
MÉTODOS MULTIVARIADOS NA AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NA CAFEICULTURA IRRIGADA

Jorge Wilson Cortez¹, André Luis Teixeira Fernandes², Rouverson Pereira da Silva³, Alberto Carvalho Filho⁴, Carlos Eduardo Angeli Furlani⁵

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito de sistemas de irrigação (pivô central, tubos perfurados a laser, gotejamento, aspersão em malha e testemunha) nos atributos físicos do solo (teor de água, massa específica, porosidade total e resistência à penetração), em área de cafeicultura do município de Uberaba – MG, por meio de métodos multivariados. O experimento foi realizado na Fazenda Escola da Universidade de Uberaba (UNIUBE). A área, onde foi realizada a amostragem para determinação dos atributos físicos do solo, nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-30 cm, foi dividida pelos sistemas de irrigação. Os métodos multivariados utilizados foram a análise de agrupamento hierárquica e de componentes principais. Pela análise de agrupamento, verificou-se que os sistemas de irrigação por pivô central e por gotejamento formaram um grupo distinto, enquanto os sistemas por aspersão em malha, testemunha e por tubos perfurados a laser ficaram separados, individualmente. A testemunha foi praticamente similar ao método de irrigação por tubos perfurados a laser. Na análise de componentes principais, foi possível verificar que 73,2 % das informações concentraram-se nos componentes principais um e dois. Portanto, os dados dos atributos físicos do solo (teor de água, massa específica, porosidade total e resistência à penetração do solo), que refletem o efeito dos sistemas de irrigação, estão concentrados, principalmente, na camada de 10 a 20 cm.

Palavras-chave: porosidade total, massa específica do solo e componentes principais.

MULTIVARIATE ANALYSIS OF PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOIL UNDER IRRIGATED COFFEE PLANTATION

ABSTRACT

Multivariate analysis was used to evaluate the effect of irrigations systems (central pivot, laser perforated tubes, dripping, net-sprinkle and control) on the soil water content, bulk density, total porosity and resistance to penetration, of soil under coffee plantation in the municipal district of Uberaba - MG,. The experiment was carried at Uberaba University (UNIUBE). Each demarked area was sampled to the depths of 0-10, 10-20 and 20-30 cm. The hierarchical cluster analysis showed that the overhead irrigation with central pivot and the drip irrigation formed a distinct group, while the net-sprinkle, control and laser perforated tubes remained individually separate. The control was practically similar the irrigation with laser perforated tubes. The principal components analysis showed that 73.2% of the information concentrated in one and two principal components. The soil physical attributes that reflect the effect of irrigation system were concentrated at the depth of 10-20 cm.

Keywords: total porosity, bulk density and principal components.

Recebido para publicação em 31/08/2009. Aprovado em 08/10/2010

1- Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, UNIVASF, Colegiado de Engenharia Agrônômica, Petrolina-PE, jorge.cortez@univasf.edu.br

2- Eng.-Agrônomo, Prof. Dr., UNIUBE, Uberaba-MG, Bolsista de Produtividade CNPq, andre.fernandes@uniube.br

3- Eng. Agrícola, Prof. Dr., UNESP/ Depto. de Engenharia Rural, Jaboticabal-SP, Bolsista de Produtividade CNPq, rouverson@fcav.unesp.br

4- Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, UFV, Campus Rio Paranaíba-MG, acarvalhofilho@ufv.br

5- Eng. Agrônomo, Prof. Dr., UNESP/ Depto. de Engenharia Rural, Jaboticabal-SP, Bolsista de Produtividade CNPq, furlani@fcav.unesp.br

INTRODUÇÃO

Com o emprego das técnicas multivariadas é possível descrever a similaridade (análise de agrupamentos) de sistemas de irrigação, como também descrever as variáveis da física do solo que explicam a maior variabilidade possível em um conjunto de dados (componentes principais).

