

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
CURSO AGRONOMIA

**PEDRO HENRIQUE DOS SANTOS COSTA**

**RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
USO E MANEJO DE SOLO**

Chapadinha - MA

2016

**PEDRO HENRIQUE DOS SANTOS COSTA**

**RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
USO E MANEJO DE SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC apresentado ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado Farias

Chapadinha – MA

2016

Costa, Pedro Henrique dos Santos.

Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo do solo / Pedro Henrique dos Santos Costa. - 2016.

38 p.

Orientador(a): Profe<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado Farias  
Profe<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado Farias.

Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia,  
Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal  
Maranhão, Curso de Agronomia, 2016.

1. Curva de retenção de água no solo. 2. Penetrômetro de impacto. 3. Resistencia à penetração. I. Profe<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado Farias, Profe<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado Farias. II. Título.

**PEDRO HENRIQUE DOS SANTOS COSTA**

**RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
USO E MANEJO DE SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso- TCC apresentado ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado Farias

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado Farias  
Doutora em Agronomia (UNESP/BOTUCATU)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marileia Barros Furtado de Moraes Rêgo  
Doutora em Agronomia (UNESP/BOTUCATU)

---

Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues  
Doutor em Agricultura Tropical e Subtropical(IAC/CAMPINAS)

CHAPADINHA-MA  
2016

*"...Saber perder é, saber perder é,  
Saber perder alguma coisa pra sobreviver...  
Aprender todo dia alguma pra sobreviver"*

*O RAPPÁ.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por ter me proporcionado a honra e a oportunidade de concluir esse trabalho e essa missão em minha vida. Sem suas bênçãos e intervenções essa jornada não se concluiria.

A minha família que sempre de alguma forma se empenho para ajudar e contribuir nos melhores e piores momentos. Vocês são a base de tudo.

Em especial, agradeço minha MÃE por ter se dedicado, se empenhado, dormido e acordado para trabalhar para que esse dia chega-se. Obrigado minha rainha!

Aos meus irmãos Bruno e Zélia e ao meu Pai por terem sido essenciais nessa jornada. Amo vocês.

Ao meu filho Dhimitri, que na escuridão foi à luz no fim do túnel. Foi para você, por você!

Aos meus grandes amigos Ricard e Joemerson, nós não somos de sangue, mas somos irmãos. A minha amiga Raquel por ter sido parceira em qualquer hora. É nós comadre. Ao meu amigo Hans TOF Miller, parceiro e companheiro.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado de Farias por te me acolhido em seu grupo e ter incentivado, apoiado e cobrado o meu melhor.

Ao professor Khalil de Menezes Rodrigues que além do apoio enorme, revelou-se um grande amigo.

Aos meus amigos do grupo MASCEMA que fizeram com que esse trabalho torna-se realidade. Em especial agradeço aos meus colegas Eduardo Feitosa, Railton, Igor e Ivo.

Aos meus amigos de republica Mubarakí, Napoleão, Guilherme, Tetedio, Aécio e meu parceiro de quarto que nos deixou e agora deve está curtindo uma vaquejada ao lado de Deus, Fabiano, aquele abraço! Aos meus amigos dançadores de swinguera de Coelho Neto.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização desse trabalho.

## RESUMO

A compactação do solo traz um aumento na densidade do solo, redução na porosidade total, na infiltração de água no solo e no armazenamento de água, aumento na restrição de fluxo de gases e na resistência ao crescimento de raízes. O objetivo desse trabalho foi avaliar a resistência do solo a penetração em diferentes sistemas de uso e manejo do solo no município de Chapadinha –MA, nos meses de fevereiro a maio de 2015. O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco sistemas de manejo e cinco repetições. Os sistemas de manejo foram: mata nativa (M.N), roça de toco (R.T), pastagem, (P), Semi - direto (S.D) e plantio convencional (P.C). Avaliou-se os seguintes atributos físico-hídricos nos diferentes sistemas: densidade do solo, umidade volumétrica, condutividade hidráulica saturada de campo, velocidade de infiltração, curva de retenção de água do solo e resistência do solo à penetração do solo. Os maiores valores de resistência do solo à penetração foram obtidos nos sistemas semi-direto e de plantio convencional. Os sistemas de mata nativa, roça de toco e pastagem obtiveram os menores valores de resistência do solo à penetração. Os sistemas de pastagem e roça de toco possuíram os maiores valores de retenção de água no solo devido ao teor de matéria orgânica e argila encontrados nos mesmos.

**Palavras-chave:** resistência à penetração, penetrômetro de impacto, curva de retenção de água no solo.

## ABSTRACT

Soil compaction brings an increase in soil density, reduction in total porosity, water infiltration into the soil and water storage, increased gas flow restriction and resistance to root growth. The aim of this study was to evaluate soil resistance to penetration in different land use systems and soil management in the municipality of Chapadinha -MA, from february to may 2015. The statistical design was completely randomized with five management systems and five replications. The management systems were native forest (M.N), stump fields (R.T), pasture (P), Semi - direct (S.D.) and conventional tillage (P.C.). We evaluated the following physical and water attributes in different systems: soil density, water content, saturated hydraulic conductivity field, infiltration rate, soil water retention curve, soil resistance to soil penetration. The larger soil resistance to penetration values were obtained in Semi-systems direct and conventional sowing. The native forest systems, stump fields and pasture obtained the lowest soil resistance to penetration values. pasture systems and stump fields owned the largest water retention values in the soil due to the content of organic matter and clay found in it.

**Keywords:** penetration resistance, impact penetrometer, water retention curve in the soil.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Específicos .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	9
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
6. CONCLUSÕES.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	22

## Índice de Equação

Equação 1: Modelo de equação proposto por van Genuchten .....	12
Equação 2: Taxa de infiltração de água no solo selecionada com a variação da infiltração acumulada ao longo do tempo.....	12
Equação 3: Condutividade hidráulica de campo (Kfs).....	13
Equação 4: Porosidade total .....	14
Equação 5: Microporosidade pelo método da câmara de Richards e EMBRAPA.....	14
Equação 6: Macroporosidade .....	14
Equação 7: Proposta pelos holandeses e descrita por Stolf (1991) .....	15

## Índice de Figuras

Figura 1. Análise geográfica e tipos de solos predominantes no município de Chapadinha, (IBGE 2014).....	9
Figura 2. Panela de Richards, utilizada na determinação da curva de retenção de água no solo. ....	11
Figura 3. Permeâmetro de Guelph utilizado para a determinação da taxa da velocidade de infiltração e condutividade hidráulica no solo. ....	15
Figura 4. Curvas de retenção de água no solo diferentes sistemas de manejo. ....	18
Figura 5. Velocidade de Infiltração (VI) de água no solo e a densidade do solo (Ds) para os diferentes sistemas de manejo.....	19

