



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



DIEMERSON CUNHA SILVA

INFLUÊNCIA DA ÉPOCA DE CORTE DO CAPIM SUDÃO (*Sorghum sudanense*) ANTES DO CULTIVO DE SOJA, SOBRE OS INDICADORES FÍSICOS E DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.

Chapadina - MA

2022

INFLUÊNCIA DA ÉPOCA DE CORTE DO CAPIM SUDÃO (*Sorghum sudanense*) ANTES DO CULTIVO DE SOJA, SOBRE OS INDICADORES FÍSICOS E DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.

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

DIEMERSON CUNHA SILVA

Orientador(a): Prof. Dra. Mariléia Barros Furtado.

Chapadinha - MA

2022

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

Cunha Silva, Diemerson.

INFLUÊNCIA DA ÉPOCA DE CORTE DO CAPIM SUDÃO Sorghum sudanense ANTES DO CULTIVO DE SOJA, SOBRE OS INDICADORES FÍSICOS E DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO / Diemerson Cunha Silva. - 2022.

33 f.

Orientador(a): Mariléia Barros Furtado.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha Maranhão, 2022.

1. Densidade do solo. 2. Qualidade do solo. 3. Resistência à penetração. I. Barros Furtado, Mariléia. II. Título.

FICHA CATALOGRAFICA

TCC defendido e aprovado em: 22 de dezembro de 2023, pela Comissão Examinadora, constituída pelos professores:

BANCA EXAMINADORA

Orientadora

Prof. Dra. Mariléia Barros Furtado
Universidade Federal do Maranhão

Examinadora

Ma. Hosana Aguiar Freitas de Andrade
Universidade Federal do Piauí

Examinador

Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues
Universidade Federal do Maranhão

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais *Adonias e Edilene*, por não terem medido esforços para que eu me preocupasse apenas com o estudo, pela base de sustentação que sempre me deram tornando minha caminhada até aqui mais leve. Pelo amor e dedicação comigo e meus irmãos. Obrigado pelos abraços, conselhos e até mesmo as broncas, tudo isso tornou-me quem sou hoje, amo vocês, e espero um dia retribuir tudo o que vocês fizeram e fazem por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado o dom da vida, e por ter me sustentado até aqui me dando força e saúde para enfrentar todas as adversidades que enfrentei até momento, sem nunca me abandonar.

Aos meus pais Adonias Pereira da Silva e Edilene Cunha Silva, por todo apoio e força que me deram, pela humildade e honestidade que me ensinaram, e por me mostrarem o caminho que eu devo seguir. Vocês são a razão da minha vida e de todas as minhas conquistas.

Aos meus irmãos Diego Cunha Silva e Elaine Ester Cunha Silva, por sempre torcerem por mim e estarem comigo, pelo apoio, companheirismo, amor e afeto que eles têm por mim.

Aos meus avós Raimunda, Benedito e Joana, pelas orações por mim, pelo amor e cuidados que nunca faltaram por parte deles.

A minha orientadora Prof. Dra. Mariléia Barros Furtado, obrigado pela oportunidade de ser seu orientado, pela confiança que ela teve em mim, sou grato pela sua dedicação e disposição que nunca faltaram, e pelos conhecimentos passados a mim.

A minha namorada Larissa, que nesses últimos 4 anos sempre esteve comigo em momentos importantes, me dando apoio me ajudando quando tive dificuldades, pelo companheirismo, amor e cuidados. E a sua família Eduarda, Jose e Maria Luzia, por me receberem e me acolherem como se eu fosse um membro da família, sempre com alegria e festividade.

A meus amigos que são como irmãos para mim, que sempre torceram por mim desde o dia em que fui aprovado para o curso de Engenharia Agrícola. Vocês foram essenciais nessa conquista: Dhemerson, Paulo, Wesley, Rafael, Mateus, Lucivan, Lucivaldo, Santiago, Amanda, Laiane, Thallison, Tião, Felipe, Marcelo, Fernando, Kenedy, Bruno, Robby, Dorian, Gabriel, Bruno e Tiago. Obrigado a todos.

A um quarteto em especial que durante um período de 3 anos foram a minha família aqui em uma cidade aonde cheguei sem conhecer ninguém e sem nenhum amigo, sou grato pela amizade de vocês; Janine, Joaz, Fabiola e Maria.

A meus amigos Marcus Paulo, Wesley Mota, Enzo Laercio, Rodrigo Silva, Geovane Santos, Aurelio, Caio, Venâncio, Mikael. Obrigado pela amizade e companheirismo de todos vocês tanto dentro quanto fora da UFMA, obrigada pelos momentos compartilhados durante esses 5 anos de amizade.

Aos amigos que o curso de Engenharia Agrícola me trouxe, obrigado por fazerem parte dessa jornada, e por todo apoio e companheirismos que tivemos ao decorrer do curso. Vocês foram essenciais nessa conquista: Arlindo, Atacilia, Elves Carneiro, João Pedro, Larissa

Vasconcelos, Antônia Ivanaria, João Matheus, Mateus Silva, Vinícius Oliveira. E As minhas companheiras de república, Lorena, Ruth, Revena. Obrigado a todos.

A todos os integrantes do grupo de pesquisa PROCEMA, obrigado a cada um de vocês por me acolherem, e por todo apoio na realização do experimento, em especial: Debora, Mayara, Hermeson, Pedro, Eduardo. Que saíram do conforto em suas casas para ajudar nas coletas de dados na fazenda. Muito obrigado a todos vocês.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Qualidade do Solo	13
2.2 Indicadores da Qualidade do Solo.....	14
2.3 Indicadores Físicos.....	15
2.3.1 Densidade do Solo	16
2.3.2 Compactação do Solo	16
2.6 Matéria Orgânica do Solo	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Área e tratamentos	19
3.2 Resistência à penetração	19
3.3 Matéria orgânica do solo	20
3.4 Umidade do solo.....	20
3.5 Densidade do solo, densidade da partícula, porosidade total.....	20
3.6 Estatística	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5. CONCLUSÃO	26
6. REFERENCIAS.....	27

INFLUÊNCIA DA ÉPOCA DE CORTE DO CAPIM SUDÃO (*Sorghum sudanense*) ANTES DO CULTIVO DE SOJA, SOBRE OS INDICADORES FÍSICOS E DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.

