

Comissão 3.3 - Manejo e conservação do solo e da água

QUALIDADE FÍSICA DE SOLOS EM USO AGRÍCOLA NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO ESTADO DA BAHIA

Sálvio Napoleão Soares Arcoverde⁽¹⁾, Alessandra Monteiro Salviano⁽²⁾, Nelci Olszewski^{(3)*},
Stefeson Bezerra de Melo⁽⁴⁾, Tony Jarbas Ferreira Cunha⁽²⁾, Vanderlise Giongo⁽²⁾ e
Janielle de Souza Pereira⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Universidade Federal do Vale do São Francisco, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Juazeiro, Bahia, Brasil.

⁽²⁾ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco, Brasil.

⁽³⁾ Universidade Federal do Vale do São Francisco, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Juazeiro, Bahia, Brasil.

⁽⁴⁾ Universidade Federal Rural do Semiárido, *Campus* Angicos, Angicos, Rio Grande do Norte, Brasil.

⁽⁵⁾ Universidade Federal do Vale do São Francisco, Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Juazeiro, Bahia, Brasil.

* Autor correspondente.

E-mail: nelci.olszewski@univasf.edu.br

RESUMO

A conversão de uma condição natural para uma de uso agrícola pode impor mudanças em atributos, propriedades e processos do solo e trazer consequências ambientais para a região de sua abrangência. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade física do solo em áreas agrícolas de municípios do entorno do lago de Sobradinho, região semiárida do Estado da Bahia, tendo como ferramenta técnicas estatísticas de análise multivariada. Inicialmente, aplicaram-se as análises estatísticas descritiva e de correlação e o teste de normalidade, que serviram como pressupostos para realizar análise fatorial e estimativa dos escores fatoriais. Com base nesses, determinou-se o índice de qualidade física de solo para as profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m, respectivamente, cujo principal objetivo foi classificar os solos como bom, regular e ruim, de acordo com o desempenho dos seus atributos físicos. Em seguida, realizou-se a análise discriminante para validação dos índices construídos a partir dos resultados da análise fatorial, bem como conhecer os atributos físicos do solo que influenciam e estão associados à qualidade desse na área agrícola da região. A densidade do solo (D_s), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) foram os atributos que se destacaram como indicadores de qualidade, pois apresentaram maior peso relativo nos modelos de discriminação dos sítios amostrados: D_s , Ma e Mi , nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m; e Mi

Recebido para publicação em 16 de maio de 2014 e aprovado em 11 de junho de 2015.

DOI: 10.1590/01000683rbc20140282

e Ds, de 0,20-0,40 m, sugerindo que nas condições estudadas essas variáveis são as principais responsáveis pela qualidade física dos solos. No geral, a qualidade física do solo não foi considerada ideal, fato que pode ser atribuído às práticas de manejo adotadas e, sobretudo, aos baixos teores de matéria orgânica e à textura extremamente arenosa, conferindo fragilidade aos solos da região.

Palavras-chave: análise fatorial, indicador de qualidade, atributos físicos, solos arenosos.

ABSTRACT: *PHYSICAL QUALITY OF SOILS IN AGRICULTURAL USE IN THE SEMIARID REGION OF THE STATE OF BAHIA*

Conversion of a natural condition to agricultural use can impose changes in soil properties and processes and bring environmental consequences to the region this agricultural use encompasses. The aim of this study was to evaluate the physical quality of the soil in agricultural areas of municipalities around Sobradinho Lake, a semiarid region in the State of Bahia, using multivariate analysis statistical techniques as a tool. Initially, descriptive statistical analysis and correlation analysis techniques and the normality test were applied, which served as prerequisites for performing factor analysis and estimation of factor scores. Based on that, we determined the soil physical quality index for soil depths of 0.00-0.10, 0.10-0.20, and 0.20-0.40 m, the main objective being to classify soils as good, fair, and poor, according to the performance of their physical properties. Discriminant analysis was then carried out with the objective of validating the results obtained from the indices constructed with the results of factor analysis, as well as determining the physical soil properties that influence and are associated with soil quality in the agricultural areas of the region. Soil bulk density (Ds), macroporosity (Ma), and microporosity (Mi) were the properties that stood out as quality indicators, because they showed greater relative weight in the discrimination models of the sites sampled: Ds, Ma, and Mi in the 0.00-0.10 and 0.10-0.20 m layers, and Mi and Ds in the 0.20-0.40 m layer, suggesting that under the conditions studied, these variables are primarily responsible for the physical quality of the soil. Overall, the physical quality of the soil is not considered ideal, which may be attributed to the management practices adopted and, especially, to low levels of organic matter and the extremely sandy texture of the soil, rendering fragility to soils of the region.

Keywords: factor analysis, quality indicator, physical properties, sandy soils.

INTRODUÇÃO

A implantação de sistemas agrícolas em áreas ocupadas por vegetação nativa ou em processo de regeneração pode acarretar alterações em propriedades e processos de ordem física, química e biológica no solo. Essa mudança de um ambiente natural para algum tipo de exploração ocorre inicialmente pela retirada da vegetação e exposição do solo e, num segundo momento, de acordo com Corrêa et al. (2010), pela aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, pelo tráfego de máquinas e pela alteração do regime hídrico nas bacias hidrográficas.

A remoção da cobertura vegetal ocasiona redução nos processos de ciclagem de nutrientes e aceleração da decomposição da matéria orgânica, podendo modificar características físicas como densidade, estrutura e porosidade (Carneiro et al., 2009; Portugal et al., 2010) e distribuição de agregados (Portugal et al., 2010), comprometendo o suprimento de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a penetração

de raízes, entre outros (Reichert et al., 2014; Reichert et al., 2015a,b). Além disso, a qualidade física do solo também é influenciada diretamente pela intensidade do uso, conforme relatado por Corrêa et al. (2009) em solos de textura arenosa sob diferentes usos agrícolas no semiárido nordestino. Estes pesquisadores constataram redução da qualidade de solos com a intensificação do uso e atribuíram o fato ao baixo aporte de resíduos vegetais e à intensa mobilização mecânica.

