

**ANÁLISE MULTIVARIADA DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM ARGILOSO VERMELHO-AMARELO EM DIFERENTES AMBIENTES**Julião Soares de Souza Lima¹, Samuel de Assis Silva², Gustavo Soares de Souza³ & Marcelo Soares Altoé⁴1 - Engenheiro Agrícola, Professor Titular, CCAE - UFES/Alegre-ES, limajss@yahoo.com.br

2 - Engenheiro Agrônomo, Professor Adjunto I, CCAE - UFES/Alegre-ES

3 - Engenheiro Agrônomo, Pesquisador do INCAPER/Cachoeiro de Itapemirim - ES

4 - Graduando em Agronomia - CCAE/UFES

Palavras-chave:agrupamento
densidade do solo
manejo do solo**RESUMO**

A qualidade de um solo está diretamente relacionada com seu uso e ocupação. Neste trabalho objetivou-se o estudo do comportamento de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo ocupado com vegetação em regeneração natural (m) e com pastagem (p). Uma malha amostral sistemática foi construída em cada ambiente, com 64 pontos de amostragens de solo, na camada 0-0,20m. Os atributos avaliados foram: densidade do solo (DS), macroporosidade (MACRO), microporosidade (MICRO), volume total de poros (VTP), argila (ARG), areia total (ART) e silte (SILTE). Fez-se a análise descritiva e o teste t comparando as médias dos atributos do solo nas duas áreas experimentais. Na análise de agrupamento, as frações granulométricas formaram o grupo 1 e os que caracterizam a porosidade o grupo 2. Os atributos do grupo 1 apresentaram maiores distâncias euclidianas que no grupo 2. Os três componentes principais explicaram 75,6% e 82,3% da variância total, respectivamente no grupo 1 e no grupo 2. O agrupamento e análise de componentes principais mostrou distinção entre os dois ambientes, com as frações granulométricas com menor similaridade na área de vegetação em regeneração (m) e os atributos que caracterizam a porosidade do solo com maior similaridade na área de pastagem (p).

Keywords:cluster
bulk density
soil management**MULTIVARIATE ANALYSIS OF PHYSICAL ATTRIBUTES IN ULTISOL FROM DIFFERENT ENVIRONMENTS****ABSTRACT**

Soil quality is directly related to its use and occupation. This work was conducted to study physical attributes of an Ultisol occupied either with natural regeneration vegetation (m) or with pastures (p). A systematic sampling grid was built in each environment, with 64 soil sampling points established from 0-0.20m deep. The assessed attributes were: bulk density (DS), macroporosity (MACRO), microporosity (MICRO), total porosity (VTP), clay (ARG), total sand (ART) and silt (SILTE). During cluster analysis, the granulometric fractions composed group 1 and the porosity characteristics composed group 2. The attributes of group 1 showed larger euclidean distances than group 2. The three main components explained 75.6% and 82.3% of total variance in group 1 and group 2, respectively. Assessment of clustering and main components showed distinction between the two environments since granulometric fractions presented less similarity in the regeneration area (m) and soil porosity attributes presented greater similarity in the pasture area (p).

INTRODUÇÃO

A ampliação da fronteira agropecuária no Brasil tem se baseado no quantitativo de área com pouca ou nenhuma preocupação em relação à qualidade e aptidão do solo. Este fato vem provocando a substituição de vegetação natural por áreas de pastagens e de agricultura sem critérios técnicos, tanto em áreas planas quanto declivosas. Esta prática de expansão vem apresentando, nos dias de hoje, paisagens em degradação e com sérios problemas de erosão.

Uma forma de quantificar o grau de alteração proporcionada pelos diferentes sistemas de manejo e ocupação do solo é estudar o comportamento espacial e temporal dos atributos físicos de forma a estabelecer se houve alterações positivas ou negativas. Segundo Melo Filho et al. (2007), o solo com vegetação natural sem a ação antrópica expressa o seu potencial, suas limitações e sua qualidade de referência, pois, quando ocorre a modificação de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos são alterados e sua qualidade é modificada.

O conhecimento das modificações físicas do solo, causadas pelo cultivo contínuo, fornece subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitem incrementar o rendimento das culturas, garantindo a contínua sustentabilidade e conservação dos ecossistemas (FREITAS et al., 2012).

Grande número de atributos físicos, químicos e biológicos do solo são utilizados para a sua caracterização e muitos são analisados em conjunto, o que, ao ser realizado por meio de métodos estatísticos univariados, eleva a dimensão do problema além de onerar o processo (SILVA et al., 2010). Uma forma de manusear esses dados é utilizar as técnicas de estatística multivariada, como análise de agrupamento e de componentes principais (ACP), que visa explicar a estrutura de variância de grande número de atributos, pela construção de combinações lineares dessas e da redução dimensional do fenômeno em estudo. Conforme Cruz & Regazzi (2001), quando se analisa um grande número de atributos, a estatística multivariada possibilita novas interpretações e elucidções de problemas que não seriam

percebidos pela estatística univariada.