Resumo: Todos os sistemas de uso e manejo do solo alteraram significativamente a qualidade do solo principalmente a qualidade dos agregados, dificultando ou ajudando na absorção de nutrientes pelas plantas, a qualidade física do solo está diretamente ligada com seus processos químicos e biológicos e, por consequência, desempenha papel de grande importância em estudos sobre qualidade do solo. Devido a isso o uso espécies forrageiras para a vem sendo comumente utilizadas para a proteção do solo, e para a conservação do mesmo. O objetivo do presente trabalho consistiu em identificar alterações nos atributos físicos do solo e no acúmulo de matéria orgânica do solo em resposta ao manejo do capim Sudão (*Sorghum sudanense*), planta de cobertura com uso no cultivo da soja no Cerrado maranhense. O experimento foi conduzido na Fazenda Barbosa, localizada na cidade de Brejo, Maranhão, adotou-se o delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas, as parcelas continham dimensões de 4 x 5 m cada. Os tratamentos consistiram no corte do capim Sudão em diferentes épocas que foram aos 145, 114, 84, 53, 37, 08 dias antes do plantio da soja, onde foram avaliadas a influência dos tratamentos sobre os parâmetros físicos do solo, resistência à penetração (RSP), umidade do solo (US), matéria orgânica (MO) densidade do solo (DS) densidade de partículas (DP) e porosidade total (PT). Os dados foram coletados no dia 28 de maio, após o corte do capim e a implantação da cultura da soja, poucos dias antes da colheita, em um período mais seco na região. As diferentes épocas de corte do capim Sudão não alteraram as propriedades físicas do solo o suficiente para diferir estatisticamente, o que indica que os tratamentos com pouco tempo de implantação não alteraram ou alteram muito pouco nas qualidades físicas, propriedades e na matéria orgânica do solo

Palavras-chaves: densidade do solo, qualidade do solo, resistência à penetração.

INFLUENCE OF THE CUTTING TIME OF SUDAN GRASS (*Sorghum sudanense*)
BEFORE SOYBEAN CULTIVATION, ON PHYSICAL INDICATORS AND SOIL
ORGANIC MATTER.

Abstract: All soil use and management systems have significantly altered soil quality, mainly the quality of aggregates, making it difficult or helping the absorption of nutrients by plants, the physical quality of the soil is directly linked to its chemical and biological processes and, consequently, plays a very important role in studies on soil quality. Because of this, the use of forage species has been commonly used for soil protection and conservation. The objective of this work was to identify changes in soil physical attributes and in the accumulation of soil organic matter in response to the management of Sudan grass (*Sorghum sudanense*), a cover crop used in soybean cultivation in the Cerrado of Maranhão. The experiment was conducted at Fazenda Barbosa, located in the city of Brejo, Maranhão, using a completely randomized block experimental design, with six treatments and four replications, totaling 24 plots, the plots having dimensions of 4 x 5 m each. The treatments consisted of cutting Sudan grass at different times, which were 145, 114, 84, 53, 37, 08 days before soybean planting, where the influence of treatments on the physical parameters of the soil was evaluated, resistance to penetration (RSP), soil moisture (US), organic matter (OM) soil density (DS) particle density (DP) and total porosity (PT). Data were collected on May 28th, after cutting the grass and planting soybeans, a few days before harvesting, in a drier period in the region. The different times of cutting Sudan grass did not change the physical properties of the soil enough to differ statistically, which indicates that the treatments with a short time of implantation did not change or change very little in the physical qualities, properties and organic matter of the soil

Keywords: soil density, soil quality, resistance to penetration.

1. INTRODUÇÃO

A *Glycine max (L.) Merrill* (soja) com é conhecida é uma das culturas mais produzidas no mundo, com um importante valor econômico e comercial. O cultivo da soja sempre foi alvo de intensas pesquisas que visam obter informações que aumentem a produtividade e reduzam os custos de produção. Isso requer reformulação e adaptação constantes às novas técnicas de cultivo. Em termos de fisiologia ecológica, as lavouras de soja possuem requisitos para diversos fatores como fotoperíodo, calor e água em seus ciclos. Portanto, é importante enfatizar a escolha da época de plantio, pois os fatores culturais são os que mais impactam no desenvolvimento das plantas e na produção agrícola. Em uma determinada área, avaliar o comportamento agrônomo de variedades de soja em diferentes épocas de semeadura é essencial para indicar o período de cultivo mais favorável (BARBOSA et al. 2013). Para o melhor desenvolvimento da cultura é ideal que ela tenha condições favoráveis para, como umidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, e condições de solo ideal.

O solo é considerado um recurso natural, de extrema importância para toda a vida na terra, tendo em vista que ele é a base de sustentação tanto do meio vegetal quanto do meio animal, apesar de ser considerado um recurso natural renovável, seu tempo de recuperação é muito longo. Em razão disso é de grande importância desenvolver práticas para a conservação do solo.

Atualmente com o contínuo crescimento da agricultura no mundo, é comum desenvolver práticas conservacionistas para diminuir os impactos ao solo causados pelo homem. Os sistemas conservacionistas de manejo vêm sendo apresentado como uma opção para assegurar a sustentabilidade do uso dos solos agrícolas, com a implantação dessas práticas de manejo e possível manter a proteção do solo, através da continua deposição de resíduos orgânicos fundamentais para a manutenção da estrutura do solo (SILVA et al., 2000).

A compactação e a dificuldade em formar uma boa palhada para a cobertura de solos no cerrado maranhense, é uma problemática devido as altas temperaturas encontradas, e essa dificuldade tem sido pauta recorrente em discussões por ainda não contemplar uma grande parte das propriedades. E o capim Sudão vem se mostrando como uma alternativa bastante eficiente em locais com temperaturas elevadas pois ele suporta bem tempos mais longos de estiagem, sendo uma alternativa para a diversificação da produção forrageira (MEZZOMO et al., 2020). Sabe-se que proporcionar uma boa qualidade para a cultura é de grande importância social e econômica, bem como, auxiliando na produção e manutenção dos suprimentos essenciais.

No Brasil, a utilização de espécies forrageiras para a proteção do solo vem sendo comumente utilizadas, devido ao seu sistema radicular fasciculado renovado regularmente, são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados em relação às leguminosas. Além disso, melhoram as condições físicas do solo devido à maior produção de palha proporcionada pela utilização dessas espécies, que após sua decomposição, aumentam a atividade microbiana, o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica nas camadas superficiais do solo favorecendo a infiltração de água, permitindo maior exploração do perfil do solo pelas raízes da cultura (CHIODEROLI et al., 2012).

Dentre as forrageiras que vem sendo utilizadas no país capim Sudão destaca-se pela alta qualidade nutricional, elevada produção forrageira, possibilidade de semeadura precoce, longo ciclo de produção, rusticidade, no que se refere ao estresse hídrico e as condições nutricionais de solo. É adaptada a climas secos e quentes, tendo habilidade de recuperação após o pastejo ou corte, superior as demais gramíneas anuais utilizadas (EMBRAPA, 2014; BIBI et al., 2010; MEZZOMO et al., 2020).