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Características texturais, físicas as áreas de estudo. M.N – Mata nativa, P.C – Plantio Convencional, S.D Semi-Direto, P – Pastagem, R.T – Roça de Toco a profundidade de (0-10).....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2: Características químicas das áreas de estudo. M.N – Mata nativa, P.C – Plantio Convencional, S.D – Semi - Direto, P – Pastagem, R.T – Roça de Toco a profundidade de (0-10).....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 3:Valores médios de densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), velocidade de infiltração (VI) em ( $\text{cm.min}^{-1}$ ) e condutividade hidráulica (K), Porosidade total, macro e micro porosidade em diferentes sistemas de manejo, Chapadinha - MA, 2015.**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 4:Resistência do à penetração (Mpa) em diferentes sistemas de manejo, Chapadinha - MA, 2015. ....**Erro! Indicador não definido.**

## 1. INTRODUÇÃO

A compactação do solo traz um aumento na densidade, redução na porosidade total, na infiltração, no armazenamento de água, aumento na restrição de fluxo de gases e na resistência ao crescimento de raízes (COSTA et al., 2013). A capacidade do solo em dá ao sistema radicular das plantas condições físicas adequadas para seu desenvolvimento é denominado qualidade física do solo. Essa estrutura que o solo oferece a planta pode ser modificada através do tipo de manejo utilizado, influenciando diretamente a produtividade.

Determinadas práticas de manejo do solo podem resultar na degradação dos sistemas agrícolas em médio e longo prazo, sendo que a compactação do solo é atualmente um dos problemas enfrentados de maior intensidade em diversas regiões. A compactação é caracterizada pela alteração das propriedades físicas do solo, sendo resultado direto de uma determinada prática de manejo onde solo é submetido a uma determinada pressão, promovendo a redução do volume e resultando no aumento da resistência à penetração e na densidade do solo.

A compactação prejudica o crescimento radicular, afetando o desenvolvimento da planta. Oliveira et al. (2014) relata que diferentes práticas de manejo podem resultar na compactação de camadas profundas do solo, alterando o comportamento da infiltração e escoamento das águas, podendo ocasionar erosão do solo. Porém, diversos outros sistemas de manejo podem desencadear no processo de compactação do solo. Em solos utilizados na agropecuária, a pressão pode ser imposta por veículos e implementos agrícolas ou ainda por pisoteio animal.

Além das máquinas, os animais são outro fator importante na degradação do solo nos dias de hoje. O pisoteio dos animais pode levar a degradação física do solo como ocorre na utilização intensa de maquinários na agricultura. Essa compactação pode trazer prejuízos ao produtor devido às plantas ao desenvolverem seu sistema radicular, encontrarem uma certa resistência à penetração (RP), fazendo com que, haja uma diminuição de sua ramificação e distribuição, comprometendo a absorção de nutrientes e da água e, automaticamente afetando a produtividade da cultura (GARBIATE et al., 2011).

A resistência do solo à penetração é variável com a densidade do solo e com a umidade do solo. A densidade é uma propriedade condicionada pelo manejo do solo e normalmente pouco variável durante o ciclo de uma cultura. No entanto, a umidade do

solo é dependente da capacidade do solo em reter água e da distribuição da precipitação no tempo e, portanto, sujeita a grandes flutuações durante o ciclo das culturas. Nessas condições, cada sistema de manejo pode condicionar limitações de resistência ao crescimento radicular em diferentes períodos.

A resistência à penetração (RP) é um parâmetro bastante utilizado para avaliar as características físicas de um solo, pelo fato de ser, economicamente satisfatório, rápido e por gerar número de observações elevadas, podendo assim, simular o impedimento do crescimento radicular. Os níveis críticos de RP variam dependendo do tipo de solo e também da espécie cultivada. Segundo Silva et al., (1994) o valor limite da RP para o sistema radicular de uma planta é de 2MPa (mega pascal), para seu ótimo crescimento, valores a mais do que esse podem restringir ou até mesmo impedir o desenvolvimento do sistema radicular da cultura.

Devido às alterações ocasionadas no solo pela compactação, relatos mostram modificações morfológicas e adaptações fisiológicas de raízes. Esse trabalho tem por objetivo avaliar e comparar a RP em vários tipos de sistemas de uso e manejo de solo e a curva de retenção de água no solo com o intuito de gerar dados sobre a região.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a resistência à penetração em diferentes sistemas de uso e manejo de solo.

### **2.2 Específicos**

- I. Verificar a resistência à penetração dos sistemas de manejo avaliados;
- II. Determinar a curva de retenção de água no solo para os diferentes sistemas de manejo;
- III. Gerar informações sobre os aspectos físico-hídricos no solo do município de Chapadinha - MA.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Resistência do Solo a Penetração

A compactação do solo é uma alteração estrutural que gera uma reorganização das partículas e de seus agregados, podendo assim limitar a infiltração e a redistribuição da água, a absorção de nutrientes, trocas gasosas e desenvolvimento radicular, gerando um decréscimo no resultado da produtividade das culturas (STONE et al., 2002).

A busca pela conservação do solo leva pesquisadores a desenvolverem técnicas com intuito de evitar a degradação física do solo. O desenvolvimento de plantas e as características físicas do solo estão diretamente relacionados com a compactação de camadas do solo (BETIOLI JÚNIOR et al., 2012). Com a compactação, a densidade pode aumentar e o volume de poros no solo pode ser reduzido drasticamente, o que resultará na redução de condutividade hidráulica, redução no sistema radicular e aumento da erosão (SHI et al., 2012).

Um atributo físico frequentemente utilizado para se avaliar a qualidade estrutural adequada para o crescimento das culturas é a de resistência do solo a penetração (RP) (SUZUKI et al., 2007). Tavares Filho e Tessier (2009) relataram que isso ocorre devido à penetrometria gerar números de observações que permite ampla resolução espacial, sendo economicamente viável e podendo simular o impedimento mecânico ao desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas. Segundo Freddi et al., (2006) a RP possui uma maior relação com a produtividade do que com atributos físicos como a porosidade total do solo e a densidade.

Os níveis críticos de RP do solo, para o crescimento radicular das plantas, podem variar dependendo do tipo de solo e cultura cultivada (MARTINS et al., 2009). A recomendação é que a avaliação da resistência seja realizada com teor de água no solo próximo a capacidade de campo. Porém, pode ser obtida no momento em que a umidade do solo está próxima de 2/3 da microporosidade, ou seja, solo friável/macio, (ROSA FILHO, 2008). Trabalhos recentes tem adotado a seguinte classificação da RP estabelecida por Arshard et al., (1996): a) extremamente baixa:  $RP < 0,01$  Mpa; b) muito baixa:  $0,01 \leq RP < 0,1$  MPa; c) baixa:  $0,1 \leq RP < 1,0$  Mpa; d) moderada:  $1,0 \leq RP < 2,0$  Mpa; e) alta:  $2,0 \leq RP < 4,0$  Mpa f) muito alta:  $4,0 \leq RP < 8,0$  Mpa; e g) extremamente alta:  $RP > 8,0$  Mpa.