A qualidade física do solo está relacionada com a sustentabilidade de sistemas agropecuários e sua avaliação deve ser realizada pelos indicadores que refletem seu comportamento (Pereira et al., 2011). Esses indicadores físicos exercem função de sustentação do solo e a sua avaliação encontra-se em processo de expansão (Reynolds et al., 2002), uma vez que é observada relação entre a melhoria da qualidade física e conseqüentemente melhoria na qualidade química e biológica do solo (Dexter, 2004; Araújo et al., 2007). Dessa forma, os principais indicadores físicos apontados por Araújo et al. (2012) são a textura, densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração,

estabilidade de agregados, capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica.

O estudo da qualidade do solo por meio de indicadores pode ser realizado utilizando-se técnicas estatísticas de análise multivariada, que têm ampla importância em estudos de análise exploratória de dados, sendo empregadas no agrupamento de amostras de acordo com sua similaridade, bem como na seleção de variáveis de maior importância na discriminação de grupos pré-selecionados (Benites et al., 2010). O uso da análise multivariada permite avaliar um conjunto de atributos e evidenciar resultados independentes na forma de índices de qualidade, sendo, portanto, instrumento para a tomada de decisão (Marchesan et al., 2011). Assim, a hipótese de trabalho é que o uso da análise multivariada dos dados permite avaliar a qualidade dos solos por meio de índices, destacando os atributos que se sobressaem para uso em planos de monitoramento de qualidade do solo.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a qualidade física do solo em áreas agrícolas de municípios do entorno do lago de Sobradinho, região semiárida do Estado da Bahia, tendo como ferramenta técnicas estatísticas de análise multivariada.

MATERIAL E MÉTODOS

Local

O estudo foi realizado nos municípios de Sobradinho, Casa Nova, Remanso e Sento Sé, localizados no entorno do lago de Sobradinho no Estado da Bahia. Pela classificação de Köppen, o clima é do tipo BSw^h (clima quente e semiárido), com chuvas anuais variando de 500 a 900 mm. A vegetação predominante é a do tipo caatinga hiperxerófila. A área em estudo caracteriza-se pela intensa atividade agropecuária com destaque para a agricultura irrigada com o cultivo de oleráceas, principalmente a cebola, e fruticultura irrigada, com evidência para produção de banana, uva e manga. Na pecuária, destacam-se a criação de caprinos, ovinos, gados de corte e de leite.

Seleção de propriedades agrícolas

Selecionaram-se 24 propriedades rurais em razão da intensidade e do tempo de uso com atividades agrícolas e da proximidade do lago de Sobradinho. Após a seleção das áreas, foram feitas observações dos solos, do relevo e da vegetação (Quadro 1). Em cada área, foi aberta uma trincheira para a descrição morfológica e a coleta de amostras de solos para fins analíticos, seguindo as recomendações do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2005). A nomenclatura dos horizontes diagnósticos e

a classificação taxonômica dos solos foram realizadas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SIBCS (Embrapa, 2006) e na Proposta de Atualização da segunda edição desse Sistema (Embrapa, 2012).

O preparo do solo foi mecanizado por meio de aração e de gradagem com profundidade média de trabalho em torno de 25 cm no processo de implantação da cultura e irrigação durante todo o ciclo.

Coleta de amostras de solo

Amostras com estrutura alterada e com estrutura preservada de solos foram coletadas nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m. Para coleta das amostras com estrutura alterada, dividiu-se a área agrícola de cada propriedade em três subáreas de amostragem, sendo coletadas 10 amostras simples para constituir uma amostra composta, perfazendo três amostras compostas por profundidade e por subárea. Para coleta das com estrutura alterada, foram abertas trincheiras no meio de cada subárea.

Indicadores físicos de solo

Realizaram-se as análises granulométrica e argila dispersa em água (ADA), pelo método da pipeta; e a de densidade do solo (Ds), pelo método da proveta (Embrapa, 2011). O grau de floculação (GF) foi calculado conforme Embrapa (2011). A porosidade total (Pt), a macroporosidade (Ma) e a microporosidade (Mi) foram estimadas por modelo matemático (Stolf et al., 2011), utilizando-se os dados de Ds e do teor de areia. A determinação da porcentagem de agregados estáveis em água, por classes de diâmetro médio, foi feita submetendo-se as amostras de solo ao peneiramento úmido (Kiehl, 1979), com posterior cálculo dos diâmetros médio ponderado (DMP) e médio geométrico (DMG), segundo Castro Filho et al. (1998).

Análise estatística

Após verificar a normalidade e linearidade dos dados, identificação de *outliers* e observação de valores significativos na matriz de correlação, os dados foram submetidos a análises por técnicas de estatística multivariada, utilizando-se as análises fatorial (AF) e discriminante (AD). A AF foi realizada usando-se a análise de componentes principais (ACP) como método de extração. Os eixos foram rotacionados pelo método Varimax, e estabeleceu-se para este estudo o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas.