O sucesso desses sistemas no cerrado se deve ao fato de que a palhada acumulada pelas plantas de cobertura ou das pastagens e restos culturais de lavouras comerciais, proporciona um ambiente favorável à recuperação ou manutenção das propriedades do solo (Santos et al., 2008).

Todos os sistemas de uso e manejo do solo alteraram significativamente a densidade, umidade volumétrica, resistência à penetração, porosidade total, macro e microporosidade e água prontamente disponível do solo. Dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é a mais sensível ao manejo pois ela pode ser alterada de acordo com o uso do solo, e pode ser analisada segundo as variáveis como, estabilidade dos agregados, tamanhos e formas que podem estar presentes no solo (ALBUQUERQUE et al., 1995).

A avaliação das propriedades físicas sob diferentes tipos de manejo da cobertura do solo é importante para caracterizar o ambiente físico para o crescimento radicular. Dessa forma, a elaboração de estudos que envolvam essa área, tem papel de grande relevância, redimensionando a importância e viabilidade dessa prática. Mediante o exposto, o objetivo consistiu em identificar alterações nos atributos físicos do solo e no acúmulo de carbono orgânico total em resposta ao manejo do capim Sudão (*Sorghum sudanense*), planta de cobertura com uso no cultivo da soja no Cerrado maranhense.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade do Solo

Para que o solo atenda o conceito de um solo de alta qualidade deve considerar suas múltiplas funções para que o desempenho das mesmas não seja afetado no futuro. Ao avaliar a qualidade do solo, indicadores físicos como densidade do solo, porosidade e estabilidade de agregados são frequentemente usados. Além do teor de carbono orgânico total, indicadores químicos, como pH e teor de nutrientes, também têm sido usados para avaliar a qualidade do solo (GOMES et al., 2006). Quantificar e limitar a qualidade do solo não é uma tarefa fácil, mas a dificuldade reside no fato de que a qualidade do solo depende de suas características internas, interações ecossistêmicas, uso e manejo. Além disso, as opiniões sobre solos de alta qualidade variam de acordo com propriedades individuais.

Todos os sistemas de uso e manejo do solo alteraram significativamente a qualidade do solo principalmente a qualidade dos agregados do solo, dificultando ou ajudando na absorção de nutrientes pelas plantas (LIMA et al., 2013). E os indicadores de qualidade física têm sido comumente usados devido à relativa facilidade de determinação e ao custo de obtenção de medições. Além da comparação entre os sistemas de manejo e de uso do solo (Oliveira et al., 2004).

Existem linhas discussões que tentam definir o melhor indicador de qualidade do solo. Uma linha que tenta determinar o melhor índice de qualidade do solo, seja biológico, físico ou químico. A outra linha está relacionada ao índice de qualidade ideal: matéria orgânica do solo. A outra rota deixa de lado o processo de busca de atributos de índice e análise do sistema solo-planta e, deste último, surgiu a abordagem sistemática da qualidade do solo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Os sistemas conservacionistas de manejo vêm sendo apresentado como uma opção para assegurar a sustentabilidade do uso dos solos agrícolas, com a implantação dessas práticas de manejo e possível manter a proteção do solo, através da continua deposição de resíduos orgânicos fundamentais para a manutenção da estrutura do solo (SILVA et al., 2000).

2.2 Indicadores da Qualidade do Solo

O conceito adequado de um indicador de qualidade do solo deve ser sistêmico e não reducionista; dessa forma, os indicadores devem descrever a maioria dos processos ecológicos do solo (DORAN, 1997). Esses indicadores são atributos que estão diretamente ligados a todas as funções que o solo pode desenvolver.

Um indicador só é útil se seu valor puder ser interpretado inequivocamente e valores de referência estiverem disponíveis. Os valores de referência para um determinado indicador podem ser tanto os de um solo nativo, mas que pode não ser adequado para a produção agrícola, quanto de um solo com máxima produção e/ou desempenho ambiental (BÜNEMANN et al., 2018)

Os indicadores físicos utilizados para avaliar a qualidade do solo são a textura, estrutura, agregação das partículas, densidade, condutividade hidráulica, resistência à penetração, taxa de infiltração de água e porosidade. Essas características estão relacionadas com as propriedades físicas inerentes ao solo, tais como a textura, superfícies específicas, densidade do solo e constituintes (REICHARDT & TIMM, 2012). As propriedades medidas para inferências sobre a qualidade do solo são normalmente citadas como indicadores ou índices da qualidade do solo e estes são geralmente divididos em físicos, químicos e biológicos de acordo com os atributos do solo analisados. Os indicadores de qualidade do solo, sob nenhuma hipótese devem ser usados de maneira isolada para a determinação da qualidade do solo (FREITAS et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2012; SILVA et al., 2020).

Doran & Parkin (1994), desenvolveram o conjunto de indicadores básicos de ordem física, química e biológica para se quantificar a qualidade do solo. Entre os Indicadores químicos, para avaliar a capacidade disponibilizar nutrientes são levados em conta os teores de carbono e nitrogênio orgânico total, pH, condutividade elétrica, teor de nitrogênio mineral (NH_4^+ e NO_3^-), fósforo(P), potássio(K), carbono(C) e nitrogênio (N) da biomassa microbiana, N potencial mineralizável, respiração do solo e C na biomassa que está relacionado ao carbono orgânico total e respiração microbiana (TAIZ & ZEIGER, 2013). E entre os indicadores biológicos estão a biomassa microbiana, a respiração, a nodulação por rizóbio, o quociente respiratório e a atividade enzimática do solo (DORAN & PARKIN, 1994). A matéria orgânica também representa um componente fundamental na manutenção da qualidade do solo, estando envolvida em diversos processos físicos, químicos e biológicos. Desequilíbrios no seu suprimento e alterações nas suas taxas de decomposição podem provocar a sua redução em solos sob cultivo, causando a degradação dos solos. Portanto, a sustentabilidade de

agroecossistemas está intimamente relacionada à manutenção dos teores de matéria orgânica (ROSCOE & MACHADO, 2002).