Uma das técnicas multivariadas mais utilizadas é a análise de agrupamento, que pode ser complementada pela análise de componentes principais (CP1 e CP2), cuja finalidade é explicar a estrutura dos dados, mediante processo matemático que preserva a maior parte das informações fornecida pelas variáveis originais (SNEATH & SOKAL, 1973; VALENTIM, 2000).

A análise de agrupamento tem como objetivo dividir um conjunto original de dados em vários grupos, segundo critérios de similaridade ou dissimilaridade (CRUZ & REGAZZI, 1994). O dendrograma, componente da análise de agrupamento, é um diagrama em forma de árvore que apresenta a subdivisão dos grupos formados e busca a máxima homogeneidade entre os indivíduos no grupo e máxima heterogeneidade entre os grupos (MARTEL *et al.*, 2003). Portanto, a análise multivariada permite verificar quais os atributos físicos do solo que expressam maior resposta, eliminando o tempo usado com atributos que expressam baixa resposta (MALUCHE-BARRETA *et al.*, 2006).

Para se verificar a qualidade física do solo, após sucessivos anos de cultivo, pode-se utilizar a massa específica do solo (STONE & SILVEIRA, 2001; TORMENA *et al.*, 2008), a porosidade do solo (BEUTLER *et al.*, 2001; FIDALSKI *et al.*, 2007b) e a resistência do solo à penetração (ROSOLEM *et al.*, 1999; WEIRICH NETO *et al.*, 2006). Assim, quando o solo encontra-se degradado, ocorre redução da quantidade de água disponível, como, também, da taxa de difusão de oxigênio, e aumento da resistência do solo à penetração, que podem limitar o crescimento das plantas (ARAÚJO *et al.*, 2004).

Ao avaliar a qualidade física do Latossolo Vermelho de textura média para o cultivo do milho, por meio de análises multivariadas, Freddi *et al.* (2008) verificaram, com o uso da análise

de agrupamento hierárquica, que foi possível discriminar as áreas de maior produtividade, que se concentraram com os valores de menor massa específica do solo. Os autores concluíram, ainda, que a classificação multivariada pode contribuir para melhorar o planejamento e controle da produtividade, bem como a execução das atividades de manejo do solo.

O manejo e a qualidade do solo possuem relação que pode ser avaliada pela alteração em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (DORAN & PARKIN, 1994). Estudos que quantificam a qualidade do solo apresentam inúmeras variáveis, às vezes utilizadas nas estatísticas univariadas, o que pode dificultar as discussões dos resultados (FIDALSKI *et al.*, 2007a). Normalmente, as práticas de manejo apresentam maior impacto nas propriedades físicas de solos arenosos do que nas de solos argilosos (COSTA *et al.*, 2003).

Pressupõe-se que os sistemas de irrigação (pivô central, tubos perfurados a laser, gotejamento e aspersão em malha) proporcionam condições similares para o desenvolvimento da cultura do café e que não afetam a qualidade do solo.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a influência dos sistemas de irrigação (pivô central, tubos perfurados a laser, gotejamento e aspersão em malha), mais testemunha, nos atributos físicos do solo (teor de água, massa específica, porosidade total e resistência à penetração do solo), em área de cafeicultura, por meio de técnicas multivariadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Universidade de Uberaba (UNIUBE), com altitude de 850 m, nas coordenadas geodésicas com latitude de 19° 45' S e longitude de 47° 55' O. O solo, segundo a EMBRAPA (2006), é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com teores de areia de 72,64 dag kg⁻¹, argila de 21,96 dag kg⁻¹ e silte de 5,4 dag kg⁻¹. Esse solo apresenta teor de água volumétrica correspondente ao ponto de murcha permanente, de 0,132 cm³ cm⁻³, capacidade de campo de 0,213 cm³ cm⁻³ e massa específica média do solo de 1,47 kg dm⁻³.

O clima, conforme a classificação de Köppen, é classificado como Aw, tropical, quente e úmido, com inverno frio e seco, sendo as médias anuais de temperatura e precipitação de 22 °C e 1474 mm, respectivamente, com as chuvas distribuídas irregularmente durante o ano, sendo necessária a utilização de sistemas de irrigação para o cultivo do cafeeiro.