O Índice de Qualidade Física do Solo (IQFS) foi calculado de acordo com Pamplona (2011). Para interpretar os resultados, foram estabelecidos intervalos de valores do IQFS, agrupando os solos conforme seu grau de qualidade: os valores do IQS

Quadro 1. Propriedades rurais selecionadas por município com suas respectivas classes de solo e uso agrícola atual

Município	Coordenada (SAD69)		Classe de solo	Espécie cultivada
Sobradinho	293995	8953545	Cambissolo Háplico Ta Distrófico léptico - CXvd	cebola, manga, melão
	296224	8949582	Argissolo Amarelo Distrófico plíntico - PAd	banana
	292616	8955249	Luvissolo Crômico Órtico vértico - TCo	melancia
	296899	8948683	Argissolo Amarelo Distrófico plíntico - PAd	melancia
Casa Nova	278322	8972503	Argissolo Amarelo Distrófico abruptico plíntico - PAd	cebola
	263506	8971132	Latossolo Amarelo Distrófico psamítico - LAd	cebola
	262929	8968752	Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico - RQo	Cebola, melancia
	208653	8935453	Planossolo Háplico Distrófico espessarênico - SXd	tomate
	211311	8936607	Argissolo Amarelo Eutrófico típico - PAe	feijão, mandioca, milho
	194314	8935964	Neossolo Quartzarênico Órtico típico - RQo	banana, mandioca,
	277831	8977046	Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico - CXve	cebola
	273599	8989071	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico abruptico - PVAe	cebola
	Remanso	806065	8927574	Latossolo Amarelo Distrófico psamítico - LAd
816948		8934491	Neossolo Quartzarênico Órtico plíntico - RQo	mandioca
177892		8934441	Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico - LVAe	mandioca
170918		8935889	Neossolo Quartzarênico Órtico plíntico - RQo	banana e milho
Sento Sé		275767	8950807	Planossolo Háplico Eutrófico arênico - SXe
	271385	8952901	Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico - CXve	melancia
	193794	8908841	Argissolo Amarelo Distrófico típico - PAd	melancia
	279181	8950807	Planossolo Háplico Eutrófico típico - SXe	cebola
	195934	8911940	Argissolo Amarelo Distrófico plíntico - PAd	cebola
	234119	8917500	Neossolo Quartzarênico Órtico léptico - RQo	cebola
	196739	8912445	Argissolo Amarelo Distrófico típico - PAd	cebola e melão
	176187	8919238	Argissolo Amarelo Eutrófico plíntico - PAe	melancia e feijão

igual ou superior a 0,60 foram considerados bons; os situados entre 0,35 e 0,59, regulares; os inferiores a 0,35, ruins. Esses intervalos foram ajustados a partir de Santana (2007).

Utilizou-se a AD com o objetivo de validar os resultados obtidos na construção dos IQFS e na divisão prévia dos solos em grupos (bom, regular e ruim). Foi verificada a consistência dos grupos e quais as variáveis que mais contribuíram para sua formação. Após definir as variáveis discriminantes, determinaram-se as funções discriminantes (combinações lineares das variáveis), importantes na análise das contribuições desses atributos e que representam as diferenças entre os grupos. Para isso, utilizou-se o método *Stepwise*, e a seleção das variáveis foi realizada pelo método de Lambda de Wilks, que testa a existência de diferenças de médias entre os grupos para cada variável. O aumento no seu valor, que varia de 0 a 1, indica ausência de diferença entre os grupos. As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do *software Statistica 5.0* (Statsoft, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se a existência de valores significativos na matriz de correlação (Quadro 2), que, de acordo com Pestana e Gageiro (2005), Hair Jr. et al. (2005) e Ho (2006), são suposições para realizar a AF.

Houve correlação forte e positiva entre os índices DMP e DMG ($r = 0,96$, $r = 0,91$ e $r = 0,89$, respectivamente para as camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m) e negativa entre ADA e GF ($r = -0,73$; $r = -0,76$; e $r = -0,82$, respectivamente para as camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m) (Quadro 2). Em relação à Pt, observou-se correlação forte e negativa com a Ds ($r = -0,98$ para todas as camadas). Foi observada correlação forte e negativa entre Mi e Areia, que pode ser por causa do predomínio das frações areia média e grossa nos solos avaliados.

As primeiras colunas da matriz das cargas fatoriais rotacionadas dos atributos físicos referem-se às cargas fatoriais para cada atributo em cada fator (Quadro 3). A última coluna fornece o valor das comunalidades, indicando o quanto da variância

Quadro 2. Valores de correlação entre atributos físicos do solo nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m

Parâmetro	DMG	DMP	Ds	Ma	Mi	Pt	Argila	Silte	Areia	ADA	GF
0,00-0,10 m											
DMG	1,00										
DMP	0,96*	1,00									
Ds	-0,13	-0,08	1,00								
Ma	0,40*	0,37*	-0,85*	1,00							
Mi	-0,53*	-0,55*	-0,11	-0,44*	1,00						
Pt	0,01	-0,05	-0,98*	0,71*	0,32*	1,00					
Argila	-0,39*	-0,42*	-0,47*	0,01	0,78*	0,62*	1,00				
Silte	-0,18	-0,20	-0,12	-0,16	0,50*	0,22	0,01	1,00			
Areia	0,43*	0,47*	0,44*	0,10	-0,94*	-0,63*	-0,87*	-0,49*	1,00		
ADA	-0,17	-0,18	-0,05	-0,05	0,16	0,08	0,20	-0,06	-0,16	1,00	
GF	-0,12	-0,10	-0,05	-0,11	0,28*	0,11	0,31*	0,03	-0,27*	-0,73*	1,00
0,10-0,20 m											
DMG	1,00										
DMP	0,91*	1,00									
Ds	0,14	0,10	1,00								
Ma	0,12	0,17	-0,86*	1,00							
Mi	-0,48*	-0,50*	-0,18	-0,35*	1,00						
Pt	-0,22	-0,19	-0,98*	0,74*	0,37*	1,00					
Argila	-0,38*	-0,38*	-0,52*	0,08	0,80*	0,65*	1,00				
Silte	-0,33*	-0,34*	-0,20	-0,13	0,60*	0,31*	0,16	1,00			
Areia	0,46*	0,47*	0,52*	0,00	-0,93*	-0,68*	-0,89*	-0,60*	1,00		
ADA	-0,16	-0,26*	0,04	-0,14	0,21	0,01	0,06	0,27*	-0,17	1,00	
GF	-0,06	0,03	-0,16	0,03	0,23	0,20	0,39*	-0,13	-0,26*	-0,76*	1,00
0,20-0,40 m											
DMG	1,00										
DMP	0,89*	1,00									
Ds	-0,07	-0,12	1,00								
Ma	0,23	0,31*	-0,88*	1,00							
Mi	-0,35*	-0,43*	0,03	-0,50*	1,00						
Pt	0,00	0,02	-0,98*	0,76*	0,18	1,00					
Argila	-0,15	-0,20	-0,38*	-0,05	0,79*	0,54	1,00				
Silte	-0,39*	-0,43*	-0,15	-0,19	0,67*	0,28	0,26*	1,00			
Areia	0,30*	0,36*	0,36*	0,13	-0,92*	-0,55	-0,89*	-0,68*	1,00		
ADA	-0,09	-0,14	0,04	-0,09	0,12	-0,02	0,13	-0,01	-0,09	1,00	
GF	0,01	0,01	-0,13	-0,03	0,30*	0,19	0,33*	0,17	-0,33*	-0,82*	1,00