Conforme Niero et. al (2010) os indicadores físicos, químicos e biológicos estão diretamente ligados a qualidade do solo tendo em vista que são atributos mensuráveis, que podem ser modificados através da utilização e manejo. Um indicador pode ser simplesmente uma variável mensurável, a exemplo da temperatura do solo; um processo, como a taxa de mineralização de nitrogênio ($\text{kg. ha}^{-1}. \text{ano}^{-1}$); ou uma construção complexa de variáveis múltiplas, como um índice, o qual inclui inúmeras medidas do solo tais como a densidade, a uniformidade de agregados, a matéria orgânica e outros (BURGER & KELTING, 1999). O monitoramento de atributos de qualidade do solo pode ser utilizado como um padrão para detectar mudanças mais impactantes, e esta informação pode ajudar a desenvolver um sistema de gestão mais sustentável (SILVA et al., 2020).

2.3 Indicadores Físicos

Os indicadores físicos do solo estão diretamente ligados a estrutura do solo, e o tipo de manejo adotado pode mudar a qualidade desses indicadores físicos (FREITAS et al., 2017). No Brasil e no mundo tem-se adotado sistemas conservacionistas como consorcio de culturas, integrações como lavoura/pecuária, sistemas de plantio direto, entre outros, sempre visando a melhoria dos atributos físicos do solo, diminuindo assim os impactos causados pela agricultura e outras atividades exercidas no solo (MENDONÇA et al., 2015). Além disso, o manejo pode modificar a densidade e a porosidade do solo e, dessa forma, alterar a condutividade hidráulica dificultando a infiltração da água, resultando na elevação do escoamento superficial e acarretando a erosão (IBRAHIM & ALIYU, 2016).

Estudos sobre a qualidade física dos solos têm evoluído ano após ano, sempre justificando a necessidade de avaliar o comportamento de vários atributos físicos dos solos em áreas cultivadas e sob pastagens (LANZANOVA et al., 2007). Segundo Audeh et al. (2011), os indicadores mais perceptíveis aos agricultores, são àqueles relacionados com as características físicas dos solos já que esses são mais visíveis e alterados a depender da forma de manejo empregado, dentre os indicadores físicos estudados mais frequentes estão: densidade (93%), porosidade (87%), estrutura (87%) e textura (20%). As propriedades físicas do solo são interdependentes e que, conseqüentemente, a modificação de uma delas normalmente leva à modificação de todas as demais (CAMARGO, 2016).

2.3.1 Densidade do Solo

A densidade do solo em ambientes não cultivados é uma propriedade física que depende dos fatores e processos pedogenéticos. O uso pode compactar o solo, expresso pelo aumento da densidade devido ao pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (HAMZA & ANDERSON, 2005). Reichert et al., (2003), propôs valores de densidade crítica do solo, que são utilizados até hoje como referência, as densidades propostas foram: 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ para solos argilosos, 1,40 a 1,50Mg m⁻³ para solos franco argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m⁻³ para solos franco arenosos. As atividades agrícolas, principalmente voltadas a monocultura são grandes responsáveis pela aceleração da degradação do solo, tendo em vista as grandes áreas que são utilizadas e os poucos métodos de conservação que são utilizados para evitar a compactação dessas áreas (RANGEL & SILVA, 2007).

Segundo Reinert et al. (2006), a densidade do solo é avaliada através da estrutura do meio, e deve se levar em consideração parâmetros como a resistência a penetração de raízes, granulometria, macro e micro poros, e a taxa de infiltração de água no solo. De acordo com a textura e teores de matéria orgânica, a densidade pode variar consideravelmente, solos argilosos são formados por partículas de menor tamanho, possuem mais microporos, baixa capacidade de infiltração e maior capacidade de armazenamento da água (BRADY & WEIL, 2013). solos com uma textura mais arenosa apresentem uma menor matéria orgânica do que solos com uma textura argilosa, isso ocorre devido à menor proteção física oferecida pela argila, o que resulta em maiores perdas de matéria orgânica, e conseqüentemente uma menor quantidade de água disponível para a planta (DOU et al., 2016). Uma densidade de solo elevada pode ter efeito restritivo para diversas culturas, tanto no desenvolvimento radicular quanto no desenvolvimento da semente, sem contar que a absorção de água pelo solo será menor, ocasionando assim problemas também com a erosão superficial (SILVA et al., 2014).

2.3.2 Compactação do Solo

A extensão e a intensidade da compactação do solo dependem da pressão exercida pelos pontos de apoio e equipamentos, número de vezes as cargas trafegam sobre o solo, além da textura e da agregação do solo. Assim, o tráfego de máquinas e equipamentos de grande porte sobre a área de cultivo pode alterar sensivelmente as características físicas do solo, principalmente quando estes estão saturados de água, ocasionando a formação de camadas compactadas, tanto em superfície como em subsuperfície (BERTOLLO & LEVIEN, 2019) As principais modificações nas propriedades físicas do solo que podem ocorrer, são desde aumento na densidade do solo, aumento da resistência do solo à penetração das raízes, redução da

macroporosidade com conseqüente redução da condutividade hidráulica e do acúmulo de água, comprometendo desta forma a infiltração de água e a penetração das raízes no perfil do solo, o qual se torna mais suscetível à erosão (RICHART et al., 2005).

De acordo com Bortolozzo & Sans (2001), para saber os efeitos causados pela chuva, deve se conhecer sua intensidade, diâmetro médio, e a velocidade final das gotas médias. Por isso uma boa opção para evitar esse tipo de compactação é a utilização de cobertura vegetal, viva ou morta.

A densidade e a porosidade do solo, juntamente com a resistência mecânica a penetração, são comumente avaliadas para identificar as camadas de solo compactadas. Solos que apresentam uma maior densidade de solo e uma diminuição na porosidade estão sujeitos a terem uma maior dificuldade para serem drenados, e isso ocasiona em erosões dos nutrientes e partículas do solo (SILVA et al, 2012). A resistência do solo à penetração se torna um importante atributo físico indicador da qualidade física do solo, pois se relaciona com outros atributos indicadores do grau de compactação (RIBON & TAVARES FILHO, 2008). A resistência a penetração normalmente é obtida através da utilização de um penetrômetro, sendo expressa em Kg/cm² ou MPa; nessa avaliação é necessário conhecer o teor de umidade do solo. Segundo Busscher et al., (1997), deve-se considerar que a resistência à penetração possui relação potencial com a umidade do solo, solos secos e com baixa umidade irão apresentar uma maior resistência a penetração do que solos com uma maior umidade.

Os valores considerados críticos em relação a resistência a penetração variam entre, 1,5 MPa a 4,0 MPa (ROSOLEM et al., 1999). O conhecimento da resistência a penetração do solo é um parâmetro importante para ser pesquisado porque interfere no desenvolvimento das plantas, no fluxo, transporte, armazenamento de água e nutrientes, assim como na determinação da qualidade dos solos (SILVA et al., 2020).

