



# Aspectos dos atributos físicos e químicos do solo em ambientes naturais e áreas com sistema agroflorestal no sul do Amazonas

Aspects of physical and chemical soil attributes in natural environments and areas with agroforestry system in southern Amazonas

G. A. Silva<sup>1</sup>; E. G. Brito Filho<sup>2\*</sup>; J. M. Cunha<sup>1</sup>; M. C. C. Campos<sup>2</sup>; M. C. G. Sales<sup>1</sup>; O. C. Bello<sup>1</sup>; A. F. L. Lima<sup>1</sup>; J. M. S. Barbosa<sup>2</sup>; J. M. G. Lima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, 69800-000, Humaitá-AM, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de solos e engenharia rural, Universidade Federal da Paraíba, 58397-000, Areia-PB, Brasil

\*bfsambiente@gmail.com

(Recebido em 27 de março de 2022; aceito em 13 de julho de 2022)

A região amazônica, de maneira geral, apresenta floresta nativa e campos naturais, com elevada acidez e alta saturação por alumínio, o que é característico dos solos amazônicos. O estado natural da vegetação e do solo em estado preservado, tendem ao desenvolvimento favorecido ou não mediante as condições do solo. A qualidade do solo baseia-se em aspecto biológico, físico e o químico. Objetivou-se com esse trabalho, avaliar os atributos físicos e químicos do solo em áreas de Sistema Agroflorestal, Cerrado, Cerradão e Floresta Nativa na região de Humaitá, Amazonas. Desse modo, para cada área de estudo, foi coletado de modo aleatório, amostras de solos, totalizando 144 amostras sendo a soma dos dois períodos do ano. Sendo realizadas análises físicas e análises químicas. Para as análises estatísticas foi utilizado a análise de variância univariada (ANOVA) e a análise de variância multivariada (MANOVA). A fração silte foram predominantemente alta, a floresta apresentou maior quantidade de espaços porosos, com porosidade total e macroporosidade satisfatória, os valores médios dos índices de agregação gravimétrico e ponderado foram maiores na floresta, cerrado e cerradão. O pH ácido, Al<sup>3+</sup> alta em floresta, Ca destacado em teca, jenipapo e mista. Pela análise de componente principal foi possível observar uma sobreposição dos ambientes de cerrado, floresta e cerradão, mostrando uma maior semelhança entre os atributos destes ambientes.

Palavras chave: solos amazônicos, vegetação natural, agrofloresta.

The Amazon region, in general, has native forest and natural grasslands, with high acidity and high aluminum saturation, which is characteristic of Amazonian soils. The natural state of the vegetation and the soil in a preserved state, tend to favor development or not depending on the soil conditions. Soil quality is based on biological, physical and chemical aspects. The objective of this work was to evaluate the physical and chemical attributes of the soil in areas of Agroforestry System, Cerrado, Cerradão and Native Forest in the region of Humaitá, Amazonas. Thus, for each study area, soil samples were randomly collected, totaling 144 samples, being the sum of the two periods of the year. Physical and chemical analyzes are carried out. For statistical analysis, univariate analysis of variance (ANOVA) and multivariate analysis of variance (MANOVA) were used. The silt fraction was predominantly high, the forest presented a greater amount of porous spaces, with satisfactory total porosity and macroporosity, the average values of the gravimetric and weighted aggregation indices were higher in the forest, cerrado and cerradão. Acidic pH, Al<sup>3+</sup> high in forest, Ca highlighted in teak, genipap and mixed. Through the principal component analysis, it was possible to observe an overlap of the cerrado, forest and cerradão environments, showing a greater similarity between the attributes of these environments.

Key words: amazon soils, natural vegetation, agroforestry.

## 1. INTRODUÇÃO

No sul do Amazonas, a região de Humaitá apresenta características de floresta nativa em transição com campos naturais, com vegetação compostas e alternadas de árvores florestais em galerias ou isoladas com gramíneas campestres e de baixa estatura [1]. No que corresponde estes ambientes, alterações na topografia tendem a mudar os atributos do solo, respondendo na fisionomia da vegetação, promovendo desde espécies de arbustiva distorcidas até herbáceas, em

comparação a floresta que contém um o porte mais arbóreo [2]. O estado natural da vegetação junto ao solo de estado preservado, tendem ao desenvolvimento favorecido pelas características físicas do solo [3, 4].

A qualidade do solo baseia-se em três aspectos, sendo o biológico, físico e o químico, relevantes na hora de perícias relacionada a degradação ou até mesmo na hora de identificar melhorias. O que se destaca é o aspecto físico, pois tem um peso consideravelmente maior e interfere diretamente nos demais aspectos, já que há a dependência dos três na qualidade, portando o aspecto físico melhorado, há também melhoria nos demais [5].

Maiores volumes de porosidade total e menor densidade do solo é respectivo de solos de ambientes naturais, sendo que esta última tem uma relação com a macroporosidade de forma negativa e positiva para microporosidade. Um dos aspectos para avaliação física do solo é a resistência do solo a penetração e umidade do solo, pois estes estão envolvidos na porção radicular, e diante disto tem menor resistência a penetração e maior densidade do solo em comparação a um solo sob cultivo [4, 6, 7].

A acidez e alta saturação por alumínio são características marcante dos solos amazônicos, que ainda apresenta lixiviação em taxas elevadas que interfere nos níveis de nutrientes. Esta característica ácida é relacionada fortemente a partir da reação da matéria orgânica (MO) com o alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), como também há predominância de argila de carga baixa e nível considerável de caulinita nos tipos de Argissolos e Latossolos [8].

Os ambientes agroflorestais buscam a sustentabilidade ambiental e socioeconômica, visando o uso do solo no cultivo de espécies lenhosas ou arbustivas com cultivo de espécie de natureza agrícola como também uso conjunto com animais [9]. As alterações dos atributos do solo causados por cultivos agrícolas merecem destaque para práticas de manejo, fornecendo conhecimento a conservação do ecossistema situado [10].

