

ESTUDO DA ESPACIALIDADE DO ÍNDICE DE CONE EM FUNÇÃO DO LOCAL AMOSTRADO EM UMA LAVOURA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

R.P. MAGALHÃES¹, J.P. MOLIN², G.D.C. FAULIN¹

RESUMO

Como diversos estudos têm mostrado diferenças espaciais dos atributos físicos do solo que podem atribuir variações na lavoura, este assunto adquire certa importância, visto que os resultados da coleta de dados com uma grade amostral previamente definida subsidiam, muitas vezes, a locação de unidades de gerenciamento no campo. Este trabalho apresenta o estudo das variações em mapas de compactação do solo em função do ponto amostrado por penetrometria numa lavoura de café (*Coffea arabica* L.), considerando uma amostragem efetuada na entrelinha das plantas, local onde o rodado do trator preferencialmente trafega e imediatamente abaixo das copas das árvores. O estudo foi feito na fazenda São Carlos, município de Gália, SP, através da coleta de dados de índice de cone com penetrômetro hidráulico-eletrônico e coletando os dados georreferenciados por meio de um receptor de DGPS. Para auxiliar na análise, também se procedeu a coleta de dados espacializados da umidade do solo, aferida pelo método gravimétrico. Observaram-se diferenças significativas dos valores coletados por onde passa o rodado do trator, os quais foram maiores em comparação com os demais. Em todas as situações a camada mais compactada localizou-se na profundidade de 0,1 a 0,2m e a umidade do solo teve baixa relação espacial com o índice de cone.

PALAVRAS-CHAVE: AGRICULTURA DE PRECISÃO, COMPACTAÇÃO DO SOLO, PENETROMETRIA.

SPATIAL CHANGES OF CONE INDEX AS FUNCTION OF SAMPLING PLACE ON A COFFEE PLANTATION

SUMMARY

Several studies have shown spatial differences in physical soil attributes that in many situations are responsible for variations in the crop. With the knowledge of such variability it is possible to define management zones. A study was done in a coffee arabica crop to identify differences between the cone index collected in the spots located under the coffee plants, between two roads of planting and over the machinery traffic path. The study was conducted in a farm located in Gália, São Paulo state, using an electronic hydraulic penetrometer and collecting the coordinates of each reading with a DGPS. Sample of soil moisture were also collected. Significant differences were observed in the values collected over the machinery path comparing to the other spots. The most compacted zone was identified at 0,1 to 0,2 m depth and soil moisture was not well related to spatial distribution of cone index.

KEY WORDS: PRECISION AGRICULTURES, SOIL COMPACTION, PENETROMETER

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão estuda a variabilidade espacial de parâmetros no campo e assume a existência da desuniformidade, culminando no gerenciamento localizado dos fatores de produção. A busca desses fatores de maior importância para cada condição é uma tarefa de primeira importância. Por exemplo, nos Estados Unidos da América, parâmetros físicos do solo, que em última análise se associam à drenagem, tem sido o

¹ Engº Agrônomo, Mestrando em Máquinas Agrícolas, Depto. de Engenharia Rural, ESALQ/ USP, Av. Pádua Dias, 11-Caixa Postal 9. 13400 - Piracicaba - SP, e-mail: rmagalha@esalq.usp.br.

² Engº Agrícola, Prof. Doutor, Deptº de Engenharia Rural, ESALQ / USP, Piracicaba – SP.

principal responsável pela variabilidade espacial e temporal da produtividade das culturas, ultrapassando em importância a fertilidade do solo (MOLIN, 2001).

O manejo do solo exercido pelo homem em áreas cultivadas insere no sistema uma fonte adicional de variabilidade, principalmente quando cultiva-se uma cultura perene, a qual permite o tráfego de máquinas e implementos apenas entre as linhas de cultivo (BECKETT & WEBSTER, 1971), promovendo muitas vezes, a compactação localizada do solo.

Entende-se por compactação o processo de estresse mecânico, caracterizado pelo decréscimo em volume e aumento da densidade, preferencialmente através da extrusão do ar dos poros do solo. O aumento da densidade provoca o decréscimo da aeração do solo, diminuindo a disponibilidade de oxigênio à raiz e microorganismos presentes neste, o que pode culminar na diminuição da produtividade e muitas vezes, morte da planta cultivada. GUPTA & ALLMARAS (1987) descrevem a compactação do solo como sendo sua compressão em estado não saturado, durante a qual ocorre aumento da densidade em consequência da redução de seu volume. Esse processo pode ser causado por máquinas e implementos agrícolas, como constatado por NOVAK et al. (1992) em estudo sobre o efeito do tráfego de trator e pressão de contato do pneu sobre o solo na compactação de um latossolo.

