

MORFOLOGIA DE AGREGADOS DO SOLO AVALIADA POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS⁽¹⁾

N. OLSZEWSKI⁽²⁾, L. M. COSTA⁽³⁾, E. I. FERNANDES FILHO⁽³⁾,
H. A. RUIZ⁽³⁾, R. C. ALVARENGA⁽⁴⁾ & J. C. CRUZ⁽⁴⁾

RESUMO

O uso intensivo do solo, aliado a condições inadequadas de manejo, concorre para a deterioração de suas propriedades físicas e isso se deve, principalmente, às modificações em sua estrutura. Uma vez que as mudanças estruturais influem diretamente na morfologia dos agregados, considera-se fundamental a procura de novos métodos de estudos macromorfológicos para permitir o acompanhamento das modificações dessa característica nos solos cultivados. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo adaptar e testar um método digital de análise macromorfológica qualitativa de agregados, visando detectar modificações morfológicas causadas pela ação antrópica. Para tal estudo, foram escolhidos cinco sistemas de preparo do solo: plantio direto, escarificador, grade aradora, arado de discos e arado de aivecas. Realizou-se o estudo da forma e do tamanho das diferentes classes de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico típico, em amostras coletadas em 1998, após a aquisição de imagens com o uso de um *scanner* (HP 6100C com capacidade de resolução ótica de 1.200 dpi) e o posterior processamento dessas imagens pelo programa de computador denominado UTHSCSA Image Tool. Este programa fornece índices sobre os agregados, tais como: arredondamento, compacidade e alongamento. O índice arredondamento é dependente da medida de perímetro (rugosidade externa) e os índices compacidade e alongamento são dependentes da medida do comprimento do maior eixo (arestas). De maneira geral, os sistemas de manejo utilizados por três anos consecutivos não promoveram diferenças morfológicas dos agregados do Latossolo Vermelho textura argilosa para as variáveis analisadas. A análise de imagens mostrou-se sensível à detecção de mudanças na morfologia dos agregados do solo, sendo bastante promissora como uma nova ferramenta nos estudos da estrutura do solo.

Termos de indexação: análise macromorfológica de agregados, sistemas de manejo, alongamento, arredondamento, compacidade.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em junho de 2002 e aprovado em setembro de 2004.

⁽²⁾ Professora do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Imperatriz – FACIMP. Av. Prudente de Moraes s/n, CEP 65900-000 Imperatriz (MA). E-mail: nelci@facimp.edu.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. PH Rolfs s/n, CEP 36570-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. E-mails: liovando@solos.ufv.br; elpidio@ufv.br; hruiz@ufv.br

⁽⁴⁾ Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da Embrapa. Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas (MG). E-mails: ramon@cnpmc.embrapa.br; zecarlos@cnpmc.embrapa.br

SUMMARY: MORPHOLOGY OF SOIL AGGREGATES EVALUATED BY IMAGE ANALYSIS

The intensive soil use together with inadequate management practices contribute to the deterioration of soil physical properties, mainly due to modifications in the soil structure pattern. Once the structural changes could affect the morphology aggregates in different ways, the search for new methods of studying soil macro-morphological characteristics must be prioritized to allow the observation of modified characteristics in cultivated soils. Therefore, this study was carried out to adapt and test a digital method for a qualitative macro-morphological analysis of soil aggregates of Rodhic Haplustox in samples taken in 1998, aiming to detect morphological modifications caused by human activities. From an original set of eleven, five replicated treatments were selected: no till, cinzel plow, heavy disk harrow, disk plow and chisel plow, carried out annually. The shape of the different soil aggregates was from images obtained using a scanner (HP 6100C with 1200 dpi optical resolution) which were then processed by the computer program UTHSCSA Image Tool. This program furnishes values of different aggregate indexes: roundness, compactness and lengthiness. The roundness index depends on the perimeter measurement (external roughness) and the compactness and lengthiness indexes depend on the measurement of the length of the longest axle (long edges). Generally, the management systems used during three consecutive years did not modify the aggregate morphology of the clayey Rodhic Haplustox for the analyzed variables. Image analysis sensitively detected alterations in soil aggregate morphology promising considerable usefulness as a novel tool for on soil structure studies.