A utilização de análise multivariada em dados, como uma ferramenta estatística, poderá entender as relações e diferenças dos atributos avaliados. Por meio desta análise é encontrado a intercorrelação entre as variáveis, destacando a que mais se sobressai e altera a característica do solo. Assim, esta intensifica no manejo do solo a partir do comportamento dos atributos físicos e químicos do solo. Diante que a avaliação é difícil e insuficiente para expor uma explicação de soma ou subtração de potencial do solo, se tomar que o conjunto de informações e indicadores tratados isoladamente, assim a multivariada abriga uma ferramenta de muito valor na análise de dados [11]. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho, avaliar os atributos físicos e químicos do solo em áreas de Sistema Agroflorestal, Cerrado, Cerradão e Floresta Nativa na região de Humaitá, Amazonas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no sul do Amazonas, no município de Humaitá, entorno da BR-319 no km 12. Foram analisadas 06 áreas experimentais, sendo:

- ✓ Uma área em (FL) Floresta Nativa - coordenadas geográficas 7°34'10" S e 63°07'41.77" W;
- ✓ Três áreas em Sistema Agroflorestal com as seguintes espécies: (TE) Teca (*Tectona grandis* L.) - coordenadas geográficas 07°34'33" S e 63°06'51" W); (JE) Jenipapo (*Genipa americana* L.) - coordenadas geográficas 07°34'41" S e 63°06'49" W); (MI) Mista/Consórcio com Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), Teca (*Tectona grandis* L.), Jenipapo (*Genipa americana* L.) e Sumaúma (*Ceiba pentandra* L.) - coordenadas geográficas 07°34'54" S e 63°06'55" W).
- ✓ Duas áreas de campos naturais: (CE) Cerrado - coordenadas geográficas 7°34.27'37" S e 63°07'57.28" W; (CD) Cerradão - coordenadas geográficas 7°34'19.70" S e 63°07'49.66" W.

Segundo a classificação de Köppen, o clima pertence ao grupo A (Clima Tropical Chuvoso) e tipo climático Am (chuvas do tipo monção), com um período seco e período, com precipitação média entre 2.200 e 2.800 mm, apresentando temperatura média em torno de 25 °C e 27 °C, com

umidade do ar entre 85% e 90%. A classificação do solo é do tipo Cambissolo Hálico Alítico plintico (CXalf), que teve seu material geológico de origem do Haloceno [1, 12].

## 2.2 Metodologia de campo

Para cada área de estudo, foi coletado de modo aleatório, amostras de solos nas respectivas camadas: 0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,15 m, em 04 diferentes pontos, obtendo 72 amostras total nas 6 diferentes áreas e 144 amostras de solo nos dois períodos (seca e chuvosa) do ano. As amostras foram coletadas na forma indeformada em anel volumétrico para análise de porosidade e em porção de “torrão”, esta última, secas à sombra e destorroadas manualmente, pelas peneiras de 9,51 mm de diâmetro e retidas na peneira de 4,76 mm de diâmetro.

## 2.3 Análises Físicas

A análise granulométrica foi adotada a metodologia de pipeta, em que utiliza a solução 0,1 M de NaOH como dispersante químico. Ocorre o repouso considerável e posteriormente é submetida a uma agitação mecânica rotacional do estilo Milk-shake por 15 minutos. A fração argila foi separada por sedimentação, a areia total por tamisação e o silte foi calculado pela diferença [13].

A porosidade total ocorre a mensuração da água que satura uma amostra de solo com volume conhecido, ocupando seus poros. O solo contido em um cilindro, com tecido fino adequado e preso a liga elástica no inferior, na qual é submetida a 2/3 de água na altura do anel para a saturação. A microporosidade corresponde aos poros menores de 0,050 mm de diâmetro, tendo a drenagem da massa de água após o equilíbrio na saturação em mesa com uma tensão de 6 kPa. A macroporosidade é determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade [14].

Densidade do solo é obtida pela amostra de solo indeformada contida no cilindro de volume conhecido, seca a 105 °C. A umidade corresponde ao teor de água presente em uma amostra. Logo, a umidade gravimétrica e volumétrica segue a metodologia da Embrapa (2017) [14].

A separação e estabilidade dos agregados foi determinada usando a metodologia segundo Kemper e Chepil (1965) [15], com modificações no diâmetro das peneiras em que: 4,76-2,0 mm; 2,0-1,0 mm; 1,0-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,125 mm; 0,125-0,063 mm. Os resultados foram expressos em porcentagem dos agregados retidos em cada uma das classes das peneiras para > 2 mm, 2-1 mm e < 1 mm. Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) foram calculados por meio da fórmula proposta por Castro Filho et al. (1998) [16]. O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado segundo Castro Filho et al. (1998) [16] citado por Amaral et al. (2000) [17], de acordo com as equações:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^N niDi}{\sum ni}$$

$$DMG = 10^{\frac{\sum_{i=1}^N ni \log Di}{\sum ni}}$$

onde,  $ni$  é a porcentagem de agregados retidos em uma determinada peneira,  $Di$  é o diâmetro médio de uma determinada peneira e  $N$  é o número de classes de peneiras.

## 2.4 Análises químicas

O pH foi determinado potenciométricamente em água, baseada na relação 1:2,5 (solo/solução). O Alumínio Trocável ( $Al^{3+}$ ) foi extraído da solução de 1 mol L<sup>-1</sup> KCl, seguida de agitação por aparelho horizontal, em seguida titulada com NaOH na presença do indicador Fenolftaleína. Acidez potencial (H<sup>+</sup>Al) foi extraída a partir da solução tamponada de Ca(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>)<sub>2</sub> a pH 7,0 e determinada volumetricamente com solução de NaOH na presença do indicador. O carbono orgânico foi calculado a partir do volume de dicromato titulado na oxidação na matéria orgânica, sendo obtido pela subtração do volume branco e a o titulado com FeSO<sub>4</sub> [14].