Uma comparação entre dois sistemas de manejo do solo, cultivo convencional e plantio direto, utilizando como testemunha mata nativa, avaliou a resistência à

penetração em Latossolo Roxo, verificando que a maior resistência foi encontrada no sistema convencional, na ordem de 1,14 e 1,24 MPa, seguida do plantio direto, na ordem de 0,93 e 0,99 MPa, e mata nativa, com valores de 0,34 e 0,31 MPa, respectivamente, para as profundidades de 0-15 e 15-30 cm (BALDISSERA et al., 1994).

Alguns solos sofrem com problemas de compactação que ocorre devido ao tráfego pesado de máquinas ou pisoteio de animais, onde se ultrapassa a capacidade de carga que o solo possui levando a deformação de sua estrutura. O grau dessa deformação depende de fatores como o tipo e o peso das máquinas, velocidade de deslocamento, tipos de pneu, cobertura vegetal e outros como conteúdo de água, teor de argila, matéria orgânica (MAZURANA, 2011).

A RP depende de fatores como estrutura, mineralogia, textura do solo, sem contar com a umidade, pois, quando o solo possui uma baixa umidade a água se liga aos poros existentes no solo e desta forma aumenta a força de coesão que já existe no solo, resultando em uma maior resistência a penetração do sistema radicular das plantas (ASSIS, 2009).

### **3.2 Curva de Retenção de Água**

A retenção de água no solo se trata de uma característica específica de cada solo, podendo resultar na ação conjunta e complexas de vários fatores como, por exemplo, quando se sabe o teor e a mineralogia da fração da argila, o teor de matéria orgânica, estrutura, densidade do solo e entre outros (GUBIANI et al., 2012).

Um dos elementos que auxilia o produtor no manejo da irrigação é a determinação da curva de retenção de água no solo (CRA), que representa a relação entre o teor de água e a energia que está retida no solo. Esses conhecimentos são essenciais nos estudos de relações solo-água-plantas. A capacidade de um solo, em armazenar água para o crescimento e desenvolvimento das plantas, está diretamente relacionada aos atributos físico-hídricos (DALMAGO et al., 2009).

Em termos fitotécnicos, a faixa de água de interesse no solo corresponde ao intervalo compreendido entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, convencionalmente denominado de água disponível para as plantas (TAVARES; FELICIANO; VAZ, 2008). A retenção de água no solo se deve as características específicas de cada solo, onde resulta na ação conjunta de vários fatores, como teor de

matéria orgânica, estrutura, densidade do solo, teor e mineralogia da fração de argila, entre outros (FREITAS et al., 2004). Sua determinação pode ser feita a campo (*in situ*), através de técnicas de laboratório tradicionais, ou pode ser efetuada através de métodos indiretos, onde se utiliza dados taxonômicos simples para que se estime a capacidade de retenção da água nos solos (SILVA, 2002).

As propriedades físicas do solo são fundamentais para que se possa estabelecer o manejo correto da irrigação. A determinação da CRA, cuja obtenção se dá através da metodologia proposta por Richards (1965) com o uso do equipamento que consta de panela de pressão, placa cerâmica porosa e equipamentos de produção e controle de pressão, usando amostras indeformadas. Este processo é caro e lento, pois, necessita de equipamento de custo elevado e tempo para extração da umidade em baixos potenciais. A câmara de pressão de Richards é tradicionalmente usada para obtenção da CRA, onde faz-se um levantamento de certo número de pontos e traça-se uma curva que representa as características de retenção da água do solo. (NASCIMENTO, 2009).

Existem vários modelos de ajuste para as CRA, como por exemplo Brooks e Corey (1966), Genuchten (1980), Kastanek e Nielsen (2001), Prunty e Casey (2002), que possuem a função de ajustar a CRA no solo, devido ainda não existir expressões matemáticas que sejam capazes de representar de forma adequada as relações físico-hídricas. Quando se obtém a CRA de um solo, pode daí, estimar-se o potencial mátrico ( $\Psi_m$ ) através da umidade do solo. Esses valores diferentes de potencial mátrico e da umidade do solo irão indicar a quantidade de água no solo disponível para as plantas (AGUIAR, 2007).

A curva de retenção mostra o aspecto dinâmico da água no solo, pois, permite calcular a quantidade de água que um solo pode reter dentro de determinados limites de potencial matricial e o seu conhecimento permite interpretar as características do armazenamento de água no solo em relação às necessidades hídricas de determinado cultivo (URACH, 2007).

### **3.3 Infiltração de água no solo**

A dinâmica da água no solo está relacionada com a produção vegetal, assim torna-se de extrema importância para decisões sobre o uso e manejo do solo (CALHEIROS et al., 2009). A taxa de infiltração de água no solo é de fato um importante parâmetro para avaliar a qualidade física do solo, podendo haver à

integralização de características como selamento superficial, estabilidade de agregados, distribuição e tamanho dos poros (REICHERT et al., 2009).

A infiltração de água no solo é o processo de passagem da água através da superfície do solo (CECÍLIO et al., 2007). Através da melhoria nas condições de infiltração de água no solo ocasionam reduções de processos erosivos e ainda a estimulação a recarga dos aquíferos subterrâneos. Esse processo recebe influencia por vários fatores relativos ao solo e as condições a que ele é submetido, dependendo principalmente de fatores relacionados com a superfície, preparo e manejo do solo (BRANDÃO et al., 2006). Pesquisas apontam que o manejo do solo está sendo o grande responsável por alterações na taxa de infiltração. Nesse sentido, o sistema de plantio direto tem sido responsável por elevações nos valores desde atributo quando comparado ao sistema de PC (ALVES SOBRINHO et al., 2003). Porém, pode haver ocorrências de reduções desta taxa em decorrência do adensamento de partículas e do aumento do nível de compactação em camadas superficiais do solo (PINHEIRO; TEIXEIRA; KAUFMANN, 2009).

Bertol et al. (2001) diz que as práticas diferenciadas de manejo do solo e de cultivos provocam alterações nas propriedades físicas do solo, influenciando diretamente o desenvolvimento das plantas. Desse jeito, o solo cultivado tende com o tempo, a ter sua estrutura alterada devido ao fracionamento dos agregados em unidades menores, reduzindo o volume de macro e micro poros e na densidade do solo. Observa-se assim uma diminuição da taxa de infiltração de água no solo, e conseqüente aumento das taxas de escoamento superficial. Brandão et al. (2003) diz em que em condições de clima tropical e no caso de solos de Cerrado brasileiro, onde há predominância de óxidos de ferro e alumínio em relação às argilas, a estrutura do solo tem mais influência da infiltração do que na textura.