A cultura do cafeeiro foi instalada no ano de 1999 em uma área de 20 ha, sendo 12 ha para o sistema pivô central e 2 ha para cada um dos demais sistemas (tubos perfurados a laser, gotejamento e aspersão em malha). O cultivar de cafeeiro implantado na área foi o Catuaí Vermelho H2077-2-5/144, no espaçamento de 4,0 m entre ruas, por 0,5 m entre plantas, com total de 5000 plantas por hectare.

O sistema de irrigação por pivô central constou de três torres, equipadas com os emissores *LEPA* (*low energy precision application*), que faz a aplicação de água com nutrientes e defensivos na copa da cultura do cafeeiro, por meio de um tanque com capacidade de 2.000 L, equipado com bomba de injeção de água no sistema.

O sistema de irrigação por tubos perfurados a laser (*Santeno II^F*), que é uma combinação entre aplicação localizada e por aspersão, tinha 100 metros de comprimento e operava com vazão de 1.500 L h⁻¹. O sistema proporcionava taxa de aplicação de 15 mm h⁻¹. O manejo de insumos realizados nesta área utilizou máquinas como tanque de 400 L, montado, da marca Jacto, para aplicação de herbicidas; distribuidor de fertilizantes, montado, de 600 kg, da marca Jan; tanque de 2000 L, de arrasto, da marca Jacto, para pulverizações de fungicidas e inseticidas e trator MF 275 de 55 kW (75 cv).

O sistema de irrigação por gotejamento utilizado foi do tipo convencional, sem controle de pressão nos emissores ao longo da linha da cultura. Foi utilizado o gotejador modelo *Thiram*, com vazão de trabalho de 2,3 L h⁻¹.

O sistema de aspersão em malha (*Rain Bird*) foi montado em malha hidráulica de 15 x 15 m, com regulador de pressão antes do aspersor.

A testemunha, em que não se fazia aplicação de água pelos sistemas de irrigação, foi conduzida no centro da área experimental e as operações foram

realizadas com os equipamentos já descritos.

O manejo da irrigação baseou-se nos dados da estação meteorológica, instalada junto ao local do experimento, sendo aplicada a quantidade de água evapotranspirada no dia anterior, com base nas características da cultura.

Dentro da área de cada sistema de irrigação foram coletadas quatro amostras de solo, para determinação do teor de água, massa específica e porosidade, nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-30 cm. E foram realizadas quatro determinações da resistência mecânica do solo à penetração, nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-30 cm.

Para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP), foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar (STOLF, 1991). Os resultados dessa coleta foram fornecidos em “impactos dm⁻¹” e transformados para MPa, conforme equação 1, descrita por Stolf (1991).

$$RP = \frac{5,8 + 6,89 N}{10,2} \quad (1)$$

em que,

RP = resistência a penetração (MPa); e
N = número de impactos.

As amostras, com estrutura indeformada para determinação da massa específica do solo (BLAKE & HARTGE, 1986), teor de água e porosidade total, foram coletadas por meio de um amostrador com anéis metálicos (volume dos anéis de 86,8 cm³), nas camadas de solo de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, com quatro repetições em cada camada, e, posteriormente, secas em estufa, à temperatura de 105 - 110 °C, até a massa constante. Em seguida, foram resfriadas e pesadas, para a obtenção dos valores do conteúdo de água e da massa específica do solo. As amostras de solo com estrutura indeformada depois de secas em estufa foram acondicionadas em bandeja com água, até a saturação total, sendo novamente pesadas, permitindo, assim, a determinação da porosidade total do solo.

Os atributos conteúdo de água, massa específica, porosidade total do solo e resistência mecânica do solo à penetração foram padronizados

e, em seguida, as análises multivariadas foram processadas, de modo que cada variável ficou com média nula e variância unitária. Assim, procedeu-se à análise de agrupamento (hierárquica), conforme a metodologia proposta por Sneath & Sokal (1973), utilizando-se a distância euclidiana como coeficiente de semelhança entre pares de locais. A estratégia de agrupamento adotada foi o método de Ward, tendo como objetivo encontrar a melhor maneira de descrever os padrões de similaridades mútuas. O resultado da análise foi apresentado em forma gráfica (dendrograma), que auxiliou na identificação dos agrupamentos.