Santi et al. (2012) comentam que o uso da técnica de redução de variáveis na estatística multivariada, é importante para selecionar os principais componentes, para identificar e interpretar a distribuição das variáveis originais. Freitas et al. (2014) utilizaram a análise de agrupamento e de componentes principais na interpretação do comportamento de atributos físicos de um solo sob três formas de manejo e identificaram a formação de dois grupos, um formado pela mata nativa e o outro pela área em reflorestamento e a área cultivada com cana-de-açúcar. Os autores citam ainda que a metodologia utilizada se mostrou eficiente para verificar a similaridade entre os diferentes manejos.

Campos et al. (2012) utilizaram técnicas de análise multivariada e mostrou existir diferença nas concentrações das frações granulométricas na caracterização de três diferentes formas de relevo. Segundo os autores, esta técnica facilita compreender o comportamento dos atributos físicos e químicos do solo, que estão principalmente relacionados com a estratigrafia e formas do relevo; estes afirmam ainda que os métodos multivariados são mais eficientes do que os univariados nesse tipo de estudo. Baretta et al. (2008) utilizaram de técnicas multivariadas mostrando que grande parte da variação dos atributos microbianos, em solo sob floresta, é explicada pela variação dos atributos químicos do solo.

As técnicas de análise multivariada possibilita explicar as correlações entre os atributos físicos (frações granulométricas, densidade do solo, micro e macroporosidade e volume total de poros) de um mesmo tipo de solo, mesma forma do relevo e mostrar quais atributos contribuem para a caracterização de dois ambientes com uso e ocupação distinta.

Nesse contexto, objetivou-se estudar a variabilidade de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em uma área com vegetação em regeneração natural e a outra com pastagem, utilizando análise multivariada.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Itapemirim, nas coordenadas 20°

46° 2,8" S e 41° 27' 39,2" W, sub-bacia do Córrego Horizonte, Município de Alegre - ES. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo "Aw", tropical quente úmido, com inverno frio e seco, temperatura anual média de 23,1 °C e precipitação pluviométrica média anual de 1.341mm.

O experimento foi realizado em novembro de 2010, em um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, no seu terço médio foram demarcados dois ambientes (parcelas), equidistantes em 20 m, com 64 pontos amostrais determinados no espaçamento 10x10 m (Figura 1). A declividade dos ambientes está compreendida entre 30° e 45°, com altitude em torno de 150 m. O primeiro ambiente foi definido em um fragmento de mata Atlântica em estado de regeneração natural (m) e o segundo em pastagem (p).

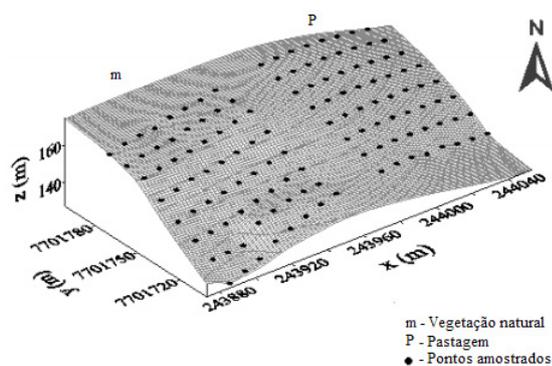


Figura 1. Representação topográfica da área experimental com os pontos amostrados na vegetação em regeneração natural (m) e em pastagem (p).

O solo nas duas áreas experimentais está sendo ocupado por: a - vegetação em estado de regeneração natural (m), há aproximadamente três décadas, sendo os principais representantes do extrato arbóreo: ipê-felpudo (*Zeyhera tuberculosa*), cinco-folhas (*Sparattosperma vernicosum*), angico canjiquinha (*Peltophorum dubium*), jacaré (*Piptadenia communis*), do extrato arbustivo: arranha-gato (*Acácia* spp.); serapilheira: (casca, folhas, galhos e outras partes) e das áreas mais abertas capim-colônia (*Panicum maximum*) e capim gordura (*Melinis minutiflora*); e b - pastagem de *Brachiaria decumbens*, para bovinos, introduzida há seis anos na área após preparo do solo com tração animal operando em nível.

