

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**CAIO RANIELE SOUZA DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO ASSOCIADA  
À UMIDADE E DENSIDADE SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Chapadinha-MA

2022

# **CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO ASSOCIADO À UMIDADE E DENSIDADE SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

**CAIO RANIELE SOUZA DA SILVA**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Silva dos Santos

Chapadinha - MA

2022

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

Souza da Silva, Caio Raniele. Caracterização da Resistência à Penetração do Solo Associado à Umidade e Densidade sob Sistemas de Plantio direto / Caio Raniele Souza da Silva. - 2022.

28 f.

Orientador (a): Prof. Dr. Eduardo Silva dos Santos. Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2022.

1. Compactação. 2. Penetrômetro. 3. Sistema de manejo.

TCC defendido e aprovado em: 22 de dezembro de 2022, pela Comissão Examinadora constituída pelos professores:

*Eduardo Silva dos Santos*

---

Prof. Dr. Eduardo Silva dos Santos (Orientador)  
Universidade Federal do Maranhão

*Plinio*

---

Prof. Dr. Plinio Antônio Guerra Filho (Examinador)  
Universidade Federal do Maranhão

*Ana Karla da Silva Oliveira*

---

Ma. Ana Karla da Silva Oliveira (Examinadora)  
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP)

## DEDICATÓRIA

Dedico esta defesa a minha família, em especial ao meu pai, pelo homem que é e por sempre me ensinar o caminho a seguir, aos meus avôs, que foram minha base e aos meus colegas de curso que contribuíram para o meu crescimento e aprendizagem.

## **AGRADECIMENTOS**

Antes de tudo e todos, agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelo amor e pela misericórdia derramada sobre a mim, bem como por iluminar a minha mente nos momentos difíceis, dando-me força e coragem para seguir durante toda essa caminhada.

Aos meus pais e meus avôs, Josinaldo e Luciane, Raimunda e Raimundo, Zilmar e Manoel, que com humildade e honestidade fizeram-me melhor. A vocês todo o meu amor e minha gratidão.

A todos os meus irmãos, em especial João e Nicolle, que sempre foram as minhas maiores alegrias. E a minha namorada, Elen Camila pela dedicação oferecida, pelos momentos de companheirismo, e pela compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu orientador, Prof. Eduardo que desde o início da pesquisa me auxiliou, motivou e ajudou no que fosse necessário sendo solícito e generoso comigo.

A todos os professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado, em especial Prof. Khalil, Prof. Telmo José, Prof. Dr. Plínio Guerra e Prof<sup>a</sup>. Dr. Daiane Fossati. Agradeço também a minha instituição por ter me dado a chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

A todos que participaram da pesquisa, pela colaboração, dedicação no processo de obtenção de dados, em especial o Breno, Luiziane, Bruna e Revena.

Aos meus amigos que fiz dentro da Universidade, Arlindo, Aurélio, Atacilia, Diemerson, Elves, Enzo, Francisco, Geovane, Ivanária, Janine, João Mateus, João Pedro, Larissa, Marcos, Matheus Silva, Tamara, Vinícios e Wesley fica aqui o meu sentimento de gratidão.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. Sistemas de manejo do solo .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Compactação do solo .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Resistência à penetração .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Penetrômetro de impacto .....</b>	<b>16</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Áreas de estudo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Avaliações da resistência, umidade e densidade do solo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Delineamento estatístico .....</b>	<b>20</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>25</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>25</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1.</b> Análise de Variância da resistência do solo à penetração (RP) e umidade do solo (U) em função dos diferentes tipos de uso do solo (tratamentos) e profundidades.....	21
<b>TABELA 2.</b> Médias de resistência à penetração (RP) e umidade do solo (U) sob os diferentes tratamentos.....	22
<b>TABELA 3.</b> Análise de Variância da densidade (DS) e Porosidade total (PT) do solo em função dos diferentes tipos de uso do solo (tratamentos) e profundidades.....	23
<b>TABELA 4.</b> Média dos tratamentos para a variável densidade do solo (DS) e porosidade total do solo (PT).....	24



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização das coletas de dados.....	17
<b>Figura 2.</b> Locais das referidas áreas de avaliação na área sob manejo de subsolagem + braquiária, área subsolada, área não subsolada e área de mata nativa.....	18
<b>Figura 3.</b> Penetrômetro de impacto.....	19
<b>Figura 4.</b> Amostrador de Uhland.....	20

## **CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO ASSOCIADO À UMIDADE E DENSIDADE SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