A análise dos componentes principais foi utilizada para explicar a estrutura de variâncias e covariâncias, contidas nas variáveis originais, que resultam em conjunto menor de combinações lineares ortogonais (BARROS *et al.*, 2002). A análise de componentes principais permitiu condensar a maior quantidade da informação original em duas variáveis latentes ortogonais, denominadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais, criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR, 2005). Desta forma, possibilitou a construção de figuras

bidimensionais. Na análise, não foi possível utilizar o método de Kaiser (1958), para eliminar os CP3 e CP4, pois, segundo o método, autovalores menores que 1 não retêm quantidade relevante de informação, mas optou-se por não utilizá-los, em virtude da quantidade de informação absorvida pelos CP1 e CP2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é apresentado o resultado da análise de agrupamento para os sistemas de irrigação. Observa-se a formação de grupo bem definido, reunindo o sistema de gotejamento e o de pivô central (Grupo I). Essa formação de grupo pode ser explicada pela semelhança entre os sistemas de irrigação, o gotejamento, que é aplicação localizada, e o pivô central que aplica também a água de irrigação de forma localizada, utilizando o sistema LEPA. Desse modo, a entrelinha da cultura do café fica sem aplicação de água da irrigação nos dois sistemas anteriores, assim os atributos físicos (principalmente resistência à penetração, massa específica e porosidade do solo) são pouco afetados, por haver pouco tráfego de máquinas na área.

Os demais sistemas de irrigação (aspersão em

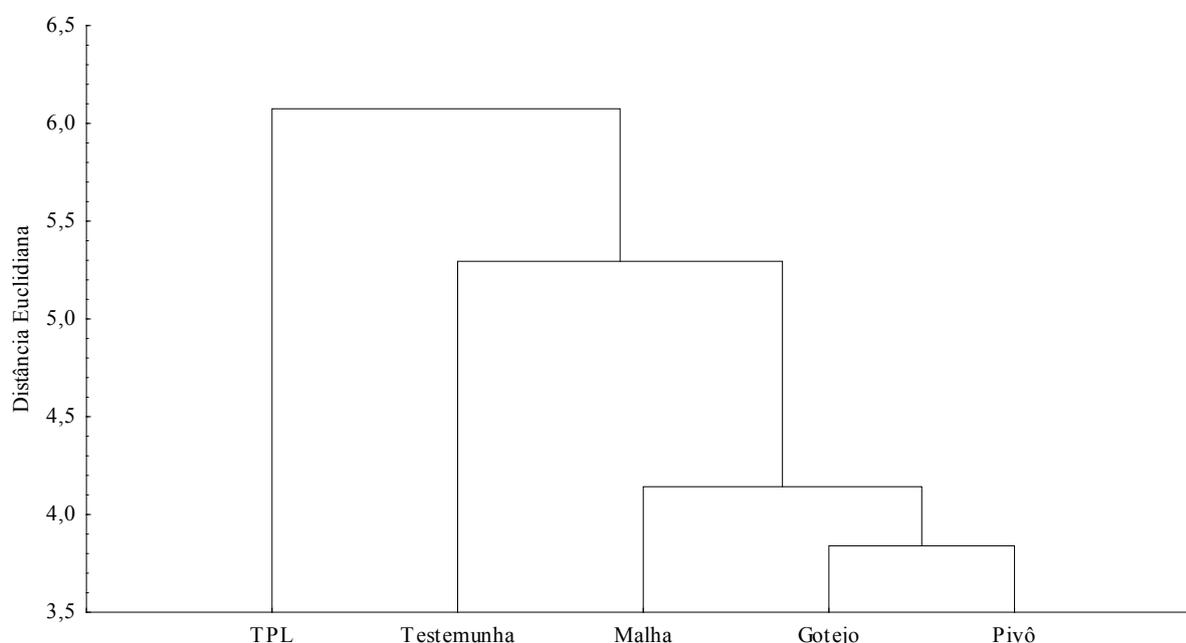


Figura 1. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamento, mostrando a formação de grupos nos sistemas de irrigação: pivô central (Pivô), gotejamento (Gotejo), aspersão em malha (Malha), tubos perfurados a laser (TPL) e Testemunha.