Para determinação dos atributos físicos

do solo em cada ambiente, foram coletadas amostras indeformadas na camada 0-0,20 m de profundidade, no cruzamento dos pontos em cada malha. A densidade do solo (DS) foi determinada com amostrador tipo Uhland, utilizando-se de amostras retiradas em anel de aço de bordas cortantes; a microporosidade (MICRO) no aparelho extrator de Richards submetido à tensão de 0,006 MPa; o volume total de poros (VTP) calculado pela equação: $VTP = [1 - (DS/Dp)] * 100$, em que Dp representa a densidade de partículas do solo, determinada pelo método do balão volumétrico, com valor médio de 2,65 kg dm⁻³ e a macroporosidade (MACRO) pela diferença entre VTP e MICRO. As frações granulométricas do solo [argila (ARG), silte (SILTE) e areia total (ART)] foram determinadas por agitação lenta e sedimentação em tubos de ensaio, de acordo com a lei de Stokes, segundo a metodologia proposta pela EMBRAPA (2011).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos [vegetação em regeneração natural (m) e pastagem (p)] e sessenta e quatro repetições. Os dados foram analisados quanto à normalidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov (valor - $p \leq 0,05$) e submetidos à análise de variância com as médias comparadas pelo teste t (valor- $p \leq 0,05$). A análise descritiva foi realizada para determinar as medidas de posição e dispersão dos atributos físicos estudados. A presença de pontos discrepantes (*outliers*) foi avaliada considerando o *boxplot*, tendo como limite superior [LS = $Q3 + (Q3 - Q1) * 1,5$] e limite inferior [LI = $Q1 - (Q3 - Q1) * 1,5$] dos dados como referência, em que Q3 é o terceiro quartil e Q1 é o primeiro quartil.

A análise de agrupamentos hierárquica foi realizada calculando-se a distância euclidiana para o conjunto de quatorze variáveis, e utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos. Com esta análise, buscou-se verificar as similaridades entre os atributos analisados e os ambientes (parcelas) estudados a partir de agrupamentos homogêneos representados em um dendrograma de similaridade (FREITAS et al., 2014).

A análise de componente principal (ACP) foi realizada para cada agrupamento com base na matriz de correlação dos mesmos, de forma a identificar novas variáveis que explicam a maior parte da variação contida nos dados de origem. Em uma matriz original de dados, cada sítio tem um valor para cada atributo (LIMA et al., 2013).

Essas componentes podem ser vistas como “supervariáveis”, construídas pela combinação da correlação entre as variáveis e são extraídas em ordem decrescente de importância em termos de sua contribuição para a variação total dos dados (KENT, COKER, 1992). Para reduzir os erros, devidos às escalas e as unidades das variáveis selecionadas, os dados foram padronizados com média zero e variância igual a 1.

A seleção do número de componentes principais (CP) foi baseada no critério de análise da qualidade de aproximação da matriz de correlações, utilizando-se os componentes associados a autovalores superiores a 1 (JOHNSON, WICHERN, 2002). No caso da correlação das componentes com os atributos físicos do solo, consideraram-se significativos os valores superiores a |0,70|, conforme Figueiredo Filho & Silva Junior (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3 estão os *box-plots* dos atributos físicos do Argiloso Vermelho-Amarelo ocupado por vegetação em regeneração natural (m) e pastagem (p), compondo dois ambientes distintos. Observa-se que os atributos que caracterizam a porosidade do solo, como o volume total de poros na área em vegetação em regeneração natural (VTPm) apresenta um *outliers* unilateral a direita e a macroporosidade (MACROm) um unilateral a esquerda, sendo que as frações granulométricas não apresentaram *outliers* na série de dados.

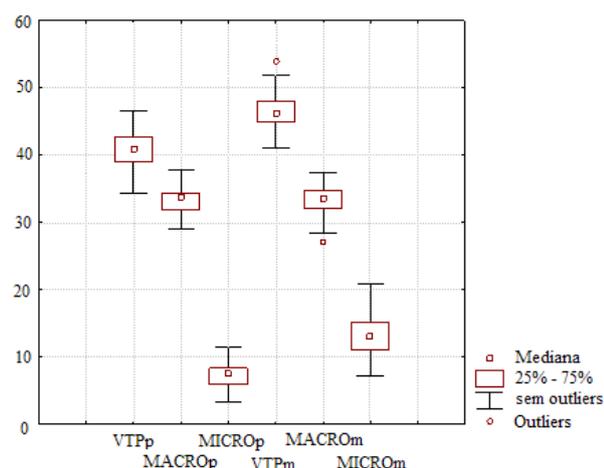


Figura 2. *Box-plot* dos atributos VTP, MICRO e MACRO para o solo nos ambientes: vegetação em regeneração natural (m) e pastagem (p).