**Resumo:** A Resistência a Penetração do solo é uma das propriedades físicas diretamente relacionada ao crescimento das plantas e modificada pelos sistemas de preparo do solo. Os sistemas de manejo podem ser divididos em convencional, reduzido e o plantio direto. Assim, objetivou-se avaliar a resistência à penetração, umidade e densidade em área subsolada + braquiária (SB), subsolado (S), não subsolada (NS) e mata nativa (M) em área comercial de cultivo de soja sob sistema de plantio direto. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo as parcelas os manejos do solo (M, S, SB e NS) e as subparcelas as profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40). O estudo foi realizado em uma fazenda produtora de soja no município de Chapadinha-MA. As avaliações ocorreram nos dias 07/11/21 para o manejo Subsolado + Braquiária (SB); no dia 09/11/21 para Não Subsolado (NS) e Subsolado (S); 11/11/2021 para Mata (M). Os maiores valores de RP foram encontrados no tratamento SB (6,17; 16,03; 15,49; 14,64 MPa), comparado ao S (2,57; 8,13; 7,27; 5,94 MPa) e NS (2,23; 5,6; 6,03; 6,21 MPa), o aumento desses valores estão correlacionados com a diminuição da umidade. A resistência à penetração para o manejo sob área subsolada + braquiária a partir da camada de 10-20 a 30-40 cm apresentou valores superiores aos tratamentos com manejos de área subsolada e não subsolada e esses valores estão correlacionados com a diminuição da umidade. A umidade no tratamento M apresentou valores mais altos podendo estar relacionado com o sombreamento e acúmulo de serrapilheira.

**Palavras-chaves:** compactação, penetrômetro, sistemas de manejo.

## CHARACTERIZATION OF SOIL PENETRATION RESISTANCE ASSOCIATED WITH MOISTURE AND DENSITY UNDER NO-TILL FARMING SYSTEM

**Abstract:** Soil Penetration Resistance is one of the physical properties directly related to plant growth and modified by soil preparation systems. The management systems can be divided into conventional, reduced and no-till. Thus, the objective was to evaluate the penetration resistance, moisture and density in a subsoiled + brachiaria (SB), subsoiled (S), not subsoiled (NS) and native forest (M) commercial soybean growing area under no-till systems. A randomized block design in subdivided plots was used, with the plots being the soil management (M, S, SB and NS) and the subplots the depths (0-10, 10-20, 20-30 and 30-40). The study was carried out in a soybean producing farm in the municipality of Chapadinha-MA. The evaluations occurred on 11/07/21 for the management Under-tilled + Brachiaria (SB); on 11/09/21 for Not-Tilled (NS) and Under-tilled (S); 11/11/2021 for Forest (M). The highest values of RP were found in the SB treatment (6.17; 16.03; 15.49; 14.64 MPa), compared to S (2.57; 8.13; 7.27; 5.94 MPa) and NS (2.23; 5.6; 6.03; 6.21 MPa), the increase in these values are correlated with the decrease in moisture. The penetration resistance for the management under subsoiled area + brachiaria from the layer of 10-20 to 30-40 cm showed higher values than the treatments with subsoiled and not subsoiled area management and these values are correlated with the decrease in moisture. The moisture in treatment M showed higher values and may be related to the shading and accumulation of burlap.

**Key words:** compaction, penetrometer, management systems.

## 1. INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola, devido ao intenso tráfego de tratores e implementos na lavoura, resulta na compactação do solo, que é uma diminuição do seu volume não saturado, decorrente de uma compressão exercida pelo peso de máquinas e implementos, causando a expulsão do ar do solo, o rearranjo das partículas (areia, silte e argila) e, como consequência, um aumento da densidade do solo (MACHADO, 2003).

Os solos mais compactados apresentam maior resistência à penetração (RP), devido à maior proximidade entre as partículas, o que confere menor índice de vazios (volume de poros/volume de sólidos) e maior densidade do solo (SANTOS et al, 2015). Pode-se diagnosticar a compactação por meio de métodos científicos ou práticos, os primeiros requerem aparelhos específicos e são de grande confiabilidade como a densidade e a porosidade do solo, enquanto que os métodos práticos informam o resultado de forma mais rápida, como os penetrômetros (SOUZA et al, 2014).

A resistência do solo à penetração é variável com a densidade e 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 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 (COSTA, 2016).

Os sistemas de manejos são importantes operações que influenciam nas características físicas do solo e estão relacionados com a compactação do solo. Esses sistemas podem ser divididos em convencional, reduzido e plantio direto. O sistema convencional é uma técnica que consiste na inversão das camadas utilizando arado e/ou grades. O sistema reduzido consiste na redução de uma ou mais operações do preparo do solo ou 30% da cobertura vegetal sobre a superfície do solo, sendo o escarificador o equipamento mais utilizado. Um dos requisitos para o sucesso do plantio direto é uma adequada cobertura do solo, pois é usado um sistema de semeadura fazendo que a semente seja colocada diretamente no solo não revolvido, fazendo uso de máquinas especiais (MENEZES, 2013).

Segundo Richart et al. (2005), na literatura vários autores tem adotado valores diferentes quanto ao limite crítico de resistência à penetração. Esses valores de

resistência à penetração variam de acordo com a sua classe e com a espécie cultivada, mas de modo geral, o valor de 2,0 MPa é o mais frequentemente utilizado como crítico para o crescimento das plantas e raízes.