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; Pt: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; e GF: grau de flocculação. *: significativo a 5 %.

de cada atributo é explicado pelos fatores juntos. Verificou-se que, em todas as camadas, todos os atributos possuem forte relação com os fatores retidos, pois têm elevadas comunalidades. Os autovalores indicaram a importância relativa de cada fator na explicação da variância associada ao conjunto de atributos analisados, extraindo os fatores na ordem de sua importância. Cargas fatoriais significativas e com sinais opostos evidenciaram variação conjunta, porém em direção oposta.

O fator 1, denominado porosidade do solo, que explica a maior parcela de variância total dos dados, foi composto pelos atributos Ds e teor de areia, variando juntas e em direção oposta à Ma, à Pt e ao teor de argila, para as camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m, com 38,93; 41,60; e 38,61 % da variância total dos dados (Quadro 3). O fator 2, denominado agregado, foi composto de maneira diferenciada entre as camadas. De 0,00-0,10 e de 0,20-0,40 m, DMG e

Quadro 3. Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax para os dados de atributos físicos do solo nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m

Atributo	Fator				Com ⁽¹⁾	Fator				Com ⁽¹⁾	Fator			
	1	2	3	Com ⁽¹⁾		1	2	3	Com ⁽¹⁾		1	2	3	Com ⁽¹⁾
	Pt	Agreg	Floc			Pt	Agreg	Floc			Pt	Agreg	Floc	
	0,00-0,10 m					0,10-0,20 m					0,20-0,40 m			
DMG	0,11	0,91	0,04	0,85	-0,01	-0,89	-0,10	0,81	0,20	0,82	-0,01	0,70		
DMP	-0,16	0,90	0,01	0,83	-0,15	-0,86	0,10	0,78	-0,08	0,85	0,11	0,74		
Ds	-0,96	-0,25	0,01	0,98	-0,99	0,10	-0,04	0,99	-0,92	-0,33	-0,05	0,96		
Ma	0,70	0,63	0,07	0,90	0,80	-0,48	0,01	0,88	0,67	0,64	-0,06	0,86		
Mi	0,19	-0,85	-0,14	0,77	0,08	0,87	0,14	0,78	0,13	-0,82	0,27	0,76		
Pt	0,92	0,05	-0,04	0,85	0,91	0,13	0,11	0,86	0,89	0,17	0,12	0,84		
Argila	0,86	-0,34	-0,15	0,88	0,85	0,35	0,20	0,88	0,85	-0,24	0,18	0,81		
Silte	0,66	-0,30	0,01	0,53	0,58	0,52	-0,21	0,65	0,61	-0,47	0,18	0,63		
Areia	-0,89	0,38	0,10	0,95	-0,85	-0,45	-0,08	0,93	-0,87	0,36	-0,21	0,93		
ADA	0,30	-0,25	0,84	0,87	0,25	0,27	-0,84	0,85	0,23	-0,19	-0,86	0,83		
GF	0,17	-0,15	-0,96	0,98	0,19	0,13	0,96	0,97	0,26	-0,13	0,94	0,97		
Autovalor	4,67	3,22	2,46	10,35	4,99	2,78	2,57	10,33	4,63	3,21	2,18	10,02		
% Variância	38,93	26,86	20,49	86,28	41,60	23,14	21,38	86,12	38,61	26,78	18,15	83,54		

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; Pt: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; Agreg: agregados; Floc: floculação. ⁽¹⁾ Com: Comunalidade.

DMP variaram juntos e em direção oposta à Mi, enquanto de 0,10-0,20 m somente a Mi compôs esse fator. O fator 3, denominado grau de floculação, foi composto pelos atributos AD e GF, variando em direção oposta, para as camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m, com 20,49, 21,38 e 18,15 % da variância total dos dados.

Os escores fatoriais estimados na AF foram padronizados para determinar os IQFS. A partir desses, classificaram-se os solos de acordo com o desempenho dos seus atributos físicos, importantes para a sustentabilidade dos sistemas de produção, em razão dos intervalos definidos.

Na camada de 0,00-0,10 m, sete solos foram classificados com IQFS Regular ($0,60 > \text{IQFS} > 0,35$), representados por Argissolo, Neossolo, Latossolo e Planossolo; e 17, como Ruim ($\text{IQFS} \leq 0,35$), constituídos por Luvisolo, Latossolo, Neossolo, Argissolo, Cambissolo e Planossolo. Na camada de 0,10-0,20 m, dois solos foram classificados com IQFS Bom, representados pelas classes Cambissolo e Planossolo; 12, com IQFS Regular, representados por Planossolo, Argissolo, Cambissolo, Luvisolo, Neossolo e Latossolo; e 10, com IQFS Ruim, representados por Latossolo, Luvisolo, Argissolo, Planossolo e Neossolo. Na camada de 0,20-0,40 m, 16 solos foram classificados com IQFS Regular, representados pelas classes Argissolo, Luvisolo, Cambissolo, Latossolo, Neossolo e Planossolo; e oito com IQFS Ruim, representados por Argissolo, Neossolo, Cambissolo e Planossolo.