2.6 Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica do solo (MO) tem uma série de funções no meio ambiente, que incluem a fertilidade e a reciclagem de nutrientes e de carbono. No entanto, devido à sua natureza extremamente complexa, sua caracterização sempre foi um desafio na química do solo (PRIMO et al., 2011). A MO, pode aumentar a capacidade produtiva do solo. Além de proporcionar melhorias nos agregados e disponibilidade de nutrientes do solo, devido a isso a MO é comumente utilizada como um importante indicador químico de qualidade do solo (COSTA et al., 2013).

Aspectos relacionados com o acúmulo de MO, correlacionam-se com a maioria dos atributos relacionados à qualidade do solo, por ser altamente sensível ao sistema de manejo adotado (EMBRAPA, 2005). Essa MO do solo tem maior ocorrência nas camadas mais superficiais, diminuindo à medida que se aprofunda no solo, assim como os ácidos que a constituem. E esse efeito depende da entrada de material orgânico, da sua taxa de mineralização, da textura do solo e do clima, entre outros fatores. Esses fatores interagem de modo que o teor de matéria orgânica do solo tende em direção a um valor de equilíbrio em áreas sob vegetação nativa (KHORRAMDEL et al., 2013).

O uso da MO em solos com baixo pH e baixa fertilidade natural, permite dentre outros fatores, o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), corrigindo assim a acidez, tendendo a estabilizar o pH, e o fornecimento de nutrientes às plantas, torna-se um fator de grande relevância para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (PRIMO et al., 2011). As influências mais evidentes da MO em relação às condições físicas do solo são: estabilização da temperatura do solo e aumento da capacidade de retenção de água, favorecendo assim o desenvolvimento das raízes, principalmente em regiões com riscos de veranicos; melhor estabilidade dos agregados e redução do escoamento de água superficial, diminuindo os riscos de erosão (CONCEIÇÃO et al., 2005).

A utilização de braquiárias para proteção do solo vem se mostrando eficientes com o passar do tempo, pois ajudam a melhorar os agregados do solo e aumentam a quantidade de matéria de massa seca e carbono orgânico disponível no solo. Segundo Santos e Carlesso (1998), os sistemas radiculares são estruturas fundamentais para assimilação de água e nutrientes do solo, desempenhando importante papel na resistência ao déficit hídrico. Não podendo também esquecer do papel fundamental que as folhas apresentam, na produção de fotossimilados que atuam diretamente no desenvolvimento radicular, após a decomposição desses materiais ocorre um aumento da atividade microbiana, decompondo esse material e o transformando em MO decomposta.

Um dos grandes objetivos de utilizar-se de gramíneas em áreas degradadas de lavouras é para proporcionar ou tentar proporcionar uma melhoria das propriedades edáficas do solo, pela incrementação de palhada e raízes da pastagem, aumentando assim os teores de carbono e melhorando significativamente as condições de aeração e capacidade de infiltração de água (CHIODEROLI et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Barbosa, localizada na cidade de Brejo, Maranhão, Brasil (03°42'44" S; 42°55'44" W), altitude de 104 m (BRITO et al., 2021). O clima, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, é do tipo Aw, tropical com duas estações do ano bem definidas, a estação chuvosa (dezembro - junho) e a estação seca (julho - novembro). A precipitação pluvial média é de 1.835 mm, a temperatura máxima média é de 32 0 C e a mínima média é de 23 0 C (BRITO et al., 2021). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo, de acordo com Santos et. al (2016). Após todos os cortes do capim, foi implantada a cultura da soja, os dados foram coletados no dia 28 de maio, poucos dias antes da colheita, em um período mais seco na região.

3.1 Área e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas. As parcelas continham dimensões de 4 x 5 m cada. Os tratamentos consistiram no corte do capim Sudão em diferentes épocas que foram aos 145, 114, 84, 53, 37, 08 dias antes do plantio da soja. Onde foram avaliadas a influência dos tratamentos sobre os parâmetros físicos do solo.

3.2 Resistência à penetração

A resistência do solo à penetração foi realizada conforme Stolf (1991), as coletas aconteceram poucos dias antes da colheita da soja, obtendo-se dados de resistência à penetração em duas profundidades 0-0,20 e 0,20-0,40 m, por meio do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf. As amostragens de resistência à penetração foram feitas em todos os tratamentos para avaliar o nível de resistência do solo nas diferentes épocas de corte do capim Sudão. Em cada tratamento foi realizado duas medições de resistência. Utilizou-se a fórmula também descrita por Stolf para o cálculo da resistência à penetração, onde:

$$RP = \frac{(Mg + mg) + \left(\frac{M}{M + m} \cdot \frac{Mg \cdot h}{x}\right)}{A}$$

RP - Resistência mecânica do solo à penetração, kgf cm⁻²;

M - Massa do êmbolo (4 kg) (Mg = 4 kgf);

m - Massa do aparelho sem êmbolo (3,2 kg) (mg = 3,2 kgf);

h - Altura de queda do êmbolo, 40 cm;

x - penetração da haste do aparelho, cm.impacto⁻¹;

A - área do cone, 1,29 cm², e

g - Aceleração da gravidade (9,8 m.s⁻²)

Os valores de RP (kgf cm⁻²) foram multiplicados pelo fator 0,0980665, para a obtenção da resistência mecânica do solo à penetração (RSP) em MPa.

3.3 *Matéria orgânica do solo*

Em cada parcela, após a colheita da soja foi realizada a avaliação da matéria orgânica do solo. Para a análise, foram coletadas quatro amostras simples, sendo duas na linha e duas na entrelinha para formar uma amostra composta em cada na profundidade de 0-0,10 m. As amostras de solo foram colocadas em sacos de plástico identificadas e secas ao ar e em seguida, levadas ao laboratório da Embrapa Meio-Norte (Teresina, PI). Posteriormente, foi determinado o teor de matéria orgânica total, conforme procedimentos descritos em Teixeira et al. (2017).

3.4 *Umidade do solo*

Para a determinação da umidade do solo foram coletadas duas amostras aleatórias em cada parcela, com o auxílio de um cavador, nas profundidades 0-20 e 20-40 cm, e em seguida, foram colocadas em sacos plásticos, identificados e transportados em caixa de poliestireno (isopor) para manutenção da umidade do solo e encaminhadas ao laboratório. Para a quantificação do teor de umidade, a amostra foi pesada em uma balança de precisão para quantificar o peso da amostra úmida e após serem colocadas em estufa de secagem a 105 °C, foram pesadas novamente, para obtenção do teor de umidade do solo (%). O método das pesagens foi desenvolvido por Papadakis (1941) e melhorado posteriormente por Klar et al. (1966) e Bernardo (1968), Righes et al. (2003).

