



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**JOSÉ BONIFÁCIO MARTINS FILHO**

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE PLANTIO  
DIRETO E CONVENCIONAL NO TRÓPICO ÚMIDO MARANHENSE**

**CHAPADINHA-MA**

**2019**

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE PLANTIO  
DIRETO E CONVENCIONAL NO TRÓPICO ÚMIDO MARANHENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação de Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola.

**JOSÉ BONIFÁCIO MARTINS FILHO**

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

Co-orientador: Ms. Carlos Eduardo Linhares Feitosa

Chapadinha- MA

Julho de 2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Martins Filho, José Bonifácio.

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE  
PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL NO TRÓPICO ÚMIDO MARANHENSE  
/ José Bonifácio Martins Filho. - 2019.

28 f.

Coorientador(a): Carlos Eduardo Linhares Feitosa.

Orientador(a): Maryzélia Furtado de Farias.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola,  
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha/MA, 2019.

1. Compactação. 2. Dinâmica da água no solo. 3.  
Física do solo. I. Farias, Maryzélia Furtado de. II.  
Feitosa, Carlos Eduardo Linhares. III. Título.

TCC defendido e aprovado, em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_, pela  
Comissão Examinadora constituída pelos professores:

Orientador

---

Dr<sup>a</sup>. Maryzélia Furtado de Farias  
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Examinador

---

Ms. Carlos Eduardo Linhares Feitosa  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS

Examinador

---

Khalil de Menezes Rodrigues  
Universidade Federal do Maranhão-UFMA

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me concedido saúde, força e disposição para estar longe de tudo e todos que amo por 5 longos anos.

Aos meus pais, José Bonifácio e Francisca de Sousa, pelo apoio, força e amor incondicional. Sem vocês a realização desse sonho não seria possível. Não posso deixar de direcionar um agradecimento aos meus avós, em especial meu grande amigo e avô seu Arthur, o qual me cobra o “Dr” na frente do meu nome desde sempre, te amo Tutuzinho. A minha querida irmã Adélia Martins pelo apoio quando mudei para o Maranhão e por pagar as faturas do meu cartão.

A todos os verdadeiros amigos que fiz nessa jornada, especialmente Klara, Armando, Renata e Rafael, meu muito obrigado. Vocês foram fundamentais para minha formação, é sério! Por isso merecem o meu eterno agradecimento. À Lindkeila por compartilharmos muitos momentos ... “difíceis” e aos colegas membros do grupo MASCEMA pelo apoio na coleta de dados.

Sou grato a todos os professores que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente a professora Maryzélia Furtado de Farias e seu ex-orientado Carlos Eduardo Linhares Feitosa responsáveis pela orientação do meu projeto. Obrigado por esclarecer tantas dúvidas e serem tão atenciosos e pacientes.

**Muito obrigado!**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<i>1.2 Justificativa</i> .....	11
<i>1.3 Hipóteses</i> .....	12
<b>2 Objetivos</b> .....	13
<i>2.1 Objetivo geral:</i> .....	13
<i>2.2 Objetivos específicos:</i> .....	13
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
<i>3.1 Implantação do Plantio direto no Cerrado Maranhense</i> .....	13
<i>3.2 Atributos Físicos dos Solos</i> .....	14
<i>3.3 Atributos Hídricos dos Solos</i> .....	15
<i>3.4 Influência da Compactação do Solo na Produtividade de Soja e Milho</i> .....	16
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	17
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	21
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	25
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	25

## Lista de Figuras

- Figura 1. Áreas de estudo: A- solo cultivado com milho em plantio convencional; B- solo cultivado com soja em plantio direto e C- mata nativa. ....16
- Figura 2. Equipamentos: A- Câmara de Richards; B- Infiltrômetro de anel e C- Penetrômetro de impacto. ....17
- Figura 3. Valores médios de Resistência do Solo a Penetração em Mata Nativa (MN), Plantio Direto (PD) e Plantio Convencional (PC). ....19
- Figura 4. Valores médios de capacidade de água disponível (CAD) para os manejos de sistema de plantio direto (PD), plantio convencional (PC), e mata nativa (MN). ....22

## Lista de tabelas

Tabela 1. Valores médios de umidade gravimétrica ( $\theta$ ), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi). .....20

Tabela 2. Valores médios de velocidade de infiltração básica (VIB) e condutividade hidráulica vertical (Kv). .....21

## RESUMO

O estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar as modificações das propriedades físicas de um Latossolo sob diferentes condições de uso e manejo. A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Sítio Novo, localizada no município de São Benedito do Rio Preto/MA e em área de mata nativa de Chapadinha/MA. A área de estudo é de cultivo intensivo usada para plantios de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*). A coleta de amostras de solo ocorreu nos meses de março e abril de 2019 e as determinações em laboratório nos meses de abril e maio. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com 3 tratamentos e 4 repetições, constando os seguintes usos e manejos: plantio direto (PD); preparo convencional (PC) e mata nativa (cerrado). Foram analisadas as seguintes propriedades físicas: densidade aparente, porosidade e umidade do solo e resistência à penetração nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m. As propriedades hídricas analisadas foram: velocidade de infiltração básica (VIB), capacidade de água disponível e condutividade hidráulica vertical (Kv). Os usos e manejos empregados nos solos analisados na fazenda refletem à degradação das propriedades físicas do solo em relação à mata nativa, quantificada através de maiores valores de densidade do solo e menores valores de porosidade total. No que tange as propriedades hídricas, foi observado VIB de 37,5 mmh<sup>-1</sup> em SPD, 12,0 mmh<sup>-1</sup> em PC e 19,85 mmh<sup>-1</sup> em MN e Kv de 5,76.10<sup>-4</sup> ms<sup>-1</sup>; 1,0.10<sup>-1</sup> ms<sup>-1</sup>; 3,67.10<sup>-5</sup> ms<sup>-1</sup> respectivamente. Constatou-se capacidade de água disponível maior em MN (39,89 mm) seguida de PC (25,33 mm) e PD (18,84 mm). O solo apresentou maior densidade e baixa conservação da umidade em PD e PC. A mata nativa apresentou maior porosidade total e maior conservação da umidade no solo.