Index terms: macro-morphological analysis of aggregates, management systems lengthiness, roundness, compactness.

INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo, aliado a condições inadequadas de manejo, concorre para a deterioração de suas propriedades físicas e isso se deve, principalmente, às modificações em sua estrutura. Para Brewer (1976), a estrutura representa a própria constituição física do solo, expressa pelo tamanho, pela forma e pela distribuição ou pelo arranjo dos espaços vazios e das partículas sólidas do solo, sejam elas primárias ou secundárias. Fernandes (1982) e Dadalto et al. (1989) concluíram que os agregados mostram diferenças quanto a tamanho, forma, estabilidade e adesão entre si e que alterações nas condições naturais do solo por sistemas de manejo podem alterar o tamanho, a distribuição e a estabilidade desses agregados

Em estudos de Sedimentologia, a forma e o arredondamento dos grãos de areia e dos seixos têm sido usados, desde há muito tempo, para decifrar histórias de depósitos sedimentares (Suguio, 1973). Ainda de acordo com esse autor, uma descrição da forma geométrica de partículas envolve normalmente vários conceitos relacionados. De um lado, destacam-se os fatores de forma, que dependem dos comprimentos dos eixos principais perpendiculares entre si e, de outro, os fatores de angularidade ou arredondamento das partículas. Os dois conceitos são importantes nos estudos de sedimentos de

diferentes maneiras. A forma ou as relações de comprimento dos eixos controlam parcialmente o comportamento dos seixos durante o transporte e a deposição, enquanto o arredondamento, ou angularidade, reflete a distância e o rigor do transporte. Para isso, necessita-se de um processo simples e objetivo que permita expressar numericamente a forma dos grãos, não somente para fins descritivos, mas também para execução de estudos quantitativos de vários fatores envolvidos na evolução, até à forma final da partícula ou do fragmento.

Um dos métodos utilizados em Sedimentologia é o uso de tabelas de comparação visual, para determinar os graus de arredondamento e esfericidade de areias (Suguio, 1973). A esfericidade está relacionada com a proporção de comprimento-largura das imagens das partículas, enquanto o arredondamento é expresso pela curvatura das arestas das imagens.

Uma vez que as mudanças estruturais influem diretamente na morfologia dos agregados, considera-se fundamental a procura de novos métodos de estudos macromorfológicos para permitir o acompanhamento das modificações dessa característica nos solos cultivados. Dessa forma, a utilização de instrumentos práticos, mais sensíveis para a predição da sustentabilidade do uso desse recurso natural, seria de interesse.

O programa de computador denominado UTHSCSA Image Tool (Wilcox et al., 1997) foi desenvolvido pelo Departamento de Diagnóstico Dentária no Centro de Ciências da Saúde da Universidade do Texas em San Antonio no Texas (EUA) para estudos na área odontológica. Como o programa tem a capacidade de processar e analisar imagens e, posteriormente, fornecer valores de diferentes unidades de medida, foi utilizado para o estudo de agregados de solo.

Assim, o objetivo deste trabalho foi, a partir de um programa computacional, adaptar e testar esse método digital de análise macromorfológica qualitativa de agregados dos solos, visando detectar modificações morfológicas causadas pela ação antrópica, em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico típico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento avaliado foi instalado no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) – Embrapa, localizado no município de Sete Lagoas (MG). Para testar a influência no rendimento da cultura do milho, o experimento foi instalado no ano agrícola de 1994/95, em Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa, constando de cinco tratamentos de preparo do solo. Os tratamentos foram compostos de grade aradora (G), arado de discos (D), arado de aivecas (A), escarificador (E), plantio direto (PD) e da associação dos arados com a grade pesada, cada um em um ano agrícola. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições.