O sistema radicular das plantas criam caminhos onde favorecem o movimento de água no solo. Diversos trabalhos indicam que sistemas utilizados para recuperação de pastagens foram encontradas relações positivas entre a infiltração de água no solo e a quantidade de raízes até 0,6 m de profundidade (VILETA et al., 2003; PAGOTTO, 2001). Lanzasova et al. (2007), constataram o aumento da infiltração de água no solo devido às coberturas vegetais que proporcionaram aumento na macro porosidade e redução do impacto da gota da chuva direto com a superfície do solo.

### 3.4 Condutividade hidráulica do solo

Projetos de irrigação e drenagem, processos de infiltração de água no solo, perda de solo e fertilizantes por erosão e de substâncias químicas por lixiviação são na maioria das vezes relacionados ao fluxo de água que geralmente influenciam no processo de utilização dos recursos solo e água. Entre enumeras variáveis que influenciam este fluxo, a condutividade hidráulica do solo (K) se destaca. A condutividade hidráulica é um parâmetro que representa a facilidade com que solo conduz a água. O solo quando saturado apresenta o seu valor máximo, chamada de condutividade hidráulica saturada, e quando se utiliza de modelos matemáticos pode-se determinar a condutividade hidráulica não saturada do solo e assim obter informações sobre a movimentação da água e de solutos nos solos. As propriedades mais importantes do solo são o tamanho de suas partículas, a porosidade, sua estrutura, a compactação, ou seja, toda propriedade relacionada a geometria do solo. (LIBARDI, 2000).

Blevins et al., (1984) concluíram que a condutividade hidráulica dos solo não saturada em baixas tensões foi maior no solos com sistema de plantio direto do que em sistemas de plantio convencional. Já Roth et al., (1988) estudando parâmetros físicos e hídricos do solo em diferentes sistemas de manejo constataram que abaixo de 20KPa o solo com o sistema de plantio direto apresentou menores valores de condutividade hidráulica em relação ao sistema de plantio convencional, acima deste potencial apresentou valores maiores, fato que os pesquisadores acham importante devido a importância de se saber o contexto da água disponível para a planta. Essa contradição mostra a importância de fatores como o manejo utilizado nos sistemas, uns com maior atividade biológica no solo e outro utilizando-se culturas com sistema radicular agressivo e profundo, e a variação das características físicas do solo.

Alvarenga et al., (2012) concluíram que a condutividade hidráulica do solo, densidade e porosidade do solo tenham relação entre si e com a declividade do terreno, afetando o deslocamento da água no perfil do solo e assim a recarga de água subterrânea. O fluxo de água no solo, na região do sistema radicular das culturas é de fato uma característica pouca estudada. No entanto o seu conhecimento é de extrema importância e fundamental para o entendimento de outros fatores como o de infiltração, redistribuição e suprimento de água nas culturas.



área cultivada com a soja (*Glycine max*), b) pastagem (P. – área com pastagem (*Andropogon gayanus*), c) roça de toco (R.C - área desmatada e queimada antes do plantio, cultivada com mandioca) d) semi - direto (S.D - área com soja sobre a palhada de milho (*Pennisetum glaucum*), e) Reserva ambiental (M.N - com mata nativa (Itamacaoca).

As amostras de solo foram coletadas de forma deformada em profundidade (0-10 cm), para determinações da umidade e da curva de retenção de água no solo e densidade do solo e análise química e física (Tabela 1 e 2), realizadas em campo e no Laboratório de Engenharia de Água e Solo do CCAA/UFMA. A coleta de solo, de amostras indeformadas para a obtenção dos dados de densidade do solo, foram utilizadas cinco amostras na profundidade de 0-10 cm, com o auxílio de anéis volumétricos seca em estufa a 110 C° e depois pesadas.

Tabela 1 Características texturais, físicas as áreas de estudo. M.N – Mata nativa, P.C – Plantio Convencional, S.D – Semi-Direto, P – Pastagem, R.T – Roça de Toco a profundidade de (0-10).

Tratamentos	Areia Grossa (2-0,2mm)	Areia Fina (0,2-0,05)	Silte (0,05-0,002)	Argila (<0,002)	Silte/Argila	Classe Textura
M.N	24	57	7	12	0,58	Areia Franca
P.C	28	52	8	12	0,67	Franco Arenoso
S.D	27	59	2	12	0,17	Areia Franca
R.T	18	43	21	18	1,17	Franco Arenoso
P.	19	41	16	24	0,67	Franco argilo Arenoso

Tabela 2 Características químicas das áreas de estudo. M.N – Mata nativa, P.C – Plantio Convencional, S.D – Semi - Direto, P – Pastagem, R.T – Roça de Toco a profundidade de (0-10)

Tratamntos.	M.O	pH	P	K	SB	H+Al	CTC	V
	g/dm <sup>3</sup>	água (1:2,5)	mg/dm <sup>3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> /cm <sup>3</sup> -----				(%)
M.N	21	4,1	8	2,3	18,3	33	51,3	36
P.C	19	4,8	54	2,1	24,1	33	57,1	42
S.D	20	4,7	4	3,1	28,1	28	56,1	50
R.T	25	4	4	1,7	21,7	67	88,7	24
P.	38	4	3	6,5	22,5	100	122,5	18

Para a determinação da curva de retenção foi utilizado a metodologia da EMBRAPA (1997), as amostras de solo foram colocadas em saturação de água por 24h antes de irem para a Panela ou extrator de Richards (Figura 2), as umidades trabalhadas foram estimadas nas tensões de 6, 10, 30, 100, 300, 500 e 1500 kPa.



Figura 2. Panela de Richards, utilizada na determinação da curva de retenção de água no solo.

Foram realizados ajuste nos pontos de solos amostrados para a curva de retenção através do modelo de equação proposto por van Genuchten (1980), Equação 1. No ajuste da curva de tensão de água no solo, o valor da soma dos quadrados dos desvios

foram minimizados com a utilização do programa “SOLVER” do Microsoft Excel®, obtendo os parâmetros empíricos de ajuste ( $\alpha$ ,  $n$  e  $m$ ).

Equação 1: Modelo de equação proposto por van Genuchten

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha \cdot \psi_m)^n\right]^m} \quad (1)$$

$\theta$  = umidade do solo (conteúdo de água no solo em volume,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_s$  = umidade de saturação (conteúdo de água na condição de solo saturado,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_r$  - umidade residual (conteúdo de água do solo na tensão de 1.500 kPa,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ).

$\Psi_m$  = potencial mátrico da água no solo (kPa);

$\alpha$ ,  $m$ ,  $n$  = parâmetros empíricos da equação.

Na determinação da velocidade de infiltração as amostras foram realizadas *in situ* através de um permeâmetro de fluxo constante (Permeâmetro de Guelph), para a determinação da taxa de infiltração básica. A taxa de infiltração é determinada através da lâmina de água (volume de água por unidade de área) que atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. Essa taxa de infiltração pode ser expressa em termos de altura de lâmina d'água por unidade de tempo ( $\text{mm.h}^{-1}$ ). A Equação 2 representa a taxa de infiltração de água no solo relacionada com a variação da infiltração acumulada ao longo do tempo.

