

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**STELLA RABELO ROCHA**

**INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO SOB  
DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO**

Monte Carmelo-MG  
2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**STELLA RABELO ROCHA**

**INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO SOB  
DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

**Orientadora:** Profa. Dra. Cinara Xavier de Almeida

Monte Carmelo-MG  
2019

**STELLA RABELO ROCHA**

**INDICADORES FÍSICOS DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO SOB  
DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Monte Carmelo, 21 de novembro de 2019

Banca Examinadora

---

Profª. Dra. Cinara Xavier de Almeida  
Orientadora

---

Prof. Dr. Ricardo Falqueto Jorge  
Membro da Banca

---

Profª. Dra. Adriane de Andrade Silva  
Membro da Banca

Monte Carmelo  
2019

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, pela força e persistência nessa segunda graduação e por me guiar, iluminando sempre meus passos.*

*A minha irmã Natalia, pelo apoio, carinho, pelos conselhos dados durante esta caminhada e, pela dedicação em ajudar com este trabalho.*

*A Prof<sup>ª</sup>. Dra. Cinara Xavier de Almeida, pela orientação, amizade, confiança, companheirismo na minha orientação.*

*Ao Prof. Dr. Ricardo Falqueto Jorge, pela disposição e ajuda na coleta das amostras e ao Prof. Dr. Jair Rocha do Prado, pela total disposição em me ajudar com as análises estatísticas deste trabalho. A prof<sup>ª</sup>. Dra. Adriane de Andrade Silva pela disponibilidade em participar da banca avaliadora.*

*A todos os professores pela amizade, dedicação e contribuição a minha formação acadêmica.*

*Aos meus companheiros do Grupo de Pesquisa em Física aplicada à Qualidade do Solo e da Água – QSOA, pela amizade, ajuda e empenho. Agradeço ainda pela ajuda diretamente no andamento do experimento de Danilo Mendes Ferreira pela atenção, auxílio prestado e amizade.*

*Agradeço a todos que me ajudaram a ser uma pessoa melhor!*

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO  | 9  |
| 2. OBJETIVO  | 10 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA                                       | 10 |
| 3.1. Cadeia produtiva da soja                                  | 10 |
| 3.2. Cenário das pastagens brasileiras                         | 14 |
| 3.3. Solo: definição, gênese, funções, uso e aptidão           | 15 |
| 3.4. Sistemas de uso e manejo do solo                          | 18 |
| 3.5. Indicadores físicos de qualidade do solo                  | 19 |
| 3.5.1. Densidade e porosidade do solo                          | 20 |
| 3.5.2. Resistência do solo à penetração                        | 21 |
| 3.5.3. Agregação do solo                                       | 22 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS  | 22 |
| 4.1. Área experimental e tratamentos                           | 23 |
| 4.2. Determinação dos indicadores físicos de qualidade do solo | 24 |
| 4.2.1. Densidade e porosidade do solo                          | 25 |
| 4.2.2. Resistência do solo à penetração                        | 25 |
| 4.2.3. Agregação do solo                                       | 26 |
| 4.3. Análises estatísticas                                     | 27 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO                                      | 27 |
| 6. CONCLUSÕES  | 32 |
| Referências bibliográficas                                     | 33 |

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Produção mundial de soja em grãos - safra 2018/2019.....pág. 12
- Figura 2.** Esmagamento mundial de soja em grãos - safra 2018/2019.....pág.12
- Figura 3.** Mapa da produção agrícola de soja.....pág. 13
- Figura 4.** Mapa da localização da área experimental:T1- mata nativa, T2 - preparo convencional, T3 - cultivo mínimo e T4 - pastagem ..... pág. 24
- Figura 5.** Características do penetrômetro de impacto utilizado .....pág. 23

## LISTA TABELAS

- Tabela 1.** Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes sistemas de uso e manejo.....pág.28
- Tabela 2.** Porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes sistemas de uso e manejo.....pág.29
- Tabela 3.** Resistência à penetração (MPa) e umidade gravimétrica ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes sistemas de uso e manejo.....pág.30
- Tabela 4.** Distribuição de agregados estáveis em água em cada classe ( $\text{dag kg}^{-1}$ ) de um LATOSSOLO AMARELO, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 e 0,20- 0,30m, sob diferentes sistemas de uso e manejo.....pág.32
- Tabela 5.** Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados (mm) de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes sistemas de uso e manejo.....pág. 33