**Palavras-chave:** Física do solo, Compactação, Dinâmica da água no solo.

## ABSTRACT

The study was conducted with the objective of evaluating the modifications of the physical properties of an Oxisol under different conditions of use and management. The research was developed at Fazenda Sítio Novo, located in the municipality of São Benedito do Rio Preto / MA. The study area is of intensive cultivation used for soybean (*Glycine max*) and maize (*Zea mays*) plantations that was compared to the native forest area of legal reserve of the municipality of Chapadinha / MA. The experimental design was a completely randomized design, with 3 treatments and 4 replications, with the following uses and management: no - tillage system (PD); conventional tillage (PC) and native forest (cerrado). The following physical properties were analyzed: soil density, porosity and moisture, and penetration resistance at depths of 0.0-0.20 m and 0.20-0.40 m. The water properties analyzed were: basic infiltration velocity (VIB), available water capacity and vertical hydraulic conductivity ( $K_v$ ). The uses and management of the soils analyzed in the farm reflect the degradation of the physical properties of the soil in relation to the native forest, quantified by higher values of soil density and lower values of total porosity. Regarding the water properties, it was observed VIB of  $37.5 \text{ mmh}^{-1}$  in SPD,  $12.0 \text{ mmh}^{-1}$  in PC and  $19.85 \text{ mmh}^{-1}$  in MN and  $K_v$  of  $5.76 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ ;  $1.0 \cdot 10^{-1} \text{ ms}^{-1}$ ;  $3.67 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$  respectively. The available water capacity was higher in MN (39.89 mm) followed by PC (25.33 mm) and PD (18.84 mm). The soil presented higher density and low moisture conservation in PD and PC. The native forest had higher total porosity and higher soil moisture conservation.

**Key words:** Soil physics, Compaction, Soil water dynamics.

## **1. INTRODUÇÃO**

O solo é geralmente conceituado pela perspectiva da produção vegetal como um corpo responsável pelo suporte as plantas, entretanto, ele também desempenha o papel de reservatório de água e ar para os vegetais, a manutenção desse caráter trifásico do solo é de suma importância para produção agrícola (MENEZES, et al., 2009).

A qualidade do solo agrícola pode ser mensurada a partir de diversas propriedades e atributos que sofrem alterações ao longo do tempo, ou seja, a condição de um solo pode ser determinada em função dos atributos físicos, químicos e/ou biológicos que apresentam (COLODEL et al., 2018). Em caráter reducionista, a qualidade física do solo tem sido alvo de diversos estudos que visam compreender até que ponto as condições físicas dos solos são fatores que limitam a produtividades de culturas de interesse econômico, como por exemplo a soja e o milho (GIRARDELLO et al., 2014; DALCHIAVON et al., 2011).

Os atributos físicos dos solos são comumente estudados com as suas propriedades hídricas e vice e versa, pois, ambas se correlacionam, de maneira que ao se preservar o arranjo das partículas e a estrutura do solo promove-se a manutenção de macro e microporosidade resultando em boas condições de infiltração da água no solo agrícola (NICODEMO et al., 2018).

Os atributos físicos e hídricos do solo diferem de acordo com aspectos granulométricos, manejo e ocupação, nesse sentido, algumas das propriedades que melhor explicam o dinamismo do solo agrícola em função do uso são a resistência mecânica a penetração (RP), taxa de infiltração e curva de retenção da água no solo (FARIAS et al., 2017).

O estudo da física do solo é relevante para produção agrícola, se tratando da cultura da soja e milho, são relatados em pesquisas no leste maranhense, as correlações entre atributos físicos do solo com produtividade e crescimento de raízes (AZEVEDO et al., 2007).

### **1.2 Justificativa**

O Maranhão faz parte do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) grupo de estados, nos quais a fronteira agrícola tem se expandido e os solos têm apresentado aptidão para a produção de grãos em larga escala. Porém, as diversidades e

complexidades das condições edafoclimáticas encontrados nesta região justificam as crescentes pesquisas nessas áreas de produção (MINGOTI et al., 2014).

Historicamente, tem-se observado a evolução da produção e produtividade da soja e milho em solos maranhenses. A produção de soja no Maranhão cresceu 20,2% da safra 2016/17 para safra 2017/2018, saltando de 2.473,3 milhões para 2.973,4 milhões de toneladas, respectivamente, consolidando-se como o segundo maior produtor do grão no Nordeste atrás do estado da Bahia. No que diz respeito a cultura do milho o Maranhão obteve na safra de 2017/2018 a marca de 1.884,0 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

Embora as principais commodities cultivadas no estado sejam o milho e a soja, o estado do Maranhão também se destaca na produção de arroz, e apresenta uma expressiva ocupação de solos com pastagens (SAGRIMA, 2016). Nesse sentido, em função da vocação agrícola apresentada pelo estado do Maranhão somada a biodiversidade e abundância de seus recursos naturais é necessário conciliar a exploração agrícola com a preservação do meio ambiente. Dessa forma, é possível garantir o uso racional do solo como recurso econômico e ambiental sob a ótica da sustentabilidade, considerando também o viés social.

Em função da degradação física e perda de produtividade pelo plantio convencional (PC), tem-se consolidado o sistema de plantio direto (PD) para o cultivo de grãos, que apresenta como vantagem a manutenção da agregação do solo, similarmente com o que observado em áreas de mata nativa. De maneira contrária, o plantio convencional é caracterizado pela redução do carbono orgânico e desagregação do solo em função do revolvimento o qual é submetido (SALES et al., 2016).

### **1.3 Hipóteses**

Diante do exposto, esse trabalho elenca as hipóteses (a) A compactação do solo causada pelo tráfego de máquinas e revolvimento do solo deteriora a qualidade física do solo provocando aumento na densidade do solo e resistência à penetração, consequentemente há redução da infiltração, condutividade hidráulica vertical e capacidade de água disponível. (b) O plantio direto apresenta boa adaptabilidade ao clima do Trópico Úmido Maranhense proporcionando maior preservação do solo quando comparado a sistemas de plantio convencional.