A maioria dos solos nas três profundidades foi classificada como sendo de qualidade Ruim ou Regular (Quadro 4), fato que pode ser atribuído, principalmente, à predominância de solos de textura superficial arenosa, implicando, dessa forma, em baixa estabilidade de agregados, porosidade total predominantemente por macroporos e baixa capacidade de retenção de água, o que os tornam mais suscetíveis à degradação física, reduzindo, assim, a sua qualidade.

Apenas as variáveis que foram significativas nos fatores 1 e 2 da matriz de cargas fatoriais (DMP, DMG, Ds, Ma, Mi, Pt, Argila e Areia) encontram-se no quadro 5, pois esses são responsáveis pelo maior peso na classificação das variáveis.

Os dados obtidos com a realização da técnica da AD, que validaram os resultados encontrados na construção dos índices, e que permitiram os atributos físicos do solo que influenciam e estão associados à qualidade desses, estão apresentados no quadro 6. Na camada de 0,00-0,10 m os atributos Mi, Ma e Ds foram os que mais contribuíram para discriminar os grupos, com destaque para Mi (maior valor de F) (Quadro 6). Já na de 0,10-0,20 m, destacaram-se como atributos discriminantes o DMG e DMP; e na de 0,20-0,40 m, destacou-se a ADA (Quadro 6). Apesar da não significância para os atributos DMP, Argila e ADA, esses foram mantidos no modelo para melhorar sua capacidade discriminante.

Na camada de 0,10-0,20 m, os índices DMG e DMP apresentaram-se mais sensíveis, provavelmente

Quadro 4. Valores médios dos atributos físicos dos solos avaliados nas 24 propriedades rurais

Classe de solo	Prof.	DMG	DMP	Ds	Ma	Mi	Pt	Argila	Silte	Areia	ADA	GF
	m	mm		Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³			kg kg ⁻¹			%	
Sobradinho												
CXvd	0,00-0,10 ²⁽¹⁾	1,41	2,69	1,52	2,31	0,17	0,27	0,34	74,38	75,70	849,91	5,37
	0,10-0,20 ²	1,42	2,69	1,54	2,38	0,15	0,29	0,35	167,94	32,55	799,51	6,94
	0,20-0,40 ²	1,09	2,02	1,54	2,33	0,13	0,31	0,34	238,85	33,95	727,20	13,49
PAd	0,00-0,10 ²	1,45	2,77	1,50	2,27	0,19	0,25	0,34	97,37	8,56	894,06	3,87
	0,10-0,20 ²	1,43	2,66	1,49	2,29	0,19	0,25	0,35	94,31	10,83	894,86	4,39
	0,20-0,40 ²	0,82	1,36	1,47	2,29	0,19	0,27	0,36	106,50	68,65	824,85	7,37
TCo	0,00-0,10 ³	1,34	2,23	1,53	2,31	0,15	0,29	0,34	142,04	67,53	790,44	8,78
	0,10-0,20 ²	1,35	2,51	1,50	2,37	0,17	0,28	0,37	169,45	21,70	808,85	9,57
	0,20-0,40 ²	1,35	2,35	1,50	2,41	0,16	0,28	0,38	174,39	20,62	804,99	10,71
PAd	0,00-0,10 ²	0,82	1,37	1,43	2,28	0,18	0,31	0,37	220,80	90,01	689,19	23,55
	0,10-0,20 ²	0,72	1,04	1,41	2,23	0,18	0,30	0,37	192,17	116,18	691,66	24,55
	0,20-0,40 ²	0,78	1,23	1,35	2,33	0,21	0,30	0,42	237,15	92,89	669,97	26,16
Casa Nova												
Pad	0,00-0,10 ²	1,20	2,25	1,53	2,48	0,18	0,25	0,38	61,33	20,27	918,40	4,23
	0,10-0,20 ²	1,59	2,58	1,52	2,50	0,17	0,26	0,39	81,97	26,30	891,73	3,91
	0,20-0,40 ²	0,77	1,20	1,53	2,52	0,17	0,26	0,39	70,73	40,90	888,37	5,10
LAd	0,00-0,10 ³	0,50	0,37	1,39	2,52	0,17	0,33	0,45	351,33	56,73	591,93	5,60
	0,10-0,20 ³	0,49	0,43	1,35	2,38	0,19	0,32	0,43	341,53	61,13	597,33	6,80
	0,20-0,40 ²	0,50	0,42	1,38	2,44	0,18	0,33	0,44	342,57	72,87	584,57	9,12
RQo	0,00-0,10 ³	0,60	0,72	1,53	2,38	0,15	0,29	0,36	134,43	99,63	765,93	24,28
	0,10-0,20 ²	0,70	0,97	1,56	2,42	0,12	0,31	0,35	142,57	113,93	743,50	18,14
	0,20-0,40 ³	0,73	1,04	1,56	2,44	0,12	0,32	0,36	202,10	91,10	706,80	21,79
SXd	0,00-0,10 ²	0,96	1,35	1,47	2,46	0,19	0,26	0,40	91,30	56,83	851,87	6,41
	0,10-0,20 ³	0,71	1,05	1,49	2,42	0,18	0,27	0,39	137,93	34,93	827,13	8,73
	0,20-0,40 ³	0,96	1,73	1,52	2,42	0,15	0,29	0,37	176,83	36,92	786,24	12,22
PAe	0,00-0,10 ³	1,02	1,59	1,51	2,55	0,17	0,26	0,41	100,87	22,73	876,40	9,61
	0,10-0,20 ³	1,06	1,86	1,50	2,50	0,18	0,26	0,40	101,80	28,97	869,23	7,84
	0,20-0,40 ²	0,86	1,30	1,48	2,52	0,19	0,26	0,41	89,27	35,10	875,63	5,12
RQo	0,00-0,10 ³	1,30	2,15	1,53	2,50	0,17	0,26	0,39	79,23	22,53	898,23	23,35
	0,10-0,20 ²	1,37	1,83	1,51	2,46	0,18	0,25	0,39	83,30	15,70	901,00	27,07
	0,20-0,40 ²	0,80	1,12	1,54	2,49	0,17	0,26	0,38	95,23	12,47	892,30	29,08
CXve	0,00-0,10 ³	0,71	1,48	1,53	2,51	0,16	0,27	0,39	130,63	15,27	854,10	14,42
	0,10-0,20 ¹	1,03	1,36	1,52	2,53	0,17	0,27	0,40	87,97	63,87	848,17	15,28
	0,20-0,40 ²	1,28	1,94	1,50	2,53	0,17	0,28	0,41	168,43	18,23	813,33	24,25
PV Ae	0,00-0,10 ³	0,58	0,57	1,60	2,48	0,15	0,26	0,36	63,20	9,47	927,33	6,27
	0,10-0,20 ²	0,80	0,72	1,61	2,48	0,14	0,26	0,35	65,93	16,17	917,90	6,93
	0,20-0,40 ³	0,87	0,91	1,62	2,52	0,13	0,27	0,36	80,50	15,30	904,20	24,89
Remanso												
LAd	0,00-0,10 ³	0,94	1,54	1,48	2,47	0,16	0,29	0,40	149,77	90,47	759,76	6,68
	0,10-0,20 ²	0,71	1,07	1,45	2,45	0,19	0,27	0,41	131,82	38,26	829,92	7,92
	0,20-0,40 ²	0,89	1,54	1,49	2,49	0,17	0,28	0,40	172,41	14,63	812,96	9,09
RQo	0,00-0,10 ²	1,38	2,55	1,45	2,50	0,21	0,24	0,42	57,01	26,18	916,81	16,29
	0,10-0,20 ³	1,51	2,29	1,50	2,48	0,19	0,24	0,40	54,47	16,05	929,48	15,45
	0,20-0,40 ²	1,05	2,09	1,49	2,53	0,20	0,24	0,41	58,36	18,32	923,32	15,97
LV Ae	0,00-0,10 ²	1,06	1,85	1,40	2,48	0,21	0,26	0,43	156,94	19,49	823,57	9,23
	0,10-0,20 ²	0,71	1,10	1,51	2,55	0,16	0,28	0,41	163,21	22,97	813,82	11,71
	0,20-0,40 ²	0,69	0,97	1,56	2,46	0,14	0,29	0,37	177,83	25,62	796,55	12,09
RQo	0,00-0,10 ³	1,02	2,08	1,51	2,40	0,18	0,26	0,37	103,09	15,46	881,45	4,71
	0,10-0,20 ²	1,19	2,04	1,49	2,48	0,18	0,27	0,40	130,56	16,89	852,55	7,69
	0,20-0,40 ²	1,01	1,90	1,47	2,49	0,18	0,27	0,41	143,35	26,40	830,25	8,77
Sento Sé												
SXe	0,00-0,10 ³	0,71	0,98	1,54	2,48	0,14	0,30	0,38	219,36	23,69	756,96	20,81
	0,10-0,20 ²	0,64	0,76	1,52	2,50	0,15	0,30	0,39	189,50	54,70	755,80	22,31
	0,20-0,40 ²	0,68	0,91	1,61	2,50	0,10	0,31	0,35	194,19	66,07	739,74	21,66