O conhecimento da variabilidade espaço-temporal das propriedades físicas do solo pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo (SCHAFFRATH et al., 2008). Neste sentido, torna-se relevante estudar os indicadores de qualidade física dos solos. Segundo Bottega et al. (2011) tais indicadores devem se relacionar diretamente à produção das culturas e que sejam suficientemente potentes para medir a capacidade do solo de fornecer adequada aeração e quantidade de água para o crescimento e expansão do sistema radicular, da mesma forma devem medir a magnitude com a qual a matriz do solo resiste à deformação. Dentre os principais fatores destaca-se a resistência do solo à penetração.

A RP tem sido adotada como indicativo da compactação do solo, por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (SILVA et al., 2003).

Dessa forma, a avaliação e o monitoramento de impedimentos mecânico do solo ao desenvolvimento radicular tornam-se ferramenta importante para caracterizar a evolução de sistemas agrícolas. E também, para servir como subsídio indispensável a ser usado no planejamento e direcionamento das práticas de cultivo empregadas dentro de uma propriedade agrícola (TORRES e SARAIVA, 1999).

Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a resistência à penetração, umidade e densidade em área com subsolada + braquiária, subsolado, não subsolada e em mata nativa em área comercial de cultivo de soja.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Sistemas de manejo do solo**

Os sistemas de manejo contribuem para a melhoria da qualidade física, química e biológica do solo, propiciando o aumento da matéria orgânica e melhorando a estrutura. Diversas operações são envolvidas na condução desses sistemas, como adubação, controle de plantas invasoras, operações de semeadura e conservação do solo.

Os manejos são práticas indispensáveis para o bom desenvolvimento da cultura quando utilizados de forma racional, porém quando o solo é manejado de forma incorreta, há consequências negativas sobre suas propriedades físicas (aeração, compactação, estruturação, retenção de água), químicas (disponibilidade de nutrientes, interações entre eles, reação do solo) e biológicas (atividades microbianas, matéria orgânica e espécies de microrganismos), fazendo com que resulte na degradação do solo e podendo até chegar à desertificação. O preparo do solo cria condições favoráveis a um bom crescimento, germinação e desenvolvimento da cultura (TAVARES et al., 2012).

O sistema convencional durante muitos anos foi a forma de manejo que mais dominou a agricultura e caracteriza-se nas operações de aração, gradagem, técnicas utilizadas para facilitar o crescimento das raízes das plantas. Um dos motivos que se leva a adoção desse sistema são a eliminação de plantas daninhas, revolvimento do solo e suas camadas superficiais. Porém, a intensa mobilização do solo destrói os agregados do solo, diminui a matéria orgânica e isso leva o solo a torna-se vulnerável à erosão. (SERRANO, 2007).

Preparo reduzido refere-se a diminuição de uma ou mais operações do preparo do solo em relação ao preparo convencional, usando práticas conservacionistas. Nesse preparo, normalmente é feito o uso de uma gradagem com grade pesada, ou grade aradora sendo caracterizado por uma única passagem de grade e os resíduos são semi-incorporados ao solo. No entanto, mesmo tendo uma pequena quantidade de palha na superfície essa protege parcialmente o solo, embora ainda possam ocorrer danos severos causados pela erosão (CHAVES, 2015).

O sistema de plantio direto é uma das técnicas mais adotadas no Brasil, segundo a Febrapdp, mais de 35 milhões de hectares estão sobre o SPD, chegando a 90% das áreas ocupadas com lavouras de grãos no país. Esse sistema é uma técnica de cultivo conservacionista que utiliza semeadora específica, sendo as sementes depositadas diretamente sobre resteva ou palhada da cultura anterior, na ausência de preparo do solo e fazendo uso da cobertura permanente do terreno pela adoção de rotação de culturas. O não preparo do solo, com maior atividade biológica e uso de plantas de cobertura com diferentes sistemas radiculares, faz com que o solo se torne menos compactado com o passar do tempo (CRUZ et al., 2006)

## 2.2 Compactação do solo

A adoção de novas tecnologias visando ao aumento da produtividade, normalmente induz a uma intensificação dos sistemas de produção agropecuária, que podem levar a diferentes formas de degradação do solo em médios e longos prazos, mesmo associadas às técnicas de conservação do solo. Depara-se, hoje, com um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores em diversas regiões, que são os níveis de compactação do solo, tanto em sistemas de plantio direto como nos de plantio convencional e pastagem.

Segundo Richart et al. (2005), o termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, a qual pode ser causada pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais.

Durante muitos anos o problema de compactação vem se agravando, principalmente pelo manejo de máquinas e implementos de maneira inadequada com a exploração de duas culturas anuais. Tanto a redução significativa da produtividade quanto os efeitos da compactação estão diretamente relacionados, com isso, as plantas não absorvem os nutrientes por causa do mau desenvolvimento radicular, diminuição na quantidade de oxigênio fazendo que as plantas tenham decréscimo no desenvolvimento. Tem-se observado que a intensa movimentação de máquinas e equipamentos em condições inadequadas de umidade do solo é uma das causas principais da degradação física dos solos agrícolas (MANTOVANI, 1987).