## **2. Objetivos**

### ***2.1 Objetivo geral:***

Objetivo geral desta pesquisa foi estudar o efeito em superfície e subsuperfície em um Latossolo submetido a plantio convencional e direto sobre os atributos físicos e físico-hídricos no Tropicó Úmido em São Benedito do Rio Preto/MA e Chapadinha/MA.

### ***2.2 Objetivos específicos:***

- Determinar densidade do solo, sistema poroso, e resistência do solo a penetração em diferentes sistemas de manejo.
- Determinar indiretamente o estado da estrutura do solo por meio da infiltração de água no solo, condutividade hidráulica vertical e capacidade de água disponível no solo nas áreas de estudo.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### ***3.1 Implantação do Plantio direto no Cerrado Maranhense***

As vantagens do PD em comparação ao PC são reportadas em estudos em diversas regiões do Brasil. No estado de São Paulo, Marques et al. (2010), constataram perdas superiores a 50% de nutrientes e solo no manejo tradicional com uso de grade aradora em comparação ao PD. Nesse mesmo estudo os autores reafirmam a importância da cobertura morta sobre o solo para a manutenção de qualidade química que é expressada pela melhoria da fertilidade do solo, em função da matéria orgânica conservada e dos nutrientes não perdidos, e física em função da preservação da estrutura do solo e diminuição do impacto causado pelas gotas de chuvas que são amortecidas pela palhada.

A preservação da cobertura vegetal morta na superfície do solo é a principal característica no manejo de plantio direto, no entanto, a implantação desse sistema é dificultada no cerrado brasileiro devido a rápida decomposição dos resíduos vegetais (BRESSAN et al., 2013). Diferentemente do que é observado em regiões como Sul e Sudeste. No entanto, é característico do cerrado maranhense condições climáticas adversas para a manutenção da palhada no solo, como chuvas concentradas e mal distribuídas e alta temperatura do ar.

Nesse contexto, muitas pesquisas no Maranhão têm sido desenvolvidas afim de encontrar as melhores culturas de sucessão, com decomposição lenta da matéria orgânica para a preservação de palhada no solo por mais tempo.

Pesquisas nesse sentido foram realizadas por Bressan et al., (2013) no estado do Maranhão em Latossolos do município de Balsas, de acordo com os autores para o sucesso no SPD é necessário no mínimo de cerca 5.000 kg/ha de palhada, sendo que os autores constataram quantidade superior de resíduo vegetal na superfície do solo de área cultivada com milho e inferior na área cultivada com braquiária.

No que diz respeito a decomposição da matéria orgânica, segundo Leite et al. (2010), a braquiária é a cobertura que apresenta a maior resistência a decomposição no cerrado maranhense quando comparado com o milho, portanto, a braquiária possui uma maior viabilidade para promover o aumento do período de tempo que o solo fica coberto em áreas de produção maranhenses.

Considera-se o tripé do plantio direto I) a rotação de culturas; II) o revolvimento do solo apenas na linha de plantio e III) a preservação da palhada (SEIXAS et al., 2005; DRESCHER et al., 2012), entretanto, devido a acelerada decomposição dos resíduos vegetais em função das adversidades climáticas, tem-se o termo plantio semidireto mais apropriado ao cerrado, pois ele caracteriza-se por possuir menos resíduos sobre o solo.

### ***3.2 Atributos Físicos dos Solos***

As propriedades relacionadas a física do solo são temáticas recorrentes na literatura brasileira relativa a ciência do solo, pois o grau de compactação e baixa disponibilidade de água para as culturas são fatores preocupantes tanto do ponto de vista econômico quanto pela perspectiva ambiental. Nesse sentido, Marchini et al. (2015) reportam que avaliar a qualidade de um solo de maneira completa é um desafio, pois esse diagnóstico geral leva em consideração aspectos físicos, químicos e biológicos.

No que tange aos aspectos físicos, o sistema de plantio convencional apresenta condições de degradação física mais expressivas do que o sistema de plantio direto devido a maior intensidade do tráfego de máquinas agrícolas e redução da macroporosidade em decorrência do destorroamento do solo (OLIVEIRA et al., 2015). O mesmo foi observado por Sales et al. (2016) que atribuíram a mecanização agrícola a maior densidade aparente e resistência a penetração constatados em PC em comparação ao PD.

De maneira geral, os estudos mostram que a densidade aparente se correlaciona diretamente com a RP de um solo, ao passo que a RP se correlaciona inversamente a umidade gravimétrica do solo. Portanto, à medida que os solos encontram-se mais densos, maior é o impedimento ao crescimento radicular das plantas. Somando-se a isso a produtividade das culturas também está relacionada diretamente a essas propriedades físicas, pois a produtividade sofre influência de modo inversamente proporcional à RP (TOIGO et al., 2015).

A densidade aparente do solo e densidade de partícula são algumas das propriedades mais fundamentais para o estudo da física do solo. Segundo Dantas et al. (2014) na região do leste maranhense é comum a ocorrência de solos coesos, que são caracterizados por um aumento da resistência a penetração e dureza do solo a medida que este perde umidade. Os autores ao avaliarem os solos com vegetação típica do cerrado maranhense constataram valores de densidade na faixa de 1,40 a 1,63 g cm<sup>-3</sup>.

Para Martinkoski et al. (2017), embora a densidade do solo também colabore para compreender o fenômeno de compactação dos solos, a resistência mecânica à penetração é o melhor indicador de avaliação desse processo, pois o penetromêtro simula o potencial de crescimento das raízes das plantas.

### ***3.3 Atributos Hídricos dos Solos***

As propriedades hídricas comumente analisadas em estudos de ciência do solo, são velocidade básica de infiltração (VIB), condutividade hidráulica e capacidade de água disponível. A partir desses parâmetros é possível mensurar a qualidade física do solo bem como a sua capacidade de armazenamento e retenção de água para as plantas (DRESCHER et al., 2016; MELO FILHO et al., 2015).

O processo de infiltração da água no solo é uma das etapas mais fundamentais do ciclo hidrológico, pois é a partir dela que água penetra no solo e os aquíferos são recarregados, nesse sentido considerar os mecanismos e fatores que influenciam nesse processo é crucial para entender a dinâmica da água no solo (BATISTA & SOUSA, 2015).