## RESUMO

O solo é parte integrante e funcional dos ecossistemas, constituindo, além de meio para desenvolvimento das raízes das plantas, base para inúmeros processos físicos, químicos e biológicos necessários ao equilíbrio ambiental. Estudos relacionados ao solo e sua qualidade vêm ganhando notoriedade nos últimos anos, tendo em vista que a sustentabilidade do uso dos recursos naturais se faz necessária para que não ocorra a sua degradação. Assim, diversos estudos têm sido realizados para incrementar o conhecimento da relação entre as propriedades físicas do solo e a produtividade das culturas. Objetivou-se com este trabalho mensurar o impacto do uso e manejo na qualidade de um LATOSSOLO AMARELO em condições naturais (mata nativa), sob cultivo convencional e cultivo mínimo para a semeadura da soja e pastagem, o qual foi avaliado através de indicadores físicos do solo, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, durante o ano agrícola 2018/2019. Foi conduzido um experimento em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Foram avaliados a densidade, a porosidade total, a resistência do solo à penetração e a agregação do solo. Os resultados referentes aos indicadores de qualidade física do solo foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (5%). Os solos sob mata nativa e sob cultivo mínimo indicaram menor densidade do que os tratamentos sob cultivo convencional e pastagem. A porosidade total não diferiu entre os tratamentos para as camadas de 0-0,10 e 0,20-0,30m. Já para a camada de 0,10-0,20m, a porosidade total do solo sob mata nativa foi superior aos demais tratamentos. O solo sob cultivo mínimo exibiu menor resistência do solo à penetração (RP) e não foram encontradas variações para a umidade do solo entre as camadas analisadas. Já o solo sob preparo convencional mostrou-se com RP elevada e baixo conteúdo de água no solo. O cultivo convencional e o cultivo mínimo influenciam o tamanho dos agregados do solo, já os solos sob mata nativa e pastagem apresentaram menor diâmetro médio geométrico e maior diâmetro médio ponderado dos agregados, nas três camadas analisada. Assim, através da avaliação dos atributos físicos de solo foi possível perceber que a qualidade física dos tratamentos foram influenciados pelos sistemas de uso e manejo a que foram submetidos.

**Palavras-chave:** atributos físicos do solo, sistemas de preparo do solo, degradação.

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é parte integrante e funcional dos ecossistemas, constituindo, além de meio para desenvolvimento das raízes das plantas, receptáculo para inúmeros processos físicos, químicos e biológicos necessários ao equilíbrio ambiental. Estudos relacionados ao solo e sua qualidade vêm ganhando notoriedade nos últimos anos, tendo em vista que a sustentabilidade do uso dos recursos naturais se faz necessária para que não ocorra a sua degradação (NEVES et al., 2007).

A intensificação do uso do solo nos sistemas agrícolas comumente acarretam efeitos sobre suas características, com aparecimento de camadas compactadas limitantes ao desenvolvimento radicular, às taxas de infiltração de água, à aeração e à permeabilidade dos solos. Além disso, a redução dos espaços entre as partículas aumenta a coesão do solo e dificultando o seu preparo (FONTANA et al., 2016).

Carneiro et al., (2009) descrevem o solo como um recurso natural vivo e dinâmico que condiciona e ampara a produção de alimentos, devendo regular o balanço do ecossistema. No ambiente edáfico, existem diversas relações que controlam os processos e os aspectos ligados à sua variação no tempo e no espaço. Qualquer modificação nessas relações pode alterar diretamente sua estrutura e ou fertilidade, podendo resultar em prejuízos para o solo e para as culturas.

A habilidade ou capacidade de um solo desempenhar uma função desejada é dependente de um ou mais dos vários processos dinâmicos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo (BRADY; WEIL, 2002). Nem sempre é possível medir todos esses processos, mas, podem-se medir os atributos específicos que são indicativos das mesmas. Tais atributos são denominados de indicadores de qualidade física do solo.

Indicadores físicos da qualidade do solo têm sido investigados nas diferentes condições de uso e manejo e são fundamentais para entender os processos de degradação (RAMOS et al., 2014). Para o monitoramento da qualidade dos solos se faz necessário avaliar a sua capacidade e o estado atual comparando-os com o solo em estado natural, pois representam condições ecológicas de equilíbrio ambiental, ou com parâmetros ideais, que estejam ligados a conservação e valores ótimos da produção e que devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação (DORAN; PARKIN, 1994).

