

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DE SOLOS SUBMETIDOS A MANEJO FLORESTAL DE VEGETAÇÃO NATIVA NA CHAPADA DO ARARIPE

Adriana Oliveira Araújo¹; Luiz Alberto Ribeiro Mendonça²; José Valmir Feitosa²; Mário Renan de Oliveira Romão²; Sanne Anderson de Moura Araújo² & Antonio Alisson Fernandes Simplício²

Resumo - A capacidade de infiltração e a recarga de aquíferos são afetadas pela compactação do solo, podendo ser avaliada através da resistência a penetração (RP), que é obtida com uso de penetrômetros. Neste trabalho foram estudadas as RPs de solos submetido a manejo florestal na Chapada do Araripe, com uso do penetrômetro de impacto. Os valores das RPs foram convertidos em MPa através do modelo físico dos Holandeses. As RPs foram associadas com os teores de matéria orgânica, utilizados como indicadores de modificações na estrutura dos solos. As amostras de solos foram ordenadas em três grupos. O Grupo 1, de área de vegetação preservada e os demais, de áreas antropizadas no manejo. Observou-se que no Grupo 1, de maior teor de matéria orgânica, as RPs ficaram na faixa de resistência moderada (1–2 MPa), indicando baixa compactação. O Grupo 3, de menor teor de matéria orgânica, apresentou RPs muito altas (4–8 MPa), indicando elevada compactação (capaz de restringir o crescimento radicular) e baixa capacidade de infiltração.

Abstract - The infiltration capacity and aquifer recharge are affected by soil compaction, can be evaluated by penetration resistance (PR), which is obtained with the use of penetrometers. In this study, the PRs of soils subjected to forest management in the Araripe Plateau, using the impact penetrometer. The values of the PRs were converted to MPa using the physical model of the Holandeses. The PRs has been associated with organic matter content, used as indicators of changes in soil structure. The samples were sorted into three groups. Group 1, the area of preserved vegetation and the others in the anthropic management. It was observed that in Group 1, higher organic matter content, the PRs were in the range of moderate resistance (1-2 MPa), indicating low compression. Group 3, with lower organic matter content, showed very high PRs (4-8 MPa), indicating a high compression (able to restrict root growth) and low infiltration capacity.

Palavras-chave - compactação, capacidade de infiltração, recarga de aquíferos

¹ Faculdade de Tecnologia Centec – Cariri, Av. Amália Xavier de Oliveira s/n, Bairro Triângulo, CEP 63040-000, Juazeiro do Norte – CE; Fone: (88) 3566 4051; e-mail: adrianasaneamento@yahoo.com.br.

² Universidade Federal do Ceará, Campus do Cariri, Av. Tenente Raimundo Rocha s/n, Bairro Universitário, CEP 63000-000, Juazeiro do Norte – CE; Fone: (88) 3572 7223; e-mail: mariorenanbr@hotmail.com; larm@ufc.br.

1 – INTRODUÇÃO

A compactação do solo influencia no arranjo estrutural dos grãos, aumentando a densidade e a microporosidade, diminuindo a macroporosidade e a capacidade de infiltração, interferindo no crescimento das raízes. Assim, o estudo em conjunto das modificações que ocorrem nas propriedades físicas do solo evidenciam a importância da avaliação do grau de compactação.

Um dos atributos físicos do solo que melhor retrata a compactação é a resistência à penetração (RP) (Imhoff et al., 2000; Stone et al., 2002), por apresentar relação direta com a densidade do solo e com o crescimento das plantas (Hoad et al., 2001; Silva et al., 2003).

Neste contexto, a RP é influenciada pelo conteúdo de água, pela textura e pela condição estrutural do solo (Tardieu, 1994).

Num dado perfil, a RP identifica as camadas compactadas devido o manejo do solo. Esta medida descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele como, por exemplo, uma raiz em crescimento ou a água percolando (Pedrotti et al., 2001).

Segundo Bertol et al. (2001), áreas de solos compactados possuem baixas capacidades de infiltração e, conseqüentemente, maior escoamento superficial e erosão. Centurion et al. (2001) e Freddi et al. (2006) observaram que áreas sob diferentes sistemas de manejo apresentam modificações acentuadas na estrutura do solo, resultando numa elevada variabilidade da RP, com conseqüente formação de camadas compactadas, proporcionadas pelos implementos utilizados. Estas camadas foram observadas principalmente até os primeiros 40 cm de profundidade. Em áreas de vegetação preservada eles observaram menor RP, com baixa variabilidade no perfil.