O Fósforo (P) e Potássio ( $K^+$ ) foram extraídos por pelo método de Mehlich-1. Os teores de Cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e Magnésio ( $Mg^{2+}$ ) foram extraídos em solução de KCl 1 mol  $L^{-1}$ , e determinados por espectrometria de absorção atômica. A Capacidade de troca de cátions (CTC), corresponde ao total de cargas que o solo poder adsorver, sendo a soma de SB com a acidez potencial. Soma de Bases Trocáveis (SB), corresponde a soma de bases de Ca, Mg e K, na unidade de  $cmolc\ kg^{-1}$ . A percentagem de Saturação por Base ( $V^0\%$ ), corresponde a proporção da CTC que é preenchida por bases trocáveis do solo.

## 2.5 Análises estatísticas

A análise de variância univariada (ANOVA) foi utilizada para verificar as diferenças significativas e para comparar médias dos atributos individualmente foi utilizado o teste de Tukey a 5%. Em seguida, foi utilizada a análise de variância multivariada (MANOVA), através da análise fatorial e de agrupamento, a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, para obter como resposta atributos que sofrem maior influência sobre o uso do solo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentando o teste de médias para os atributos químicos do solo. Conforme pode-se observar, os resultados da análise granulométrica apresentaram diferenças significativas nas frações: areia, silte e argila. A fração silte foi predominante nas três camadas das áreas de JE, MI, FL, e CE, este último tem um destaque pelo altíssimo teor. A fração areia é predominante nas três camadas do CD e na primeira camada (0,00-0,05 m) da TE. Resultados semelhantes para a fração silte foram apresentados por Oliveira et al. (2015) [10] e para fração areia por Cunha et al. (2017) [4].

Os valores de  $D_s$  apresentaram diferenças significativas entre as áreas e essa diferença está diretamente em torno do valor crítico proposto por Silva et al. (2015) [18],  $D_s$  acima de  $1,40\ g\ cm^{-3}$  podem interferir no crescimento radicular infiltração da água. As áreas naturais, FL, CE e CD apresentaram médias inferiores a esse valor crítico, diferentemente das áreas agroflorestais TE, JE e MI que apresentou valores superiores ao valor crítico. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2009) [19], observaram o acréscimo dos valores de  $D_s$  em plantio de espécies florestais, mediante a relação dos fatores do tempo plantio até o dossel fechado e qualidade da serapilheira.

A porosidade diferiu significativamente entre as áreas nas duas primeiras camadas, com a FL apresentando uma maior porosidade e as áreas de TE e JE com os menores valores. Os valores de  $P_t$  superiores a  $0,50\ m^3\ m^{-3}$  são considerados satisfatório para o desenvolvimento das plantas, de acordo com Brady e Weil (2008) [20]. Os valores encontrados neste estudo são semelhantes ao observados por Campos et al. (2011) [21]. A Map em todas as áreas analisadas exibiu condições favoráveis ao desenvolvimento de vegetais, diante ao valor observado ser superior a  $10\ m^3\ m^{-3}$ , esse limitante ao crescimento radicular [22, 23].

Tabela 1: Atributos físicos do período chuvoso nas áreas de Teca, Jenipapo, Mista, Cerrado, Floresta e Cerradão em Humaitá-AM.

Áreas	Areia	Silte	Argila	Ds	Ug	Uv	Pt	MiP	MaP	DMG	DMP	2	1	<1
	g Kg <sup>-1</sup>			g cm <sup>-3</sup>	kg kg <sup>-1</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			mm				
Camada (0,00-0,05 m)														
<b>Teca</b>	412,99 a	407,32 c	179,67 b	1,49 a	0,28 b	0,42 a	0,65 b	0,41 a	0,13 b	2,34 ab	2,89 ab	83,56 ab	4,56 a	11,87 ab
<b>Jenipapo</b>	300,01 b	450,35 bc	249,62 ab	1,53 a	0,26 b	0,39 a	0,51 b	0,39 a	0,11 b	2,24 ab	2,89 ab	83,94 ab	3,95 ab	12,10 ab
<b>Mista</b>	133,12 d	614,27 a	252,59 ab	1,39 ab	0,31 ab	0,44 a	0,57 ab	0,44 a	0,12 b	1,71 b	2,74 b	80,90 b	1,42 abc	17,66 a
<b>Cerrado</b>	212,37 cd	537,62 a	250,00 ab	1,18b c	0,39 ab	0,45 a	0,61 ab	0,45 a	0,15 b	2,90 a	3,21 a	95,15 ab	0,90 bc	3,94 b
<b>Floresta</b>	221,50 bc	513,49 ab	265,00 a	0,84 d	0,54 a	0,44 a	0,72 a	0,44 a	0,28 ab	2,90 a	3,19 a	94,43 ab	1,26 abc	4,29 b
<b>Cerradão</b>	445,62 a	294,37 d	259,99 ab	1,01 cd	0,30 b	0,29 a	0,65 ab	0,29 a	0,35 a	2,97 a	3,24 a	96,43 a	0,34 c	3,21 b
Camada (0,05-0,10 m)														
<b>Teca</b>	343,87 ab	432,62 bc	223,49 a	1,52 a	0,25 b	0,39 bc	0,51 a	0,39 bc	0,12 ab	1,44 c	2,17 b	57,47 b	13,37 a	29,72 a
<b>Jenipapo</b>	271,12 bc	464,53 b	263,80 a	1,57 a	0,25 b	0,40 abc	0,50 b	0,40 abc	0,09 b	1,74 bc	2,33 b	62,35 b	13,33 a	24,31 ab
<b>Mista</b>	120,75 d	603,87 a	275,37 a	1,40 ab	0,33 ab	0,46 a	0,59 ab	0,46 a	0,13 ab	1,01 c	2,16 b	58,93 b	10,34 ab	30,72 a
<b>Cerrado</b>	182,37 cd	527,62 ab	289,99 a	1,28 abc	0,31 b	0,39 bc	0,58 ab	0,39 bc	0,18 ab	2,83 a	3,18 a	93,96 a	1,35 c	4,68 c
<b>Floresta</b>	231,12 cd	484,37 ab	302,49 a	1,07 c	0,43 a	0,44 ab	0,65 a	0,44 ab	0,20 ab	2,48 ab	2,96 a	86,05 a	4,14 bc	9,80 bc
<b>Cerradão</b>	417,49 a	322,49 c	260,00 a	1,14 bc	0,33 ab	0,37 c	0,61 ab	0,37 c	0,23 a	2,96 a	3,23 a	95,76 a	0,60 c	3,63 c
Camada (0,10-0,15 m)														
<b>Teca</b>	353,75 ab	415,62 a	230,62 a	1,59 a	0,24 a	0,39 a	0,50 a	0,39 a	0,10 ab	1,22 bc	1,80 c	43,69 c	17,96 ab	38,33 bc
<b>Jenipapo</b>	269,37 bc	457,62 a	273,12 a	1,57 a	0,25 a	0,41 a	0,51 a	0,41 a	0,10 b	1,09 c	1,66 c	38,38 c	20,62 ab	40,99 a
<b>Mista</b>	110,50 d	475,49 a	318,20 a	1,43 ab	0,30 a	0,44 a	0,57 a	0,44 a	0,12 ab	0,86 c	1,69 c	39,21 c	22,13 a	38,65 a
<b>Cerrado</b>	186,37 cd	58,62 a	755,00 a	1,42 ab	0,30 a	0,42 a	0,56 a	0,42 a	0,14 ab	2,33 ab	2,95 ab	86,31 ab	3,21 cd	10,46 bc
<b>Floresta</b>	211,62 cd	571,29 a	312,20 a	1,27 b	0,35 a	0,44 a	0,59 a	0,44 a	0,15 ab	1,45 bc	2,08 bc	55,70 bc	11,49 bc	32,80 abc
<b>Cerradão</b>	410,37 a	309,62 a	279,12 a	1,19 b	0,31 a	0,37 a	0,60 a	0,37 a	0,22 a	2,78 a	3,14 a	92,48 a	1,93 d	5,58 c

Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabela 2: Atributos físicos no período seco nas áreas de Teca, Jenipapo, Mista, Cerrado, Floresta e Cerradão em Humaitá-AM.

Áreas	Areia	Silte	Argila	Ds	Ug	Uv	Pt	MiP	MaP	DMG	DMP	2	1	< 1
	g Kg <sup>-1</sup>			g cm <sup>-3</sup>	kg kg <sup>-1</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			mm				
Camada (0,00-0,05 m)														
<b>Teca</b>	4,89 ab	1,57 c	6,17 bc	1,14 a	0,47 bc	0,09 b	2,35 c	29,24 ab	1,70 a	3,27 b	21,70 a	4,89 ab	1,57 c	6,17 bc
<b>Jenipapo</b>	4,99 a	2,29 bc	7,72 ab	1,01 a	0,62 ab	0,14 b	2,12 c	31,06 ab	1,78 a	4,07 ab	18,60 ab	4,99 a	2,29 bc	7,72 ab
<b>Mista</b>	4,01 c	2,38 bc	8,45 a	0,98 a	1,02 a	0,27 a	2,31 c	35,84 a	2,28 a	4,66 ab	21,30 a	4,01 c	2,38 bc	8,45 a
<b>Cerrado</b>	4,29 c	5,52 a	4,47 cd	0,21 b	0,07 c	0,17 ab	8,43 bc	16,46 b	0,46 b	5,95 ab	9,50 c	4,29 c	5,52 a	4,47 cd
<b>Floresta</b>	4,43 bc	4,74 ab	4,20 cd	0,18 b	0,18 c	0,19 ab	11,77 a	25,52 ab	0,56 b	5,31 ab	12,22 bc	4,43 bc	4,74 ab	4,20 cd
<b>Cerradão</b>	4,32 c	6,14 a	3,95 d	0,21 b	0,07 c	0,13 b	8,43 bc	16,25 b	0,42 b	6,56 a	9,64 c	4,32 c	6,14 a	3,95 d
Camada (0,05-0,10 m)														
<b>Teca</b>	4,79 a	2,71 b	7,68 ab	0,72 a	0,27 ab	0,07 b	1,41 c	20,62 ab	1,06 a	3,78 b	12,59 a	4,79 a	2,71 b	7,68 ab
<b>Jenipapo</b>	4,61 a	4,46 b	7,57 ab	0,70 a	0,31 a	0,06 b	1,22 c	22,82 a	1,09 a	5,55 b	12,42 a	4,61 a	4,46 b	7,57 ab
<b>Mista</b>	4,02 b	4,86 b	9,15 a	0,50 a	0,28 ab	0,12 ab	1,32 c	23,28 a	0,91 a	5,78 b	9,11 abc	4,02 b	4,86 b	9,15 a
<b>Cerrado</b>	4,49 ab	10,81 a	6,35 abc	0,21 b	0,05 b	0,09 b	7,63 b	12,40 b	0,37 b	11,91 a	5,68 c	4,49 ab	10,81 a	6,35 abc
<b>Floresta</b>	4,83 a	13,58 a	4,45 c	0,21 b	0,11 ab	0,19 a	10,36 a	16,51 ab	0,52 b	14,11 a	11,16 ab	4,83 a	13,58 a	4,45 c
<b>Cerradão</b>	4,51 a	12,36 a	4,86 bc	0,21b	0,05 b	0,08 b	6,20 b	14,01 ab	0,35 b	12,72 a	7,18 bc	4,51 a	12,36 a	4,86 bc
Camada (0,10-0,15 m)														
<b>Teca</b>	4,91 a	3,53 a	7,57 a	0,71 a	0,25 a	0,05 b	1,11 c	17,76 a	1,03 a	4,55 a	12,02 a	4,91 a	3,53 a	7,57 a
<b>Jenipapo</b>	4,55 ab	4,50 a	8,34 a	0,54 ab	0,19 a	0,04 b	0,77 c	17,95 a	0,78 ab	5,29 a	8,45 abc	4,55 ab	4,50 a	8,34 a
<b>Mista</b>	4,20 b	5,72 a	9,50 a	0,43 b	0,15 a	0,06 b	0,87 c	20,55 a	0,65 bc	6,37 a	6,74 bc	4,20 b	5,72 a	9,50 a
<b>Cerrado</b>	4,58 ab	5,40 a	4,32 b	0,12 c	0,05 a	0,07 b	4,94 b	8,83 b	0,25 d	5,66 a	5,70 c	4,58 ab	5,40 a	4,32 b
<b>Floresta</b>	4,85 a	4,41 a	4,10 b	0,21 c	0,07 a	0,16 a	8,40 a	15,13 ab	0,45 bcd	4,86 a	10,10 ab	4,85 a	4,41 a	4,10 b
<b>Cerradão</b>	4,59 ab	4,99 a	4,60 b	0,21 c	0,05 a	0,06 b	4,96 b	15,88 ab	0,34 cd	5,33 a	7,02 bc	4,59 ab	4,99 a	4,60 b

Letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os valores médios dos índices de agregação DMG e DMP foram significante mente diferentes entres as áreas, ao qual os maiores valores ficaram por conta da área de FL, CE e CD. Esses valores altos são possivelmente devido aos ambientes naturais sofrerem pouca ação antrópica. Os resultados corroboram com o trabalho realizado por Luciano et al. (2010) [24], que observaram melhor agregação do solo em mata natural, sugerindo que tal resultado pode ter sido influenciado pela maior atividade biológica.

Na Tabela 2 é apresentando o teste de médias para os atributos químicos do solo. Em relação ao pH, pode-se contestar que em todas as áreas e camadas analisadas neste trabalho, manteve-se uma característica ácida, abaixo de 5, entre 4,20 a 4,99. Os maiores valores foram observados na área de TE e JE, enquanto os menores valores foram observados na área MI. A região sul do Amazonas é comum o pH ser ácido, abaixo de 5, como foi apresentado nos estudos de Campos et al. (2012) [2] e Mantovanelli et al. (2015) [25].

O principal motivo dos solos Amazônicos apresentar valores baixos de pH, é devido a alta perda de bases trocáveis e em consequência ao teor de íons  $H^+$  no solo, ocasionado pela ação do intemperismo mediante a períodos longos de precipitação e temperaturas elevadas [26]. As áreas de CE e CD, consideradas campos naturais, apresenta baixa fertilidades diante ao pH, isso é devido a circunstância de queimadas ocasionalmente nos períodos secos do ano, o que tal ocorrência reflete na perda de nutrientes e MO por lixiviação [25].

Ambientes naturais amazônicos, como é o caso das áreas de FL, CE e CD apresentaram médias de  $Al^{3+}$  superiores significativamente em relação a ambientes alterados e cultivados/agroflorestais, como é o caso da área de Teca, Jenipapo e Mista. Os altos teores de Alumínio trocável são devido à baixa produção e aporte de compostos orgânicos, o que não acarreta a complexação do  $Al^{3+}$  [25].

Houve diferenças significativas nas médias de  $H+Al$ , na qual as médias foram inferiores em áreas naturais e superiores em áreas cultivadas/agroflorestais. O uso do solo para ações agroflorestais reduz a MO e o progresso da acidificação, influenciados por diversos fatores e resultando no acréscimo dos níveis de acidez Potencial [23]. Esse aumento pode prejudicar o crescimento radicular, diante que ocorre o aumento da acidez potencial nas profundidades mais inferiores [27].

Foi observado diferenças significativas nas médias de  $Ca^{2+}$  entre as áreas, o teor foi superior nas áreas agroflorestais de TE, JE e MI, e inferiores nas áreas naturais de FL, CE e CD. Essa diferença é motivada devido as ações de manejos dos solos, como ação de correção, adubação e remoção das plantas [28].

O  $Mg^{2+}$  teve diferenças estatisticamente significativas entre as áreas, as maiores médias foram observadas nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m das áreas de MI e TE e menores médias em áreas de CE e CD. De acordo com o aumento das profundidades, ocorre a diminuição dos teores. Essas médias corroboram com os estudos.

Observa-se que os teores de K mostraram diferença entre as áreas de MI na camada (0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m) e FL nas camadas (0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,15 m) com teores superiores as demais áreas. O teor de P apresentou diferenças significativas entres as áreas, sendo superior nas áreas naturais de FL, CE e CD e inferior nas áreas agroflorestais de TE, JE e MI. O COT foi mais elevado nas áreas de FL, MI, JE e menos expressivos nas áreas de CE e CD na camada (0,00-0,05 m). Este fato é justificado devido as maiores deposição e ambiente oportuno a decomposição de material de origem orgânica superficial, intensificado com o maior aporte vegetais [25].

A capacidade de troca catiônica nas áreas estudadas em sua maioria foram identificados com médio (4,31-8,6), onde a área de FL, CE e CD foi superior as demais áreas. Estes valores estão associados a dinâmica do carbono em ambientes naturais por apresentar maior valor de carbono orgânico no solo [4].

Levando em consideração os valores de V%, os solos foram classificados como solos distróficos. Esses valores são semelhantes aos demonstrados por Campos et al. (2010) [29], em estudos de atributos do solo nos campos naturais amazônicos.

Na multivariada, obtém-los os valores de KMO (Kaiser-Meyer-Olkin), este qual é uma medida que avalia a apropriação da análise fatorial [30], os valores de índice de KMO e sua classificação varia de autor para autor, onde são valores aceitáveis entre 0,5 a 1,0, portanto abaixo de 0,5

indicam que a análise fatorial é inaceitável. Segundo Reis (2001) [31] a classificação vai de 1 a 0,5, onde 1 é muito boa e abaixo de 0,5 é inaceitável.

Considerando a variância como medida de dispersão, onde está vai indicar o quanto os valores se encontram distante dos valores esperados [8], assim como também que as variáveis que apresentam maior variância, são aquelas que de modo individual irão ter maior contribuição na variância total (CP1+CP2) [32].

O ajustamento da análise fatorial manifestou-se de forma expressiva (KMO igual a 0,80 e  $p < 0,05$  para o teste de esfericidade de Barlett, o que é considerado “boa” para os atributos físicos avaliados. Como é notado na (Tabela 3), o percentual da variância explicada, foi observado que no período chuvoso a CP1 é responsável por 51,70% e a CP2 é responsável por 25,38% da variação total. No período seco a CP1 é responsável por 39,75% e a CP2 é responsável por 29,01% da variância explicativa.