A porosidade do solo é um dos parâmetros físicos que mais influencia no processo de infiltração, pois a medida que o solo possui mais macroporos é esperada uma maior facilidade de a água infiltrar. A velocidade de infiltração (VI) pode ser representada por uma curva decrescente no tempo, sendo a priori relativamente alta e

diminui até chegar um valor de velocidade de infiltração constante, a esse valor é dado o nome de velocidade de infiltração básica (VIB), os solos podem ser classificados de acordo com sua VIB, sendo considerado VIB muito alta >30 mm/h; alta entre 15-30 mm/h; média entre 5-15 mm/h e baixa < 5 mm/h (BERNARDO, 2006)

Em sistemas não irrigados, as alterações ocorridas através do PC provocam mudanças nas forças de retenção da água no solo, na disponibilidade total de água no solo (DTA) e conseqüentemente na capacidade de água disponível (CAD), além do manejo, a constituição e granulometria também são responsáveis pela dinâmica da água no perfil, pois a retenção da água no solo depende da superfície específica, logo em solos argilosos a retenção é maior do que em solos arenosos (SILVA et al., 2005).

Em se tratando de propriedades hídricas, além da infiltração, a condutividade hidráulica (K) diz muito respeito da qualidade física do solo, pois, ela é um parâmetro conceituado como a facilidade com que a água atravessa o solo, esse parâmetro hídrico é influenciado por todas as propriedades relacionadas a geometria do solo, logo a porosidade, superfície específica, tamanho e forma das partículas do solo são relevantes para a compreensão da condutividade hidráulica.

### ***3.4 Influência da Compactação do Solo na Produtividade de Soja e Milho***

A compactação é uma das formas de degradação do solo mais estudadas na atualidade, ela evidencia-se em um solo quando este sofre aumento da densidade aparente e resistência a penetração concomitantemente a redução da porosidade total. Macedo et al. (2016) relembram a diferença entre compactação e adensamento, sendo a primeira de ocorrência da ação antrópica quando o solo é submetido a um grande esforço ou pressão contínua (pisoteio de animais ou tráfego de máquinas agrícolas). Por outro lado, o adensamento pode ocorrer de maneira natural por meio de processos pedogenéticos, como por exemplo em ciclos de umedecimento e secagem do solo.

A medida que o solo é submetido a condições de pressão constantes há alteração das suas propriedades físicas, logo a capacidade produtiva do solo é afetada, pois o ambiente pode se tornar relativamente restritivo para o desenvolvimento radicular das plantas (CORTEZ et al., 2014).

O estudo da influência do manejo no rendimento da cultura da soja foi estudado por Lima et al. (2006), sendo constatado mais de 300 kg/ha a mais em SDP (3.139 kg/ha) quando comparado com PC (2.771 kg/ha). Ao pesquisar o efeito da compactação

na produtividade de soja Girardello et al. (2014) constatou perda acentuada na produtividade da oleaginosa em cerca de 38% em áreas de solo com resistência a penetração na faixa de 5,0 Mpa. No entanto de acordo Cardoso et al. (2006) a produtividade da soja não é afetada pela ocorrência de camadas compactadas no perfil do solo desde que não haja restrição hídrica para a cultura.

No que tange a cultura do milho, Tavares filho et al. (2001) constataram que valores de resistência do solo à penetração que são considerados restritivos ao desenvolvimento radicular de plantas em geral, não restringiram o crescimento das raízes de milho em PC e SPD, apenas sua morfologia. Entretanto para Deperon Júnior et al. (2016) os valores de resistência a penetração acima de 1,53 MPa podem reduzir linearmente a matéria seca e a produtividade de grãos de milho, sendo que valores acima de 2,18 MPa podem diminuir a matéria seca das raízes.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente estudo foi conduzido na Fazenda Sítio Novo, localizada no município de São Benedito do Rio Preto/MA, nas coordenadas 3°27'50.57" Sul, 43°34'08.14" Oeste e elevação de 92 metros, situado na região do leste maranhense que apresenta clima tropical úmido e relevo de topografia plana. A área de estudo é de cultivo intensivo usada para plantios de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*). Parte deste estudo também ocorreu em Chapadinha/MA em área de reserva legal.

##### ***4.1 Histórico da área***

As áreas analisadas foram: PD-Área de cultivo de soja (Figura 1B), subsolada em 2016 e realizado o plantio de soja variedade Paragominas, seguido de plantio direto nas safras de 2017/18 e 2018/19 nas quais foram cultivadas, respectivamente, as variedades FT4288 e FT3190 e PC- Área de cultivo de milho (Figura 1A), manejo sob plantio convencional nas últimas três safras, sendo em 2016/17 e 2017/18 com soja e cultivado milho na safra de 2018/19. O terceiro tratamento consistiu em área de mata nativa (MN), em área de reserva legal do município de Chapadinha- MA (Figura 1C).

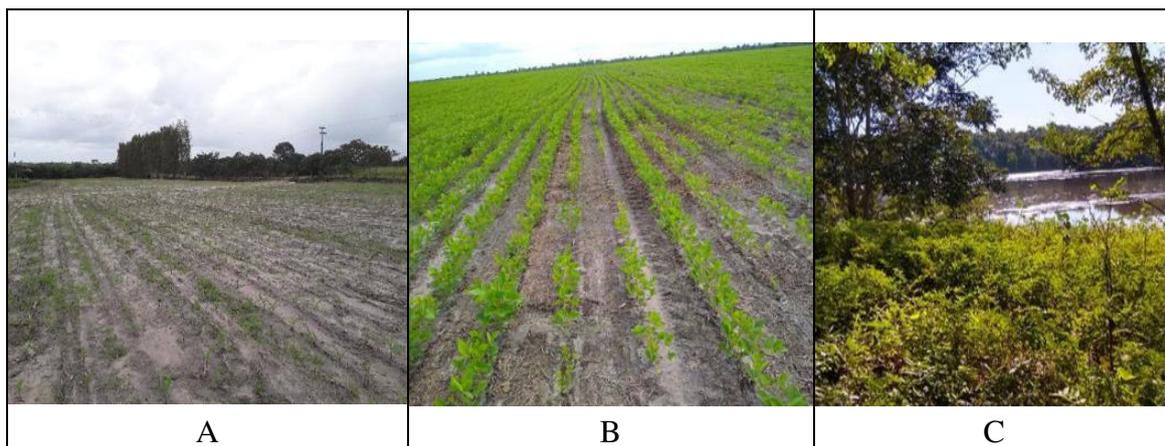


Figura 1. Áreas de estudo: A- solo cultivado com milho em plantio convencional; B- solo cultivado com soja em plantio direto e C- mata nativa.