Segundo Souza e Alves (2003), áreas com adequadas práticas de manejo apresentam maiores capacidades de infiltração e condutividade hidráulica e menor RP.

A RP é determinada com o uso de penetrômetros. Dentre os penetrômetros mais utilizados encontram-se os estáticos (que registram a RP por unidade de área), os dinâmicos ou de impacto (que registram a RP por unidade de profundidade) e os estáticos eletrônicos (que registram a RP por valores de resistência elétrica do solo).

Conforme Tormena e Roloff (1996), Casa Grande (2001) e Costa e Nishiyama (2007), o penetrômetro de impacto possui as seguintes vantagens: o baixo custo; a não necessidade de calibração frequente; a obtenção de resultados independente do operador; a leveza do equipamento, reunido num conjunto de cerca de 7,5 kg; a aplicabilidade a todas as situações indicadas aos penetrômetros estáticos manuais; a possibilidade da utilização em solos de alta resistência; a praticidade por dispensar o dinamômetro e o registrador; e a rapidez na execução dos ensaios em campo.

O penetrômetro de impacto tem sido amplamente utilizado no campo para caracterização de solos compactados pelo uso e manejo. À medida que o mesmo atinge as camadas mais compactas, a penetração por impacto é menor, possibilitando a localização dessas zonas no perfil.

Neste tipo de penetrômetro os resultados são fornecidos em número de impactos necessários para perfurar um decímetro de solo (impactos/dm). Entretanto, para melhor aproveitamento dos dados obtidos, é necessária a conversão dos mesmos em grandeza física que represente a resistência mecânica dos solos, como por exemplo, em MPa (Stolf, 1991).

No presente trabalho, foi feita uma avaliação da resistência do solo à penetração em uma unidade de manejo florestal de vegetação nativa na Chapada do Araripe, associada ao teor de matéria orgânica, utilizado como indicador de modificações na estrutura dos solos. Como em um manejo a área é dividida em talhões que são explorados individualmente em seqüência anual, será possível entender a dinâmica de modificações ocorridas na estrutura do solo capazes de interferir na recarga do aquífero.

2 – METODOLOGIA

2.1 – Localização da área

A unidade de manejo florestal estudada nesta pesquisa foi a da Fazenda Pau D'arco, localizada no setor oriental da Chapada do Araripe, extremo sul do Estado do Ceará, próxima a divisa com o Estado do Pernambuco (Figura 1). Esta unidade de manejo foi implantada em 2002 com a finalidade de fornecer lenha para uma indústria de cerâmica localizada no município do Crato. Antes da implantação, a partir de 1974, a área foi degradada para plantio de café e outras culturas, além de abrigar aproximadamente 52 famílias, que sobreviviam da caça e da produção clandestina de carvão vegetal.

A unidade de manejo é composta de 11 talhões distribuídos numa área de aproximadamente 15 km². Nas vizinhanças do mesmo encontra-se a FLONA, com aproximadamente 383 km² de área preservada, que exerce grande influência no clima local, tornando-o úmido e desempenhando papel de destaque nos recursos hídricos regionais.