A estrutura do solo e o estado de compactação são fatores importantes que influenciam o crescimento radicular das plantas. A estrutura do solo é heterogênea, tanto espacial como temporariamente, devido aos efeitos do meio ambiente, manejo do solo e crescimento da planta. A compactação do solo é um fenômeno que envolve inter-relações significativas entre as propriedades físicas e biológicas mais reconhecidas dos solos. O espaço dos poros do solo, a resistência mecânica e a disponibilidade de nutrientes são todos modificados pela compactação do solo. As raízes que crescem nos solos geralmente experimentam uma mistura de solo desestruturado e com compactação (BERTOLLO, 2018).

O atributo físico adotado como indicativo da compactação tem sido a resistência do solo à penetração (RP), por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de

compactação comparada à densidade do solo. A RP é influenciada pelo teor de água, textura e pela condição estrutural do solo, fatores que estabelecem valores críticos do crescimento radicular e desenvolvimento das plantas (MARASCA, I. et al., 2011).

### **2.3 Resistência à penetração**

Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes. Por isso, sua quantificação representa importante indicativo da dinâmica de crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (SILVEIRA et al., 2010).

A determinação da resistência do solo à penetração é realizada mediante a resistência que o solo oferece à penetração de um instrumento de sondagem (penetrômetro), chamado de “índice de cone”. O índice reflete o comportamento do solo quanto à compactação, ao conteúdo de água, à granulometria e tipo de argila. É dependente de atributos do solo como textura e de propriedades como porosidade, estrutura, estabilidade de agregados e teor de água. Com o uso do penetrômetro, é possível identificar camadas com maior resistência à penetração e, com isso, inferir a presença ou não de compactação do solo, o grau da compactação e a profundidade da camada compactada no perfil do solo e, com essas informações, optar pela tecnologia mais adequada para a descompactação (DRESCHER et al., 2012).

### **2.4 Penetrômetro de impacto**

O uso do penetrômetro de impacto, aparelho que mede a resistência mecânica do solo à penetração, permite identificar a profundidade em que se encontram as camadas, naturalmente adensadas ou compactadas devido ao manejo inadequado do solo. O penetrômetro de impacto tem como princípio de funcionamento a penetração de uma haste com ponteira com área de projeção no solo através do impacto de um êmbolo de massa conhecida a uma altura constante. Uma questão que tem dificultado bastante o uso de penetrômetros é a dependência da resistência à penetração com a umidade, para isso é recomendado que se faça as medidas em condições de umidades nem muita alta, nem muito baixas, preferencialmente dentro da capacidade de campo (VAZ et al., 2002).



As principais vantagens dos penetrômetros de impacto são seu baixo custo, possibilidade de se trabalhar em solos de alta resistência (com baixa umidade e altos teores de argilas) e solos pedregosos. Como desvantagem tem-se uma menor quantidade de trabalhos na literatura internacional e a hipótese lançada por alguns autores, de que os penetrômetros estáticos simulam melhor o processo de penetração das raízes nos solos (VAZ et al., 2022). No Brasil, penetrômetros de impacto têm sido bastante utilizados em estudos de ciência do solo para avaliar o efeito de manejo sobre a compactação do solo (CARVALHO et al., 2012).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Áreas de estudo

O experimento (Figura 1) foi conduzido em área de produção agrícola comercial, em uma fazenda no município de Chapadinha-MA, localizada nas coordenadas geográficas 03°38'41''S de latitude e 43°23'21''W de longitude e com altitude média de 108 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com temperatura média anual superior a 27 °C e precipitação pluvial média anual de 1835 mm, com períodos de chuva entre os meses de janeiro e junho e de seca de julho a dezembro (PASSOS et al., 2016).