malha e tubos perfurados a laser) e a testemunha não formaram grupos específicos, mas pode-se observar que o sistema de irrigação por tubos perfurados a laser é aquele que apresenta maior dissimilaridade em relação ao Grupo I (Figura 1). Esse fato está associado ao método de distribuição dos fertilizantes e defensivos, pois, no Grupo I, essa aplicação é feita sem movimentação de máquinas, ou seja, pelo método de irrigação, enquanto, com o tubo perfurado a laser, as aplicações de fertilizantes e defensivos são feitas com máquinas e as ações sobre os atributos físicos do solo são maiores. Assim, o sistema de irrigação por tubos perfurados a laser apresentou maior similaridade com a testemunha, por utilizar os mesmos métodos de aplicação de insumos. O sistema de aspersão em malha assumiu posição intermediária, por suas características, tanto de aplicação localizada, quanto de aplicação em área total (aspersão).

O resultado da variância dos dados originais, considerando-se os sistemas de irrigação, é apresentado na Figura 2. Nesse caso, pode-se observar a influência de cada sistema de irrigação nos atributos físicos do solo.

O sistema de irrigação por pivô central exerceu influência no teor de água, na camada de 0-10 cm; na porosidade total, na camada de 20-30 cm, e na massa específica do solo, na camada de 10-20 cm. E, de certo modo, o gotejamento também influenciou, só que em menor proporção, e isso é observado pela variância positiva. Nem sempre as características com maiores influências são as que discriminam ou assemelham o conjunto de dados, mas, o conjunto de componentes, no todo.

Observa-se, ainda, na Figura 2, que o sistema de irrigação por tubos perfurados a laser (TPL) tem grande influência na resistência mecânica do solo à penetração, com altos valores de variância em todas as camadas, enquanto, na testemunha, o valor que mais discrimina é a massa específica do solo, na camada de 20-30 cm.

No Quadro 1 é apresentada a correlação entre cada atributo físico do solo e seu respectivo componente principal, e, nesse caso, foram considerados apenas os CP1 e CP2, que armazenaram 73,2 %, aproximadamente, da variância dos dados. Assim, em cada camada de solo é possível verificar quais as características de maior poder discriminatório.