#### 4.2 Atributos físicos e hídricos

Foram avaliadas as seguintes propriedades físicas-hídricas: densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, umidade gravimétrica, capacidade de água disponível, condutividade hidráulica vertical, resistência do solo à penetração e velocidade de infiltração básica (VIB) (Figura 2).

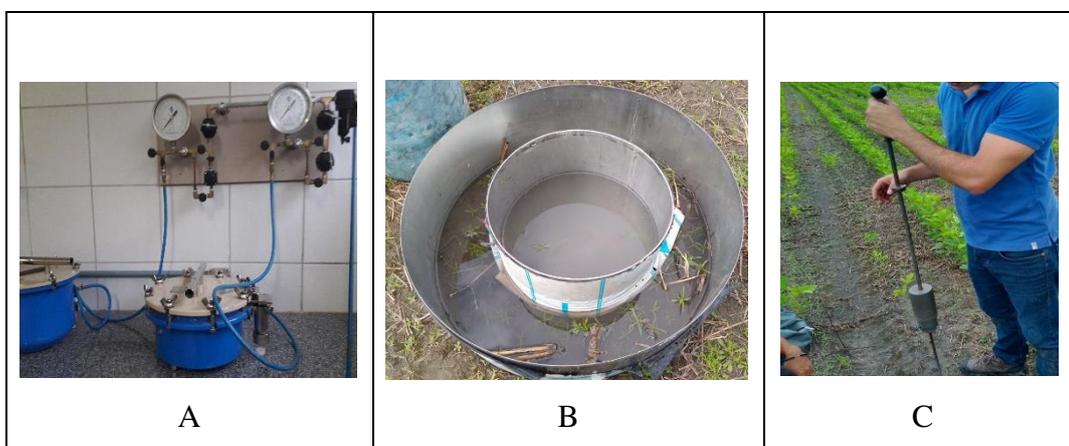


Figura 2. Equipamentos: A- Câmara de Richards; B- Infiltrômetro de anel e C- Penetrômetro de impacto.

Conforme os equipamentos da Figura 2, em A) tem-se a Câmara de Richards na qual é possível obter os valores de capacidade campo e ponto de murcha permanente. Em B) Infiltrômetro de anel, equipamento utilizada para medir a velocidade infiltração básica e condutividade hidráulica vertical e C) Penetrômetro de impacto utilizado para mensurar a resistência do solo a penetração.

Foram coletadas, no mês de março e abril de 2019, amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-0,20m e 0,20-0,40m em quatro pontos amostrais, totalizando oito

amostras por tratamento, sendo o estágio fenológico da soja em PD V6 e do milho sob PC V3.

As determinações de densidade aparente, porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram determinadas de acordo com as recomendações do Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1997).

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico, no qual o solo é coletado através de um cilindro metálico e seco em estufa a 105°C por 24 horas. Obtendo-se os valores de densidade com a equação 1:

$$D_s = \frac{M_s}{V} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$D_s$  = densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$M_s$  = massa do solo seca a 105°C (g);

$V$  = volume do anel ou cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

Para a determinação de porosidade total foi a princípio obtidos os valores de densidade de partículas (equação 2) pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997), conforme a equação 2:

$$D_p = \left( \frac{TFSE}{50 - V_{ag}} \right) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$D_p$  = Densidade de partícula ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

TFSE = Terra Fina Seca em Estufa (g);

$V_{ag}$  = volume de álcool gasto (ml).

Os valores de microporosidade foram obtidos pela câmara de Richard, no qual as amostras de solo são saturadas e postas na câmara que drena a água presente nos macroporos. Obtém-se o volume de porosidade total e microporos com as equações 3, 4 e macroporosidade por estimativa a partir da diferença entre porosidade total e microporosidade conforme equação 5:

$$PT = \left( 1 - \frac{D_s}{D_p} \right) \quad \text{Eq.3}$$

$$\text{Microporosidade} = \frac{M_{60} - M_s}{v} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\text{Macroporosidade} = PT - \text{Microporosidade} \quad \text{Eq.5}$$

Onde:

$M_{60}$  = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água;

$M_s$  = peso da amostra seca a 105°C (g);

$V$  = volume do cilindro (cm<sup>3</sup>);

$D_p$  = densidade de partícula (g/cm<sup>3</sup>).

A resistência do solo a penetração é uma variável utilizada para identificar a compactação do solo ao longo do perfil, os testes de resistência foram realizados até a profundidade de 60 cm nas condições de campo utilizando um penetrômetro de impacto (STOLF, 1991).

Os pontos de capacidade de campo e ponto de murcha permanente foram determinados pelo método da câmara de Richards (EMBRAPA, 1997). A capacidade de água disponível (CAD) para as plantas foi obtida a partir da equação 6 conforme BERNARDO et al. (2006):

$$CAD = \frac{CC - PMP}{10} D_s \cdot Z \quad \text{Eq.6}$$

Onde:

CC= capacidade de campo (tensão de 10 kPa)

PMP = ponto de murcha permanente (tensão de 1.500 kPa)

$D_s$  = densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>)

$Z$  = profundidade efetiva das raízes (cm)

Os testes de infiltração foram realizados pelo método de infiltrômetro de anéis (BRANDÃO, 2006). Os valores de condutividade hidráulica vertical ( $K_v$ ) foram obtidos a partir da equação 7 (SOUZA & CAMPOS, 2001).

$$K_v = U \cdot \frac{I}{T} \cdot \ln \cdot \frac{H_0}{H_t} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

$U$  = fator de conversão (1/60000)

$I$  = profundidade de cravação dos anéis no solo (mm)

$H_0$  = coluna d'água inicial (mm)

$H_t$  = coluna d'água final (mm)

$T$  = tempo de rebaixamento (min)

### **4.3 Análise estatística**

A análise de dados seguiu o delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo constituído por 3 tratamentos e 4 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (Anava) e as médias analisadas e comparadas por

meio do Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, para cada área estudada com o respectivo uso do solo, utilizando o programa estatístico SISVAR.