Continua

Continuação

CXve	0,00-0,10 ³	0,82	1,31	1,59	2,53	0,14	0,28	0,37	114,82	32,21	852,96	4,90
	0,10-0,20 ²	1,01	1,62	1,58	2,45	0,14	0,28	0,36	107,40	43,02	849,57	5,82
	0,20-0,40 ²	0,84	1,37	1,71	2,43	0,07	0,30	0,30	92,96	78,48	828,56	7,74
PAd	0,00-0,10 ³	1,01	1,73	1,57	2,54	0,15	0,27	0,38	110,95	22,07	866,98	16,73
	0,10-0,20 ²	1,42	1,79	1,62	2,54	0,12	0,27	0,36	110,38	16,37	873,26	16,26
	0,20-0,40 ³	0,97	1,11	1,60	2,42	0,13	0,28	0,34	138,67	11,96	849,37	17,43
SXe	0,00-0,10 ²	0,48	0,65	1,57	2,48	0,13	0,29	0,37	90,08	111,14	798,78	13,46
	0,10-0,20 ¹	0,65	0,88	1,57	2,46	0,14	0,29	0,36	76,38	119,12	804,51	13,66
	0,20-0,40 ²	0,50	0,47	1,55	2,47	0,13	0,31	0,37	127,71	138,14	734,15	17,23
PAd	0,00-0,10 ³	0,65	0,94	1,52	2,46	0,16	0,28	0,38	116,43	70,66	812,91	11,08
	0,10-0,20 ³	0,58	0,67	1,50	2,42	0,17	0,27	0,38	128,27	38,37	833,36	14,17
	0,20-0,40 ²	0,63	0,85	1,63	2,43	0,10	0,30	0,33	164,16	52,53	783,31	17,19
RQo	0,00-0,10 ³	0,66	0,74	1,40	2,42	0,19	0,30	0,42	206,35	101,97	691,68	9,24
	0,10-0,20 ²	0,57	0,60	1,43	2,43	0,17	0,31	0,41	231,70	83,42	684,88	9,11
	0,20-0,40 ³	0,76	0,79	1,44	2,39	0,16	0,33	0,40	240,86	134,23	624,91	14,83
PAd	0,00-0,10 ³	0,81	1,36	1,65	2,52	0,10	0,29	0,34	106,18	51,90	841,93	1,24
	0,10-0,20 ²	0,89	1,52	1,58	2,47	0,15	0,27	0,36	70,25	42,51	887,25	1,22
	0,20-0,40 ³	0,64	0,85	1,58	2,50	0,13	0,29	0,37	123,00	87,67	789,33	0,65
PAe	0,00-0,10 ³	0,56	0,64	1,58	2,42	0,12	0,30	0,35	165,60	23,14	781,80	21,79
	0,10-0,20 ²	0,57	0,73	1,61	2,55	0,11	0,31	0,37	187,90	51,57	760,53	19,68
	0,20-0,40 ³	0,52	0,45	1,59	2,45	0,12	0,30	0,35	203,90	32,27	763,83	23,03