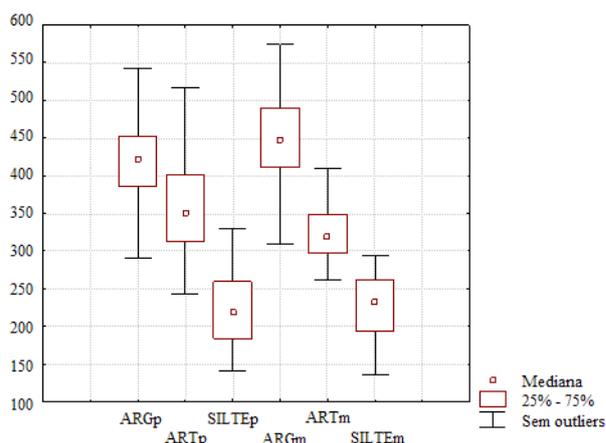


Figura 3. *Box-plots* da ARG, ART e SILTE para o solo nos ambientes: vegetação em regeneração natural (m) e pastagem (p).

Após a remoção dos *outliers*, todos os atributos físicos apresentam distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (valor – $p \leq 0,05$) nos dois ambientes. Os atributos ARGp, SILTEm, MACRO (p e m) e DS (p e m) apresentam distribuição assimétrica negativa com a média menor que a mediana, enquanto os demais apresentam assimetria positiva. Com relação à curtose, em 42,9% dos atributos se apresenta positiva com classificação leptocurtica, com concentração de valores em torno da média.

A análise descritiva dos atributos nos dois ambientes (parcelas) está na Tabela 1, bem como a análise do teste t (valor - $p \leq 0,05$) entre as médias, onde se verificou na área de vegetação natural (m) maiores valores médios para VTP, MICRO e menor DS em relação à pastagem (p).

A variabilidade dos atributos dado pelo coeficiente de variação (CV), segundo classificação de Pimentel-Gomes & Garcia (2002), tem-se: baixo ($CV < 10\%$) para VTP (p e m), MACRO (p e m) e DS (p e m); médio ($10\% < CV < 20\%$) para ARG (p e m) e ART (p e m) e Alto ($CV > 20\%$) para MICRO (p e m) e SILTE (p e m). Souza et al. (2006) encontraram CV baixo para DS, VTP e ARG em um solo cultivado com cana-de-açúcar. Souza et al. (2006), Lima et al. (2009) e Lima et al. (2013) encontraram maior CV para o SILTE, em relação as outras frações, este fato indica que essa variação está relacionada ao seu processo de determinação em laboratório, por incorporar parte da variabilidade existente nas frações areia total e argila.

Tabela 1. Análise descritiva dos atributos físicos nos ambientes: vegetação em regeneração natural (m) e pastagem (p)

	n	M	Md	Min	Max	Q1	Q3	S	CA	CC	CV(%)
VTPp (%)	64	40,8a	40,8	34,3	46,6	39,0	42,6	2,5	0,09	0,10	6,2
VTPm (%)	64	46,4b	46,2	41,0	54,0	44,9	47,9	2,7	0,43	0,16	5,7
MACROp (%)	63	33,3a	33,8	29,1	37,9	31,8	34,4	1,8	-0,18	-0,22	5,5
MACROm (%)	63	33,2a	33,6	27,0	37,4	32,1	34,6	1,9	-0,87	1,03	5,8
MICROp (%)	61	7,3b	7,5	3,3	11,4	5,9	8,3	1,8	0,04	-0,36	25,0
MICROm (%)	64	13,2a	13,0	7,2	20,8	11,0	15,2	2,9	0,37	0,12	22,2
DSp (kg dm ⁻³)	64	1,6a	1,6	1,4	1,7	1,5	1,6	0,1	-0,09	0,10	4,3
DSm (kg dm ⁻³)	62	1,4b	1,4	1,3	1,6	1,4	1,5	0,1	-0,16	-0,27	4,5
ARGp (g kg ⁻¹)	64	421,1b	422,6	290,2	541,9	386,2	452,4	54,7	-0,16	-0,09	13,0
ARGm (g kg ⁻¹)	63	448,5a	447,8	309,3	573,8	411,5	489,6	55,7	0,01	0,06	12,4
ARTp (g kg ⁻¹)	64	357,9a	351,7	243,6	516,5	312,7	401,1	60,5	0,34	-0,17	16,9
ARTm (g kg ⁻¹)	61	322,1b	317,0	257,0	410,2	296,0	347,4	36,1	0,42	-0,26	11,2
SILTEp (g kg ⁻¹)	64	221,0a	218,6	141,2	329,2	184,0	259,3	46,3	0,23	-0,83	20,9
SILTEm (g kg ⁻¹)	64	225,8a	232,4	136,6	294,4	193,7	260,9	42,8	-0,36	-0,74	19,0

p: pastagem; m: vegetação em regeneração natural; n: número de observações; M: valor médio; Md: mediana; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; S: desvio padrão; CA: coeficiente de assimetria; CC: coeficiente de curtose e CV: coeficiente de variação.