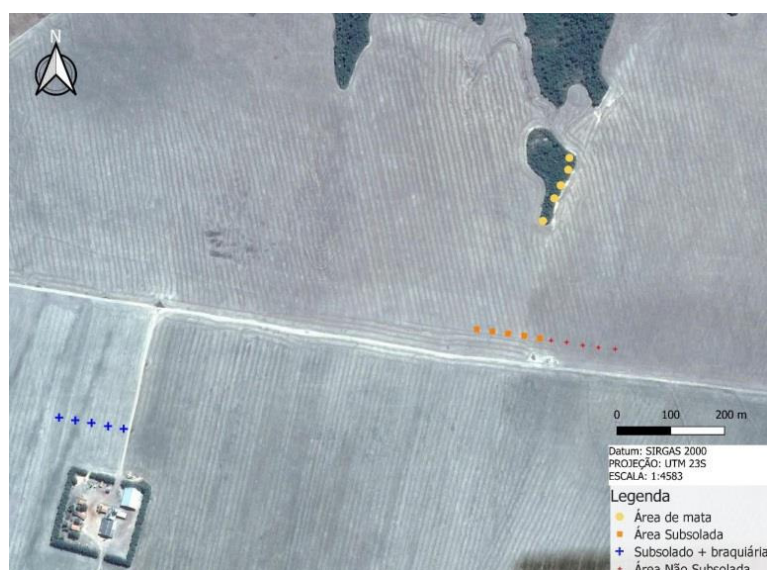
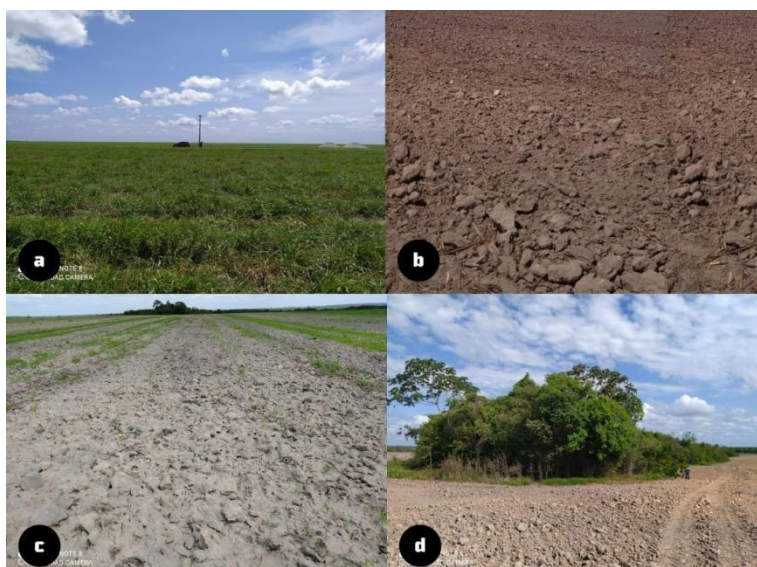


Figura 1. Mapa de localização do experimento.

#### 3.2 Avaliações da resistência, umidade e densidade do solo

Para avaliação da resistência mecânica a penetração (RP), umidade e densidade do solo, foram escolhidos 4 manejos do solo: solo com cultura de braquiária e subsolado (SB); Subsolado (S); não subsolado (NS) e mata nativa (M) (Figura 2). As avaliações ocorreram mediante a caracterização de um transecto em cada uso do solo, com 5 pontos amostrais com equidistância de 30 m de cada ponto, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm e totalizando 20 pontos por transecto. As avaliações ocorreram nos dias 07/11/21 para o manejo SB; no dia 09/11/21 para NS e S; 11/11/2021 para M.



**Figura 2.** Locais das referidas áreas de avaliação na área sob manejo de subsolagem + braquiária (a), área subsolada (b), área não subsolada (c) e área de mata nativa (d).

A resistência mecânica do solo a penetração foi medida com um penetrômetro de impacto (Figura 3) modelo Stolf reduzido (STOLF, 1991) e quantificado a partir da contagem do número de impactos até a profundidade de 40 cm utilizando um programa computacional de dados em Excel-VBA (STOLF et al., 2014) para o cálculo da resistência em razão da penetração por impacto utilizou a equação 1:

$$RP_{MPa} = 0,56 + 0,689 \times N \quad (1)$$

Onde  $N(\text{Impactos/dm}) = 10 \times n^\circ \text{ de impactos/penetração(cm)}$



**Figura 3.** Penetrômetro de Impacto.

Para a interpretação dos dados de penetrometria foram empregados os critérios descritos por SOIL SURVEY STAFF (1993), citado por ARSHAD et al., (1996), os quais adotam as seguintes classes de resistência mecânica do solo à penetração: baixa, de 0,1 a 1,0 MPa; moderada, de 1,0 a 2,0 MPa; alta, de 2,0 a 4,0 MPa; muito alta, de 4,0 a 8,0 Mpa; e extremamente alta, acima de 8,0 MPa.

Para avaliação da umidade amostras de solo foram coletadas de forma deformada em camadas de 10 cm até a profundidade de 40 cm. Essas amostras inicialmente foram colocadas em sacos plásticos para não perder a sua umidade original. A determinação do teor de umidade foi realizada no laboratório do FINEP, na Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Inicialmente as amostras foram pesadas em uma balança de precisão, para obtenção da massa do solo úmido e, em seguida as amostras foram levadas para a estufa a uma temperatura de 105 °C por 24h para a determinação da massa de solo seco. Os teores de umidade foram determinados pelo método gravimétrico de acordo com a equação 2 (EMBRAPA, 1997).

$$U = \frac{MSU - MSS}{MSS} \quad (2)$$

em que:

U = umidade do solo ( $g\ g^{-1}$ )

MSU = Massa do solo úmida (g)

MSS = Massa do solo seca (g)

Na avaliação da densidade do solo, foi adotado o método do anel volumétrico (Embrapa, 1997). Sendo utilizado um amostrador de Uhland (Figura 4) com volume de 98,12 cm<sup>3</sup> dos anéis para coletas de amostras indeformadas. A porosidade foi estimada a partir da relação entre densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp) com volume adotado de 2,65 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>, conforme equação 3:

$$PT = \frac{D_s}{D_p} \times 100 \quad (3)$$



**FIGURA 4.** Amostrador de Uhland.

### 3.3 Delineamento estatístico

O trabalho foi avaliado em delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo as parcelas os manejos do solo (M, S, SB e NS) e as subparcelas as profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40). As variáveis foram submetidas a análises de variância, e as médias foram comparadas pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontra a análise de variância dos resultados médios da resistência a penetração (RP) e umidade do solo (U). Observou-se que houve diferenças significativas para as fontes de variação tratamento, profundidade e efeito da interação ao nível de 0,1% a 5% de probabilidade para variável RP e U.