Avaliando individualmente os atributos no período chuvoso, é perceptível a maior contribuição da variância (0,93) do DMG, DMP, 2 mm e 1 mm da CP1 e a Uv da CP2, para a variância total, significando maior distância do valor desses atributos para os valores operados. No período seco, a maior contribuição foi evidenciada pelo atributo DMG (0,97), no entanto, e valor é locado na CP1.

O primeiro e segundo fator detém o percentual de explicação para as características físicas do solo. A CP1 representa as características físicas: Argila, MaP, DMG, DMP, 2 mm, 1 mm e < 1 mm nos dois períodos estudados. Enquanto que a CP2 representa as características físicas: Areia, Silte, Uv e Mip nos dois períodos estudados.

Tabela 3: Correlação entre cada componente principal para as análises dos Atributos Físicos do solo nas áreas de Teca, Jenipapo, Mista, Cerrado, Floresta e Cerradão em Humaitá-AM.

ATRIBUTOS	Fatores			
	Período Chuvoso		Período Seco	
	CP1	CP2	CP1	CP2
Areia	0,09	0,80*	0,28	0,42*
Silte	-0,27	-0,63*	0,004	-0,69*
Argila	0,24*	0,07	-0,42*	0,32
Ds	-0,89*	0,21	-0,49	0,49
Ug	0,66*	-0,64	0,14	-0,95*
Uv	-0,12	-0,93*	-0,19	-0,86*
Pt	0,83*	-0,36	0,40	-0,79*
MiP	-0,12	-0,93*	-0,19	-0,86*
MaP	-0,83*	0,19	0,68*	0,08
DMG	0,90*	0,26	0,97*	-0,02
DMP	0,93*	0,22	0,95*	0,008
> 2 mm	0,93*	0,21	0,96*	0,019
1-2 mm	-0,93*	-0,18	-0,80*	-0,15
< 1 mm	-0,92*	-0,23	-0,93*	0,016
<b>Var. explicativa (%)</b>	<b>51,70</b>	<b>25,38</b>	<b>39,75</b>	<b>29,01</b>

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

O ajustamento da análise fatorial manifestou-se de forma significativa (KMO igual a 0,79 e  $p < 0,05$  para o teste de esfericidade de Barlett), o que é considerado “boa” para os atributos químicos avaliados. Como é notado na Tabela 4, a variância explicada, foi observado que no período chuvoso a CP1 é responsável por 64,72% e a CP2 é responsável por 15,82% da variação total. No período seco a CP1 é responsável por 42,05% e a CP2 é responsável por 17,50% da variância explicativa.

Avaliando individualmente os atributos no período chuvoso, é perceptível a maior contribuição da variância (0,97) da SB, para a variância total, significando maior distância do valor desses atributos para os valores operados. No período seco, a maior contribuição foi evidenciada pelo atributo  $Mg^{2+}$  (0,90), no entanto, e valor é locado na CP2.



O primeiro e segundo fator detêm o percentual de explicação para as características químicas do solo. A CP1 representa as características químicas: H+Al, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, P e SB nos dois períodos estudados. Enquanto que a CP2 representa as características química K nos dois períodos estudados.

Tabela 4: Correlação entre cada componente principal para as análises dos Atributos Químicos do solo nas áreas de Teca, Jenipapo, Mista, Cerrado, Floresta e Cerradão em Humaitá-AM.

ATRIBUTOS	Fatores			
	Período Chuvoso		Período Seco	
	CP1	CP2	CP1	CP2
pH	0,10	-0,84*	-0,22*	0,013
Al <sup>3+</sup>	0,83*	0,46	-0,42	0,84*
H+Al	-0,91*	0,18	0,87*	0,15
Ca <sup>2+</sup>	-0,91*	-0,36	0,67*	-0,60
Mg <sup>2+</sup>	-0,91*	0,15	0,90*	-0,25
K <sup>+</sup>	0,14	0,72*	0,41	0,54*
P	0,87*	0,21	-0,56*	0,52
COT	-0,79*	0,02	0,016	0,58*
SB	-0,97*	-0,06	0,89*	-0,41
CTC	0,75*	0,52	-0,11	0,87*
V%	-0,78*	-0,33	0,43	-0,64*
<b>Var. explicativa (%)</b>	<b>64,72</b>	<b>15,82</b>	<b>42,05</b>	<b>17,50</b>

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

A análise dos componentes (Figuras 1 e 2) é uma representação gráfica que é possível caracterizar as variáveis que permitem diferenciar e discriminar no processo de diferenciação das áreas estudadas [32]. Diante aos pesos atribuídos a cada uma das variáveis, é proposto uma interpretação geométrica por meios das projeções sobre cada um dos eixos das coordenadas, ao que é representa a componentes principais [33].

