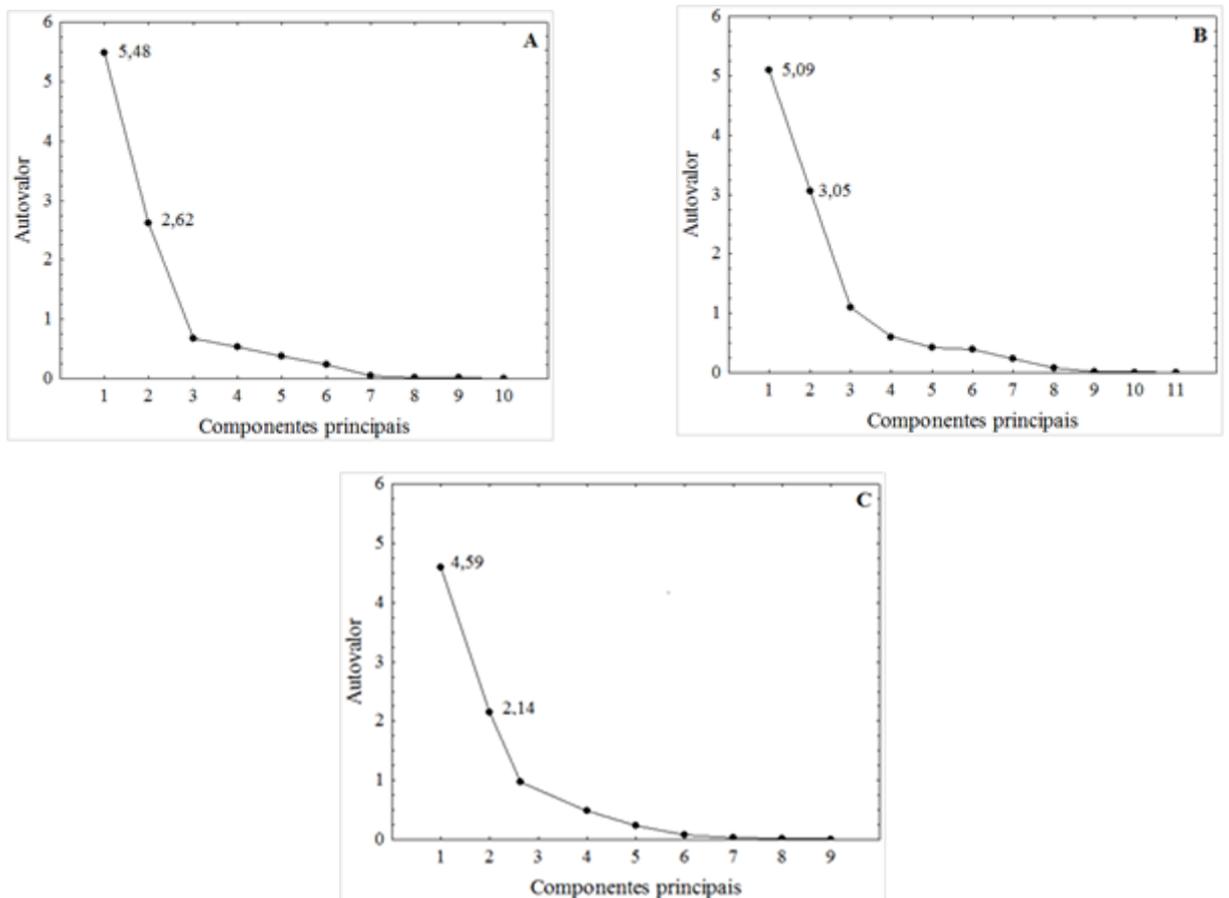


Figura 2. Contribuição dos componentes principais para os diferentes fatores analisados dos atributos químicos do solo em diferentes camadas de Terras Pretas de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM. A = camada 0,0-0,05 m; B = camada 0,05-0,1 m; C= camada 0,1-0,2 m.

A seleção do número de componentes principais foi baseada no critério de análise da qualidade de aproximação da matriz de correlações (Mingoti, 2007) e pela observação dos autovalores superiores a 1 para todos os componentes avaliados segundo o critério de Kaiser (1958), autovalores superiores a 1 geram componentes com quantidade de informação relevante das variáveis originais (Figura 2).

Tabela 3. Contribuição das cargas fatoriais e auto valores das variáveis analisadas dos atributos químicos do solo em diferentes camadas de Terras Pretas de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM.