Indicando que houve influência dos tratamentos tanto sobre a resistência à penetração e a umidade do solo quanto entre as profundidades do solo.

**Tabela 1.** Análise de Variância da resistência do solo à penetração (RP) e umidade do solo (U) em função dos diferentes tipos de uso do solo (tratamentos) e profundidades.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios	
		RP (MPa)	U (g g <sup>-1</sup> )
Tratamento A	3	406,11**	0,0179**
Bloco	4	7,53 <sup>NS</sup>	0,0013 <sup>NS</sup>
Resíduo (a)	12	53,56	0,0009
Profundidade B	3	241,40***	0,0007*
A x B	9	25,25**	0,0006**
Resíduo (b)	48	8,52	0,0001
Total	79		
CV A (%)		77,97	37,26
CV B (%)		31,11	16,00
Média geral		9,38	0,083

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \*\*\* significativo ao nível de 0,1% de probabilidade; NS – Não significativo; CV – coeficiente de variação

Com relação à RP, verifica-se na Tabela 2 o desdobramento dos tratamentos dentro do fator profundidade e o desdobramento da profundidade dentro do fator tratamento. Na profundidade de 0-10 cm não houve diferença entre os tratamentos. A partir das camadas de 10-20 até 30-40 cm observa-se que não houve diferença entre os tratamentos com solo S e NS. Entretanto, a RP no tratamento SB, a partir da camada de 10-20 cm, apresenta valor mais elevado (16,03 MPa) em comparação aos tratamentos na condição de solo S (8,13 MPa) e NS (5,6 MPa). Entre os tratamentos estudados somente o NS não houve diferença significativa, sendo esse tratamento o que apresentou menores valores de RP (2,23; 5,6; 6,03; 6,21 MPa) em todas as profundidades. No entanto, o tratamento S na camada de 0-10 cm diferiu das camadas de 10-20 a 30-40 cm. Comparando o tratamento SB na camada de 0-10, verificam-se diferença significativa para as demais profundidades. Já para o tratamento M, pôde observar que na primeira (0-10) e na segunda camada (10-20) as médias dessas duas profundidades foram significativas.

Considerando a classificação de SOIL SURVEY STAFF (1993), o solo da camada de 0-10 cm em todos os tratamentos, apresentaram valores de RP considerados como alto e muito alto. Vários autores (TAYLOR, 1966; CANARACHE,

1990; BEUTLER et al., 2006; FREDDI et al., 2006) verificaram que valores de RP menores que 2 MPa (RP baixa a moderada) não são restritivos ao desenvolvimento radicular. Entretanto, LIPIEC & HATANO (2003) indicam que valores de resistência à penetração variando de 1 a 1,7 MPa começam a provocar redução do crescimento radicular e que, valores entre 3 e 4 MPa, causam paralisação do crescimento das raízes. Tormena et al. (2002) ressaltam que a resistência do solo à penetração é modificada pelos sistemas de preparo do solo.

**TABELA 2.** Médias de resistência à penetração (RP) e umidade do solo (U) sob os diferentes tratamentos

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
	<b>RP (MPa)</b>			
S	2,57aA	8,13abB	7,27aB	5,94aAB
NS	2,23aA	5,6aA	6,03aA	6,21aA
SB	6,17aA	16,03cB	15,49bB	14,64bB
M	5,95aA	12,14bcB	18,19bC	17,54bC
	<b>U (g g<sup>-1</sup>)</b>			
S	0,09bA	0,06bB	0,09bcB	0,10bB
NS	0,09bA	0,08bA	0,08bA	0,09bA
SB	0,02aA	0,04aBC	0,04aAB	0,05aC
M	0,11bA	0,11cA	0,10cA	0,11bA

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

A umidade (U), também é uma importante propriedade física do solo, mostrando ser inversamente proporcional aos valores de resistência à penetração (RP), onde valores mais acentuados de RP podem estar ligados ao baixo valor de umidade do solo na hora da coleta das amostras. Com relação ao teor de umidade (Tabela 2), verifica-se que o tratamento sob o manejo SB, apresentou o menor teor de umidade (0,02; 0,04; 0,04; 0,05 g g<sup>-1</sup>) para todas as camadas de solo, estatisticamente diferente dos demais, porém, comparando-se os tratamentos S e NS, notou-se não serem diferentes significativamente em todas as profundidades.