SILVA (2002) atribui à compactação dos solos a associação do tráfego de máquinas com condições de umidade inadequadas, não respeitando a capacidade de suporte de cargas destes. Segundo MIELNICKUK (1993), a compressão exercida por máquinas agrícolas é uma das ações que podem conferir ao solo estrutura maciça, com redução de seu espaço poroso, aumentando sua densidade e resistência à deformação. O autor cita como outras causas desta alteração, práticas que promovem o fracionamento de agregados ou redução via atividade microbiana de compostos orgânicos responsáveis pela estabilidade destes no solo.

LANÇAS et al. (2000) demonstraram a aquisição de dados de índice de cone por meio de um sistema composto por um penetrômetro hidráulico-eletrônico, GPS e programas computacionais, concluindo que ao gerar mapas de índice de cone, diferenças existentes entre regiões representadas pelos diversos pontos amostrais levantados na área são demonstradas, sendo este um método prático para a mensuração da compactação do solo.

Por sua vez, a umidade do solo é um fator de grande influência na sua resistência à penetração, como constatado por AASE et al. (2001), os quais mostraram que esta resistência diminui em função do aumento da umidade e aumenta em função da elevação da densidade deste. IMHOFF et al. (2000) chegaram à mesma conclusão realizando estudo de compactação do solo em pastagem.

O valor do índice de cone entre 2,6 e 5,0 Mpa é citado por ASSIS, (2000) como aquele que promove alguma limitação ao crescimento das raízes, sendo que entre 5,1 e 10,0 Mpa, estas limitações tornam-se críticas, fazendo com que o alongamento das raízes fique severamente restrito, diminuindo assim a absorção de nutrientes pelo menor volume de solo explorado pelas raízes. As plantas crescem mais vagarosamente em solos com maior resistência à penetração mesmo que suas raízes sejam capazes de absorver quantidades adequadas de água e nutrientes, pois estas são capazes de sentir as condições físicas e enviar um sinal hormonal para que a parte aérea diminua sua taxa de expansão e condução estomatal para as folhas (PASSIOURA, 1991). O autor também aponta sinais elétricos como possíveis transmissores destas informações. Há indícios deste fenômeno como a rápida resposta da diminuição da taxa de crescimento da parte aérea pela interceptação da raiz pela camada de impedimento mecânico, embora ainda não provado.

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação da espacialidade do índice de cone do solo em uma lavoura cultivada com café, identificando regiões de maior compactação e diferenciando os mapas obtidos por medições no meio da linha da cultura, na projeção da saia das plantas de café e por onde o rodado do trator preferencialmente trafega.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área em estudo situa-se na fazenda São Carlos, município de Gália, SP, em um talhão de 2,23 hectares cultivado com café variedade arábica, cultivar Mundo Novo. O solo no local é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo álico, distrófico, A fraco, apresenta relevo suave ondulado e boa drenagem.

Para a aquisição dos dados de índice de cone foi utilizado o penetrômetro hidráulico-eletrônico constituído de um cilindro hidráulico, uma haste conectada a uma célula de carga de marca Gefran[®],

modelo TG61-501 e capacidade de 4903N, um sensor potenciométrico também de marca Gefran®, modelo PCM-750 E de até 10 KΩ, ambos conectados a um computador portátil Pentium, coletando os dados e gerando um gráfico instantaneamente a partir do programa Penet, desenvolvido pelo laboratório de Eletrônica e Instrumentação do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, executado em linguagem DELPHI.

A potência hidráulica requerida para a inserção e retirada da haste do solo pelo cilindro hidráulico é provida pelo controle remoto do trator. A inserção do cilindro é calibrada para uma velocidade de 3 cm.s^{-1} por meio do ajuste da vazão do óleo do comando de controle remoto do trator. O equipamento permite a coleta de aproximadamente 8 dados de força, associados à profundidade, por segundo, sendo considerada a profundidade zero, aquela em que o solo exerce uma resistência à penetração do cone de 4 Kgf, medida pela célula de carga do equipamento.