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula, para um mesmo atributo, não diferem significativamente pelo teste t (valor - $p \leq 0,05$).

As condições físicas diferenciadas do solo entre os ambientes (parcelas) são resultantes dos diferentes efeitos que as formas de ocupação exercem sobre a formação e estabilização dos agregados do solo. Segundo Stone & Silveira (2001), em solos cobertos com material vegetal, espera-se maior concentração de material orgânico na camada superficial, promovendo intensa atividade biológica.

Neste caso, na área de pastagem com menor concentração de material orgânico em superfície aliada ao tráfego dos bovinos, que oferecem grandes pressões ao solo, contribuíram para a redução dos vazios do solo. Gloaguen *et al.* (2009) mostraram que o aumento da densidade do solo proporciona aumento na sua resistência à penetração e reduz a porosidade total e a macroporosidade levando a menor condutividade hidráulica do solo.

Loss *et al.* (2014) afirmam que o pisoteio excessivo de bovinos promove a compactação do solo em pastagem, principalmente quando as condições hídricas do solo facilitam este processo e com o tempo as plantas forrageiras perdem

a capacidade de produção, apresentando baixa cobertura vegetal que favorece a compactação pelos animais, reduzindo assim, a eficiência das pastagens.

Araújo *et al.* (2004) afirmam que alterações na DS (densidade do solo) e no volume total de poros (VTP) variam em função da variação da textura, dos teores de matéria orgânica e das práticas mecânicas de manejo do solo. Viana *et al.* (2011) encontraram valor médio de DS significativamente maior em área cultivada, com preparo do solo, quando comparado em solo sob vegetação natural. Para estes autores, o aumento de carbono orgânico no solo (COS) em área de vegetação natural é o principal responsável pela redução da DS. Segundo os autores o principal mecanismo para a redução da DS com o aumento da concentração do COS deve-se a sua baixa densidade, elevada área superficial específica, propriedades elásticas e elevada capacidade de adsorção de água pela matéria orgânica do solo.

Freitas *et al.* (2012) não encontraram diferenças significativas para MICRO nas áreas

em mata natural, em cultivo de cana-de-açúcar e em reflorestamento com espécies nativas. No entanto, verificaram interação para MACRO (mata > reflorestamento > cultivo de cana-de-açúcar). Nos três ambientes distintos estudados, em áreas planas, as frações granulométricas não apresentaram diferenças significativas, indicando a homogeneidade entre as áreas, bem como a ausência de modificações desse atributo com o manejo ou uso do solo.

Neste estudo, os dois ambientes com ocupações diferentes, estão situados no mesmo tipo de solo, mesma declividade e sujeitos às mesmas condições climáticas. Estes apresentam modificações nas concentrações das frações argila, sendo maior no ambiente em vegetação natural (m), enquanto que a fração areia total apresenta maior concentração no ambiente de pastagem (p). A serapilheira na superfície da área em vegetação natural (m), devido a maior produção de biomassa, forma uma barreira física atenuando a movimentação das menores frações do solo no escoamento superficial, o que, comparativamente, não ocorre na pastagem.

Lima et al. (2009) afirmam que o processo erosivo ocorre pela degradação da superfície do solo, devido ao impacto das gotas de chuva. Já o transporte das partículas de solo no escoamento superficial com a deposição, ocorre em razão da carga de sedimentos excederem a capacidade de transporte no escoamento, como ocorre na área de pastagem.

Wendling et al. (2012) comentam que em áreas com maiores concentrações de argila e, também, maiores teores de matéria orgânica no solo e com ausência de cargas externas aplicadas, proporciona maior volume total de poros (VTP). Sendo assim, ainda na Tabela 1, é possível verificar que o maior volume total de poros (VTP) para a área de vegetação em regeneração (m) pode ser atribuída à maior concentração de poros de menor dimensão.

Araújo et al. (2004) afirmam que a MACRO é uma medida da taxa de difusão de oxigênio no solo e valor acima de 15% indica boa capacidade de aeração. No presente estudo os valores ficaram em torno de 33%, para os dois ambientes. Os autores comentam ainda que a MICRO do solo é menos influenciada pelo aumento da DS devido às cargas externas aplicadas ao solo.

A Figura 4 mostra o dendrograma da análise de agrupamento hierárquico com objetivo de avaliar as similaridades dos atributos físicos nos ambientes: vegetação em regeneração (m) e pastagem (p), identificando padrões no conjunto de dados referentes aos dois ambientes.