A utilização dos diferentes sistemas de manejo proporciona principalmente alterações na estrutura do solo (TAVARES FILHO; TESSIER, 2010). Em longo prazo, tal aspecto pode estar associado à formação de camadas compactadas (LIMA et al.,



2013). A compactação pode elevar a densidade e reduzir o volume de poros no solo, o que resultaria em aumento da erosão, perda na condutividade hidráulica e redução do alongamento radicular das plantas (SHI et al., 2012). Por outro lado, a boa qualidade dos aspectos físicos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das culturas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (DORAN; PARKIN, 1994).

Nesse sentido, o estudo da qualidade física do solo é importante na avaliação dos sistemas de manejo, associada à estrutura, a densidade de partícula, a porosidade do solo, a resistência do solo à penetração e agregação do solo, podendo ser usados como indicadores de processos de degradação e de recuperação.

## **2. OBJETIVO**

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho mensurar o impacto do uso e manejo na qualidade de um LATOSSOLO AMARELO em condições naturais (mata nativa), sob cultivo convencional e cultivo mínimo para a semeadura da soja e pastagem, qual foi avaliado através de indicadores físicos do solo.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Cadeia produtiva da soja**

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas na economia mundial. Seus grãos são muito utilizados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e para produção de alimentos. Recentemente, vem crescendo também o uso como fonte alternativa de biocombustível (COSTA NETO; ROSSI, 2000).

Segundo os dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2019), na temporada 2018/19, a oleaginosa apresentou crescimento na área plantada de 1,9% em relação à safra passada, correspondendo ao plantio de 35,8 milhões de hectares. A produção nacional deverá atingir 114,4 milhões de toneladas, constituindo-se na segunda maior safra da nossa série.

A soja apresenta como centro de origem e domesticação o nordeste da Ásia (China e regiões adjacentes) (CHUNG; SINGH, 2008) e a sua disseminação do Oriente para o Ocidente ocorreu através de navegações. No Brasil, o primeiro relato sobre o surgimento da soja através de seu cultivo é de 1882, no estado da Bahia (BLACK, 2000).

De acordo com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2011), a soja pertence à classe das dicotiledôneas, família leguminosa e subfamília Papilionoides. O sistema radicular é pivotante, com a raiz principal bem desenvolvida e raízes secundárias em grande número, ricas em nódulo de bactérias *Rhizobium japonicum* fixadoras de nitrogênio atmosférico.

No contexto mundial e nacional a soja está inserida economicamente como um dos principais produtos agrícolas. No Brasil, ela é a principal cultura em extensão de área e volume de produção. Amplamente difundida devido as suas variadas formas de utilização em diferentes segmentos, a soja apresenta papel importante para a economia brasileira (CONAB, 2017).

O mercado internacional de soja é composto por quatro principais players produtores e exportadores: Brasil, Estados Unidos e Argentina, e um comprador (importador) a China. Segundo estimativa do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em sua última divulgação do quadro de oferta e demanda mundial referente ao mês de julho/2018, foi estimado para a safra mundial de soja em grãos 2018/19 que Brasil (33,52%), EUA (32,63%) e Argentina (15,86%), são responsáveis por 82,01% de toda a produção mundial de soja em grão, a China por 61,54% de todas as importações mundiais (CONAB, 2018).

Segundo a CONAB (2018), a China apesar de ser o maior consumidor de grãos de soja do mundo é responsável por apenas 4,03% de toda a produção mundial, com estimativa de produção para a safra 2018/19 de apenas 14,50 milhões de toneladas, este valor é 2,84% maior que o estimado na safra 2017/18, calculada em 14,20 milhões de toneladas (Figura 1).



**Figura 1.** Produção mundial de soja em grãos - safra 2018/2019. **Fonte:** Adaptado de CONAB (2018).

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018) destaca que o complexo soja, composto pela soja em grãos e seus derivados como óleo e farelo de soja foi o principal produto exportado em 2017, representando 14,10% de toda a exportação brasileira, ou seja, US\$ 30,69 bilhões, ficando à frente de produtos importantes como minérios, petróleo e combustíveis.

Além disso, a soja em grãos é esmagada internamente, extraindo-se dois subprodutos: o óleo e o farelo de soja. Em 2017 estima-se que foram esmagadas, aproximadamente, 46,10 milhões de toneladas de soja em grãos, onde foram produzidas, aproximadamente, 8,15 milhões de toneladas de óleo de soja, usado, sobretudo, para o consumo humano e para fabricação de biodiesel (Figura 2). Ainda, em 2017, foram produzidos, em média 32,18 milhões de toneladas de farelos de soja, usados, sobretudo, para alimentação proteica animal de aves, suínos e bovinos e alimentação humana industrial. (CONAB, 2018).