3.5 *Densidade do solo, densidade da partícula, porosidade total*

Para a determinação da densidade do solo utilizou-se o método do anel volumétrico (MAV), o qual consiste na amostragem de solo com estrutura indeformada num anel (cilindro metálico) de volume conhecido. Com auxílio dos anéis, foram coletadas amostras indeformadas de solo na camada de 0-0,10 m em todas as parcelas, totalizando 24 amostras coletadas. Para a determinação da porosidade do solo, as amostras indeformadas foram saturadas por 48 horas em bandeja com água até dois terços da altura do anel. A porosidade total (Pt) foi determinada com base na relação entre a densidade do solo (Ds) e a densidade de partículas (Dp), onde $Pt = (Dp - Ds)/Dp$. Para a densidade de partículas utilizou-se o método do balão volumétrico, descrito por Viana et al. (2017), onde um balão volumétrico de 50 ml é aferido com água

deionizada e desaerada; após isso e pesada uma amostra de 20g de solo, onde ela é colocada em um recipiente de massa conhecido e seca em estufa a 105 °C até peso se tornar constante. Após o processo secagem se deixa esfriar a amostra em um dessecador, seguidamente a amostra é pesada novamente, obtendo-se assim a massa da amostra seca. Depois a amostra é transferida para o balão que foi aferido de 50 mL de água deionizada e desaerada com o auxílio de um funil, é adicionado álcool etílico até cobrir a amostra, e em seguida o balão é agitado para eliminar as bolhas de ar que se formam, se deixa o balão em repouso por meia hora, e após isso se adiciona álcool ético até completar o volume do balão, verificando-se a ausência de bolhas. A densidade de partículas foi estimada utilizando-se a seguinte equação:

$$D_P = \frac{M_A}{(V_T - V_U)}$$

D_p – Densidade de partículas, em kg.dm⁻³ (equivalente a g.cm⁻³);

M_a – Massa da amostra seca a 105 °C, em g;

V_T – Volume total aferido do balão, em mL;

V_u – Volume utilizado para completar o balão com a amostra, em mL.

3.6 Estatística

Após a coleta dos dados, os mesmos foram submetidos ao teste de normalidade e posteriormente, foi realizado a ANOVA e a comparação das médias dos tratamentos pelo teste de variância ao nível de 5% de probabilidade, utilizou-se o software Infostat (DI RIENZO et al., 2020).

Para observância de possíveis correlações entre as variáveis analisadas, foi aplicada correlação linear simples, e posteriormente o teste t, utilizou-se o programa estatístico **Jamovi® versão 2.3** (The jamovi project, 2022).

Procedeu-se, também, análise de correlação de Pearson (Tabela 3). Empregou-se a classificação de interpretação conforme os coeficientes de correlação (r): insignificante (0,0-0,3); baixa (0,31-0,50), moderada (0,51-0,70), alta (0,71-0,90) e muita alta (0,91-1,0) (MUKAKA, 2012). As análises foram realizadas com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância, contidos na Tabela 1, evidenciam que não houve diferença significativa entre as épocas de corte do capim Sudão (p - valor $> 0,05$) para a resistência à penetração e umidade do solo nas profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m.

Tabela 1 - Valores médios de resistência do solo a penetração (RSP) e umidade do solo (US) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, nas áreas de estudo relacionadas ao corte do capim Sudão aos 145, 114, 84, 53, 37, 08 dias antes do plantio da soja.

Tratamentos	Profundidade 0 - 0,20 m		Profundidade 0,20 – 0,40 m	
	RSP MPa	US %	RSP MPa	US %
145 DAP	1,51 A	14,34 A	1,98 A	14,75 A
114 DAP	1,38 A	14,77 A	1,68 A	15,07 A
84 DAP	1,64 A	14,47 A	2,07 A	14,58 A
53 DAP	1,51 A	13,68 A	2,07 A	14,50 A
37 DAP	1,72 A	14,15 A	2,07 A	14,75 A
08 DAP	1,78 A	13,77 A	2,07 A	19,62 A
P-valor	0,7775	0,4419	0,4635	0,4128
Coefficiente de variação (%)	23,63	5,84	15,76	24,87

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Observa-se que independente da época do corte não vai haver limitações em relação a resistência à penetração ou umidade do solo, pois em nenhuma das épocas de corte essas variáveis mostraram algum fator limitante, então a escolha da melhor época de corte do capim, vai depender apenas da escolha do produtor, podendo escolher a época mais viável para a realização desse corte do capim Sudão. Camadas superficiais do solo apresentam uma menor resistência à penetração e isso ocorre devido ao revolvimento das camadas superficiais criando assim uma certa resistência nas camadas subsuperficiais aumentando a sua densidade. De uma forma geral. Observa-se que o solo não tem problemas relacionados a RSP, portanto bem provável que por isso o corte teve pouco influência

As coletas de resistência à penetração e umidade do solo foram coletadas poucos dias antes da colheita da soja, o que pode explicar os baixos valores de umidade no solo. Segundo

Busscher et al., (1997), deve-se considerar que a resistência à penetração possui relação potencial com a umidade do solo.

Na Tabela 2, podemos observar que não houve diferença significativa ($p - \text{valor} > 0,05$) para a matéria orgânica (MO), densidade do solo (DS), densidade de partícula (DP) e porosidade total (PT), na profundidade de 0 – 0,20 m. Foi possível observar com esses resultados que esse solo já apresentar um bom teor de matéria orgânica por isso, o corte não influenciou. Os valores médios de matéria orgânica obtidos de acordo com cada tratamento se mostraram entre os valores médios, nos valores que são utilizados para interpretar resultados de análise de solo utilizando-se os métodos da rede Embrapa de Laboratórios pois estão entre 1,5 e 3,0 dag.kg⁻¹.

Tabela 2 - Valores médios de matéria orgânica (MO), densidade do solo (DS), densidade de partícula (DP) e porosidade (PT), relacionadas ao corte do capim Sudão aos 145, 114, 84, 53, 37, 08 dias antes do plantio da soja, na profundidade de 0-0,10 m.