Os dados dos arquivos gerados para cada ponto amostrado foram tratados por uma instrução lógica desenvolvida no programa Microsoft® Excel, a qual calcula uma média do intervalo de dados em cada cinco centímetros de profundidade. Para a análise estatística dos dados previamente tratados, utilizou-se o software STATÍSTICA®.

O sistema de posicionamento utilizado consta de um receptor de DGPS da marca OMINISTAR® com correção diferencial em tempo real via satélite geostacionário. Para a geração dos mapas tanto relativos ao índice de cone quanto relacionados à umidade do solo, utilizou-se o sistema de informação geográfica dedicado à agricultura de precisão (SIG) SSToolBox (SST Development Group, Inc®).

Para as amostras de umidade foi utilizada uma grade amostral de 9 pontos com uma densidade de aproximadamente 4 pontos por hectare. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 – 0,2 m e de 0,2 – 0,4 m. Após a coleta, estas foram armazenadas em sacos plásticos vedados e numerados conforme suas posições, sendo as determinações feitas no laboratório de Implantação de Culturas do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP. A determinação da mesma efetuou-se pelo método gravimétrico, que consiste na pesagem anterior e posterior à secagem em estufa a $105.^\circ \text{ C}$ até 24 horas ou peso constante.

A grade amostral para a penetrometria foi definida considerando-se a disposição da linha da cultura, e foi formada por 71 pontos com uma densidade amostral de 31,8 pontos por hectare. Coletou-se em cada ponto da grade uma amostra no centro da rua, outra na linha do rodado do trator e uma terceira na projeção da saia das plantas de café buscando caracterizar o estado de compactação do solo em cada uma das três regiões.

Realizou-se a análise estatística descritiva destes dados, além do teste de comparação de médias e desvio padrão pelo método de Student através do programa STATÍSTICA®, comparando os dados do índice de cone no meio da linha, na projeção da saia e no local por onde trafega o trator, com 0,05% de significância. Tal comparação entre os dados foi efetuada para camadas de cinco centímetros de profundidade até uma profundidade máxima de 0,4 m. A espacialização da compactação por meio da interpolação dos dados pelo método de inverso da distância foi efetuada com auxílio do SIG SStoolbox. Por último realizou-se a análise da correlação através da regressão entre os mapas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentada a estatística descritiva dos dados sem considerar a profundidade na qual estes foram coletados. Observa-se que ocorreram diferenças significativas entre a média dos valores de índice de cone indicando que os valores coletados no local onde passa o rodado do trator foram maiores que aqueles coletados no meio da linha da cultura ou na projeção da saia. Nota-se que na projeção da saia ocorrem valores máximos elevados, sendo este fator devido à presença de raízes, que ocasionalmente são interceptadas pela haste do penetrômetro, aumentando também por este motivo, o desvio padrão dos dados neste local.

TABELA – 1. Descrição estatística dos dados coletados nos diferentes pontos em relação à localização das plantas.

Posição da obtenção do dado	Número de Amostras	Índice de cone (Mpa)			
		Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Centro das ruas	460	3,36 ^A	0,28	10,59	1,20 ^A
Rodado	460	3,88 ^B	0,40	13,62	2,04 ^B
Projeção das plantas	456	3,36 ^A	0,36	14,23	2,31 ^C

Letras distintas diferem a 5 % de significância (média e desvio padrão).

Na Figura 1 é apresentada a espacialidade da umidade a diferentes profundidades e locais de coleta.

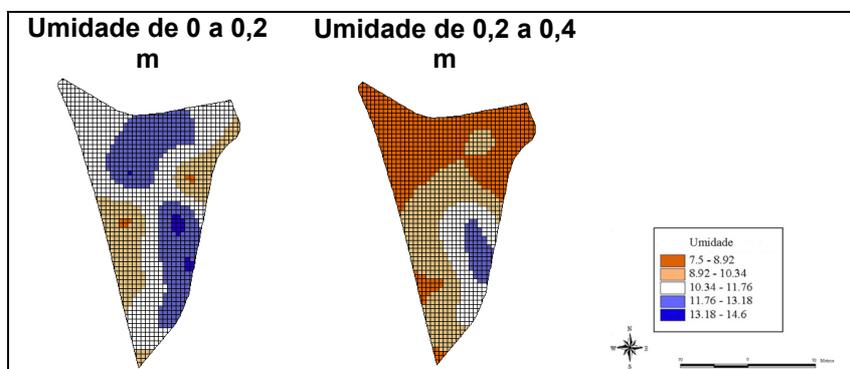


FIGURA 1 – Mapas de umidade do solo nas profundidades de 0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m.