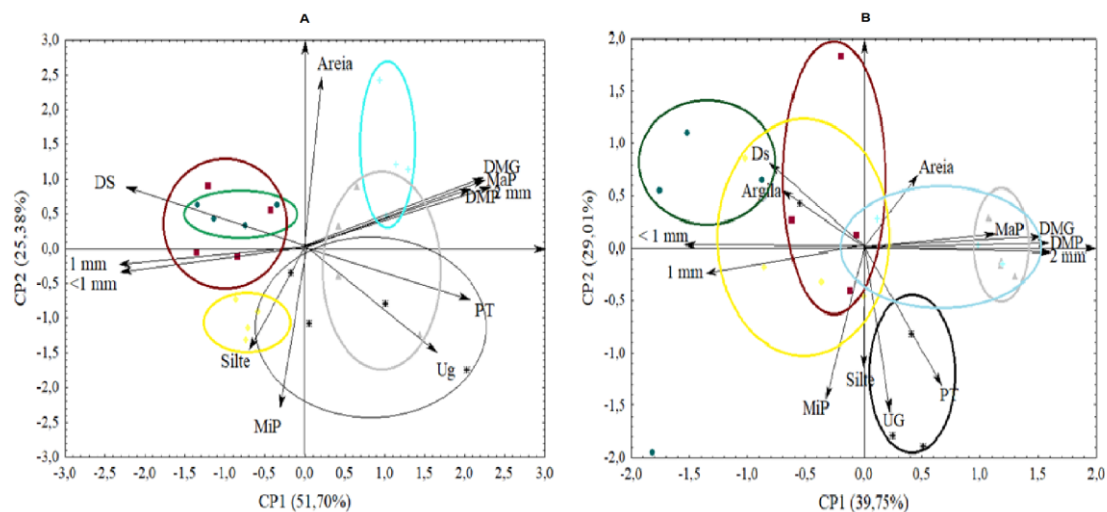


Figura 1: Análise dos componentes principais dos atributos Físico do solo: (A) Período chuvoso; (B) Período Seco. CP1: Componente principal 1; CP2: Componente principal 2. MaP: macroporosidade; PT: porosidade total; DS: densidade do solo; DMP: diâmetro médio ponderado das partículas; UG: umidade gravimétrica; CO: carbono orgânico Al; alumínio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions.

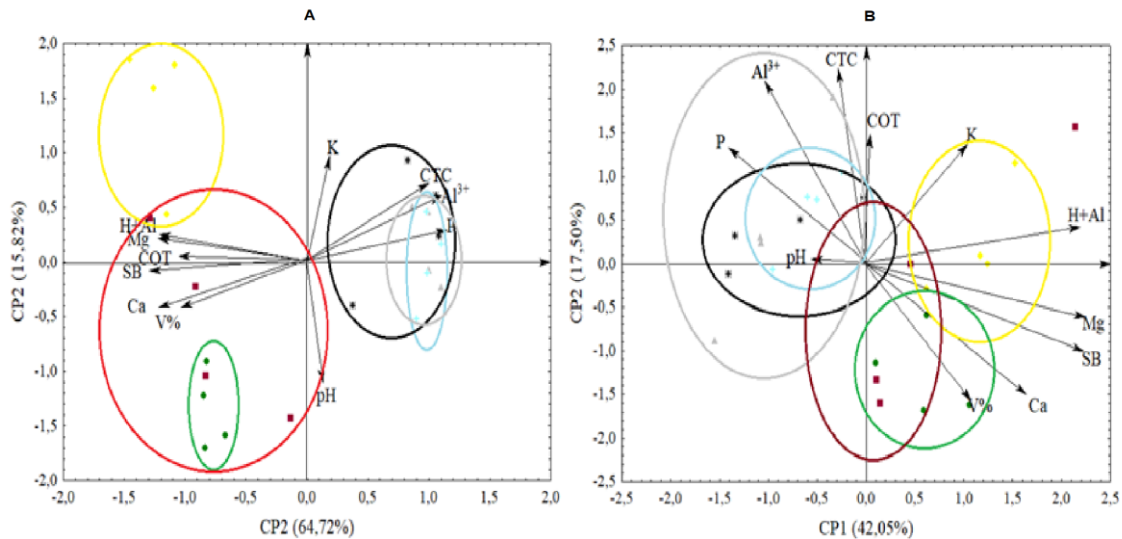


Figura 2: Análise dos componentes principais dos atributos Químico do solo: (A) Período chuvoso; (B) Período Seco. CP1: Componente principal 1; CP2: Componente principal 2.; Ha+Al: acidez potencial; P: fósforo; Ca: cálcio; Mg: magnésio; COT: carbono orgânico total; Al<sup>3+</sup>; alumínio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: Percentagem de Saturação por Base.

No atributo físico do período chuvoso (Figura 1), observar-se que os escores da área de JE e TE assemelharam-se em seus comportamentos, concentrando-se no segundo quadrante, destacando a Ds mais elevada. A área de MI concentrou no terceiro quadrante, ao qual corresponde alto teor de silte. O quarto quadrante tem o escore da área de FL com a Pt marcante. O período seco, o escore da FL quarto quadrante correspondendo a Pt e Ug caracterizante, e o CD no primeiro quadrante correspondendo a MaP.

No atributo químico do período chuvoso, observar-se os escores da área de FL, CD e CE, com os níveis marcantes de CTC, P e H+Al no primeiro e quarto quadrante. O período seco, o escore FL e CD concentrado no segundo e terceiro quadrante, perfazendo o pH mais elevado, mas abaixo de 5.

#### 4. CONCLUSÃO

Os ambientes são pouco influenciáveis pela agregação do solo e a macroporosidade durante o período chuvoso, porém são fundamentais para a manutenção das áreas de cerrado e cerradão.

No período chuvoso as variáveis químicas ficaram menos dispersas, quando comparado ao seco, indicando papel fundamental da precipitação nos ambientes amazônicos trazendo os atributos químicos para solução do solo, sendo aproveitado pela vegetação ocupada.

O cultivo em sistema agroflorestal foi eficaz na manutenção da qualidade do solo, uma vez que as mesmas não possuem problemas relacionados a atributos do solo, além de apresentarem os melhores desempenhos nos atributos químicos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da CAPES, FAPEAM e CNPq

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Braun EHG, Ramos JRA. Estudo agroecológico dos campos Puciari-Humaitá (Estado do Amazonas e Território Federal de Rondônia). Rev Bras Geogra. 1959 jan;21(1):443-97. doi: 10.5327/rcaa.v14i1.817