A coleta das amostras de solo foi realizada no mês de outubro de 1998. Foram abertas trincheiras com dimensões de 0,60 x 0,60 x 0,60 m a 0,30 m da linha de plantio em cada unidade experimental. A amostragem foi efetuada em quatro profundidades: 0 a 0,075, 0,075 a 0,150, 0,150 a 0,225 e 0,225 a 0,300 m, com o uso de uma pá reta, sendo o solo destorroado manualmente no campo, aplicando-se leve pressão para causar o mínimo de mudanças em sua estrutura original, sendo, a seguir, acondicionado em frasco de plástico rígido.

Para o estudo da forma dos agregados, 100 g de solo seco foram passados em um conjunto de peneiras com malhas de 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,105 mm, dispostas em um vibrador horizontal, durante cinco minutos, e velocidade de trabalho do aparelho na escala cinco, quando este oferece opções na faixa de zero a dez.

O estudo dos agregados foi realizado após a aquisição de suas imagens com o uso de um *scanner* (HP 6100C, com capacidade de resolução ótica de 1.200 dpi). As imagens foram processadas por meio do programa de computador denominado UTHSCSA

Image Tool (Wilcox et al., 1997). Para isso, uma pequena amostra de cada frasco foi retirada com o uso da espátula, espalhada sobre o *scanner*, e os agregados separados manualmente, um a um, com o auxílio de estilete e de lupa. A resolução utilizada foi de 600 dpi para os agregados provenientes das classes: 2,00–1,00, 1,00–0,50 e 0,50–0,210 mm, e de 1.200 dpi, para a classe 0,210–0,105 mm.

As variáveis analisadas nos agregados foram: área, perímetro, comprimento do maior eixo e do menor eixo, grau de arredondamento, alongamento, diâmetro de Feret e compacidade. Essas variáveis fornecem informações sobre o tamanho, forma e rugosidade dos agregados, servindo de base para comparar diferentes sistemas de manejo do solo no que diz respeito à maior ou menor agressividade à estrutura do solo. A seguir, são definidas as variáveis analisadas:

Área (Ar): corresponde ao número de pixels no polígono.

Perímetro (Pm): comprimento da projeção do limite exterior do agregado.

Comprimento do maior eixo (CME): comprimento de uma linha traçada na maior distância no agregado.

Comprimento do menor eixo: comprimento de uma linha traçada perpendicularmente ao maior eixo do agregado.

Alongamento: relação entre o comprimento do menor eixo e o comprimento do maior eixo. O resultado será um valor entre 0 e 1. Quanto maior o valor, menor será a diferença entre os comprimentos dos eixos perpendiculares e menor o alongamento.

Arredondamento (Ard): medida dependente da rugosidade da superfície externa do agregado (perímetro). Fornecerá o resultado entre 0 e 1 e, quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento. É calculado a partir da fórmula.

$$Ard = (4\pi Ar) / Pm^2 \quad (\text{Eq.1})$$

Diâmetro de Feret (DF): o diâmetro de um círculo com a mesma área do objeto. É calculado a partir da fórmula:

$$DM = \sqrt{(4 Ar / \pi)} \quad (\text{Eq.2})$$

Compacidade (Cmp): fornece uma medida da circularidade do objeto, sendo dependente da medida do comprimento do maior eixo. Varia de 0 a 1 e, se for igual a 1, o agregado é perfeitamente circular. É calculado a partir da fórmula:

$$Cmp = \sqrt{(4 Ar / \pi)} / CME \quad (\text{Eq.3})$$

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG), da Central de Processamento de Dados da UFV (Ribeiro Júnior, 2001), realizada para cada profundidade, desdobrando-se os graus de liberdade para tratamentos (sistemas de manejo) mediante os seguintes contrastes ortogonais: $C1 = 4PD - (E + G + D + A)$, $C2 = 3E - (G + D + A)$, $C3 = 2G - (D + A)$ e $C4 = D - A$. Consideram-se tratamentos diferentes quando significativos a 5 % pelo teste F. Utilizou-se a palavra – tendência – para expressar diferenças estatísticas no intervalo entre 5 e 20 %, pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a classe de agregados com diâmetro de 2,00 a 1,00 mm, de maneira geral, não houve diferença entre os sistemas de preparo do solo e profundidades de amostragem para os valores de área e perímetro e dos índices (Quadro 1). Para a variável área dos agregados, na profundidade de 0,000 a 0,075 m, o plantio direto apresentou tendência a maiores valores em comparação com os demais sistemas de manejo. Resultado semelhante foi observado para os sistemas de manejo com o uso da grade em relação ao comportamento dos arados de discos e de aiveca em conjunto. Tal resultado pode ser considerado coerente, visto que se partiu de um sistema que causa menor dano à estrutura do solo, no caso o plantio direto, até o arado de discos, que causa maior revolvimento, com conseqüente quebra e pulverização dos agregados.

Ainda para a variável área na profundidade de 0–0,075 m da classe de diâmetro de 1,00 a 0,50 mm (Quadro 2), o comportamento foi semelhante, exceto para o caso do escarificador, e, na classe de 0,50–0,21 mm (Quadro 3), o plantio direto mostrou tendência de maior ocorrência de agregados com área maior em relação aos implementos.

Acredita-se que sistemas de manejo que promovam menor revolvimento do solo devam apresentar maiores valores para a variável perímetro, graças à maior proporção de agregados de tamanho e rugosidade externa maiores. De maneira geral, o resultado observado não refletiu o resultado esperado.

Supõe-se também que sistemas que provoquem menor revolvimento do solo devam apresentar menores valores para a variável alongamento, em razão da menor quebra e posterior tendência do agregado à circularidade. Para a classe de diâmetro

de 2,00–1,00 mm (Quadro 1), na profundidade de 0,000–0,075 m, o sistema de plantio direto mostrou o resultado esperado, o mesmo acontecendo na profundidade de 0,075–0,150 m, quando se compara o comportamento da grade com o dos arados em conjunto e com o do arado de discos com o do arado de aiveca, ou seja, em ordem crescente de agressividade à estrutura, encontram-se menores valores de alongamento. O mesmo foi observado para a classe de 1,00 a 0,50 mm (Quadro 2), exceto para o caso do arado de aivecas. Também na classe de diâmetro de 0,21 a 0,105 mm (Quadro 4), o plantio direto apresentou menores valores de alongamento na camada superficial (0,000 a 0,075 m).

Também para o índice arredondamento, os sistemas de manejo que provocam menor revolvimento do solo devem apresentar menores valores para a variável arredondamento, pois este é dependente da medida de perímetro. Logo, maiores valores de arredondamento deverão ser encontrados para os agregados provenientes de sistemas de manejo mais agressivos à estrutura, pois estes tenderão a perder a rugosidade da superfície externa, diminuindo, assim, o valor do perímetro. De maneira geral, não foram observadas diferenças significativas entre as classes de diâmetro e profundidades de amostragem, com exceção da classe de diâmetro de 0,50 a 0,21 mm (Quadro 3) na camada superficial, em que o plantio direto apresentou menor valor para o índice. Para a classe de 0,21 a 0,105 mm (Quadro 4) da camada superficial, o comportamento foi contrário ao esperado, pois mostrou tendência de aumento dos valores de arredondamento, quando se compara o resultado do escarificador com o da grade e o dos arados conjuntamente, bem como o comportamento da grade com o dos arados.

A variável compacidade deve apresentar menores valores nos sistemas de manejo menos agressivos. Como descrito anteriormente, esta variável fornece uma medida da rugosidade do agregado, ou seja, quanto mais arestado, maior o valor da compacidade. O observado para as classes de agregados com diâmetro de 2,00 a 1,00 mm (Quadro 1), 1,00 a 0,50 mm (Quadro 2) e 0,21 a 0,105 mm (Quadro 4) está de acordo com o esperado, ou seja, o plantio direto, sistema considerado menos agressivo, apresentou os menores valores para o índice.