Equação 2: Taxa de infiltração de água no solo selecionada com a variação da infiltração acumulada ao longo do tempo

$$TI = \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

TI = taxa de infiltração da água no solo,  $\text{cm}^{-1} \cdot \text{min}$ ;

I = derivada da infiltração acumulada, (cm);

T = derivada do tempo (min)

As amostras para coleta de dados de condutividade hidráulica ocorreram de forma aleatória, onde se abriu cinco orifícios no solo com o auxílio de um trado, na profundidade de 15 cm e com diâmetro de 5 cm, onde procurou-se fazer as coletas de forma mais homogênea possível para que não houvesse alterações nos dados. A carga hidráulica utilizada foi de 5 cm. A calibração da carga hidráulica, foi realizada com o auxílio de um becker para que se confirmasse o ajuste da carga hidráulica com a utilização do permeâmetro de Guelph. A metodologia utilizada nos resultados de condutividade hidráulica foi feita através da técnica proposta por Reynolds e Elrick (1989). Esse método refere-se à aplicação de uma altura de carga hidráulica constante até que o regime permanente seja atingido. A condutividade hidráulica de campo ( $K_{fs}$ ) foi determinada pela Equação 3.

Equação 3: Condutividade hidráulica de campo ( $K_{fs}$ )

$$K_{fs} = \frac{C.A.R}{(2.\pi.H^2 + \pi.\alpha^2.:C + \frac{2.\pi.H}{\alpha})} \quad (3)$$

C - fator de formam que depende da relação H/a e do tipo de solo.

A - Fator estimado pela avaliação da macroporosidade e textura do solo.

H – Altura aplicada de carga hidráulica (cm).

a - Diâmetro do orifício no solo utilizado na medição (cm).

R - É a diferença na leitura do reservatório de água do permeâmetro

Para que os dados de velocidade de infiltração (VI) e condutividade hidráulica (K) atendessem as pressuposições de normalidade e homocedasticidade eles foram

transformados em  $\log(V.I)$  e  $\log(K)$ . A porosidade total ( $P_t$ ) (Equação 4), percentual da amostra de solo, pode ser avaliada a partir dos dados de densidade solo, mediante a relação seguinte:

Equação 4: Porosidade total

$$P_t = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) * 100 \quad (4)$$

$\alpha$  = porosidade total que é adimensional ( $m^3 m^{-3}$ ) e em geral é expressa em porcentagem (%);  $D_s$  = densidade de solo ( $kg.cm^3$ );  $D_p$  = densidade de partícula ( $kg.cm^3$ ). A microporosidade (Equação 5) do solo foi determinada pelo método da câmara de Richards e EMBRAPA (1997). Seus valores foram obtidos pela seguinte expressão:

Equação 5: Microporosidade pelo método da câmara de Richards e EMBRAPA

$$m_i = \frac{(P_a - P_s)}{D_{ag}} \cdot V_s \quad (5)$$

$m_i$  = microporosidade do solo (%);

$P_a$  = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água (g);

$P_s$  = peso seco da amostra(g) à 105 °C;

$V_s$  = volume do anel ( $cm^3 cm^{-3}$ )

$D_{ag}$  = Densidade da água

Para o cálculo da macroporosidade (Equação 6) utiliza-se a seguinte fórmula:

Equação 6: Macroporosidade

$$m_a = \alpha - m_i \quad (6)$$

$m_a$  = macroporosidade (%);

$\alpha$  = porosidade total (%);

$m_i$  = microporosidade (%);

Para a determinação da resistência a penetração o aparelho utilizado foi o penetrômetro de impacto (Figura 3). Os ensaios com penetrômetro de impacto foram

realizados nos 5 sistemas de manejo a profundidade máxima de ensaio será de 40 cm, onde foram subdivididos em três níveis distintos de testes: 10, 20 e 40 cm. Para converter o número de impactos necessários para atravessar as camadas de 0 - 10 cm, 10 -20 cm e de 20 - 40 cm, em  $\text{kgf.cm}^{-2}$ , será a aquisição de dados do penetrômetro com base na fórmula proposta pelos holandeses e descrita por Stolf (1991), conforme Equação 7.

Equação 7: Proposta pelos holandeses e descrita por Stolf (1991)

$$F = (M + m).g + \frac{M}{M + m} \frac{Mgh}{x} \quad (7)$$

O penetrômetro de impacto que foi utilizado na avaliação de resistência à penetração do solo neste trabalho possui as seguintes características:  $M = 4,00 \text{ kg}$  ( $Mg = 4 \text{ kgf}$ );  $m = 3,18 \text{ kg}$  ( $mg = 3,18 \text{ kgf}$ );  $(Mm) g = 7,18 \text{ kgf}$ ;  $M/(M+m) = 0,557$ ;  $h = 41,18 \text{ cm}$ , considerando a aceleração da gravidade  $g = 1 \text{ x cm}^2 \text{ s}^{-1}$ .



Figura 3. Permeâmetro de Guelph utilizado para a determinação da taxa da velocidade de infiltração e condutividade hidráulica no solo.

Utilizando a equação 7, obteve-se  $F(\text{kgf}) = 7,18 + 69,6 / x$ . A ponta do aparelho do penetrômetro segue o padrão proposto por Stolf (1991), apresentando área ( $A$ ) =  $1,29 \text{ cm}^2$ . Portanto, a resistência do solo à penetração, segue os padrões da fórmula:  $R(\text{kgf.cm}^2) = 5,45 + 6,96 N$  (impacto  $\text{cm}^{-1}$ ), sendo  $N$  o número de impactos por centímetro do solo.

No momento dos testes de resistência a penetração foram coletadas amostras de solos para determinação de umidade nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm colocadas

em cápsulas fechadas e acondicionadas em uma caixa térmica para serem levadas ao laboratório para a determinação do teor de umidade pelo método gravimétrico.

Os dados coletados foram analisados com o auxílio do programa para análise Sisvar de variância e será utilizado teste de Tukey para comparação das médias, ao nível de 5% de probabilidade.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados na Tabela 3 mostram que no sistema de roça de toco houve uma maior porosidade total e uma menor densidade do solo quando comparado aos outros sistemas avaliados. Esses resultados indicam que o sistema possui uma melhor estrutura física no solo, talvez pelo fato do mesmo não possuir um grau de tecnologia avançado e de não ter a presença de animais. No sistema de mata nativa, plantio convencional e de pastagem foram encontrados os menores valores de porosidade total e densidade do solo, onde não houve diferença estatística entre os sistemas. Nesses sistemas os valores de mata nativa foi o que obteve o menores valores em relação a porosidade total e a densidade do solo podendo assim levar em consideração o selamento que acontece naturalmente no solo para os resultados obtidos nesse sistema. De acordo com Oliveira et al (2010) a densidade do solo depende do manejo e da natureza do material mineral predominante, portanto apresentando pouca ou nenhuma diferença para a mesma classe de solo.