2. Campos MCC, Ribeiro MR, Souza Júnior VS, Ribeiro Filho MR, Almeida MC. Topossequência de solos na transição campos naturais floresta na região de Humaitá, Amazonas. *Act Amazô*. 2012 jul;42(3):387-98. doi: 10.1590/S0044-59672012000300011
3. Calonego JC, Santos CH, Tiritan CS, Júnior JRC. Estoque de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Rev Caati*. 2012 mar;24(2):128-35.
4. Cunha JMD, Gaio DC, Campos MCC, Soares MDR, Silva DMPD, Lima AFLD. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. *Amb Águ-An Interdis J Appli Scienc*. 2017 abr;12(2):1-19. doi: 10.4136/ambi-agua.1890
5. Carvalho JDS, Kunde RJ, Stöcker CM, Lima ACRD, Silva JLS. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. *Pesq Agropec Bras*. 2016 nov;51(9):1131-9. doi: 10.1590/S0100-204X2016000900012
6. Cunha EDQ, Stone LF, Moreira JAA, Ferreira EPDB, Didonet AD, Leandro WM. Sistemas de preparo do solo e cultura de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. *Rev Bras Ciênc Solo*. 2011 abr;35(2):589-602. doi: 10.1590/S0100-06832011000200029
7. Silveira DC, Filho JFM, Sacramento JAS, Silveira ECP. Relação umidade *versus* resistência à penetração para um Argissolo Amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia. *Rev Bras Ciênc Solo*. 2010 jan;34(1):659-70.
8. Urrutia M, Macías F, García Rodeja E. Evaluación del  $\text{CuCl}_2$  y del  $\text{LaCl}_3$  como extractantes de aluminio en suelos ácidos de Galicia. *Nov Acta Científ Compost*. 1995 Jan;5(1):173-82.
9. Macdicken KG, Vergara NT. *Agroforestry: Classification and management*. 1. ed. New York (US): John Wiley; 1990.
10. Oliveira IA, Marques Junior J, Campos MCC, Aquino RE, Freitas L, Siqueira DS. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da região de Manicoré, AM. *Rev Bras Ciênc Solo*. 2015 jul;39(3):668-81. doi: 10.1590/01000683rbc20140496
11. Lima JSS, Silva SA, Souza GS, Altoé MS. Análise multivariada de atributos físicos em argiloso vermelho-amarelo em diferentes ambientes. *Rev Eng Agric*. 2017 set;25(5):396-406. doi: 10.13083/reveng.v25i5.790
12. Campos MCC, Bergamin AC, Cunha JM, Oliveira IA. *Caracterização dos atributos do solo em ambientes natural e transformados da região sul do Amazonas*. 1. ed. Goiânia (GO): Puc Goiás; 2015.
13. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solo; 2011.
14. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG, editores técnicos. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. revista e atualizada. Brasília (DF): Embrapa; 2017.
15. Kemper WD, Chepil WS. Size distribution of aggregates. In: Black CA, editor. *Methods of soil analysis Part 1: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. 1. ed. New York (US): Agronomy Monographs; 1965. p. 499-510. doi: 10.2134/agronmonogr9.1.c39
16. Castro Filho C, Muzilli O, Podanoschi AL. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Rev Bras Ciênc Solo*. 1998 set;22(3):527-38. doi: 10.1590/S0100-06831998000300019
17. Amaral EF, Melo AWF, Oliveira TK. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos da região de inserção do Projeto Reça, Estados de Rondônia, Acre e Amazonas. Acre: Embrapa Acre; 2000. (Boletim de Pesquisa, 27).
18. Silva HD, Favaretto N, Cavalieri KMV, Dieckow J, Vezzani FM, Parron LM, et al. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: Parron LM. *Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Brasília (DF): Embrapa; 2015.
19. Silva LG, Mendes IC, Reis Junior FB, Fernandes MF, de Melo JT, Kato E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. *Pesq Agropec Bras*. 2009 jan;44(1):613-20.
20. Brady NC, Weil RR. *The nature and properties of soils*. 14. ed. Upper Saddle River (US): Pearson-Prentice Hall; 2008.
21. Campos MCC, Ribeiro MR, Souza Júnior VS, Ribeiro Filho MR, Souza RVCC, Almeida MC. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. *Bragantia*. 2011 jul;70(3):598-609. doi: 10.1590/S0006-87052011000300016
22. Kiehl EJ. *Manual de edafologia: Relação solo-planta*. 1. ed. São Paulo: Ceres; 1979.
23. Matos FO, Castro RMS, Ruivo MLP, Moura QL. Teores de nutrientes do solo sob sistema agroflorestal manejado com e sem queima no Estado do Pará. *Florest Ambi*. 2012 jul;19(3):257-66. doi: 10.4322/floram.2012.031

24. Luciano RV, Bertol I, Barbosa FT, Kurtz C, Fayad JA. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. *Rev Ciênc Agrov. 2010 jan*;9(1):9-19.
25. Mantovanelli BC, Silva DAP, Campos MCC, Gomes RPG, Soares MDR, Santos LAC. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes usos na região de Humaitá, Amazonas. *Rev Ciênc Agr. 2015 abr*;58(2):122-30.
26. Reis MS, Fernandes AR, Grimaldi C, Desjardins T, Grimaldi, M. Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. *Rev Ciênc Agrá. 2009 jan*;52(1):37-47.
27. Mantovanelli BC, Campos MCC, Alho LC, Franciscan U, Nascimento MF, Santos LAC. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. *Rev Ciênc Agroamb. 2016 jan*;14(1):1-9. doi: 10.5327/rcaa.v14i1.817
28. Carneiro MAC, Souza EDD, Reis EFD, Pereira HS, Azevedo WRD. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev Bras Ciênc Solo. 2009 jan*;33(1):147-57. doi: 10.1590/S0100-06832009000100016
29. Campos MCC, Ribeiro MR, Souza Júnior VSD, Ribeiro Filho MR, Oliveira IAD. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. *Rev Ciênc Agron. 2010 out*;4(4):527-35.
30. Tassitano RM, Farias, JCD, Rech CR, Tenório MCM, Cabral PC, Silva GAPD. Validação de escalas psicossociais para atividade física em jovens universitários. *Rev Saúde Pública. 2015*;49(1):1-10. doi: 10.1590/S0034-8910.2015049005465
31. Reis E. *Estatística multivariada aplicada*. 2. ed. Lisboa (PT): Edições Sílabo; 2001.
32. Freitas L, Casagrande JC, Oliveira IA, Campos MCC, Silva LS. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. *Rev Bras Ciênc Agrár. 2015 jan*;10(1):17-26. doi: 10.5039/agraria.v10i1a3928
33. Manly BJF. *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. 3. ed. Porto Alegre (RS): Bookman; 2008.