#### 4.4 Classificação de VIB e Kv

Os dados obtidos de velocidade de infiltração básica foram classificados conforme BERNARDO et al. (2006) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação da velocidade de infiltração básica

VIB (mm/h)	Grau
> 30	Muito alta
15-30	Alta
5-15	Média
< 5	Baixa

A condutividade hidráulica vertical foi classificada de acordo com as faixas propostas por Almeida et al., (2006) (Tabela 2).

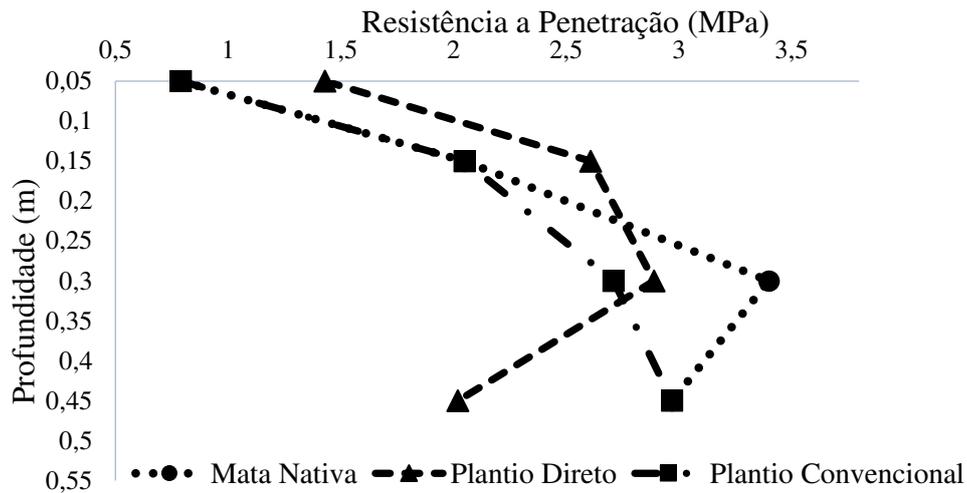
Tabela 1. Classificação da condutividade hidráulica vertical

Kv (m/s)	Grau
> $10^{-3}$	Muito alta
$10^{-3} - 10^{-5}$	Alta
$10^{-6}$	Média
$10^{-7} - 10^{-8}$	Baixa
< $10^{-8}$	Muito baixa

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A resistência do solo a penetração variou entre áreas analisadas, sendo o uso do solo o fator primordial para compreensão dessa diferença (Figura 3). Constatou-se valores semelhantes de RP na camada até 0,15 m em PC e MN, no entanto na camada mais profunda de 0,15-0,30 m observa-se maior valor de RP em mata nativa.

Figura 3. Valores médios de Resistência do Solo a Penetração em Mata Nativa (MN), Plantio Direto (PD) e Plantio Convencional (PC).



Martins & Santos (2017) observaram valores de RP superiores a 3 MPa na camada de 0,10-0,20 m em Latossolo Vermelho sob plantio direto no Estado do Paraná, resultados acima dos constatados neste trabalho.

Constatou-se valores médios de RP de 2,02 MPa na camada de 0-20 cm e 2,89 MPa na camada de 20-40 cm em SPD com cultivo de soja, Girardello et al. (2014) propuseram o valor crítico de 3,0 MPa para a cultura da soja, pois, constataram redução na produtividade em 10% da cultura em Latossolo vermelho sob SPD.

Os dados de RP para PC condizem com o observado por Drescher et al. (2012), que constataram que o solo após submetido ao processo de aração apresenta baixa RP nas profundidades de 0-20 cm (0,5 a 1,5 MPa) que aumenta ao longo do perfil até 2 MPa.

A MN apresentou o maior valor médio de RP abaixo da profundidade de 0,25 m, de acordo com Souza & Alves (2003) isso ocorre em função do adensamento natural de solos no cerrado, devido ao peso das camadas subjacentes há o aumento da densidade em camadas mais profundas e conseqüentemente elevação da RP.

Na área sob PC cultivada com milho, obteve-se média de RP de 1,42 MPa na camada de 0-20 cm e 2,71 MPa na camada de 20-40 cm, no que tange a essa cultura, Deperon Júnior et al. (2016) reportaram que valores acima de 1,53 MPa podem reduzir linearmente a produtividade de grãos de milho.

As áreas de produção agrícola analisadas não apresentaram diferenças expressivas no que diz respeito a densidade (Tabela 3), entretanto, constatou-se Ds de 1,60 g cm<sup>-3</sup> em PD, valor estatisticamente igual ao obtido em PC e MN. De acordo com

Seixas et al. (2005) nos primeiros anos de implantação do plantio direto, devido ao não revolvimento do solo é comum o aumento da densidade na camada superficial.

Tabela 3. Valores médios de umidade gravimétrica (Ug), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi).

Trat	Prof.	Ug	Ds	PT	Ma	Mi
	cm	%	g cm <sup>-3</sup>	-----%-----		
PD	0-20	6,32 A	1,60 AB	30,54 A	20,43 B	10,11 A
	20-40	6,14 A	1,63 B	30,15 A	20,62 B	9,53 A
PC	0-20	8,24 A	1,68 B	30,67 A	19,0 B	11,67 A
	20-40	7,47 A	1,68 B	31,0 A	20,0 B	11,0 A
MN	0-20	17,08 B	1,47 A	39,47 B	6,63 A	32,84 B
	20-40	15,53 B	1,45 A	37,75 B	9,22 A	28,53 B

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Neste trabalho, a Ds média em PC na camada superficial foi 1,68 g cm<sup>-3</sup>, valor mais alto quando comparado aos dados obtidos por Sales et al. (2016) que avaliaram atributos físicos de um Latossolo após a colheita do milho e obtiveram valor médio de Ds de 1,65 g cm<sup>-3</sup> na camada de 0-20 cm em PC, os autores reportam que esse valor é justificado pelo fato de que sistema radicular dessa cultura ser mais robusto e possui maior diâmetro na fase da colheita.