Prof.: profundidade; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; Pt: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; e GF: grau de floculação. ⁽¹⁾ Índice de Qualidade Física do Solo: 1 = Bom; 2 = Regular; e 3 = Ruim.

Quadro 5. Características físicas dos solos incluídas nos grupos de qualidade Bom, Regular e Ruim, a partir dos IQFS

Característica	Grupo de qualidade		
	Bom	Regular	Ruim
DMP (mm)	1,45-1,60	1,45-1,00	<1,00
DMG (mm)	1,45-1,60	1,45-1,00	<1,00
Ds (Mg m ⁻³)	1,20-1,40	1,40-1,55	>1,55
Ma (m ⁻³ m ⁻³)	0,20-0,25	0,17-0,20	<0,17
Mi (m ⁻³ m ⁻³)	0,20-0,25	0,17-0,20	<0,17
Pt (m ⁻³ m ⁻³)	0,40-0,50	0,35-0,40	<0,35
Argila (kg kg ⁻¹)	0,35-0,45	0,35-0,20	<0,20
Areia (kg kg ⁻¹)	0,40-0,60	0,60-0,80	>0,80

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; Pt: porosidade total. Valores de referência conforme Kiehl (1979), Prevedello (1996) e Reichert et al. (2003).

em razão do manejo e da mobilização do solo, que alteram a estrutura nessa profundidade, e da alta variabilidade de classes de solos estudada na região com comportamentos diferentes quanto à distribuição de tamanho de agregados. Queiroz (2013) observou comportamento distinto na distribuição de agregados maiores do que 2,00 mm entre as classes Neossolo Quartzarênico, Argissolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Háplico, em solos nessa mesma região.

Quadro 6. Atributos físicos incluídos na análise por meio do procedimento *Stepwise*, valores de Lambda de Wilks e estatística F, nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m

Atributo	Lambda de Wilks	F	Significância
		0,00-0,10 m	
DMP	0,00	1,03	0,38
Ds	0,04	67,05	0,00
Ma	0,04	73,52	0,00
Mi	0,12	242,78	0,00
Argila	0,01	1,29	0,30
ADA	0,00	0,52	0,60
		0,10-0,20 m	
DMG	0,10	25,57	0,00
DMP	0,09	20,93	0,00
Ds	0,06	12,63	0,00
Ma	0,05	8,04	0,00
Mi	0,06	10,09	0,00
ADA	0,06	10,57	0,00
		0,20-0,40 m	
DMG	0,03	5,08	0,02
DMP	0,02	4,90	0,02
Ds	0,02	4,52	0,03
Mi	0,03	7,72	0,00
Argila	0,03	7,40	0,00
ADA	0,04	14,55	0,00

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; e ADA: argila dispersa em água.

A AD destacou-se como variável discriminante na profundidade de 0,20-0,40 m, evidenciando elevada variação do teor nessa camada, provavelmente por causa da alta diversidade de classes de solos estudadas. Já nos perfis do Planossolo Háplico e Argissolo Amarelo, o GF, principalmente no horizonte A, é menor do que nos horizontes subjacentes, o que pode ser explicado pela baixa quantidade de argila desses horizontes, como encontrado neste trabalho.

Nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m as variáveis de maior poder discriminante dentro do modelo foram Ma, Mi e Ds; na camada de 0,20-0,40 m foram Mi e Ds (Quadro 7). A inclusão da variável Mi no modelo discriminante para a área agrícola sugeriu que essa variável permite a observação de alterações no solo ocasionadas pelo uso agrícola. Alterações essas que não foram possíveis de serem identificadas pela determinação de outras variáveis.

Esses modelos permitem fazer observações futuras com o objetivo de verificar a relação entre o manejo do solo e a sustentabilidade de sistemas agrícolas, no tempo. Por meio da obtenção dos atributos físicos do solo para uso nas funções discriminantes, é possível classificar os grupos quanto à sua qualidade física. Assim, torna-se uma importante ferramenta para a tomada de decisão, bem como na previsão de cenários futuros.

Quadro 7. Função discriminante linear de Fisher para os atributos físicos do solo nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,40 m

0,00-0,10 m
Bom = -87.578,72 - 3,99 ADA + 8,49 Argila + 118.528,79 Mi + 201.954,38 Ma + 80.971,64 Ds - 186,46 DMP
Regular = -102.305,77 - 4,65 ADA + 8,86 Argila + 128.916,46 Mi + 217.924,57 Ma + 87.310,04 Ds - 199,27 DMP
Ruim = -102.030,26 - 4,55ADA + 8,82 Argila + 128,811,06 Mi + 217.924,57 Ma + 87.310,04 Ds - 199,27 DMP
0,10-0,20 m
Bom = -12.969,96 + 4,65 ADA + 201.544,81 Mi + 28.031,32 Ma + 9.396,21 Ds - 936,69 DMP + 2.341,93 DMP
Regular = -12.342,13 + 4,43 ADA + 19.694,48 Mi + 28.031,32 Ma + 9.162,93 Ds - 907,45 DMP + 2.266,23 DMG
Ruim = -12.372,94 + 2,95 ADA + 20.342,84 Mi + 2.8101 Ma + 9.036,69 Ds - 950,56 DMP + 2.354,03 DMG
0,20-0,40 m
Bom = -841,71 + 5,53 ADA - 0,63 Argila + 2.581,06 Mi + 598,84 Ds + 66,95 DMP - 172,05 DMG
Regular = -701,35 + 4,65 ADA - 056 Argila + 2.390,33 Mi + 534,42 Ds + 59,05 DMP - 137,44 DMG
Ruim = -393,63 + 2,41 ADA - 0,12 Argila + 1.142,47 Mi + 420,38 Ds + 7,45 DMP + 2,32 DMG

DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; e ADA: argila dispersa em água.