Tratamentos	MO (dag/kg)	DS (g/cm ³)	DP (g/cm ³)	PT (%)
150 Dias antes do plantio	1,89 A	1,63 A	2,59 A	37,18 A
120 Dias antes do plantio	2,05 A	1,53 A	2,60 A	41,09 A
90 Dias antes do plantio	2,14 A	1,52 A	2,61 A	41,77 A
60 Dias antes do plantio	2,06 A	1,56 A	2,60 A	39,84 A
30 Dias antes do plantio	2,03 A	1,63 A	2,56 A	36,37 A
5 Dias antes do plantio	2,09 A	1,57 A	2,55 A	38,24 A
P-valor	0,8305	0,5338	0,1380	0,2469
Coefficiente de variação (%)	13,08	6,23	1,37	9,05

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Para a densidade também podemos observar que não se mostrou um fator limitante em nenhum dos tratamentos. Como enfatizado por Braida et al., (2006), de acordo com a granulometria do solo, o acúmulo de matéria orgânica, proporcionado por diferentes sistemas de manejo do solo, pode reduzir a densidade máxima do solo, e aumentar a umidade crítica para compactação do solo, significando que o solo se torna mais resistente à compactação.

Nota-se, que há uma semelhança nos valores da densidade do solo na profundidade analisada nos demais tratamentos, o que sugere que os tratamentos com pouco tempo de implantação não alteraram ou alteram muito pouco as propriedades físicas do solo.

Para a densidade de partículas, os valores se mostraram bastante uniformes. De acordo com Macedo & Teixeira (2004), a MO possui menor densidade que os minerais presentes no solo, e quando essa MO se encontra em valores elevados contribui para reduzir a densidade das partículas, pois essas duas propriedades do solo estão diretamente ligadas, ou seja, os valores da DP tendem a aumentar de acordo com a profundidade do solo, devido à redução de MO nas camadas mais profundas do solo. O tipo de manejo do solo pode aumentar causar uma redução no tamanho dos poros do solo fazendo com que a densidade de partículas sofra alterações ocasionando assim em uma compactação do solo.

Segundo Kiehl (1979), um solo pode ser classificado como ideal quando apresenta uma proporção de 50% de porosidade total, e podemos observar na tabela 2, que os resultados obtidos estão bem próximos desse valor ideal. A porosidade total apresenta um comportamento semelhante ao indicado pela DS, o que é coerente pois, como a porosidade é constituída pela quantidade de poros presentes no solo, espera-se que as tendências sejam semelhantes, logo, um solo com uma maior densidade conseqüentemente vai ter uma menor quantidade de poros devido a sua compactação. A avaliação da qualidade do solo tem dimensão espacial e temporal. O intervalo entre medições para que o indicador avalie mudanças, portanto, depende do tempo necessário para que dado manejo produza alterações quantificáveis, e sua frequência no espaço deve considerar as variações espaciais provocadas pelo solo (REICHERT et al., 2003).

As épocas de corte do capim Sudão não exerceram influência nas propriedades físicas e na matéria orgânica do solo.

Na Tabela 3, estão apresentadas as correlações entre os atributos físicos do solo avaliados em função das seis épocas de corte do capim Sudão. Percebe-se que a maioria das correlações não apresentaram grau de correção relevante ($r=0,0$ a $0,3$). No entanto, nota-se uma correlação significativa e positiva moderada a 1%, entre resistência à penetração nas profundidades de 0,20-0,40 e 0-0,20m (RST 0,40) e (RST 0,20), ($r = 0,59$). Também foi observada uma correlação significativa a 5% de probabilidade no teste t, entre umidade do solo de 0,20-0,40 e 0-0,20m (US 0,40) com (US 0,20), porém essa correlação foi negativa e baixa ($r = -0,45$). E entre a Ds e porosidade, obteve-se uma correlação entre as duas variáveis, essa correlação foi negativa, e foi uma correlação significativa a 0,01% e de probabilidade no teste t, sobretudo muito alta ($r=0,91-1,0$), o que pode ser explicado devido a essas duas variáveis estarem diretamente uma ligada essa correlação negativa significa que elas são inversamente proporcionais, ou seja, se a porosidade aumenta, conseqüentemente a densidade irá diminuir e vice-versa.

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson, propriedades físicas do solo, em diferentes épocas de corte do capim sudão.

	RST 0,20	RST 0,40	US 0,20	US 0,40	MO	Ds	Dp	Porosidade (%)
RST 0,20	—							
RST 0,40	0.59**	—						
US 0,20	0.35	0.34	—					
US 0,40	-0.13	-0.11	-0.45*	—				
MO	0.04	0.33	0.17	0.07	—			
Ds	0.29	-0.04	-0.18	-0.15	-0.24	—		
Dp	0.11	0.09	0.22	-0.28	0.19	0.09	—	
Porosidade (%)	-0.27	0.06	0.23	0.09	0.20	-0.97***	0.14	—

** e * - significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Resistencia à penetração profundidade de 0-0,20m (RST 0,20), Resistencia à penetração profundidade de 0,20-0,40m (RST 0,40), umidade do solo profundidade 0-0,20m (US 0,20), umidade do solo profundidade 0,20-0,40m (US 0,40), matéria orgânica (MO), densidade do solo (DS), densidade de partícula (DP) porosidade (PT).

Quanto mais as médias se aproximam de -1 ou 1, maior é a correlação entre as variáveis analisadas, quando a correlação é positiva significa que as variáveis são proporcionais, e quando a correlação é negativa significa que as variáveis são inversamente proporcionais.

5. CONCLUSÃO

Os indicadores físicos da qualidade do solo permanecem inalterados independente da época de corte do capim sudão. No Cerrado maranhense, o uso de capim sudão, como planta de cobertura, pode ser cortado entre 145 e 08 dias antes do cultivo soja, pois não afeta o acúmulo de matéria orgânica total do solo.

6. REFERENCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115- 119, 1995.

AUDEH, S.J.S.; LIMA, A.C.R.; CARDOSO, I.M.; CASALINHO, H.D.; JUCKSCH, I.J. Qualidade do solo: uma visão etnopedológica em propriedades agrícolas familiares produtoras de fumo orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 6(3), p. 34-48, 2011.

BARBOSA, M. C.; LUCCA, A. de; SCAPIM, C. A.; ALBRECHT, L. P.; PICCININ, G. G.; ZUCARELI, C. Desempenho agrônômico e componentes da produção de cultivares de soja em duas épocas de semeadura no arenito caiuí. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 3, p. 945-960, 2013.

BATISTELLA, M. BOLFE, E. L; VICENTE. L. E; VICTORIA, D. C; ARAÚJO, L. S. Relatório do Diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão. **Embrapa**, Campinas SP, 2013.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. – Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

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, 2019.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p.843-849, 2005.

BLAKE, G.R. & HARTAGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. Madison, **America Society of Agronomy**, 1986.