Variáveis	camada 0,0-0,05 m		camada 0,05-0,10 m		camada 0,10-0,20 m	
	Fator 1	Fator 2	Fator 1	Fator 2	Fator 1	Fator 2
pH _(H2O)	0,73	0,12	0,76	0,09	0,66	0,40
C org.	0,00	-0,95	0,21	0,93	0,24	0,88
Est. C	-0,11	-0,94	0,15	0,95	0,18	0,88
P _(disp)	0,63	-0,41	0,62	-0,22	0,78	-0,18
K	-0,35	0,46	0,71	-0,04	0,69	-0,02
Ca	0,94	0,23	0,93	0,10	0,91	-0,03
Mg	0,07	0,04	0,53	-0,61	0,46	-0,07
Al	-0,27	-0,87	-0,35	0,77	-0,68	-0,12
H+Al	0,53	0,11	-0,366	-0,726	0,18	-0,88
CTC _{total}	0,84	0,0,20	0,66	-0,39	0,51	-0,65
SB	0,94	0,0,23	0,95	-0,07	0,93	-0,06
V(%)	0,88	0,20	0,86	0,30	0,78	0,49
m(%)	-0,48	-0,78	-0,69	0,38	-0,82	-0,15
Autovalores	5,48	2,62	5,09	3,05	4,59	2,14
% variância total	54,87	81,12	46,33	74,14	51,11	74,98

CP: Componente Principal; COT (carbono orgânico total); Est. C. (estoque de carbono); Ca (cálcio); Mg (magnésio); K (potássio); Al (alumínio); H+Al (acidez potencial); CTC_{total}(Capacidade de troca de cátions a pH 7,0); SB (soma de bases); V (saturação por bases); m (saturação por alumínio)

Na análise de componentes principal (ACP), o número de fatores extraídos foi estabelecido de forma a explicar acima de 70% da variância total dos dados (Tabela 3

e Figura 2), que apresentaram autovalores de matriz de covariância superior a 1 , com 5,48 na CP1 e 2,62 na CP2, para a camada 0,0-0,05. Do percentual da variância explicada, observou-se que o CP1 foi responsável por 54,87% da variância total, enquanto a CP2 por 26,24%, acumulando 81,12% nos dois primeiros componentes que devem explicar a variabilidade dos dados originais (ANDRADE et al., 2007).

Os dois primeiros fatores (tabela 3) apresentaram alto percentual de explicação para os atributos pH, Ca, V%, T, SB, COT, Est. C, Al e m%. Assim, a discriminação entre os ambientes diz respeito as essas características, com CP1, representado pelas características relacionadas à fertilidade do solo (pH, Ca, V%, T e SB), sendo que esses atributos apresentaram valores superiores à média e estão mais correlacionados positivamente com o CP1 e à área de TPI cultivada com cacau, enquanto o CP2 os atributos químicos foram (Al, m%, COT e Est. C); todos com valores abaixo da média e correlacionados negativamente com o CP2 e ao ambiente de braquiária.

A representação gráfica da camada 0,0-0,05m, permite observar a formação de dois ambientes distintos, sendo um formado pelo adensamento dos escores da área de braquiária no 3 e 4 quadrantes (Figura 3) e as áreas de cacau e café apresentaram comportamento inverso com os autovalores distribuídos no primeiro e segundo quadrante, respectivamente. Este resultado pode ter sido influenciado pelo manejo da cultura e uso do solo pois os cultivos de café e cacau possuem ciclos e sistemas de manejo muito semelhante, porém distinto do sistema de manejo e condução da braquiária.

Os autovalores de matriz de covariância observados para a camada 0,05-0,10m, foi de 5,09 e 4,59 para CP1 e CP2 já para a camada 0,10-0,20m, os valores foram 4,59

e 2,14. Do percentual da variância acumulada, observou-se para a camada 0,05-0,10 a variância total acumulada de 74,14% nos dois primeiros componentes e para a última camada 74,98%, devem explicar a variabilidade dos dados originais.

Assim como na primeira camada avaliada os dois fatores (tabela 3) apresentaram alto percentual de explicação para os atributos químicos avaliados. Na representação gráfica das camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, permite observar a formação de dois ambientes distintos, sendo um formado pelo adensamento dos escores da área de braquiária, no entanto, nessas camadas no primeiro e segundo quadrante (Figura 3) e as áreas de cacau e café apresentaram comportamento inverso com os autovalores distribuídos no terceiro e quarto quadrante, respectivamente.

A análise do gráfico *biplot* e a correlação das variáveis nos componentes principais (Figura 3 e tabela 3), permite caracterizar as variáveis que mais discriminaram das áreas de TPI na formação e diferenciação dos grupamentos 1 e 2. A ACP apresentou autovalores superiores a 70% da variância total acumulada nos dois primeiros eixos, sendo o maior percentual explicado pelo primeiro eixo.