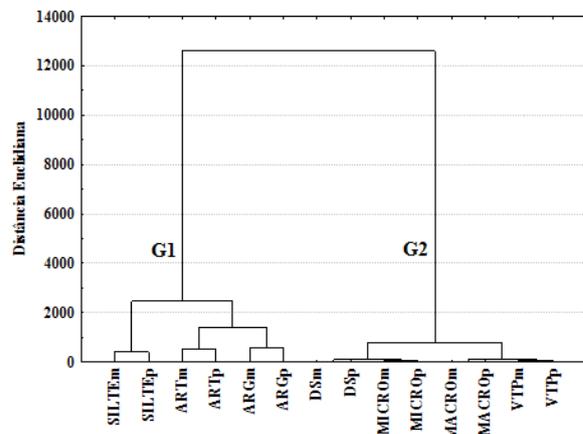


Figura 4. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação dos dois grupos.

Na distância euclidiana de 4000 foi definindo o corte, formando dois grupos para os atributos nos dois ambientes, vegetação natural em regeneração (m) e pastagem (p). O grupo 1 (G1) foi composto pelas frações granulométricas: SILTE, ARG e ART; e no grupo 2 (G2) ficaram DS, MICRO, MACRO e VTP. Dentro dos grupos, observa-se subgrupos em pares para um mesmo atributo. A diferenciação dos grupos ficou evidenciada nos dois diferentes ambientes.

Freitas et al. (2014), em seus estudos para atributos químicos do solo, fizeram suas análises de agrupamento para três diferentes ambientes. Assim, mostraram que a mata compõe um único grupo, solo menos fértil e mais ácido, enquanto a área cultivada com cana-de-açúcar e reflorestamento outro grupo, solo mais fértil, com base na distância euclidiana.

Na Tabela 2, é possível verificar no (G1) as frações granulométricas, sendo que para um mesmo atributo as distâncias euclidianas são menores quando comparadas entre os ambientes. Porém, quando se analisa entre as diferentes frações observa-se aumento na distância euclidiana. Dentro deste grupo, o atributo SILTE apresenta as maiores

distâncias em relação aos demais atributos por ser determinado por diferença entre a concentração de argila e areia total.

Comparativamente, os atributos do G1 apresentam as maiores distâncias euclidianas em relação aos do G2 (Tabela 3), refletindo que em ambos os ambientes a distribuição desses atributos para um mesmo tipo de solo, com a mesma classificação taxonômica, são diferentes. Provavelmente esta variação está relacionada com a maior perda de solo que ocorre na área de pastagem, em função do pisoteio animal, baixa cobertura vegetal, suscetibilidade ao impacto das gotas de chuva e maior escoamento superficial.

Souza et al. (2008) afirmam que o sistema de pastejo na área é extensivo, com uma média anual de 1,0 UA ha⁻¹ (unidade animal por hectare), sendo a maior concentração observada nos períodos de chuva, podendo chegar a 3,0 UA ha⁻¹. Freitas et al. (2012) observaram na análise de agrupamento, que os atributos físicos de uma área de mata nativa se encontram distantes da área de reflorestamento com espécies nativas. Segundo os autores, por estar em fase inicial de recuperação, a área reflorestada não atingiu a adequada qualidade física do solo.

As definições dos dois agrupamentos resultam das diferenças observadas dos atributos físicos

estudados, possibilitando uma análise mais generalizada da qualidade dos ambientes, conforme afirmado por Freitas et al. (2014).

No G2 (Tabela 3), estão os atributos relacionados com a porosidade entre os ambientes, VTP, MACRO, MICRO e DS, que apresentam as menores distâncias.

Verifica-se que a interação dos atributos VTPp x MACROp e MICROp x DSp na área de pastagem apresentam menores distâncias euclidianas quando comparados com a área de vegetação em regeneração (m), mostrando o efeito da compactação do solo pelo tráfego de animais na área. A distância euclidiana para VTP (p e m) e MICRO (p e m) é de 46 e 49, respectivamente, com diferença significativa entre os ambientes, e a MACRO (p e m) com distância de 16 não apresentando diferença entre os ambientes. A DSm e DSp apresentam distância euclidiana de uma unidade, mostrando similaridade no comportamento desses atributos nas duas áreas, apesar de apresentarem diferença significativa pelo teste de t.