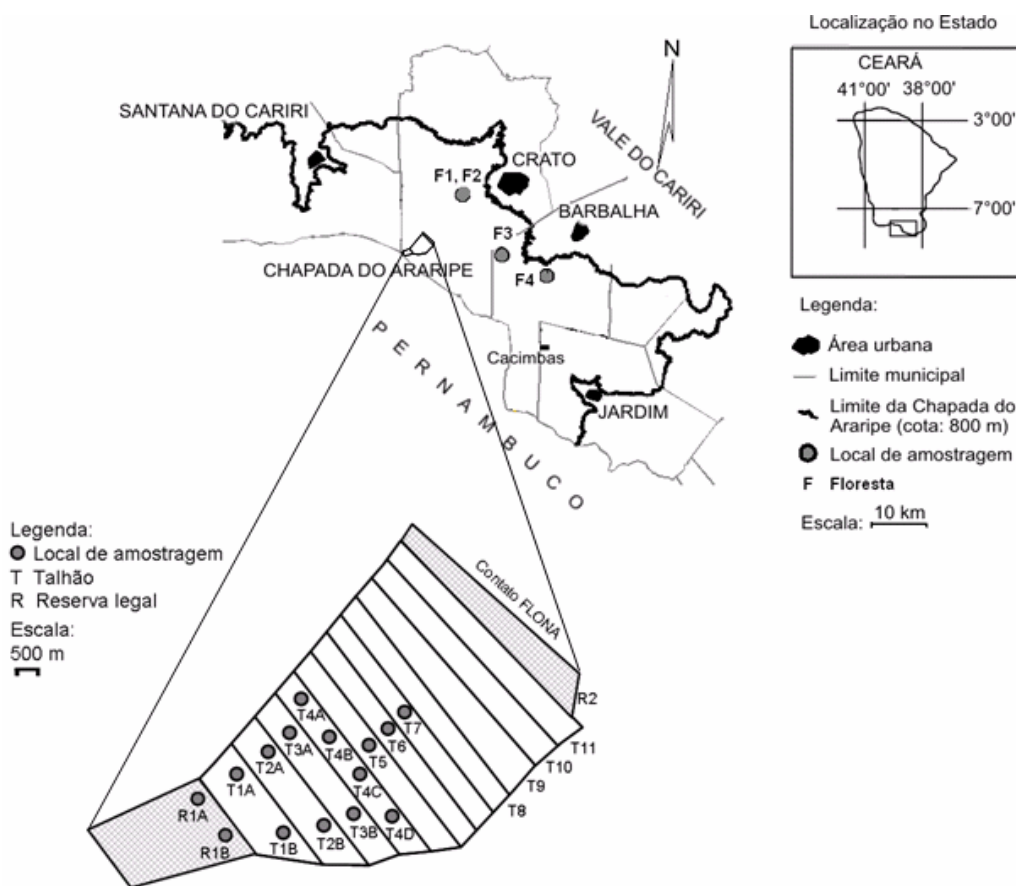


Figura 1. Localização da Área de Estudo

O clima desta região é do tipo Aw', característico de "Clima Tropical Chuvoso" (classificação de Köppen), com precipitação média anual de 1.033 mm, distribuída numa estação chuvosa que vai de janeiro a maio (DNPM, 1996), temperatura média máxima de 34°C e mínima de 18°C e umidade relativa do ar média máxima de 80% e mínima de 49% (INMET, 1993).

Segundo Jacomine et al. (1973), Lima (1989) e Cavalcanti e Lopes (1994), no setor oriental da Chapada encontra-se: a floresta úmida semiperenifólia, caracterizada pela alta densidade e elevado porte das árvores, sem gramíneas no sub-bosque; o cerradão, caracterizado pela redução na densidade arbórea e no porte das árvores, com gramíneas no sub-bosque; o cerrado, com arvores esgalhadas, retorcidas e distantes umas das outras; e as áreas antropizadas.

De acordo com o levantamento exploratório de Jacomine et al. (1973) e de Carvalho et al. (1999), no setor oriental da chapada predominam os solos do tipo latossolos vermelho-amarelo de textura média a argilosa, provenientes dos arenitos da Formação Exu, que afloram na área.

2.2 – Determinação da resistência à penetração do solo

Para as medidas de resistência à penetração do solo (RP), foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo Stolf et al. (1983).

Neste procedimento, a penetração por impacto foi lida na haste graduada do penetrômetro e os resultados foram fornecidos em impactos/dm, que foram convertidos em MPa utilizando-se o modelo dos Holandeses. Uma descrição mais detalhada do penetrômetro e os fundamentos físicos do modelo dos Holandeses encontram-se no artigo “Modelos Físicos para Conversão de Unidades de Penetrômetros de Impacto Utilizados no Diagnóstico de Compactação de Solos”, apresentado a este congresso.

As RPs foram determinadas em cada local de amostragem (Figura 1), onde foram selecionados aleatoriamente cinco pontos num raio de aproximadamente 200m.

As RPs em cada ponto foram obtidas a cada 5 cm de profundidade, num perfil de 60 cm.

2.3 – Determinação do teor de matéria orgânica

O teor de matéria orgânica foi determinado por método gravimétrico, através da razão entre o peso da fração calcinada da amostra em mufla a 500 °C, por cinco horas, e o peso do solo seco em estufa a 105 °C (Davies, 1974). As amostras foram pesadas em balança digital com sensibilidade de 0,001 g.

2.4 – Análise estatística

Utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para ordenar grupos de solos com perfil de matéria orgânica quantitativamente semelhante e para fazer análise de variância para contrastes entre médias da variável RP, usando o programa Statistical Analysis Systems (SAS).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de solo coletadas nos talhões da unidade de manejo florestal e na área de vegetação preservada da FLONA foram ordenadas em três grupos, de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Cada grupo representa solos com teor de matéria orgânica quantitativamente semelhante.