No ambiente cultivado com cacau observou-se que as variáveis pH, cálcio, soma de bases, saturação por bases e T estão correlacionadas positivamente com o CP1. Este fato é explicado com relação à T pois quanto mais elevados os valores das bases catiônicas avaliadas, menor são valores de alumínio e acidez potencial, nas camadas. Comportamento semelhante foi observado em todas as profundidades. A baixa correlação entre o K e os demais atributos do solo pode ser atribuída ao fato do K ser móvel no solo, podendo ser absorvido rapidamente pelas plantas ou perdido por lixiviação e oxidação, Montezano (2006), também observou baixa correlação do K

com os demais atributos. Silva et al., 2104, trabalhando com café observou que os atributos de maior contribuição são aqueles relacionados à matéria orgânica e sua solubilidade (MO e COS), independente do sistema de manejo utilizado. Dentre os benefícios gerados pela MO, destacam-se a melhoria das condições físicas do solo e o fornecimento de energia para o crescimento microbiano (SILVA; RESCK, 1997), o que reflete em maior ciclagem de nutrientes e aumento da CTC do solo (PAES et al., 1996).

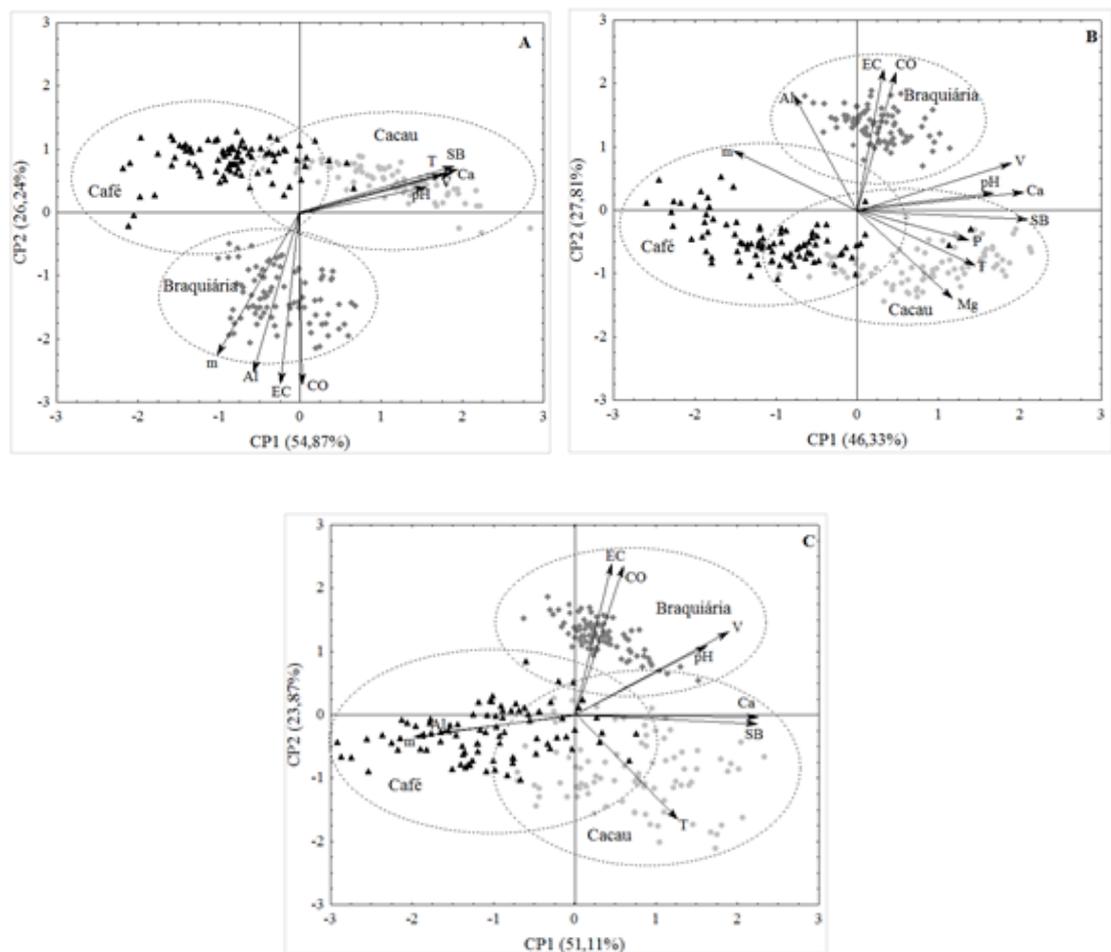


Figura 3. Análise de componentes principais de atributos químicos do solo em áreas de Terra Preta de Índio sob cultivos de cacau, café e braquiária na região de Apuí e Manicoré, AM. A = camada 0,0-0,05 m; B = camada 0,05-0,1 m; C= camada 0,10-0,20 m.