Foram detectadas apenas pequenas alterações nos índices entre os diferentes sistemas de preparo do solo e, ou profundidades de amostragem, resultado que pode ser explicado de acordo com a classe de solo e com o tempo de condução do experimento, uma vez que se trata de um Latossolo, ou seja, um solo bastante intemperizado e com estrutura granular considerada estável e homogênea.

Quadro 1. Valores de área, perímetro, alongamento, arredondamento, diâmetro de Feret e compacidade, considerando o método de preparo e a profundidade de amostragem, e valores dos contrastes ortogonais para a classe de agregados de 2,00 a 1,00 mm de diâmetro

Método de preparo	Profundidade (m)			
	0,000 a 0,075	0,075 a 0,150	0,150 a 0,225	0,225 a 0,300
	Área, mm ²			
Plantio direto (PD)	2,826	3,103	2,698	2,587
Escarificador (E)	2,807	3,197	3,177	2,721
Grade (G)	2,824	3,109	2,824	3,197
Disco (D)	2,019	2,705	4,087	2,810
Aiveca (A)	2,538	3,294	2,684	2,906
C1	1,115 [#]	ns	ns	-1,285 [#]
C2	1,039 [#]	ns	ns	-0,749
C3	1,091 [*]	ns	ns	0,677 [#]
C4	-0,519 [#]	-0,588 [#]	1,402 [#]	-
	Perímetro, mm			
Plantio direto (PD)	8,140	8,476	7,553	7,487
Escarificador (E)	7,937	8,497	8,894	7,660
Grade (G)	8,239	8,509	7,796	8,986
Disco (D)	6,290	7,425	9,806	7,832
Aiveca (A)	7,461	8,618	7,225	7,544
C1	ns	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	ns
C3	2,726 [#]	ns	ns	2,595 [*]
C4	-1,170 [#]	-1,192 [#]	2,581 [#]	ns
	Alongamento			
Plantio direto (PD)	0,741	0,754	0,749	0,749
Escarificador (E)	0,757	0,744	0,750	0,758
Grade (G)	0,753	0,737	0,752	0,747
Disco (D)	0,759	0,747	0,745	0,746
Aiveca (A)	0,763	0,759	0,748	0,741
C1	-0,069 [*]	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	0,039 [*]
C3	ns	-0,032 [*]	ns	ns
C4	ns	-0,011 [#]	ns	ns
	Arredondamento			
Plantio direto (PD)	0,542	0,552	0,581	0,588
Escarificador (E)	0,568	0,572	0,519	0,581
Grade (G)	0,540	0,563	0,581	0,510
Disco (D)	0,637	0,609	0,567	0,576
Aiveca (A)	0,571	0,553	0,633	0,626
C1	ns	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns	-0,182 [*]
C4	ns	-0,066 [#]	ns	ns
	Diâmetro de Feret, mm			
Plantio direto (PD)	1,853	1,936	1,797	1,779
Escarificador (E)	1,854	1,968	1,963	1,826
Grade (G)	1,857	1,949	1,862	1,978
Disco (D)	1,579	1,821	1,873	1,856
Aiveca (A)	1,760	1,998	1,806	1,878
C1	0,363 [#]	ns	ns	-0,422 [#]
C2	0,367 [#]	ns	ns	ns
C3	0,374 [*]	ns	ns	0,222 [#]
C4	-0,181 [#]	-0,177 [#]	ns	ns
	Compacidade			
Plantio direto (PD)	0,805	0,810	0,809	0,816
Escarificador (E)	0,819	0,813	0,812	0,820
Grade (G)	0,812	0,807	0,817	0,811
Disco (D)	0,825	0,812	0,810	0,812
Aiveca (A)	0,825	0,816	0,817	0,813
C1	-0,062 [*]	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	0,023 [*]
C3	-0,025 [#]	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns

C1=4PD-(E + G + D + A); C2 = 3E-(G + D + A); C3 = 2G-(D + A); C4 = DA.