Esta análise mostra que nos dois ambientes os atributos que caracterizam a porosidade são similares, enquanto que as frações granulométricas são diferentes, mostrando o efeito provocado por

Tabela 2. Distância euclidiana para os atributos físicos no Grupo 1 para os dois ambientes

	ARGp	ARTp	SILTEp	ARGm	SILTEm	ARTm
ARGp	0	937	1577	<u>557</u>	1553	879
ARTp	-	0	1206	964	1120	<u>530</u>
SILTEp	-	-	0	1762	<u>418</u>	889
ARGm	-	-	-	0	1799	1113
SILTEm	-	-	-	-	0	857
ARTm	-	-	-	-	-	0

Tabela 3. Distância euclidiana para os atributos físicos no Grupo 2 para os dois ambientes

	VTPp	MACROp	MICROp	DSp	VTPm	MACROm	MICROm	DSm
VTPp	0	58	253	294	<u>46</u>	60	209	295
MACROp	-	0	197	239	99	<u>16</u>	154	240
MICROp	-	-	0	44	294	197	<u>49</u>	45
DSp	-	-	-	0	336	238	88	<u>1</u>
VTPm	-	-	-	-	0	99	250	337
MACROm	-	-	-	-	-	0	155	239
MICROm	-	-	-	-	-	-	0	89
DSm	-	-	-	-	-	-	-	0

Tabela 4. Resumo das componentes principais do G1

	Autovalor	Variância (%)	Var. acumulada (%)
CP1	2,0	28,6	28,6
CP2	1,8	26,0	54,6
CP3	1,5	21,0	75,6

CP1: componente principal um; CP2: componente principal dois e CP3: componente principal três

Tabela 5. Correlações entre os atributos originais do G1 e as componentes principais

	ARGp	ARTp	SILTEp	ARGm	ARTm	SILTEm
CP1	-0,700*	0,791*	-0,209	-0,556	0,373	0,334
CP2	-0,059	0,491	-0,581	0,718*	0,007	-0,820*
CP3	-0,630	0,179	0,525	0,413	-0,759*	0,134

* significativo

ocupações distintas em um mesmo solo, mesma inclinação e em uma mesma toposequência.

Considerando os dois grupos formados, fez-se análise de componente principal (ACP) com os atributos separados em seus respectivos grupos. A ACP realizada para os atributos originais nos Grupos 1 e 2 está apresentada nas Tabelas 4, 5, 6 e 7. Com os dados do G1 (frações granulométricas), contidos na Tabela 4, foi possível extrair três componentes principais. As componentes principais 1, 2 e 3 explicam, respectivamente, 28,6, 26,0 e 21,0% da variância total dos dados, sendo que juntas as três explicam 75,6%.

Na análise de correlação dos atributos com as componentes principais (Tabela 5), a CP1 apresenta correlação significativa e alta com ARGp e ARTp no ambiente pastagem. O valor negativo apresentado na correlação para a fração argila (ARGp) em relação à areia total ARTp), na CP1, e da ARGm com relação ao SILTEm, na CP2, mostra que em local onde se tem maior concentração de uma tem-se menor para a outra.

No ambiente de pastagem, a variabilidade das concentrações das frações granulométricas ARG e ART é responsável por maior participação na variância total dos dados, enquanto que no ambiente em vegetação natural as frações ARGm e SILTEm são responsáveis por maior variabilidade. Com relação à qualidade física, os valores baixos encontrados para a argila e alto para areia total mostram influência negativa no ambiente pastagem.

Observa-se que no ambiente com vegetação em regeneração natural (m) os atributos ARGm e

SILTEm apresentam alta correlação com a CP2 e a ARTm com a CP3, ou seja, as duas componentes explicam juntas 47,0% da variância dos dados. Conforme Silva et al. (2010), uma ou duas componentes são, geralmente, suficientes para explicar toda a variação contida nos atributos de um solo.

Com os dados do G2 (porosidade do solo) foram extraídas também, três componentes principais, que de forma acumulada, explicam 82,3% da variância total dos dados (Tabela 6). As demais contribuíram de forma irrisória (autovalor < 1) e, portanto, não foram consideradas na análise. A primeira componente principal (CP1) explica 45,7% da variabilidade total dos dados, apresentando correlação elevada com VTPp, DSp, VTPm e DSm (Tabela 7). Como os atributos VTP e DS apresentam correlação inversa, ou seja, onde o VTP é alto a DS é baixa, apresentam sinais contrários e valores iguais na correlação.

Os atributos VTP e DS explicam a quase totalidade da variação existente nos ambientes. Verifica-se que os coeficientes maiores das correlações foram encontrados no ambiente vegetação natural (m), onde se tem o maior VTP e menor DS, sendo estes atributos que refletem melhor a qualidade física do ambiente.

A CP2 apresenta alta correlação com a MACROm e MICROm, também mostrando correlação inversa, como indicado pelos sinais opostos. A CP3, apesar de autovalor maior que uma unidade, não apresenta correlação significativa (> |0,70|) com nenhum dos atributos físicos.