No que diz respeito ao sistema poroso do solo, é possível verificar que a porosidade total não demonstrou diferença significativa entre os manejos PC e SPD, isso deve se ao fato da área de plantio direto ter passado pelo processo de subsolagem e pelo curto período de tempo (2 anos) de manejo em SPD, aliado a isso o sistema também não possui uma boa adaptabilidade como na região Sul. A porosidade total em PD e PC estão próximas a faixa de porosidade adequada a solos arenosos, que de acordo com Reichardt & Timm (2004) situa-se entre 0,32 e 0,47 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

A microporosidade em MN foi superior a macroporosidade, o mesmo foi observado por Martinkoski et al. (2017) que ao estudarem a qualidade física do solo sob floresta secundária no Estado do Paraná obtiveram valores de macro e microporosidade de 10% e 51%, respectivamente. Os valores de microporosidade em MN são característicos de solos com maior teor de argila, com alto potencial de retenção de água

(LIMA et al., 2005), foram estatisticamente diferentes dos solos manejados sob PC e PD.

A área com cultivo da soja apresentou maior valor de VIB em comparação a área cultivada com milho e a mata nativa, no que tange a condutividade hidráulica vertical, observa-se que todos as áreas avaliadas possuem Kv classificadas como altas (Tabela 2).

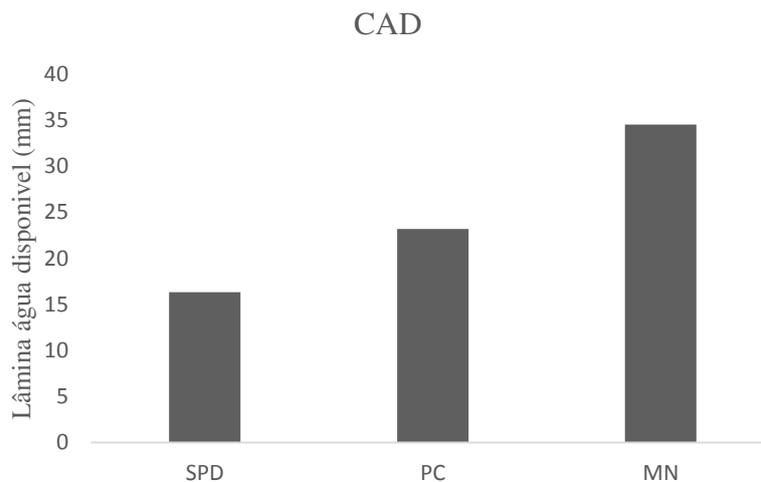
Tabela 4. Valores médios de velocidade de infiltração básica (VIB) e condutividade hidráulica vertical (Kv)

Trat	VIB (mm/h)	Classificação (VIB)	Kv (m/s)	Classificação (Kv)
SPD	37,5	Muito alta	$5,76.10^{-4}$	Alta
PC	12,0	Média	$1,0.10^{-4}$	Alta
MN	19,8	Alta	$3,67.10^{-5}$	Alta

Moreira et al. (2017) ao estudarem as propriedades hídricas de solos em diferentes agroecossistemas amazônicos, constataram VIB de 38,19 mm/h em área de pastagem degradada e 13,0 mm/h em sistema agroflorestral, os autores reportaram que são áreas que são pouco sujeitas a mecanização agrícola, no entanto, justificam a diferença entre as velocidades de infiltração básica em função da diferença de tipos de solo, conteúdo de matéria orgânica, sistema radicular das plantas em cada área e porosidade dos solos.

As alterações nas propriedades hídricas dos solos sob plantio direto e convencional são significativamente distintas daquelas observadas em mata nativa. O solo com vegetação nativa possui mais água disponível para as plantas, menor densidade e maior porosidade total (Figura 4).

Figura 4. Valores médios de capacidade de água disponível (CAD) para os manejos de plantio direto (PD), plantio convencional (PC), e mata nativa (MN).



Os valores de capacidade de água disponível calculados para os solos analisados apresentaram a seguinte configuração  $MN > PC > PD$ . É possível inferir que devido a cobertura do solo por serrapilheira na área correspondente a MN, há maior proteção do solo contra o impacto das gotas de chuvas e que auxilia na retenção da evaporação da água, aumentando assim a CAD no solo nessa área.

A capacidade de água disponível dos solos estudados foi semelhante às encontradas em Latossolos de diversas regiões do Brasil, como consta em trabalhos realizados nos estados de Goiás, Santa Catarina e Paraná (STONE et al., 2015; BARBOSA et al., 2017; SOUZA et al., 2018).

## 6. CONCLUSÕES

1. O solo apresentou maior densidade e baixa conservação da umidade em PD e PC.
2. A mata nativa apresentou maior porosidade total e maior conservação da umidade no solo.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.32-40, 2007.

BARBOSA, J. S. SILVA, K. C. R.; CARDUCCI, C. E.; SANTOS, K. L. KOHN, L. S.; FUCKS, J. S. Atributos Físico-hídricos em solos Húmicos Sob Sistema Agroflorestal no Planalto Catarinense. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017. DOI: e20160251 <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.025116>

BATISTA, D. F.; SOUSA, F. Avaliação da condutividade hidráulica do solo sobre condições de cobertura por cerrado e pastagem. **Geoambiente**, v. 25, p. 1-20, 2015. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i25.35332

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA D. D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 120p.

BERNADO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2008, 8ª ed. 625 p.

BRESSAN, S. B.; NÓBREGA, J. C. A. NÓBREGA, R. S. A.; BARBOSA, R. S.; SOUSA L. B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.371-378, 2013.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.; TORRES, L. E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, v.41, n.3, p.493-501, 2006.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária-Safra 2018/2019**. Perspec. agropec., Brasília, v.6, p. 1-112, ago. 2018.