ns:não-significativo; # e *: significativos a 20 e 5 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 2. Valores de área, perímetro, alongamento, arredondamento, diâmetro de Feret e compacidade, considerando o método de preparo e a profundidade de amostragem, e valores dos contrastes ortogonais para a classe de agregados de 1,00 a 0,50 mm

Método de preparo	Profundidade (m)			
	0,000 a 0,075	0,075 a 0,150	0,150 a 0,225	0,225 a 0,300
	Área, mm ²			
Plantio direto (PD)	0,685	0,628	0,633	0,573
Escarificador (E)	0,592	0,698	0,595	0,727
Grade (G)	0,667	0,786	0,726	0,773
Disco (D)	0,582	0,683	0,683	0,650
Aiveca (A)	0,642	0,726	0,667	0,617
C1	0,258 [#]	ns	ns	-0,475 [#]
C2	-0,113 [#]	ns	ns	ns
C3	0,109 [*]	ns	ns	0,278 [#]
C4	-0,059 [#]	-0,043 [#]	0,016 [#]	ns
	Perímetro, mm			
Plantio direto (PD)	3,520	3,353	3,383	3,151
Escarificador (E)	3,356	3,629	3,280	3,690
Grade (G)	3,416	3,920	3,708	3,802
Disco (D)	3,239	3,599	3,576	3,543
Aiveca (A)	3,505	3,701	3,541	3,324
C1	ns	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	ns
C3	0,087 [#]	ns	ns	0,737 [*]
C4	-0,266 [#]	-0,101 [#]	0,035 [#]	0,219 [#]
	Alongamento			
Plantio direto (PD)	0,729	0,737	0,737	0,745
Escarificador (E)	0,735	0,736	0,749	0,739
Grade (G)	0,757	0,733	0,735	0,729
Disco (D)	0,758	0,742	0,745	0,740
Aiveca (A)	0,743	0,736	0,747	0,748
C1	-0,077 [*]	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	0,003 [*]
C3	ns	-0,010 [*]	ns	ns
C4	ns	0,005 [#]	ns	ns
	Arredondamento			
Plantio direto (PD)	0,682	0,690	0,688	0,711
Escarificador (E)	0,666	0,664	0,688	0,669
Grade (G)	0,699	0,645	0,664	0,666
Disco (D)	0,694	0,660	0,665	0,652
Aiveca (A)	0,656	0,662	0,665	0,690
C1	ns	ns	ns	ns
C2	ns	ns	0,068 [#]	ns
C3	ns	ns	ns	-0,009 [*]
C4	ns	ns	ns	ns
	Diâmetro de Feret, mm			
Plantio direto (PD)	0,910	0,872	0,879	0,833
Escarificador (E)	0,850	0,919	0,849	0,941
Grade (G)	0,896	0,977	0,938	0,970
Disco (D)	0,844	0,911	0,910	0,887
Aiveca (A)	0,881	0,939	0,901	0,867
C1	0,169 [#]	ns	ns	-0,332 [#]
C2	-0,069 [#]	ns	-0,201 [#]	ns
C3	0,065 [*]	ns	ns	0,186 [#]
C4	-0,036 [#]	-0,028 [#]	ns	ns
	Compacidade			
Plantio direto (PD)	0,824	0,830	0,831	0,840
Escarificador (E)	0,827	0,826	0,839	0,826
Grade (G)	0,842	0,819	0,825	0,823
Disco (D)	0,843	0,828	0,831	0,827
Aiveca (A)	0,831	0,824	0,833	0,839
C1	-0,045 [*]	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	-0,009 [*]
C3	0,011 [#]	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns

C1 = 4PD-(E + G + D + A); C2 = 3E-(G + D + A); C3 = 2G-(D + A); C4 = DA.

ns:não-significativo; [#] e ^{*}: significativos a 20 e 5 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 3. Valores de área, perímetro, alongamento, arredondamento, diâmetro de Feret e compacidade, considerando o método de preparo e a profundidade de amostragem, e valores dos contrastes ortogonais para a classe de agregados de 0,50 a 0,21 mm