Na Figura 2 é apresentada a espacialização do índice de cone nas diferentes profundidades e locais de coleta. Observa-se pela análise visual que a compactação foi maior na região do rodado do que nos demais pontos coletados e se deve, provavelmente, à pressão exercida pelo rodado dessas máquinas ao trafegarem na lavoura. Constatam-se camadas de impedimento em todas as situações, uma vez que o valor do índice de cone entre 2,6 e 5,0 Mpa é citado por ASSIS, (2000) como aquele que promove alguma limitação ao crescimento das raízes e entre 5,1 e 10,0 Mpa, estas limitações tornam-se críticas. Os mapas também mostram uma camada mais compactada na profundidade de 0,1 a 0,2 m em todos os diferentes tratamentos (linha, rodado e projeção da saia). Há regiões com diferenças marcantes nos valores do índice de cone observados, indicando que há variabilidade espacial no estado de compactação dessa lavoura, o que induz a possíveis tratamentos localizados caso esses sejam viáveis em lavoura de cultura perene.

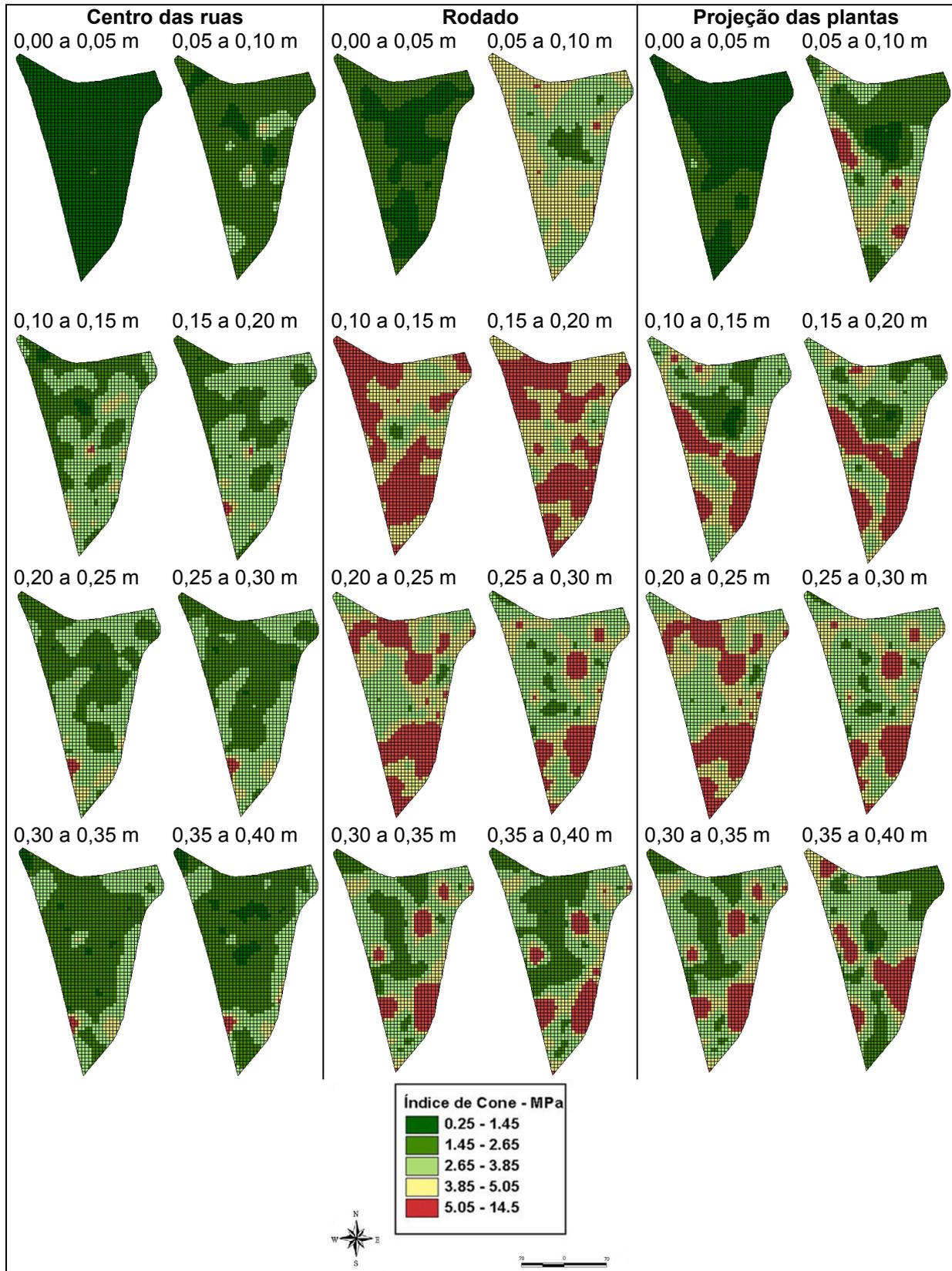


FIGURA 02 – Mapas do índice de cone referentes aos dados coletados nas diferentes localizações e profundidades.

Observa-se visualmente uma relação inversa de causa e efeito entre o índice de cone e a umidade para o caso dos dados de índice de cone coletados na projeção das plantas. As possíveis causas deste fenômeno não foram contempladas pelo presente trabalho, podendo ser, provavelmente, atribuídas à maior quantidade de raízes nesta região, as quais inserem uma fonte adicional de atrito ao sistema.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da regressão (R^2) entre os dados interpolados de índice de cone com a umidade do solo.

TABELA 2. Resultados da regressão (R^2) entre os dados interpolados de índice de cone com a umidade do solo.

Posição da obtenção do dado	Coeficiente de regressão (R^2)*	
	Profundidade (m)	
	0 - 0,2	0,2 - 0,4
Centro das ruas	0.00038	0.03237
Rodado	0.03967	0.00071
Projeção das plantas	0.03055	0.01690

*Todos não significativos a 5% de probabilidade

Apesar de ser esperada correlação entre estes, esta não foi constatada. Pela análise de regressão não se pode identificar a possível relação causa e efeito observada visualmente na projeção das plantas. É sabido que a umidade do solo atua como lubrificante do cone e que seu monitoramento é importante para auxiliar na interpretação dos dados de índice de cone, no entanto, no presente caso, para os níveis de umidade observados não foi constatada relação.