BORTOLOZZO, A.R.; SANS, L.M.A. Selamento superficial e seus efeitos na taxa de infiltração: uma revisão. **Revista FactuCiência**, Unaí, ano 1, n.1, p.32-42, 2001.

BRADY, N.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. **Bookman Editora**, 2009.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 605-614, 2006.

BRITO, L., de SOUZA, H. A., de SOUZA, I. M., FERREIRA, A., de AZEVEDO, D. M. P., de ARAUJO NETO, R. B., & SAGRILO, E. Decomposição de resíduos no consórcio de milho com forrageiras em sucessão à soja no Cerrado do Leste Maranhense. **Embrapa Meio-Norte-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2021.

BRUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R.; SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, v.43, n 3-4, pag. 205-217, 1997.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN M.; SUKKEL, W.; BRUSSAARD, L. Soil quality - A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

BURGER, J.A. & KELTING, D.L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. **Forest Ecology and Management**, v. 122, p. 155-166, 1999.

CAMARGO, F. F. Indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos na área de preservação ambiental serra da mantiqueira, MG. 2016, 242 p. Tese (Doutorado em Silvicultura e Genética) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

CHIODEROLI, C. A.; DE MELLO, L. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E.; SILVA, J. O.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2012.

CINTRA, F.L.D. Disponibilidade de água no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. Piracicaba, **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Universidade de São Paulo. 90p, 1997.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

COSTA, E.; SILVA, H.; RIBEIRO, P. R. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, p.3-21, 1994.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Anais, Rio de Janeiro. V-26, 1997.

DOU, F.; SORIANO, J.; TABIEN, R. E.; & CHEN, K. Soil texture and cultivar effects on rice (*Oryza sativa*, L) grain yield components and water productivity in three water regimes. **PloS one**, v. 11, n. 3, pe0150549, 2016.

FREITAS, L. D.; DE OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; & GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G.; VALLADARES, G. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v.67, p.429-439, 2008

FALLEIROS, M.C.; PORTEZAN, O.; OLIVEIRA, J.C.M.; BACCHI, O.O.S. & REICHARDT, K. Spatial and temporal variability of soil hydraulic conductivity in relation to soil water redistribution, using an exponential model. **Soil Tillage Research.**, 45:279-285, 1998.

GOMES, A. D. S.; DA SILVA, C. A. S.; PARFIT, J. M. B.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 40p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 169) 2006.

GONÇALVES, A. D. M. D. A., & LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.1174-1184, 2013.

GONÇALVES, S.L.; FRANCHINI, J.C. Integração lavoura-pecuária. Londrina: **Embrapa Soja**. (Embrapa Soja. Circular técnica, 44). 7 p. 2007.

HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Research.**, 82:121-145, 2005.

IBRAHIM, M. M.; ALIYU, J. Comparison of Methods for saturated hydraulic conductivity determination: field, laboratory and empirical measurements (A Pre-view). **British Journal of Applied Science & Technology**. v. 15, n. 3, p. 1–8, 2016.

INFOSTAT, F. C. A. Universidad Nacional de Córdoba. URL: <http://www.infostat.com.ar>, 2020.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KLAR, A. E. et al. Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens. In: Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 1966, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, v. 23, p. 15-30, 1966.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. ed. **Methods of soil analysis - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison, ASA – SSSA. p. 635-660, 1986.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. Integração lavoura-pecuária e o manejo de plantas daninhas. Piracicaba: **POTAFOS**, P. 20, 2004.

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**, v.31, p.1131-1140, 2007.

LIMA, R. P.; LEÓN, M. J. D.; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 16-20, 2013

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G. Determinação da densidade de partículas de diferentes solos da Amazônia. In: **Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: Jornada De Iniciação Científica Da Embrapa Amazônia Ocidental. Manaus, p. 132-137, 2004.

MENDONÇA, V. Z. D.; MELLO, L. M. M. D.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, É. H.; & PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 183-193, 2015.

MEZZOMO, W., PEITER, M. X., ROBAINA, A. D., KIRCHNER, J. H., TORRES, R. R., & PIMENTA, B. D. Produção forrageira e eficiência de utilização da água do capim sudão submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 25, n. 1, p. 143-159, 2020.

MUKAKA, M. M. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Med Journal**, v. 24, p.69-71, 2012.

NIERO, L. A. C., DECHEN, S. C. F., COELHO, R. M., & MARIA, I. C. D. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1271-1282, 2010.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28, p.327-336, 2004.

PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A. & MORAES, S.O. Determinação da condutividade hidráulica a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 189-195, 1988.

PRIMO, D.C; MENEZES, R. C; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, 1-13, 2011.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 80, p. 1609-1623, 2007.

REICHARDT; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. **2º ed. Barueri, SP: Manole, 2012.**

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**. v. 27, p. 29-48, 2003

REINERT, D. J.; REICHERT, D. J.; VEIGA, M.; SUZUKI, L. E. A. S. Qualidade física dos solos. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Aracaju, v. 16, 2006.

RESENDE, P. M. de. Capacidade competitiva de cultivares de milho e soja consorciados em função de grãos e forragem. 1997. 153 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – **Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 1997.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1817-1825, 2008.

RICHARDS, L.A. Capillary conduction of liquids in porous medium. *Physics*. v. 1, p. 381-333, 1931.

RICHART, A.; TAVARES, F.J.; RODRIGUES, B.O.; FUENTES, L.R.; & FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

RIGHES, A. A. et al. Determinação da água no solo e na planta para irrigação. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2003. 97p

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2002. 86 p

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 821-828, 1999.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M. D.; SILVEIRA, P. M. D.; & BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. In **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1339-1348, 2011.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Water deficit and morphologic and physiologic behavior of the plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, p. 287-294, 1998.

SILVA, Á. R. da.; SILVA, L. L., da.; FRAZÃO, J. J.; SALGADO, F. H. M.; SILVA, M. C. da; CORRECHEL, V.; Resistência Mecânica À Penetração Do Solo Com Diferentes Coberturas Vegetais Sob Sistema. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, 2012.

SILVA, F. R. D., ALBUQUERQUE, J. A., & COSTA, A. D. Crescimento da cultura da soja em Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, p. 1731-1739, 2014.

SILVA, T. A. C.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; RAMOS, P. P.; PEREIRA, J. M. Avaliação da qualidade de solo de área de lixão desativado: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.13, n. 2, p. 630-640, 2020.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 239- 249, 2000.

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**, v. 15, p. 229-235, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 5. ed. Porto Alegre-RS: Artmed, 2013.

The jamovi project (2022). jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]

VEZZANI, F. M., MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu. Densidade de partículas. 2017.