Método de preparo	Profundidade (m)			
	0,000 a 0,075	0,075 a 0,150	0,150 a 0,225	0,225 a 0,300
	Área, mm ²			
Plantio direto (PD)	0,413	0,165	0,187	0,190
Escarificador (E)	0,178	0,170	0,167	0,154
Grade (G)	0,176	0,170	0,173	0,168
Disco (D)	0,178	0,151	0,155	0,150
Aiveca (A)	0,1744	0,162	0,172	0,144
C1	0,945 [#]	ns	ns	0,144 [#]
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Perímetro, mm			
Plantio direto (PD)	1,535	1,632	1,734	1,738
Escarificador (E)	1,685	1,635	1,628	1,545
Grade (G)	1,664	1,649	1,719	1,658
Disco (D)	1,705	1,573	1,571	1,554
Aiveca (A)	1,673	1,606	1,657	1,497
C1	ns	ns	ns	0,698 [#]
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Alongamento			
Plantio direto (PD)	0,723	0,710	0,720	0,719
Escarificador (E)	0,720	0,721	0,727	0,724
Grade (G)	0,723	0,714	0,699	0,714
Disco (D)	0,720	0,711	0,713	0,715
Aiveca (A)	0,703	0,708	0,714	0,720
C1	ns	ns	0,028 [#]	ns
C2	ns	0,030 [#]	0,054 ^{**}	ns
C3	ns	ns	-0,028 [*]	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Arredondamento			
Plantio direto (PD)	0,698	0,775	0,773	0,780
Escarificador (E)	0,779	0,789	0,784	0,803
Grade (G)	0,786	0,776	0,736	0,769
Disco (D)	0,768	0,762	0,782	0,777
Aiveca (A)	0,773	0,784	0,778	0,798
C1	-0,315 ^{**}	ns	ns	ns
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	-0,086 [*]	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Diâmetro de Feret, mm			
Plantio direto (PD)	0,538	0,449	0,477	0,480
Escarificador (E)	0,464	0,455	0,449	0,433
Grade (G)	0,461	0,453	0,457	0,451
Disco (D)	0,466	0,428	0,433	0,427
Aiveca (A)	0,460	0,444	0,455	0,418
C1	0,301 [*]	ns	ns	0,191 [#]
C2	ns	ns	ns	ns
C3	ns	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Compacidade			
Plantio direto (PD)	0,874	0,863	0,863	0,863
Escarificador (E)	0,863	0,867	0,871	0,875
Grade (G)	0,870	0,861	0,844	0,859
Disco (D)	0,861	0,862	0,866	0,866
Aiveca (A)	0,856	0,860	0,863	0,876
C1	0,047 [#]	ns	ns	-0,025 [#]
C2	ns	ns	0,040 [#]	0,023 [#]
C3	0,022 [#]	ns	-0,040 [*]	-0,024 [*]
C4	ns	ns	ns	-0,009 [*]

C1 = 4PD-(E + G + D + A); C2 = 3E-(G + D + A); C3 = 2G-(D + A); C4 = DA.

ns:não-significativo; #, * e **: significativos a 20, 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 4. Valores de área, perímetro, alongamento, arredondamento, diâmetro de Feret e compacidade, considerando o método de preparo e a profundidade de amostragem, e valores dos contrastes ortogonais para a classe de agregados de 0,21 a 0,105 mm