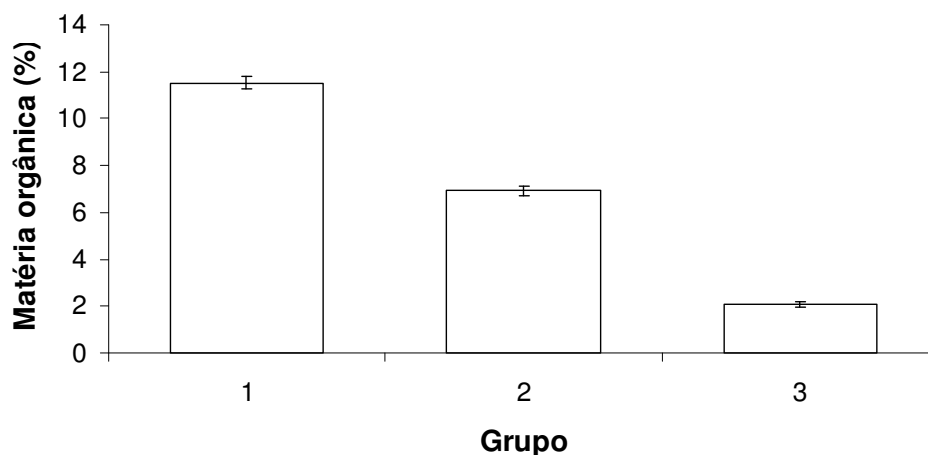


Figura 2. Médias e Erro Padrão Amostral da Matéria Orgânica, por Grupo, Ordenadas pelo Teste de Tukey ao Nível de 5% de Significância

As localidades ordenadas por grupo estão na Tabela 1.

Tabela 1. Áreas Ordenadas por Grupo de Matéria Orgânica Quantitativamente Semelhante

Grupo	Local	Descrição das localidades
1	F1, F2, F3, F4	Floresta úmida
	T4A, T4B, T4C, T4D	Talhão com exploração em andamento
2	T5, T6, T7	Talhões ainda não explorados
	R1A, R1B	Talhão da área de reserva legal
3	T1A, T1B, T2A, T2B, T3A, T3B	Talhões explorados

De acordo com a Tabela 1, os talhões já explorados apresentam menor teor de matéria orgânica que os demais talhões e que a área de floresta preservada. A exposição às intempéries, dos solos desprotegidos dos talhões já explorados (Grupo 3), levou a uma redução significativa do teor de matéria orgânica. Ao contrário dos solos protegidos na floresta úmida, cuja vegetação contribui com o aumento do aporte de matéria orgânica.

As médias das resistências dos solos à penetração por profundidade e por grupos estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Médias das Resistências à Penetração (RP) por Profundidade e por Grupo

Grupo	Profundidade (cm)/ RP (Mpa)		
	0-20	20-40	40-60
1	1,80 a	1,81 a	1,86a
2	2,86 b	2,30 b	1,92 a
3	3,58 c	2,49 b	1,98 a

a,b,c: médias entre linhas e por perfil, seguidas por mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

A Tabela 2 mostra que, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, o Grupo 1 foi o que apresentou menores valores de RP, diferindo estatisticamente dos demais grupos. Os Grupos 2 e 3 apresentaram diferença significativa na profundidade de 0-20, com maior compactação no Grupo 3. Na profundidade de 20-40 cm os Grupos 2 e 3 não apresentaram diferença significativa. Estes resultados indicam uma menor compactação nas camadas superficiais (0-40 cm) das áreas de vegetação preservada. Nas áreas manejadas há uma maior compactação, com destaque para áreas de manejo recente (Grupo 3) que apresentaram uma maior compactação nos primeiros 20 cm de profundidades.

Na profundidade de 40-60 cm, os Grupos não apresentaram diferença significativa, indicando fraca interferência das ações antrópicas neste perfil.

O Grupo 1, característico de vegetação preservada, de menor RP nas camadas superficiais, apresentou maior teor de matéria orgânica que os demais grupos.

O Grupo 3, característico de áreas recente manejadas, de maior RP nos primeiros 20 cm de profundidade, apresentou menor teor de matéria orgânica. Estes valores indicam a ocorrência de modificações na estrutura do solo, capazes de causarem redução na infiltração e aumento no escoamento superficial e erosão.

O Grupo 2, característico de áreas manejadas em recuperação, de valor intermediário de RP nos primeiros 20 cm de profundidade, apresentou indício de recuperação da estrutura física do solo.

Segundo a classificação de Arshad et al. (1996), os solos do Grupo 1, até a profundidade de 60 cm, e dos Grupos 2 e 3, na profundidade de 40 a 60 cm, apresentaram RPs na faixa de resistência moderada (1 – 2 MPa). Os Grupos 2 e 3, até a profundidade de 40 cm, apresentaram resistência alta (2 – 4 MPa) e muito alta (4 – 8 MPa), respectivamente.