Tabela 3 Valores médios de densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ), velocidade de infiltração (VI) em ( $\text{cm.min}^{-1}$ ) e condutividade hidráulica (K), Porosidade total, macro e micro porosidade em diferentes sistemas de manejo, Chapadinha - MA, 2015.

Sistema de Manejo	Tipo de Área					Médias	CV <sup>1</sup> (%)
	M.N	P.C	P.D	P	R.T		
Densidade (0-10 cm)	1,78 c	1,53 bc	1,39b	1,57 bc	0,959 a	1,44 01	10,57
V.I ( $\text{cm.min}^{-1}$ )	0,28 bc	0,04 a	0,07 ab	0,31 c	0,15 abc	0, 1744	70,19
K ( $\text{cm.h}^{-1}$ )	0,00633 a	0,002039 a	0,002682 a	0,005901 a	0,006974 a	0,004785	19,00
Macroporosidade	0,30 a	0,41 bc	0,47 c	0,34 ab	0,63 d	0,4311	12,81
Microporosidade	0,0291 b	0,0064 a	0,0073 a	0,0691 c	0,0098 a	0,2437	14,80
Porosidade Total (%)	32,66 a	42,09 ab	47,68 b	41,17 ab	64,15 c	45,53	12,34

Médias seguidas das mesmas letras na linha, não diferiram entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância. M.N – Mata nativa, P.C – Plantio convencional, S.D – Semi - direto, P – Pastagem, R.T – Roça de toco.

Os sistemas de Roça de Toco e Pastagem apresentaram os maiores valores de curva de retenção de água no solo, ou seja, uma maior umidade no solo em relação aos outros tratamentos (Figura 4). Nesses sistemas citados, observaram-se características de elevada umidade e baixa densidade, indicando que o manejo das áreas ainda não afetou as propriedades físico-hídricas das áreas. Diversos estudos constataram o aumento no escoamento superficial nos dois primeiros anos após a prática da queima, mas a intensidade do processo erosivo irá depender da frequência e da severidade do fogo, e nas características de precipitação e de sua distribuição (CAMPO et al., 2006). O sistema de pastagem apresentou uma textura franco argilo arenosa, além do fato das duas áreas apresentarem os maiores valores de argila indicado na análise química. ARATANI et al (2009) comenta que solos de textura mais argilosa possuam maior poder de retenção de água devido ao arranjo das partículas.

No sistema de Plantio Convencional, ocorreu uma queda brusca em relação a retenção de água ao longo das tensões aplicadas. O preparo profundo e a não manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície solo podem proporcionar a baixa retenção de água dependendo da profundidade (BEUTLER et al., 2002). Em relação a retenção de água no sistema de mata nativa, apesar de não apresentar maiores valores, esta demonstrou uma tendência de maior equilíbrio em relação aos outros sistemas com passar da tensões aplicadas. Figueiredo et al., (2009) encontraram em seu estudo baixa retenção de água em solos de cerrado nativo quando comparada com solos que utilizam sistemas de cultivo

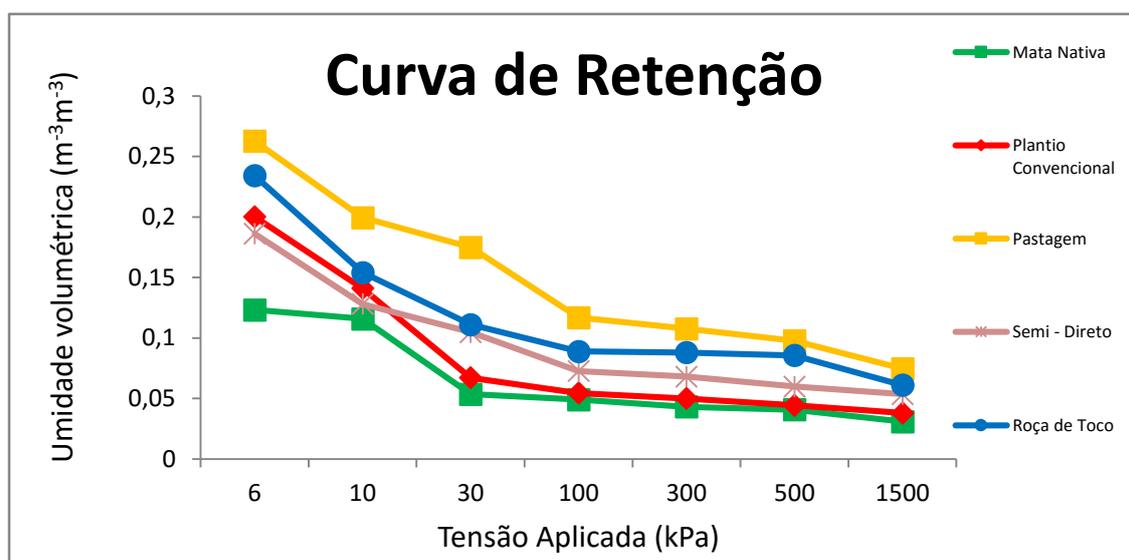


Figura 4 Curvas de retenção de água no solo diferentes sistemas de manejo.

Os dados obtidos de velocidade de infiltração (VI) indicaram que a Mata Nativa e Pastagem obtiveram os maiores valores médios de velocidade de infiltração (Figura 5). Bono et al., (2012) concluíram que o uso do solo com pastagens causa menos impactos na capacidade de em infiltrar água quando comparado a lavoura contínua. Quando a velocidade de infiltração é correlacionada com a densidade verificou-se que apesar do sistema de mata nativa apresentar maior densidade, não influenciou a velocidade de infiltração, ao contrário do sistema de plantio convencional que obteve alta densidade e baixa velocidade de infiltração quando comparado aos demais sistemas. Bonini (2012) obteve resultados onde a área de vegetação nativa promoveu uma taxa de infiltração de água no solo maior que nos sistemas modificados pelo homem área de Cerrado. O sistema de pastagem juntamente com o de mata nativa obtiveram valores maiores de infiltração de água quando comparados aos outros sistemas. A pastagem ao cobrir o solo impedi que a água não desestrua o mesmo, e as raízes e massa seca

forneçam matéria orgânica suficiente para a manutenção do solo (ALVES et al., 2007) e (ALVES & SUZUKI, 2004). O sistema de plantio convencional não usa cobertura no solo e utiliza-se de semeadura direta e tráfego constante de maquinários apresentando assim maiores perdas de solo e de água, mostrando valores mais baixos de velocidade de infiltração (PANACHUKI et al., 2011).