Tabela 6. Resumo das componentes principais do G2

	Autovalor	Variância (%)	Var. Acumulada (%)
CP1	3,65	45,7	45,7
CP2	1,64	20,5	66,2
CP3	1,29	16,1	82,3

Tabela 7. Correlações entre os atributos originais do G2 e as componentes principais

	VTPp	MACROp	MICROp	DSp	VTPm	MACROm	MICROm	DSm
CP1	-0,802*	-0,558	0,206	0,802*	-0,878*	-0,226	-0,649	0,878*
CP2	0,122	0,444	-0,481	-0,122	-0,144	0,785*	-0,721*	0,144
CP3	0,541	0,239	0,310	-0,541	-0,439	-0,385	-0,121	0,439

*significativo

CONCLUSÕES

- Os atributos físicos do solo se apresentam em agrupamentos distintos, um com as frações granulométricas e outro com a porosidade do solo;
- As frações granulométricas apresentam maiores distâncias euclidianas quando comparadas com os atributos que caracterizam a porosidade;
- A análise de agrupamento e de componentes principais permitiu interpretar o comportamento dos atributos físicos do solo nos diferentes ambientes estudados, sendo as frações granulométricas com maior contribuição na distinção dos ambientes.

AGRADECIMENTO

Ao CNPq pela bolsa de produtividade do primeiro autor e recursos para a publicação.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA R, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, n.2, p.337-345, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n2/20216.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2017.

BARETTA, D.; BARETTA, C.R.D.M.; CARDOSO, E.J.B.N. Análise multivariada de

atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2683-2691, 2008.

CAMPOS, M.C.C; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; SIQUEIRA, D.S.S.; PEREIRA, G.P. Discrimination of geomorphic surfaces with multivariate analysis of soil attributes in sandstone - basalt lithosequence. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n.3, p.429-438, 2012.

Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1257/702>. Acesso em: 27 jul. 2017.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 480p.

EMBRAPA - Brasileira de pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Rio de Janeiro. 2011. 212p.

FIGUEIREDO FILHO, D.B.; SILVA JÚNIOR, J.A. Visão além do alcance: Uma introdução à análise fatorial. **Opinião pública**, v.16, n.1, p.160-185. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/op/v16n1/a07v16n1.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, I.A.; AQUINO, R.E. Análises multivariadas

- de atributos físicos em Latossolo Vermelho submetidos a diferentes manejos. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, p.126-137. 2012. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20agrarias/analises%20multivariadas.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, I.A.; SOUZA JUNIOR, P.R.; CAMPOS, M.C.C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@ambiente**, v.8, n.2, p.155-164. 2014. Disponível em: <http://revista.ufr.br/agroambiente/article/viewFile/1684/1319>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- GLOAGUEN, T.V.; PEREIRA, F.A.C.; GONÇALVES, R.A.B.; PAZ, V.S. Sistema de extração sequencial da solução na macro e microporosidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p.544-550, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n5/v13n05a06.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2017.
- LIMA, J.S.S.; SATTLER, M.A.; PASSOS, R.P.; OLIVEIRA II, P.C.; SOUZA, G.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo vermelho-amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.2, p.185-195. 2009.
- LIMA, J.S.S.; SILVA, A.S.; SILVA, J.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.16-23. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v44n1/a03v44n1.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016.
- LOSS, A.; RIBEIRO, E.C.; PEREIRA, M.G.; ; COSTA, E.M. Atributos físicos e químicos do solo em sistemas de consórcio e sucessão de lavoura, pastagem e silvipastoril em Santa Teresa, ES. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p.1347-1357, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/22079/14978>>. Acesso em: 22 jul. 2017.
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5.ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 767p.
- KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis**. Baffins Lane: John Wiley & Sons. 1992. 363p.
- MELO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V.; SOUZA, L.S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.31, n.6. p.1599-1608. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/36.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2016.
- PIMENTEL-GOMES, F.P.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq. 2002. 309p.
- SANTI, A.L.; AMADO, T.J.C., CHERUBIN, M.R.; MARTIN, T.N.; PIRES, J.L.; DELLA FLORA, L.P.; BASSO, C.J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1346-1357. 2012. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/11238/7998>>. Acesso em: 20 mar. 2017.
- SILVA, A.S.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.1, p.15-22. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n1/a02v34n1.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- SOUZA, G.S.; LIMA, J.S.S.; SILVA, S.A.; OLIVEIRA, R.B. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.4, p.589-596, 2008.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M.C.C.

2006. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, v.34, n.2, p.249-256. 2006. Disponível em: <<http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/126/91>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.25, n.2, p.395-401, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n2/15.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2017.

VIANA, E.T.; BATISTA, M.A.; TORMENA, C.A.

Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2105-2114. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n6/a25v35n6.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v.28, p.256-265. 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13277/8371>>. Acesso em: 20 dez. 2016.