CONCLUSÕES

A maior compactação observada está na área por onde passa o rodado das máquinas e se deve, provavelmente, à pressão exercida pelo rodado dessas máquinas ao trafegarem na lavoura. A camada mais compactada no perfil da área para todas as posições estudadas localiza-se entre 0,1 a 0,2 m de profundidade e não foi identificada relação evidente entre a distribuição espacial do índice de cone e da umidade do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AASE, J.K.; BJORNEBERG, D.L.; SOJKA, R.E. Zone-subsoiling relationships to bulk density and cone index on a furrow-irrigated soil. Transactions Of The ASAE, vol, 44. n. 3, p. 577-583, 2001.
- ASSIS, R.L. Conhecimentos básicos em física do solo e suas aplicações. In: XVII CONEEAGRI – Congresso Nacional de estudantes de Engenharia Agrícola. Cascavel, PR, 2000 (curso)
- BECKETT, P.H.T. and WELSTER, R. Soil variability. A review Soil Fert. 34: 1-15, 1971.
- GUPTA, S.C.; ALLMARAS, R.R. Models to Acces The Susceptibility Of Soil To Excessive Compaction. Adv. Soil Science, v.6. p.65-100, 1987.
- IMHOFF, S.; SILVA, P.da.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem, Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.7, p.1493-1500, Jul. 2000.

- LANÇAS, K.P.; NETO, P.C.; NAGAOKA, ^aK.; GERRA, S.P.S. Índice de cone e mapas de isocompactação do solo agrícola, obtidos com a utilização de um penetrômetro hidráulico-eletrônico e um sistema de posicionamento global diferencial (DGPS). In: Balastreire, L.A. O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil. Piracicaba: o autor, 2000, p.113-123.
- MIELNICKUK, J. Modificações da estrutura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. Resumos. Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.21-22.
- MOLIN, J.P. Agricultura de Precisão: O gerenciamento da variabilidade. Piracicaba: o autor, 2001. 83p.
- NOVAK, L.R.; MANTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um latossolo vermelho-escuro álico em dois níveis de umidade. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.27, n.12, p.1587-1595, Dez. 1992.
- PASSIOURA, J.B. Soil Structures and plant growth. Australian Journal of soil research., v.29, p.717-728, 1991.
- SILVA, R. B. da. Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um latossolo sob diferentes intensidades de uso na região dos cerrados. Lavras, 2002. 142p. dissertação (doutorado)- Universidade Federal de Lavras.