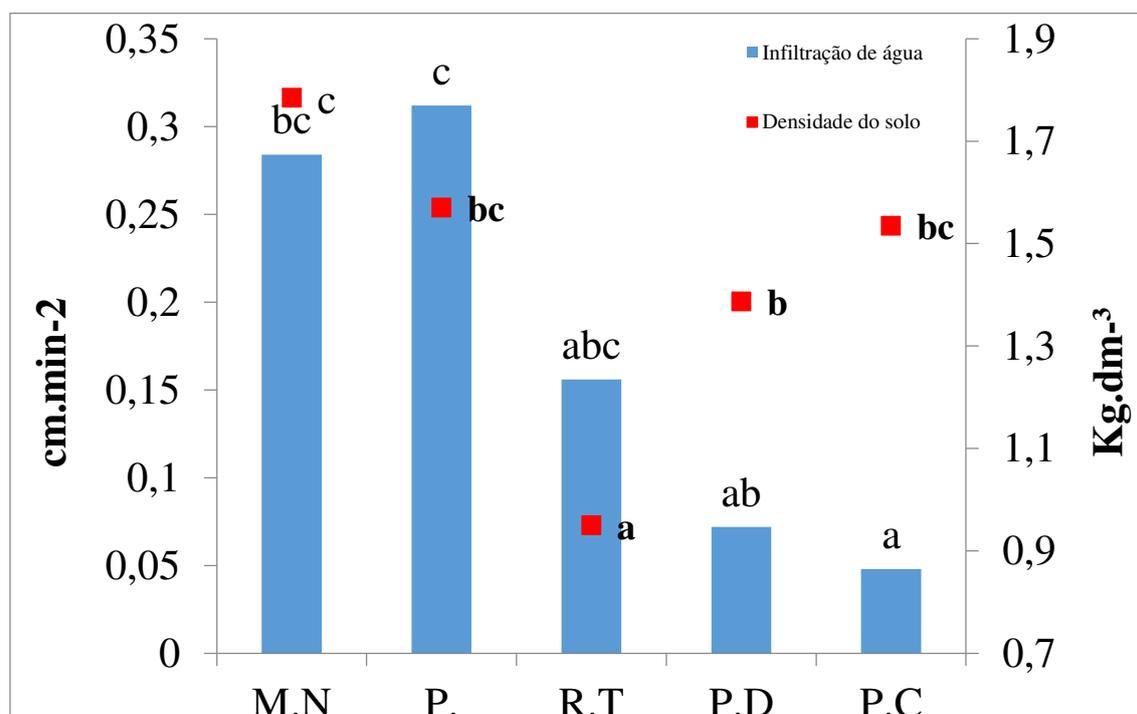


Figura 5. Velocidade de Infiltração (VI) de água no solo e a densidade do solo (Ds) para os diferentes sistemas de manejo.

A análise dos dados de resistência à penetração indicaram que houve diferença significativa entre os manejos e as profundidades estudadas nesse trabalho (Tabela 4). A menor resistência à penetração dos dados médio foi obtida na Mata Nativa, Pastagem e Roça de Toco e a maior no sistema de Plantio Convencional, De maneira contrária aos resultados de Giroldo et al., (2016), que concluíram que, o animal ao caminhar promove a exposição do solo, visto que dificulta ou impede o crescimento da pastagem pois ao compactar o solo gera resistência à penetração superior ao limite de crescimento radicular, os resultados obtidos no sistema de pastagem estudado nesse trabalho mostram que o valor crítico de resistência a penetração só foram obtidos na profundidade de 10-20 cm como encontrados por Vogel & Fey (2016). Lima et al., (2013) em seus estudos em área de campo nativo encontrou valores semelhantes para mesma profundidade.

Tabela 4 Resistência do à penetração (Mpa) em diferentes sistemas de manejo, Chapadinha - MA, 2015.

Sistema de Manejo	Resistencia à Penetração (RP) (MPa)				RP Médias	$\Theta$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
	0-10	10-20	20-30	30-40		
M.N	0,78 a	3,09 a	4,97 ab	6,52 ab	3,84 a	0,0652
R.T	3,36 ab	4,71 ab	4,62 ab	4,02 ab	4,18 ab	0,1176
P	2,65 ab	2,16 a	1,96 a	2,05 a	2,20 a	0,1477
P.D	5,42 ab	16,86 b	12,61 bc	8,32 bc	9,80 bc	0,0961
P.C	6,46 b	12,16 b	16,91 c	12,73 c	12,07 c	0,0850
CV <sup>1</sup> (%)	76,89	68,28	52,04	47,64	46,46	-

Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferiram entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância. M.N – Mata nativa, P.C – Plantio convencional, S.D – Semi - direto, P – Pastagem, R.T – Roça de toco.

Pode-se observar o grau elevado de resistência à penetração e baixa umidade nos sistemas de plantio convencional e plantio direto obtiveram em relação aos outros sistemas estudados. O sistema de pastagem apresentou alta umidade na hora no momento da amostragem dos dados, porém esta não influenciou na resistência a penetração, já no sistema de mata nativa foram obtidos valores baixos de umidade e de resistência a penetração. Zago et al., (2015) verificaram que em sistemas de plantio convencional, é comum valores elevados de resistência a penetração devido a compactação do solo através do tráfego intensivo de maquinários pesados utilizados na lavoura.

## 6. CONCLUSÕES

Os maiores valores de resistência do solo à penetração foram obtidos nos sistemas plantio convencional e semi – direto devido a utilização intensa maquinários.

Nos sistemas de mata nativa, pastagem e roça de toco obteve-se os menores valores de resistências, porém os valores ainda estão acima do valor crítico de 2Mpa.

A maiores curvas de retenção de água no solo foram obtidas nos sistema de pastagem e roça de toco por apresentarem uma maior quantidade de matéria orgânica e argila, proporcionando assim maior retenção de água e uma estrutura física melhor do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L. I. G. **Propriedades físico-hídricas do solo em plantio direto após calagem**. 2007. 65p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2007.

ALVARENGA, C. C. et al. **Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQSRA) na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, 2012.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.E.A.S. **Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas**. Acta Sci. Agron., 26:27-34, 2004.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; SUZUKI, L.E.A.S. **Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.31, n.4, p.617-625, 2007.

ALVES SOBRINHO, A. T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. **Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 191- 196, 2003.

ARATANI RG et al. 2009. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 33: 677-687.

ASSIS, Renato L. de; LAZARINI, Gilmar D.; LANCAS, Kléber P. and CARGNELUTTI FILHO, Alberto. **Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água**. Eng. Agríc. [online]. 2009, vol.29, n.4, pp. 558-568. ISSN 0100 6916.

BALDISSERA, I.T.; VEIGA, M.; TESTA, V.M.; JUCKSCH, I. & BACIO, I.L.Z. **Características físicas em solos de Santa Catarina sob diferentes sistemas de manejo**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. Resumos. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.416-417.

BANDEIRA, Iris Celeste Nascimento. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina , CPRM, 2013. 294 p. ; 30 cm + 1 DVD-ROM.