A análise dos componentes principais para todos atributos químicos avaliados evidenciou a distinção entre os ambientes (Figura 3), onde as áreas de café e cacau estão mais próximas enquanto a área de braquiária está isolada em quadrantes opostos.

A diminuição dos teores dos elementos cationicos não foi acentuada com a camada avaliada em virtude das características químicas das TPI. Diversos autores trabalhando com outros tipos e o uso do solo confirmaram uma diminuição dos cátions trocáveis em comparação com os solos florestais (KHALEDIAN, 2017). Estudos realizados com cultivo de arroz sugerem alterações nas propriedades químicas do solo por práticas contínuas de cultivo dos solos (EL-SHAHWAY, 2016). Segundo Aquino et. al., (2016) a análise multivariada foi eficiente na seleção dos atributos químicos do solo que melhor representou os ambientes agroflorestais e cultivados com cana de açúcar, no sul do Amazonas.

A ordenação em grupos demonstrou a classificação dos acessos pela característica dos atributos químicos. Onde independente da profundidade de coleta os atributos de característica básica apresentaram comportamento inverso aos atributos que conferem acidez do solo, independente da camada e do uso do solo. Nessa situação, os elevados teores de MO presentes na TPI associados ao acúmulo superficial de partes da planta, evita a adesão dos cátions (H^+ e Al^{+3}) às cargas negativas do solo (SILVA et al., 2006).

4. CONCLUSÕES

Os três diferentes manejos com presença de TPI, apresentaram padrão de variabilidade distinta com base na ACP, que pode ser atribuído ao uso do solo e a origem antrópica.

A área cultivada com *braquiária brizantha* apresentou, nas três camadas avaliadas, relação com atributos indicadores de acidez do solo (Al^{3+} e $\text{H} + \text{Al}$).

A área cultivada com *Theobroma cacao* apresentou relação com os atributos indicadores de fertilidade (Ca, Mg, K, T, SB e V%).

5. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **R. Bras Ci Solo**. 2005; 29: 415-424.
- ANDRADE, E.M.; ARAÚJO, L.F.P.; ROSA, M.F.; GOMES, R.B.; LOBATO, F.A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ci. Rural**, 2007; 37:1791-1797.
- AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; OLIVEIRA, I.A.; FRANCISCON, U.; SILVA, D.M.P.; CUNHA, J.M. Chemical soil attributes evaluated by multivariate techniques and geostatistics in the area with agroforestry and sugarcane in Humaitá, AM, Brazil. 1st ed. Uberlândia: **Bioscience Journal**, 2016.
- BRANDÃO, Jr. A. Situação do desmatamento nos assentamentos de reforma agrária no Estado do Pará. 1st ed. Pará: **IMAZON**. 2013.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil**, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978. 561 p.
- BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; SARNAGLIA, S.A.; Utilização da análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. 9th ed. Goiana: **Enciclopédia Biosfera**; 2010.
- CAMPOS MCC et al. Caracterização física e química de Terras Pretas Arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Agro@mbiente**. 2012; 6: 102–109
- CORTA, E.M.; SILVA, H.F.; RIBEIRO, P.R.A.; Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade do sistema agrícola. Goiania: **Enciclopédia Biosfera**; 2013.
- CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.P.; BENITES, M.; SANTOS, G.A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. **R. Bras Ci Solo**, 2009; 33: 85-93.
- EL-SHAHWAY, A.S.; MAHMOUD, M.; UDEIGWE, T.K. Alterations in soil chemical properties induced by continuous rice cultivation: a study on the arid Nile Delta soils of Egypt. **Land Degradation & Development**, 2016; 27: 231-238.

EMBRAPA, 2011. **Manual de métodos de análise de solos** / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011. 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 132

FALCÃO, N.P.S.; BARROS, L.F. Efeito da fertilidade de TPI da Amazonia central no estado nutricional e na produtividade do mamão Havaí(*Carico Papaya*). **Acta Amazonica**. 2006; 36: 401-406.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**. 2005; 1:113-123.

GODINHO, T.O. Biomassa, macronutrientes e carbono orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Forestalis**. 2013; 41:131-144.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, 1958, 23:187–200.

KÄMPF, N; KERN, D.C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO P.; ALLEONI LRF; COOPER M; SILVA P, CARDOSO EJ, eds. **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG. p. 277-320; 2005.