CONCLUSÕES

A densidade do solo, macroporosidade e microporosidade foram atributos que melhor se destacaram como indicadores de qualidade do solo, sendo a macroporosidade, o atributo de maior peso relativo nos modelos de discriminação dos sítios amostrados nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m; já a microporosidade e a densidade, na camada de 0,20-0,40 m, sugeriram que nas condições estudadas essas variáveis são as principais responsáveis pela qualidade física dos solos.

A inclusão da microporosidade no modelo de discriminação dos sítios amostrados indicou que o uso dessa variável permite observar alterações no solo que não são possíveis de serem identificadas pela determinação de outras variáveis como a densidade e estabilidade de agregados.

No geral, a qualidade física dos solos avaliados não é considerada ideal, fato atribuído à aptidão agrícola das terras e ao manejo adotado, denotando fragilidade, principalmente em razão da textura extremamente arenosa.

REFERÊNCIAS

- Araújo EA, Ker JC, Neves JCL, Lani JL. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Pesq Aplic Agrotec.* 2012;5:187-206.
- Araújo R, Goedert WJ, Lacerda MPC. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *R Bras Ci Solo.* 2007;31:1099-108.
- Benites VM, Moutta RO, Coutinho HLC, Balieiro FC. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. *R Árvore.* 2010;34:685-90.
- Carneiro MAC, Souza ED, Reis EF, Pereira HS, Azevedo WR. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R Bras Ci Solo.* 2009;33:147-57.
- Castro Filho C, Muzilli O, Podanoschi AL. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *R Bras Ci Solo.* 1998;22:527-38.
- Corrêa RM, Freire MBGS, Ferreira RLC, Freire FJ, Pessoa LGM, Miranda MA, Melo DVM. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. *R Bras Ci Solo.* 2009;33:305-14.
- Corrêa RM, Freire MBGS, Ferreira RLC, Silva JAA, Pessoa LGM, Miranda MA, Melo DVM. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. *R Bras Eng Agríc Amb.* 2010;14:358-65.
- Dexter AR. Soil physical quality - Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma.* 2004;120:201-14.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2ª.ed. Rio de Janeiro: 2011.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2006.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Proposta de Atualização da Segunda Edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: ano 2012. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2012. (Documentos, 140).
- Hair Jr. JF, Anderson RE, Tatham RL, Black WC. Análise multivariada de dados. 5ª.ed. Porto Alegre: Bookman; 2005.
- Ho R. Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS. 2ª.ed. Boca Raton: Chapman & Hall; 2006.
- Kiehl J. Manual de edafologia - Relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres; 1979.
- Marchesan TM, Souza AM, Menezes R. Avaliação do processo de ensino: uma abordagem multivariada. *Produção*. 2011;21:271-83.
- Pamplona VMS. Índices de qualidade do solo para plantação de açaí [dissertação]. Belém: Universidade Federal do Pará; 2011.
- Pereira FS, Andrioli I, Pereira FS, Oliveira PS, Centurion JF, Falqueto RJ, Martins ALS. Qualidade física de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. *R Bras Ci Solo*. 2011;35:87-95.
- Pestana MH, Gageiro JN. Análise de dados para ciências sociais: A complementaridade do SPSS. 4ª.ed. Lisboa: Edições Sílabo; 2005.
- Portugal AF, Juncksh I, Schaefer CERG, Neves JCL. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. *R Ceres*. 2010;57:545-53.
- Prevedello CL. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba: SEAFS; 1996.
- Queiroz AF. Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova - BA, para fins de uso, manejo e conservação [dissertação]. Mossoró: Universidade Federal Rural do Semiárido; 2013.
- Reichert JM, Bervald CMP, Rodrigues MF, Kato OR, Reinert DJ. Mechanized land preparation in eastern Amazon in fire-free forest-based fallow systems as alternatives to slash-and-burn practices: Hydraulic and mechanical soil properties. *Agric Ecosyst Environ*. 2014;192:47-60.
- Reichert JM, Rodrigues MF, Bervald CMP, Brunetto G, Kato OR, Schumacher MV. Fragmentation, fiber separation, decomposition, and nutrient release of secondary-forest biomass, mechanically chopped-and-mulched, and cassava production in the Amazon. *Agric Ecosyst Environ*. 2014b;204:8-16.
- Reichert JM, Rodrigues MF, Bervald CMP, Kato, OR. Fire-free fallow management by mechanized chopping of biomass for sustainable agriculture in eastern Amazon: Effects on soil compactness, porosity, and water retention and availability. *Land Degrad Dev*. 2015;27:n/a-n/a.
- Reichert JM, Reinert DJ, Braidia JA. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *R Ci Amb*. 2003;27:29-48.
- Reynolds WD, Bowman BT, Drury CF, Tana CS, Lu X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*. 2002;110:131-46.
- Santana AC. Índice de desempenho competitivo das empresas de polpa de frutas do Estado do Pará. *R Econ Soc Rural*. 2007;45:749-75.
- Santos RD, Lemos RC, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2005.
- Statsoft, Inc. Statistica for Windows - computer program manual. Tulsa [UK]: 1999.
- Stolf R, Thurler AM, Bacchi OOS, Reichardt K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. *R Bras Ci Solo*. 2011;35:447-59.