BERTOL, I. et al. **Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo**. Sci. Agric., Piracicaba, v. 58, n. 3, 2001.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B. **Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.971-982, 2012.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. **Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002.

BONINI; C. S. B.; ALVES, M.C. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.16, n.4, p. 329–336, 2012.

BONO, JOSÉ ANTONIO MAIOR et al. **Infiltração de água no solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados com diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 6, p. 1845-1853, 2012.

BLEVINS, R.L., SMITH, M.S., THOMAS, G.W. **Changes in soil properties under no-tillage.** In: PHILLIPS, R.E., PHILLIPS, S.H. (Ed.) No-tillage agriculture: principles and practices. New York : VNR, 1984. Cap.9. p.190-230.

BRANDÃO, V. S.; CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 120 p.

CALHEIROS, C. B. M.; TENÓRIO, F. J. C.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, E. T.; SILVA, D. F.; SILVA, J. A. C. **Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão.** Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 665-670, 2009.

CAMPO, J., et al. **Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment.** Geomorphology,[s.l.], v. 82, n. 3-4, p.376-387, dez.2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.05.014.

CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; ATAÍDE, W. F. **Substituição dos parâmetros do modelo de Green-Ampt-Mein-Larson para estimativa da infiltração em alguns solos do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1141-1151, 2007.

COSTA, E. L.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. de A. **Matéria orgânica de solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas.** Enciclopédia Biosfera, Goiânia-GO, v.9, n.17, p.1842-1860, 2013.

DALMAGO, G.A. et al. **Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, (Supl.), p.855-864, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises do solo.** 2 ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FIGUEIREDO, C.C.; SANTOS, G.G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J.L.; ALVES JÚNIOR, J. **Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n.2, p.146–151, 2009.

FREITAS, P.S.L. et al. **Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.1, p.85-91, 2004.

GENUCHTEN, M.T. van. **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.** Soil Science Society of America Journal, v.44, p.892-898, 1980.

GIROLDO, L.; RODRIGUES, C. **A utilização de penetrômetros para medição de resistência à penetração e avaliação do limite de crescimento radicular em áreas de pisoteio de gado.** Estudo de caso da bacia hidrográfica do rio jacareí (sp). Revista geonorte, v. 5, n. 21, p. 5-9, 2016.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; CAMPBELL, C.; REINERT, D. J.; GELAIN, N. S. **Assessing errors and accuracy in dew-point potentiometer and pressure plate extractor measurements.** Soil Science of America Journal, v. 77, p. 19-24, 2012.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C. REINERT, D. J. **Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, 2007.

LEROY, B.L.M., HERATH, H.M.S.K., SLEUTEL, S., DE NEVE, S., GABRIELS, D., REHEUL, D., MOENS, M. **The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions.** Soil Use Manage, v.24, p.139–147, 2008.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo.** 2.ed. Piracicaba, 2000. 509p

LIMA, Renato Paiva; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. **Resistência mecânica à penetração sob diferentes sistemas de uso do solo.** Scientia Plena, v. 9, n. 6, 2013.

MARQUES, J. D.; TEIXEIRA, W. G. ; REIS, A. M. ; CRUZ JUNIOR, O. ; MARTINS, G. C. **Avaliação da Condutividade Hidráulica Saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência de solos amazônicos com diferentes coberturas vegetais.** In: XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2006, Aracajú. Anais da XVI Reunião Brasileira de Conservação do Solo e da Água. MG : SBCS/UFV. v. único.

MAZURANA, M. **Atributos físicos, mineralógicos e matéria orgânica de solos relacionados à capacidade de suporte de carga.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. 169p. (Dissertação de Mestrado)

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo.** Ciência Rural, Santa Maria, vol. 34, n. 3, p.963-969, 2004.

NASCIMENTO, P. dos S. **Análise do uso da curva de retenção de água no solo determinada por diferentes métodos e planilha para manejo da irrigação.** 2009. 97

f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.

OHLAND, T.; LANA, M. do C.; FRANDOLOSO, F.; RAMPIM, L.; BERGMANN, J. R.; CABREIRA, D. T. **Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-mansinho cultivado em Latossolo Vermelho eutroférico.** Revista Ceres, Viçosa-MG, v. 61, n.5, p. 622-630, 2014.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONSELOS, R. F. B.; COSTA, Y. D. J.; PEDROSA, E. M. R. **Compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande- PB, v. 14, n. 7, p.914-920, 2010.

OLIVEIRA, A. P. P. de.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. dos.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: **Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande-PB, v.18, n.9, p. 939–947, 2014.

PAGOTTO, D.S. **Comportamento do sistema radicular, reservas orgânicas e mineralização líquida do nitrogênio do solo em pastagem irrigada de capim Tanzânia submetida a diferentes intensidades de pastejo.** Piracicaba, Escola Superior Agricultura Luiz de Queiroz, 2001. (Tese de Mestrado).

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. **Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. **Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola.** Revista Ambiente e Água, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. **Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils.** Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242- 254, 2009.

ROSA FILHO, G. **Produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto.** 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) –Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

ROTH, C.H., MEYER, B., FREDE, H.G., et al. **Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an oxisol in Paraná, Brazil.** Soil & Tillage Research, v.11, p.81-91, 1988.

SHI, X. H.; YANG, X. M.; DRURY, C. F.; Reynolds, W. D.; McLaughlin, N. B.; Zhang, X. P. **Impact of ridge tillage on soil organic carbon and selected physical properties of a clay loam in southwestern Ontario.** Soil & Tillage Research, v.120, p.1-7, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.01.003>

SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. **Characterization of the least limiting water range.** Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1775-1781, 1994.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. **Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.1487-1494, 2002.

STONE, L. F. et al. **Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. de. **Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.1159-1167, 2007.

TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. **Compressibility of Oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential.** R. Bras. Ci. Solo, 33:1525-1533, 2009.

TAVARES, M. H. F.; FELICIANO, J. J. da S.; VAZ, C. M. P. **Análise comparativa de métodos para a determinação da curva de retenção de água em solos.** Irriga, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 417-524, 2008.

URACH, F. L. **Estimativa da retenção de água em solos para fins de irrigação.** 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

VILELA, L. MACEDO, M.C.M.; MARTHA JÚNIOR, G.B. & KLUTHCOUSKI, J. **Degradação de pastagens e indicadores de sustentabilidade,** In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. & AIDAR, H. eds. Integração Lavourapecuária, Goiânia: Embrapa-Arroz e Feijão, 2003. p.107- 127

VOGEL, Gabriel Felipe; FEY, Rubens. **Resistência mecânica à penetração em diferentes sistemas de uso do solo.** Revista de agricultura neotropical, v. 3, n. 1, p. 21-26, 2016.

ZAGO, Douglas Vinicius et al. **Determinação da resistência a penetração sob sistemas de manejos do solo.** Anais do SEPE-Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS, v. 5, n. 1, 2015.