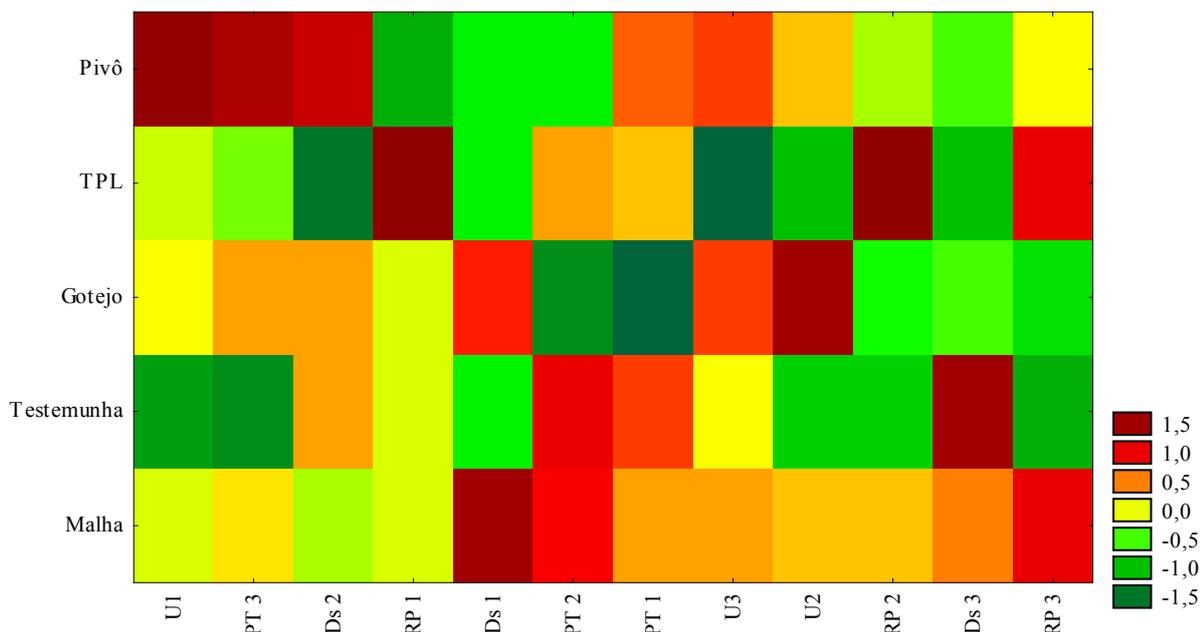


Figura 2. Variância dos dados, considerando-se os sistemas de irrigação (Pivô Central - Pivô, Gotejamento - Gotejo, Aspersão em Malha - Malha, Tubos Perfurados a Laser - TPL e a Testemunha) e os atributos físicos do solo. Em que: camada de 0-10 cm (1), 10-20 cm (2) e 20-30 cm (3); o teor de água (U), porosidade total (PT), massa específica do solo (Ds) e a resistência à penetração (RP).

Na camada de 0-10 cm, verifica-se a influência da resistência à penetração, no CP1, e do teor de água, no CP2; na camada de 10-20 cm, observa-se uma distribuição mediana para todas as variáveis, no CP1, mas, no CP2, observa-se maior poder discriminante da resistência à penetração e, na camada de 20-30 cm, existe maior poder discriminante do teor de água e da porosidade total do solo, no CP1, enquanto, no CP2, esse maior poder é da massa específica do solo.

Verifica-se que todos os atributos físicos do solo, na camada de 10-20 cm (Quadro 1), apresentam significado relevante no momento de verificar a dissimilaridade dos sistemas de irrigação; claro que, para alguns sistemas de irrigação, os atributos físicos das demais camadas podem ser importantes.

O valor de cada componente principal e a percentagem de cada um no todo são verificados no Quadro 2. Observa-se que os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) apresentam 73,2 %, aproximadamente, da variância dos dados.

Na Figura 3 é possível observar a distribuição dos sistemas de irrigação e dos componentes da física do solo. Infere-se que o sistema de irrigação por tubos perfurados a laser apresenta como variáveis discriminantes a resistência à penetração do solo em todas as camadas, fato esse que sugere, para locais com intensa movimentação de máquinas, que a resistência à penetração do solo é um componente de fundamental importância, que não pode deixar de ser avaliado. Esse fato foi também comprovado por Silva *et al.* (2002), em um Latossolo Vermelho com irrigação por tubos perfurados a laser. Os autores verificaram que a resistência à penetração do solo apresentou maiores valores nas amostras de áreas onde o solo foi trafegado com máquinas agrícolas, do que em outros sistemas de irrigação (aspersão em malha e gotejamento). Já Silveira *et al.* (1997), em Latossolo Roxo, mostram que a resistência à penetração encontra-se nas camadas mais superficiais do solo, sendo as maiores até 15 cm.

O sistema de irrigação por aspersão em malha

Quadro 1. Correlação entre cada descritor (atributos físicos do solo) e os componentes principais (CP1 e CP2)

	CP1	CP2
Camada de 0-10 cm		
U	0,23	-0,36
RP	-0,37	-0,16
Ds	0,13	-0,07
PT	-0,20	0,16
Camada de 10-20 cm		
U	0,36	-0,18
RP	-0,32	-0,35
Ds	0,38	0,18
PT	-0,30	0,29
Camada de 20-30 cm		
U	0,40	0,15
RP	-0,21	-0,35
Ds	-0,00	0,52
PT	0,28	-0,36

Em que: U – teor de água do solo; RP – resistência à penetração; Ds – massa específica do solo e PT – porosidade total do solo.