KHALEDIAN, Y., KIAN, F.; EBRAHIM, I. S.; BREUIK, E.C.; AITKENHE, A.O.; PETERSON, T. Assessment and monitoring of soil degradation during land use change using multivariate analysis. **Land Degrad Develo**. 28: 128-141 - doi: 10.1002/ldv.2541

LOPES, A.S.; GUIDOLIN, J.A. (1992). Interpretação de Análise de Solo - Conceitos e Aplicações. Comitê de Pesquisa/Técnico/Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). São Paulo. Acesso em 15/10/2016 Disponível em: <http://www.solos.ufmt.br/docs/fundamentos/interpret.pdf>.

MANLY, B.J.F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. 3rd ed. Porto Alegre: Bookman; 2008.

MANTOVANELLI, B.C.; SILVA, D.A.P.; CAMPOS, M.C.C.; GOMES, R.P.; SOARES, M.D.R.; SANTOS, L.A.C.; Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. **Rev Ciên Agrárias**. 2015; 58:122-130.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. NY Oxford Univer Press 1994; 406.

MINGOTI, S.A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada. Edit UFMG. 2007; 1:295.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **R. Bras Ci Solo**. 2006; 30:839-847.

MOREIRA, A. Fertilidade, matéria orgânica e substâncias húmicas em solos antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Bragantia**. 2007; 66:307-315.

OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; FREITAS, L.; SOARES, M.D.R.; Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Acta Amazônica**. 2015; 45:1-12.

PAES, J.M.V. Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. **Rev Ceres**. 1999; 43:337-392.

PÉREZ-RODRÍGUEZ, R.; MARQUES, M.; BIENES, R. Spatial variability of the soil erodibility parameters and their reaction with the soil map at subgroup level, **Sci. Total Environ**. 2007; 378:166–173.

PREZOTTI, L.C.. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo**. SEEA/INCAPER/CEDAGRO. 2007; 5:305.

PESSOA, J.E.S.F.; SANTANA, G.P. Uma abordagem sobre fósforo em Terra Preta Arqueológica. **Scientia Amazonia**. 2017; 6:61-70.

ROCHA, G.P.; FERNANDES, L.A.; CABACINHA, C.D.; LOPES, I.D.P.; RIBEIRO, J.M.; FRAZÃO, L.A.; SAMPAIO, R.A. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciên Rural**. 2014; 44:1197-1203.

RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. In: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 8. (2010). Acesso em 08/12/2016. Disponível : <http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/bpd-8.pdf>.

SANCHEZ, P.A.; LOGAN, T.J.; Myths and Science about the Chemistry and Fertility of soils in the tropics. **Soil Science society of Agronomy** . 677 S. Segoe Ed, Madisson, EI 53711, USA. Special Publication n° 29.

SANTOS, L.A.C.; CAMPOS, M.C.C., AQUINO, R.E.; BERGAMIM AC, SILVA DMP, MARQUE JrJ, FRANÇA AB. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **R. Bras Ci Solo**. 2013; 37:825-836.

SDS – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Relatório técnico síntese dos diagnósticos: Área estadual sul de Apuí e Manicoré**. Manaus, 2004; 20.

SILVA, A.F.; BARBOSA, A.P.; ZIMBAK, C.R.L.; LIMA, J.S.S.; LANDIM, P.M.B. Análise multivariada na diferenciação entre manejos do solo cultivado com café. **En Agric**. 2014; 29:57-63.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. **Matéria orgânica do solo**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: Embrapa, CPAC; 1997.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; CERETTA, C.A. *Composição da fase sólida orgânica do solo*. 3 ed. Porto Alegre: **Evangraf**, 2006.

SJOBERG, A. Phosphate Analysis of Anthropic Soils. **J F Archaeol**. 1976; 3:447–546.

SOARES, M.D.R.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, I.A.; CUNHA, J.M.; SANTOS, L.A.C.; FONSECA, J.S.; SOUZA, Z.M. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Rev de Ciên Agrárias**. 2016; 59:9-15.

STATSOFT Inc. (2004). *STATISTICA (data analysis software system)*, version 7. Disponível em: <www.statsoft.com>

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**. 1994; 58:175-180.

YOEMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication Soil Science Plant Anal**. 1988; 19:1467-1476.

ZEE- Zoeamento Ecológico Econômico do Sul-Sudeste do Amazonas, AM. IPAAM. 2008; 53.

ZIADAT, F.M.; TAIMEH, A.Y. Effect of rainfall intensity, slope and land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment, **Land Degrad**. 2013; 24:582–590.