Os maiores valores de RP foram encontrados no tratamento SB (6,17; 16,03; 15,49; 14,64 MPa), comparado ao S (2,57; 8,13; 7,27; 5,94 MPa) e NS (2,23; 5,6; 6,03; 6,21 MPa), o aumento desses valores estão correlacionados com a diminuição da umidade. Já na mata pôde-se notar valores de umidades mais altos, que de acordo com Oliveira et al. (2015), essa maior umidade na vegetação nativa

relaciona-se com o maior sombreamento e acúmulo de serrapilheira ocorrido nesta condição de mata nativa (M). Pesquisas realizadas por IORI et al., (2012) obtiveram resultados semelhantes quando comparado diversos usos da terra (cultivo de banana, pastagem degradada, sistema silvipastoril e mata nativa), em que a mata nativa se sobressaiu no quesito umidade dos demais usos, tais autores também relatam que o nível de sombreamento influencia diretamente na umidade do solo.

Segundo Carvalho et al. (2007), a umidade do solo pode ser utilizada com indicador do tipo e qualidade do solo. A umidade nas camadas do solo apresenta uma variabilidade importante nos domínios espacial e temporal, que pode levar a manejos inadequados da água do solo (HU et al., 2008). De acordo com Timmet al. (2006), a umidade exerce uma influência sobre importantes processos no solo e na planta tais como: movimento de água, compactação do solo, aeração do solo e desenvolvimento radicular.

Na Tabela 3 encontram-se expressos a análise de variância dos resultados médios da densidade do solo (DS) e porosidade total (PT). Observou-se que houve diferenças significativas apenas para a fonte de variação tratamento ao nível de 5% de probabilidade. Indicando que houve influência dos tratamentos na DS e PT do solo.

**Tabela 3.** Análise de Variância da densidade (DS) e Porosidade total (PT) do solo em função dos diferentes tipos de uso do solo (tratamentos) e profundidades.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios	
		DS (g cm <sup>-3</sup> )	PT (%)
Tratamento A	3	0,099*	142,14*
Bloco	2	0,018 <sup>NS</sup>	26,21 <sup>NS</sup>
Resíduo (a)	6	0,0153	21,81
Profundidade B	3	0,0156 <sup>NS</sup>	22,32 <sup>NS</sup>
A x B	9	0,0106 <sup>NS</sup>	15,13 <sup>NS</sup>
Resíduo (b)	24	0,007	10,01
Total	47		
CV A (%)		8,54	8,53
CV B (%)		5,79	5,58
Média geral		1,45	54,71

\* significativo ao nível de 5%, NS – Não significativo; CV – coeficiente de variação.

A Tabela 4 verifica-se os dados das médias dos tratamentos para as variáveis em diferentes manejos de solo estudados. Esses dados mostram na média de DS

que o tratamento NS não houve diferença significativa se comparado ao M, no entanto, houve diferença com o S e SB. O tratamento SB apresentou a maior densidade, entretanto os aumentos desses valores estão correlacionados positivamente com o aumento da RP.

Observou-se também que a Mata nativa (M) apresentou a menor densidade ( $1,34 \text{ g cm}^{-3}$ ), a diferença de densidade em relação a solos cultivados pode ser atribuído principalmente pelo uso e manejo do solo. Densidades entre  $1,30 \text{ g cm}^{-3}$  a  $1,50 \text{ g cm}^{-3}$  são considerados bons indicadores de permeabilidade dos solos. Densidade acima de  $1,85 \text{ g cm}^{-3}$  pode limitar o desenvolvimento das raízes e o crescimento (Reinert et al., 2010).

**TABELA 4.** Média dos tratamentos para a variável densidade do solo (DS) e porosidade total do solo (PT).

Tratamento	DS	PT
	( $\text{g cm}^{-3}$ )	(%)
S	1,48bc	53,52ab
NS	1,41ab	55,86bc
SB	1,55c	58,79c
M	1,34a	50,69a

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Os valores normais dos solos arenosos variam de  $1,2$  a  $1,9 \text{ g cm}^{-3}$ , enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos, de  $0,9$  a  $1,7 \text{ g cm}^{-3}$ . Os valores de DS que estão associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de  $1,65 \text{ g cm}^{-3}$  nos solos arenosos e de  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$  em solos argilosos (REINERT; REICHERT, 2006).

De acordo com Hill & Meza-Montalvo (1990), o tráfego de máquinas aumenta os valores de densidade do solo e a resistência à penetração em até 50%, quando comparado com áreas não trafegadas. Isto se deve principalmente ao peso das máquinas agrícolas que contribui para um rearranjo das partículas do solo com diminuição da porosidade e aumento da densidade (Costa et al., 2003; Beutler & Centurion, 2004). Comparando os manejos SB e S com mata (M), que diferiram estatisticamente, houve aumento da densidade do solo de 15,67 para SB e 10,45% para S em relação a M.



Para a porosidade (Tabela 4) o tratamento SB diferiu estatisticamente dos tratamentos S e M, enquanto que não houve diferença para o tratamento NS.

A porosidade no tratamento SB foi o que apresentou maior valor. Entretanto, o tratamento em que a PT teve valores mais baixos foi o M em torno de 50%.

## 5. CONCLUSÕES

A densidade do solo sob os tipos de manejo solo subsolado + braquiária e subsolado apresentaram incrementos de solo da ordem de 15,67 e 10,45%, respectivamente.