COLODEL, J. R.; PIERANGELI, M. A. P. SOUZA, M. F. P.; CARVALHO; M. A. C. DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho-Amarelo Amazônico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 41, v.2, p. 287-297, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17253>.

CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N.; PIMENTA, W. A., PATROCÍNIO FILHO, A. P.; SOUZA, E. B.; NAGAHAMA, H. J. Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um Argissolo amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, v38, p.1000-1010, 2014.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L. J.; ASSIS, T. OLIVEIRA, M. S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 41, n. 1, p. 8-19, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17253>.

DANTAS, J. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; RESENDE, J. M. A.; CAMARGO, L. A.; BARBOSA, R. S. Gênese de solos coesos do leste maranhense: relação solo-paisagem. **R. Bras. Ci. Solo**, v.38, p.1039-1050, 2014.

DEPERON JÚNIOR, M. A.; NAGAHAMA, H. J.; OLSZEWSKI, N.; CORTEZ, J. W.; SOUZA, E. B. Influência de implementos de preparo e de níveis de compactação sobre atributos físicos do solo e aspectos agronômicos da cultura do milho. **Eng. Agríc.**, v.36, n.2, p.367-376, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p367-376/2016>

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção

mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 36p.1836-1844, 2012.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FARIAS, M.F.; FEITOSA, C. E. L.; RODRIGUES, K. M.; TEIXEIRA, L. C.; FURTADO, M. B.; SERRANO, L. J. P. Impact of Management on the Physical Attributes of a Dystrophic Yellow Latosol. **Journal of Agricultural Science**; v. 9, n. 5, p. 217-225, 2017. Doi:10.5539/jas.v9n5p217

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **R. Bras. Ci. Solo**, v.38, p.1234-1244, 2014.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R C. A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1, p. 29-35, jan-mar, 2010.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J. REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S; GUBIANI, P. I. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max L.*) e feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v.36, n.4, 2006.

MACEDO, D. X. S.; MONTEIRO, L. A.; SANTOS, V. C. **Compactação, escarificador e subsolador**. Fortaleza: Novas edições acadêmicas, 2016, 57p.

MAGALHÃES, V. L.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. Dinâmica físico-hídrica de um sistema pedológico latossolo-nitossolo. **Mercator**, v. 16, n. 22, p. 1-19, 2017.

MARTINS, F. P.; SANTOS, E. L. Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. **Acta Iguazu**, v.6, n.4, p. 28-40, 2017.

MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; CONCEIÇÃO, B. P. S. Curva de retenção de água elaborada pelo método do psicrômetro para uso na determinação do índice “s” de qualidade física do solo. **Eng. Agríc.**, v.35, n.5, p.959-966, 2015.

MENEZES, M. D.; JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Sci. For.**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, 2009.

MOREIRA, W. K. O.; SILVA, E. G.; LIMA, N. T.; ALVES, J. D. N.; RAYOL, B. P. Velocidade de infiltração básica da água no solo em diferentes agroecossistemas amazônicos. **Agrarian Academy**, v.4, n.7; p. 463-467, 2017. DOI: 10.18677/Agrarian\_Academy\_2017a44

MARQUES, S. R.; WEILL, M A. M.; SILVA, L. F. S. Qualidade física de um latossolo vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo. **Ciênc. agrotec.**, v. 34, n. 4, p. 967-974, 2010. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000400024>

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G.; F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade Física do Solo Sob Manejo Silvopastoril e Floresta Secundária. **Floresta e Ambiente**, v.24, p. 1-9, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.028216>

MARCHINI, D. C.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO, S. N. ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.19, n.6, p.574–580, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p574-580>

MINGOTI, R.; BRASCO, M.A.; HOLLER, W.A.; LOVISI FILHO, E.; SPADOTTO, C.A. **Matopiba: caracterização das áreas com grande produção de culturas anuais**. Campinas: Embrapa Gestão Territorial, 2014. 2p. Nota técnica.

NICODEMO; M. L. F.; BORGES; W. L. B.; SOUZA, I. M. D. Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. **Rev. Bras. Ciênc. Agrar.**, Recife, v.13, n.2, p. 1-7, 2018. DOI:10.5039/agraria.v13i2a5524

OLIVEIRA, D. M. S.; LIMA, R. P.; VERBURG, E. E. J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.3, p.280–285, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p280-285>.

REICHARDT, K. & TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, Manole, 2004. 478p.

SAGRIMA- Secretaria de Agricultura Pecuária e Pesca. Perfil da agricultura Maranhense, 2016. Disponível em: <<http://www.sagrима.ma.gov.br/files/2017/01/boletim-final-18-01.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. KONDO, A. M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160052

SEIXAS, J.; ROLOFF, G.; RALISCH, R. Tráfego de máquinas e enraizamento do milho em plantio direto. **Ciência Rural**, v35, n.4, p.794-798, 2005.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, Á. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.544-552, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000300009>.

STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; ALCÂNTARA, F.; FERREIRA, E. P. B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho ácrico sob sistemas silviagrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.953–960, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p953-960>

SOUZA, J. L. M.; FEZER, K. F.; GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D. PACHECHENIK, P. E.; EVANGELISTA, A. W. P. Atributos físicos e balanço hídrico do solo com floresta ombrófila mista, em latossolo vermelho-amarelo, em Telêmaco Borba – PR. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 90-101, 2018.

SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de Cerrado sob diferentes usos e manejos. *R. Acta Sci.*, 25:27-34, 2003.

TAVARES FILHO, J. G.; BARBOSA, M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (zea mays) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p.725-730, 2001.

TIM CHAMEN, W.C.; MOXEY, A.P.; TOWERS, W.; BALANA, B.; HALLETT, P.D. Mitigating arable soil compaction: a review and analysis of available cost and benefit data. **Soil and Tillage Research**, v.146, p.10-25, 2015. DOI: 10.1016/j.still.2014.09.011.

TOIGO, S.; BRAIDA, J.A.; POSSENTI, J.C.; BRANDELERO, E.M.; BAESSO, M.M. Atributos físicos de um Nitossolo Vermelho cultivado com trigo, em sistema plantio direto, submetido à compactação e escarificação. **Engenharia na Agricultura**, v.23, n.1, p.19-28, 2015.