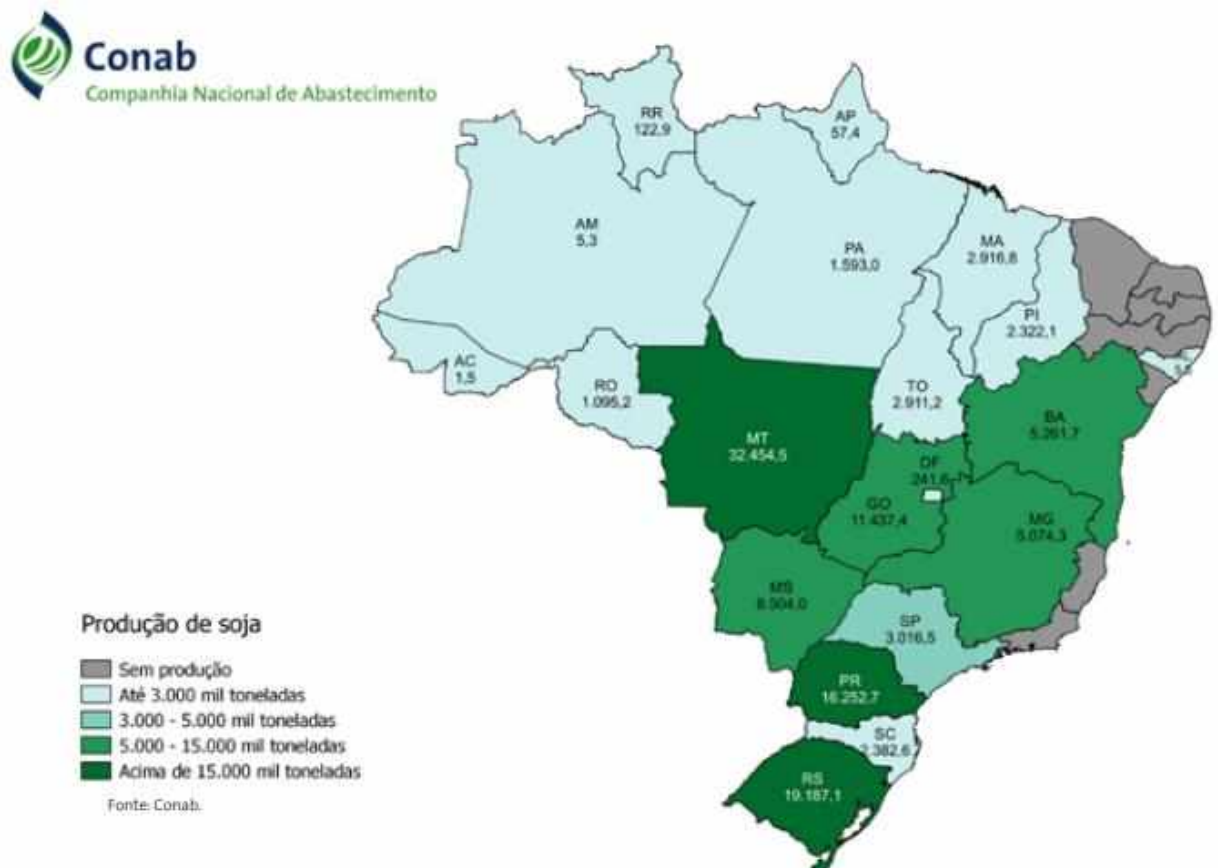


**Figura 2.** Esmagamento mundial de soja em grãos - safra 2018/2019. **Fonte:** Adaptado de CONAB (2018).

Atualmente, a cultura da soja pode ser cultivada em várias regiões do Brasil, em diferentes épocas, viabilizando muitos sistemas de produção e muitas fronteiras agrícolas graças ao desenvolvimento de novas cultivares oriundas dos programas de melhoramento que se adaptam a essas condições de solo e ambiente (CONAB, 2017).

Segundo a CONAB (2018), em seu relatório de safras do mês de julho de 2018, para a safra 2017/18, o Brasil produziu 118,88 milhões de toneladas de soja em grãos, valor 4,21% maior que os 114,07 milhões de soja em grãos produzidos na safra 2016/2017.