Quadro 2. Autovalores dos componentes principais (CP1, CP2, CP3 e CP4)

CP	Autovalores	% Total	Acumulativo (%)	Acumulativo (%)
1	5,38	44,85	5,38	44,85
2	3,40	28,32	8,78	73,20
3	1,84	15,33	10,62	88,50
4	1,38	11,48	12,00	100,00

ficou em uma posição intermediária. Neste sistema pode ocorrer a translocação de argila do horizonte superficial para as camadas mais profundas, o que aumenta a resistência à penetração do solo (RENA & MAESTRI, 1986), o que não foi constatado.

A testemunha, na análise de agrupamentos, apresentou similaridade ao sistema de tubos perfurados a laser. Porém, na análise de componentes principais houve um afastamento, por causa de o fator discriminante da testemunha ser a massa específica do solo na camada de 20-30 cm (Figura 3), associado, em parte, com o efeito da porosidade total do solo. Assim, observa-se variação dos atributos físicos do solo com o movimento de máquinas, principalmente em locais nos quais não ocorre irrigação na cultura do café.

Para o gotejamento e o pivô central, observa-se efeito da porosidade total do solo da camada de 20-30 cm, associado ao teor de água do solo das camadas de 0-10 e 10-20 cm.

Portanto, pode-se inferir que, para o sistema de

irrigação por tubos perfurados a laser, é importante fazer a avaliação da resistência mecânica do solo à penetração; para os sistemas de irrigação por gotejamento e pivô central deve-se avaliar a massa específica, o teor de água e a porosidade total do solo. Para o sistema de aspersão em malha, pode-se avaliar todos os atributos, enquanto, nas áreas sem irrigação, a massa específica e porosidade total do solo devem ser avaliadas.

CONCLUSÕES

- Os sistemas de irrigação por gotejamento e pivô central agruparam-se pela similaridade dos métodos de irrigação;
- A testemunha (sem irrigação) apresentou condições similares as do sistema de irrigação por tubos perfurados a laser, pela análise de agrupamento. Na análise de componentes principais, há efeito da resistência à penetração, para os tubos perfurados a laser, e da massa específica do solo, para a testemunha;