Como a resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do mesmo, ela pode ser restritiva ao crescimento radicular se apresentar valores acima de 3,0 MPa (Grant e Lafond, 1993). Valores nesta faixa foram encontrados até a profundidade de 20 cm no Grupo 3.

Em trabalhos anteriores (Araújo et al., 2009a,b) verificaram-se menores valores de umidade, densidade da macrofauna edáfica e capacidade de infiltração para os solos do Grupo 3, indicando condições desfavoráveis a recarga.

4 – CONCLUSÕES

Ações antrópicas na vegetação e no solo produzem compactação, reduzindo direta e indiretamente os teores de matéria orgânica e umidade e a capacidade de infiltração, causando danos ao funcionamento biodinâmico dos solos e a recarga na área.

Neste contexto, as áreas de recarga submetidas a manejo florestal, principalmente em regiões semi-áridas, deverão ser consideradas unidade de gerenciamento no manejo da vegetação e do solo, através de estudos e monitoramento contínuo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (Cogerh), ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (Ibama) – Crato, à Área de Proteção Ambiental (APA) – Chapada do Araripe, aos proprietários e gestores da Unidade de Manejo Florestal da Fazenda Pau D'arco e ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, pelo apoio logístico; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap) e ao Governo do Estado do Ceará, pelo suporte financeiro.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; ARAÚJO, S. A. de M.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; FEITOSA, J. V.; FRANCA, R. M.; KERNTOPF, M. R.; FONTENELE, S. de B. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na Chapada do Araripe. In: I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo : ABAS, 2009b.

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; FRANCA, R. M.; FEITOSA, J. V.; ARAÚJO, S. A. de M.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; KERNTOPF, M. R.; FIGUEIREDO, J. V. de; OLIVEIRA, J. F. de. Avaliação da densidade da macrofauna edáfica como indicador da degradação de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na Chapada do Araripe. In: I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo : ABAS, 2009a.

- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, p. 123-141, 1996 (SSSA Special publication 49).
- BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 55-560, 2001.
- CARVALHO, O.L.; AQUINO, B. F.; FRISCHKORN, H.; AQUINO, M.D.; FONTENELE, R.E.S. **Tecnologia agrícola e de conservação ambiental para o topo da Chapada do Araripe**. Relatório Técnico Final. Fortaleza: BNB/FINEP – ACEP, 1999. 232 p.
- CASA GRANDE, A.A. **Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar**. In: MORAES, M.H.; M.M.L.; FOLONI, J.S.S. (Ed.). *Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistemas de prepare e manejo do solo*. Jaboticabal: FUNEP, p. 150-97, 2001.
- CAVALCANTI, A.C.; LOPES, O.F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Brasília: Embrapa, 1994.
- CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.
- COSTA, F.P.M.; NISHIYAMA, L. Caminhos da Geografia. **Revista on line**. <http://www.igufu.br/revista/caminhos.html>. ISSN 1678- 6343. Uberlândia, v. 8, n. 24, p. 131-143, 2007.
- DAVIES, B.E. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. **Soil Science Society of America Proceedings**, n. 38, p. 347-353, 1974.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Projeto de avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe**. Recife: DNPM, 1996.
- FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; JÚNIOR, V.V.; CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113- 121, 2006.
- GRANT, C.A.; LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. **Journal of Soil Science**, v. 73, p. 223-232, 1993.
- HOAD, S.P.; RUSSEL, G.; LUCAS, M.E.; BINGHAM, I.J. The management of wheat, barley, and oat root systems. **Advances in Agronomy**, v. 74, p. 195-254, 2001.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 35, p.1493-1500, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas, 1961 – 1990**. Brasília: INMET, 1993.

JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C.; MEDEIROS, L.A.R. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Boletim Técnico, 28. Recife, MA/DNPEA – Sudene/DRN, v. 2, 1973.

LIMA, D.A. **Plantas das caatingas**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1989.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JÚNIOR, M.S.; GOMES, A.S. e TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 521-529, 2001.

SILVA, V.R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, p. 171, 2003.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos, **Revista Bras. de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendações para uso de penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar- Stolf**. São Paulo, MIC/IAA/PNMC - Planasulcar, p. 8, 1983. (Série Penetrômetro de Impacto, BT1).

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Comparação do solo na cultura do feijoeiro – I: Efeitos nas propriedades físicas - hídricas do solo. **Revista Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p. 207-212, 2002.

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and root systems subjected to soil compaction: towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, v.30, p.217-243, 1994.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 2, v. 20, p. 333-339, 1996.