Método de preparo	Profundidade (m)			
	0,000 a 0,075	0,075 a 0,150	0,150 a 0,225	0,225 a 0,300
	Área, mm ²			
Plantio direto (PD)	0,036	0,039	0,040	0,043
Escarificador (E)	0,044	0,046	0,044	0,047
Grade (G)	0,043	0,047	0,044	0,044
Disco (D)	0,039	0,042	0,039	0,041
Aiveca (A)	0,040	0,041	0,042	0,043
C1	-0,024**	-0,021*	ns	ns
C2	0,009 [#]	ns	ns	0,012 [#]
C3	0,007 [#]	0,011*	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Perímetro, mm			
Plantio direto (PD)	0,711	0,741	0,768	0,790
Escarificador (E)	0,807	0,818	0,806	0,834
Grade (G)	0,789	0,828	0,795	0,801
Disco (D)	0,746	0,778	0,742	0,763
Aiveca (A)	0,758	0,768	0,773	0,783
C1	-0,256**	-0,227 [#]	ns	ns
C2	0,129*	ns	ns	0,155 [#]
C3	0,073 [#]	ns	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Alongamento			
Plantio direto (PD)	0,707	0,717	0,724	0,718
Escarificador (E)	0,715	0,722	0,717	0,730
Grade (G)	0,728	0,724	0,722	0,726
Disco (D)	0,721	0,713	0,724	0,726
Aiveca (A)	0,716	0,715	0,726	0,734
C1	-0,052**	ns	ns	-0,0449 [#]
C2	ns	ns	ns	ns
C3	0,018 [#]	0,021 [#]	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Arredondamento			
Plantio direto (PD)	0,865	0,863	0,851	0,848
Escarificador (E)	0,827	0,844	0,840	0,830
Grade (G)	0,857	0,838	0,846	0,858
Disco (D)	0,864	0,852	0,867	0,866
Aiveca (A)	0,864	0,863	0,866	0,873
C1	ns	0,055 [#]	ns	ns
C2	-0,103**	ns	-0,059 [#]	-0,105**
C3	ns	-0,037*	-0,041 [#]	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Diâmetro de Feret, mm			
Plantio direto (PD)	0,207	0,216	0,221	0,228
Escarificador (E)	0,230	0,235	0,232	0,238
Grade (G)	0,229	0,238	0,229	0,233
Disco (D)	0,218	0,225	0,217	0,223
Aiveca (A)	0,2215	0,224	0,226	0,230
C1	-0,070**	-0,058*	ns	ns
C2	0,021 [#]	ns	ns	ns
C3	0,018 [#]	0,026*	ns	ns
C4	ns	ns	ns	ns
	Compacidade			
Plantio direto (PD)	0,881	0,888	0,890	0,883
Escarificador (E)	0,879	0,884	0,881	0,886
Grade (G)	0,891	0,885	0,886	0,889
Disco (D)	0,890	0,880	0,893	0,891
Aiveca (A)	0,886	0,884	0,891	0,894
C1	-0,021 [#]	ns	ns	ns
C2	-0,030*	ns	ns	ns
C3	ns	ns	-0,025 [#]	ns
C4	ns	ns	ns	ns

C1 = 4PD-(E + G + D + A); C2 = 3E-(G + D + A); C3 = 2G-(D + A); C4 = DA.

ns:não-significativo; [#], * e **: significativos a 20, 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

CONCLUSÕES

1. A análise de imagens mostrou-se sensível à detecção de mudanças na morfologia dos agregados do solo, sendo bastante promissora como uma nova ferramenta nos estudos da estrutura do solo.

2. Utilizados por três anos consecutivos, os sistemas de manejo testados não promoveram diferenças morfológicas dos agregados do Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa.

LITERATURA CITADA

BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. New York, Robert Krieger, 1976. 173p.

DADALTO, G.G.; COSTA, L.M. & MOURA FILHO, W. Alterações em características físicas de solos cultivados com pastagem. R. Ceres, 36:317-329, 1989.

FERNANDES, M.R. Alterações em propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, decorrentes da modalidade de uso e manejo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 65p. (Tese de Mestrado)

RIBEIRO JUNIOR, J.I. Análises estatísticas no SAEG, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 301p.

SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edgard Blucher, 1973. 317p.

WILCOX, C.D.; DOVE, S.B.; MCDAVID, W.D. & GREER, D.B. UTHSCSA image tool: help on-line. San Antonio, Texas, Universidade de San Antonio, 1997. não paginado.