A resistência à penetração sob o tipo manejo área subsolada + braquiária para os intervalos de camada de 10-20 e 30-40 apresentou valores superiores aos tratamentos solo subsolado e não subsolado.

A umidade no tratamento M apresentou valores mais altos e esses altos valores podem estar relacionado com o sombreamento e acúmulo de serrapilheira.

## 6. REFERÊNCIAS

BERTOLLO, A. M. **Qualidade física de latossolo vermelho em função de plantas e cargas em sistema plantio direto com e sem escarificação**. 2018, 117f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 4 dez. 2019.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011.

CARVALHO, A. P. V.; DIAS, H. C. T.; PAIVA, H. N.; TONELLO, K. C. Resistência mecânica do solo à penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. **Revista Árvore**, v. 36, p. 1091-1098, 2012.

CHAVES, R. G. **Sistemas de manejo do solo e velocidade de semeadura da soja**. 46f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul, 2015.

COSTA, P. H. S. **Resistencia do solo a penetração em diferentes sistemas de uso e manejo do solo**. Monografia (Graduação) – Curso de agronomia, Universidade federal do maranhão. Chapadinha. 2016.

CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA FILHO, I. A.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Sistema Plantio Direto**. Embrapa Milho e Sorgo - Sistema de Produção 1. 2006. Disponível em [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_2d\\_mandireto.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2d_mandireto.htm)

DA SILVA, Evelise Martins. Tudo que você precisa saber sobre plantio direto. **Aegro**, 2023. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/plantio-direto/>. Acesso em: 02 de jan. de 2023.

DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, A. R.; FONSECA, S.; LEITE, F. P. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 805-810, 2004.

DRESCHER, M. S. **Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1836-1844, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, B. G. C.; FREITAS, M. M. L.; MOREIRA, G. C. Custo operacional efetivo de produção de soja em sistema de plantio direto. **Revista Ipecege**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 39–50, 2014. DOI: 10.22167/r.ipecege.2015.1.39. Disponível em: <https://www.revista.ipecege.com/Revista/article/view/2>. Acesso em: 7 jul. 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

IORI, P.; DIAS JÚNIOR, M de S.; SILVA, R. B. da. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação Permanente. **Bioscience Journal**, v. 28, Supplement 1, p. 185-195, 2012.

MACHADO, P.L.O de A. Compactação do solo e crescimento de plantas: como identificar, evitar e remediar. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

MANTOVANI, Evandro Chartuni. Compactação do solo. 1987.

MARASCA, I. et al. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja**. **Bioscience Journal**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia (UFU), v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/40237>>

MENEZES, P. C. **Semeadura cruzada de soja em sistemas de manejo do solo**. 2013. 71f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.

OLIVEIRA, B., CARVALHO, M. A., LANGE, A., DALLACORT, R., & SILVA, V. Resistência do solo à penetração em áreas sob o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

PASSOS, M.L.V.; ZAMBRZYCKI, G.C.; PEREIRA, R.S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016.

RALISCH, R. et al. **Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, p. 381-384, 2008.

RIBEIRO, K. D., MENEZES, S. M., MESQUITA, M. D. G. B. D. F., & SAMPAIO, F. D. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1167-1175, 2007.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. Semina: Ciências Agrárias, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

SANTOS, E. B.; SOUZA, L. D. S.; SOUZA, L. D.; LEDO, C. D. S. Correção da resistência à penetração para umidades de referência em solos coesos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. In: **Embrapa Mandioca e Fruticultura- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. Anais eletrônicos... Natal: SBCS, 2015., 2015.

SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ANDRADE GONÇALVES, A. C. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1369-1377, 2008.

SERRANO, J. M. P. R. Desempenho de tratores agrícolas em tração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 42, n. 7, p. 1021-1027, 2007.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V.; SOUZA, E. G. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 365-371, 2003.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.21, n.2, p.313-319, 1997

SILVA, V. R. **Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo**. **Ciência Rural**, v. 30, p. 795-801, 2000.

SILVEIRA, D. C. et al. **Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia**. Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 34, p. 659-667, 2010.

SOIL SURVEY STAFF, **Soil Survey Manual**. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, Washington, DC. 1993.

SOUZA, E. B. de; PATROCINIO FILHO, A. P.; PIMENTA, W. A.; NAGAHAMA, H. de J.; CORTEZ, J. W. Nota técnica: Resistência mecânica do solo à penetração em função da sua umidade e do tipo de penetrômetro. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 22, n. 1, p. 67-76, 2014.

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

TAVARES, L.A.F.; BENEZ, S.H.; SILVA, P.R.A. características agrônômicas e demanda energética de cultivares de soja sob efeito dos sistemas de preparo do solo. **Revista Energia na Agricultura. Botucatu**, v. 27, n.4, p.92- 108, 2012.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; Da COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 795-801, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O. D. **Camadas de Impedimento Mecânico do Solo em Sistemas Agrícolas com a Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

VAZ. M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V, C; IOSSI, M, F. Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto. **Embrapa Instrumentação-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2002.