Os principais estados brasileiros produtores da safra 2017/18 são: Mato Grosso-MT com 27,2% da produção (32,30 milhões de toneladas), Paraná-PR com 16,1% da produção (19,17 milhões de toneladas), Rio Grande do Sul-RS com 14,4% (17,15 milhões de toneladas), e Goiás – GO, com 9,9% (11,78 milhões de toneladas) (Figura 3). O Matopibateve a produção estimada em 14,56 milhões de toneladas, com um aumento de 2,1 milhões de toneladas, em relação à safra passada, representando 12,3% de toda a produção nacional (CONAB, 2018).



**Figura3.** Mapa da produção agrícola de soja. **Fonte:** Adaptado de CONAB(2018).

### 3.2. Cenário das pastagens brasileiras

O Brasil é atualmente o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de carne bovina. Praticamente toda a produção brasileira de carne bovina tem como base as pastagens, a forma mais econômica e prática de produzir e oferecer alimentos para os bovinos. As pastagens, portanto, desempenham papel fundamental na pecuária brasileira, garantindo baixos custos de produção (DIAS-FILHO, 2014). De acordo com estimativas do último Censo Agropecuário Brasileiro, o de 2006 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2007), a área total de pastagens (naturais e plantadas) no Brasil é de 172,3 milhões de hectares.

Em decorrência dessa vocação da pecuária brasileira, advinda, principalmente, das características climáticas e da extensão territorial do país, o Brasil tem um dos menores custos de produção de carne do mundo (FERRAZ; FELÍCIO, 2010).

De acordo com Dias-Filho (2014), outra característica importante da dinâmica das áreas de pastagem no Brasil tem sido a substituição do uso de pastagens naturais por pastagens plantadas. Essa redução sistemática nas áreas de pastagem natural vem sendo observada desde o censo agropecuário de 1970. A explicação é que muitas dessas pastagens naturais estão sendo substituídas por lavouras, além de outras atividades, ou mesmo por pastagens plantadas (plântio de capins exóticos), normalmente mais produtivas do que certas pastagens naturais.

A principal consequência danosa dessa situação é apontada por Dias-filho (2014), como a alta incidência de pastagens degradadas no país e a estigmatização da pecuária desenvolvida a pasto, como atividade improdutiva e essencialmente danosa ao meio ambiente. Nos últimos anos, pressões ambientais e de mercado, além do aumento na disponibilidade de tecnologia (técnicas de recuperação e manejo de pastagens, lançamento de cultivares mais produtivas de capins, melhoramento genético do rebanho, etc.) têm incentivado uma mudança de atitude no setor produtivo de carne e leite do país.

Conforme a United Nations Environment Programme (2004), a degradação de pastagens é um fenômeno global. Estima-se que cerca de 20% das pastagens mundiais (naturais e plantadas) estejam degradadas ou em processo de degradação, sendo essa proporção pelo menos três vezes maior nas regiões mais áridas do planeta.

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (2009), em termos globais, uma das principais causas de degradação de pastagens de influência antrópica direta é o manejo inadequado, em particular o uso sistemático de taxas de lotação que excedam a capacidade do pasto de se recuperar do pastejo e do pisoteio.

Assim, pastagem degradada poderia ser definida como área com acentuada diminuição da produtividade agrícola (diminuição acentuada da capacidade de suporte) que seria esperada para aquela área, podendo ou não ter perdido a capacidade de manter a produtividade do ponto de vista biológico (acumular biomassa) (DIAS-FILHO, 2011). Outras causas importantes da degradação das pastagens no Brasil, destacadas por Dias-Filho (2011), são a ausência de adubações periódicas, as falhas no estabelecimento da pastagem e os problemas bióticos e ataque de insetos-praga.

### **3.3. Solo: definição, gênese, funções, uso e aptidão**

O termo solo é definido pela EMBRAPA (2013), como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e podem, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.

De acordo com o manual técnico do IBGE (2015), dentre as diversas definições de solo, a que melhor se adapta ao levantamento pedológico é a do Soil taxonomy (1999): Solo é a coletividade de indivíduos naturais, na superfície da terra, eventualmente modificado ou mesmo construído pelo homem, contendo matéria orgânica viva e servindo ou sendo capaz de servir à sustentação de plantas ao ar livre. Em sua parte superior, limita-se com o ar atmosférico ou águas rasas. Lateralmente, limita-se gradualmente com rocha consolidada ou parcialmente desintegrada, água profunda ou gelo. O limite inferior é reconhecido como solo deve excluir o material que mostre pouco efeito das interações de clima, organismos, material originário e relevo, através do tempo.