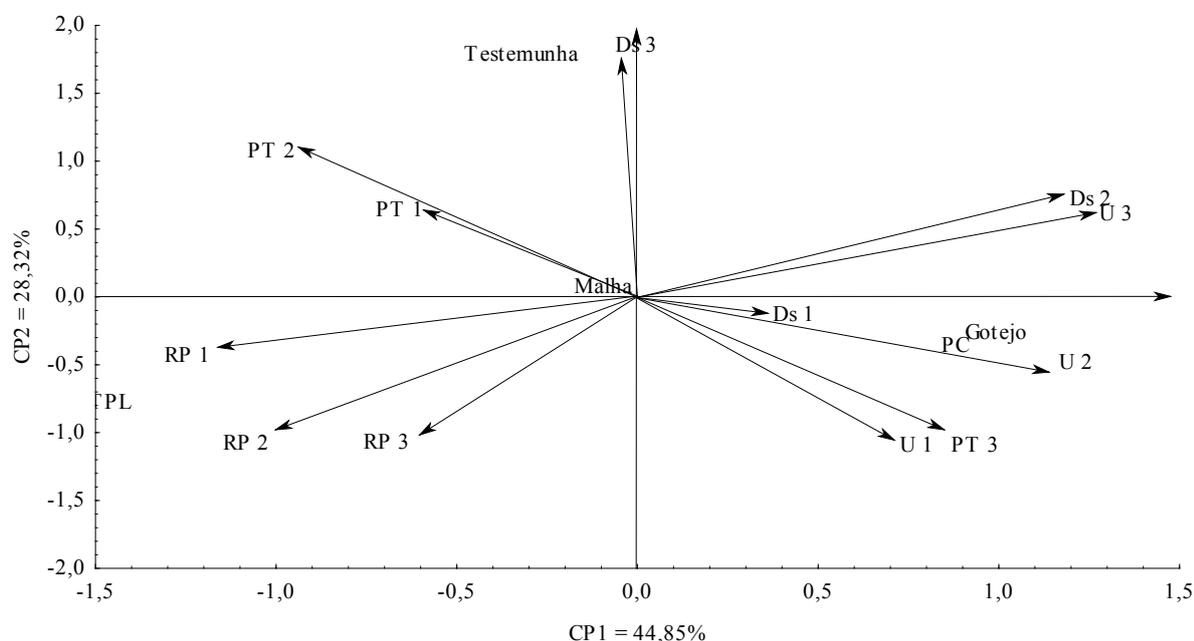


Figura 3. Gráfico *biplot* em função dos sistemas de irrigação (Pivô Central - PC, Tubos Perfurados a Laser - TPL, Gotejamento - Gotejo, Aspersão em Malha - Malha e Testemunha - sem irrigação) e dos componentes da física do solo. Em que: na camada de 0-10 cm (1), 10-20 cm (2) e 20-30 cm (3); teor de água (U), porosidade total (PT), massa específica do solo (Ds) e a resistência à penetração (RP).

- Utilizando-se a análise multivariada é possível verificar quais os sistemas com maior dissimilaridade (agrupamento) e quais os atributos físicos do solo que mais discriminaram. Portanto, são importantes na seleção de quais os atributos físicos do solo devem ser avaliados e qual a profundidade dessa avaliação; e
- A estatística multivariada possibilita o estudo das variáveis na sua totalidade, contribuindo para a análise em conjunto, melhorando a qualidade das interpretações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.337-345, 2004.
- BARROS, Z.X.; CAMPOS, S.; CARDOSO, L.; POLLO, R.A. Estatística multivariada e contraste ortogonal aplicados a variáveis do relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.2, p.249-257, 2002.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.167-177, 2001.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 390p.
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p.527-535, 2003.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special publication, 35)
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 2006. 370p.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SCAPIM, C.A. Espacialização vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.1, p.9-19, 2007a.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SILVA, Á.P. Qualidade física do solo em pomar de laranja no noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p.423-433, 2007b.
- FREDDI, O.S.; FERRAUDO, A.S.; CENTURION, J.F. Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.953-961, 2008.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Bookman, 2005. 688p
- KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, local?, v.23, n.1, p.187-200, 1958.
- MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; AMARANTE, C.V.T.; KLAUBERG FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41,

n.10, p.1531-1539, 2006.

MARTEL, J.H.I.; FERRAUDO, A.S.; MÔRO, J.R.; PERECIN, D. Estatística multivariada na discriminação de raças amazônicas de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) em Manaus (Brasil). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.115-118, 2003.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.13-86.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

SILVA, R.P.; CAMPOS, M.A.O., PAIVA, R.F.; FERNANDES, A.L.T.; DRUMOND, L.C.D. Avaliação da resistência mecânica do solo à penetração nas safras 2001 e 2002. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2002. p.428-429.

SILVEIRA, G.M.; PEREIRA, J.C.V.A.; CATANEO, A. Efeito da subsolagem na compactação do solo na cultura do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal,

v.16, n.4, p.91-97, 1997.

SNEATH, P.H.A. & SOKAL, R.R. **Numeral taxonomy**. San Francisco: W.H. Freeman, 1973. 573p.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.2, p.229-235, 1991.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e massa específica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

TORMENA, C.A.; SILVA, Á.P.; IMHOFF, S.C.; DEXTER, A.R. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.1, p.56-60, 2008.

VALENTIN, J.L. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. 117p.

WEIRICH NETO, P.H.; BORGHI, E.; SVERZUT, C.B.; MANTOVANI, E.C.; GOMIDE, R.L.; NEWES, W.L.C. . Análise multivariada da resistência do solo à penetração sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1186-1192, 2006.