Segundo Gonçalves et al. (2014), os solos são formados pela decomposição das rochas e sua evolução depende do clima, da rocha de origem, do relevo, do tempo e até mesmo dos microorganismos. Os processos de alteração podem atuar sucessivamente sobre um mesmo solo e é comum, classificar os solos pelo último processo ocorrido. Para a

agricultura é estudada a camada de terra tratável, com poucos metros de espessura, que suporta as raízes.

O solo é um sistema dinâmico e complexo. Constitui o substrato que abriga diversas formas de vida, ocasionadas por um processo gradual de evolução que acompanha as transformações geoambientais. Tais modificações processam-se por mecanismos naturais de intemperismo físico e químico, desencadeadas há aproximadamente 4,5 bilhões de anos, com o surgimento do planeta Terra. Esses fatores que produzem as alterações na superfície da crosta terrestre são chamados de agentes de meteorização, responsáveis pela desintegração e decomposição das rochas submetidas ao transporte, sedimentação e compactação de partículas que compõem o perfil de horizonte do solo. Os processos intempéricos são a quebra das rochas, e o seu deslocamento é dado pela erosão. Com isso, todos os produtos do intemperismo podem vir a formar os solos (SILVA et al., 2009).

Silva et al. (2009) destacam que o intemperismo é o conjunto de modificações de ordens física (desagregação) e química (decomposição) que as rochas sofrem ao aflorarem na superfície da Terra, o qual atua através de mecanismos modificadores das propriedades físicas dos minerais e rochas (morfologia, resistência e textura) e de suas características químicas (composição química e estrutura cristalina). Os produtos do intemperismo (rocha alterada e solo) estão sujeitos a outros processos, como erosão/transporte e sedimentação, os quais acabam levando à denudação continental, com o conseqüente aplainamento. Os fatores que controlam a ação do intemperismo são clima, relevo, flora, fauna, rocha e o tempo.

Os solos apresentam cinco funções básicas ao ambiente segundo as considerações de Coelho et al., (2013):

i) o solo sustenta o crescimento das plantas, principalmente fornecendo suporte mecânico, água e nutrientes para as raízes que posteriormente distribuem para a planta inteira e são essenciais para sua existência. Além disso, as características dos solos podem determinar os tipos de vegetação ou de plantas que neles se desenvolvem, sua produtividade e, de maneira indireta, determinam o número e tipos de animais (incluindo pessoas) que podem ser sustentados por essa vegetação.

ii) as características dos solos determinam o destino da água na superfície da terra, essencial para a sobrevivência. A perda de água, sua utilização, contaminação e purificação são todas afetadas pelo solo.

iii) o solo desempenha um papel essencial na reciclagem de nutrientes e destino que se dá aos corpos de animais e restos de plantas que morreram na superfície da terra.

iv) o solo serve como hábitat de muitos organismos. Uma porção de solo pode conter bilhões de organismos vivos e mortos, que influenciam as características do solo, como a porosidade, que é responsável pelo movimento e manutenção de água e ar no solo. Também os organismos são de alguma forma influenciados por essas características do solo.

v) os solos proporcionam a fundação, a base para todas as estradas, aeroportos, casas e edifícios que construímos.

O território brasileiro se caracteriza por uma grande diversidade de tipos de solos, correspondendo, diretamente, à intensidade de interação das diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados, os quais, por sua vez, condicionam diferentes processos formadores dos solos. A esta diversidade, deve-se a natureza de nosso país, suas potencialidades e limitações de uso e, em grande parte, às diferenças regionais no que se refere às diversas formas de ocupação, uso e desenvolvimento do território (MANZATTO et al., 2002).

De acordo com Manzatto et al. (2002), as diferenciações regionais são resultantes da considerável variabilidade de seus solos, condições climáticas e geomorfológicas, as quais refletem diretamente no potencial agrícola das terras, na diversificação das paisagens e aspectos vinculados ao tipo predominante de uso do solo, com reflexos no desenvolvimento diferenciado das regiões do país.

A principal premissa para avaliar a sustentabilidade de um sistema de manejo é que ele permita manter as propriedades físicas do solo o mais próximo das condições originais em que este se encontrava na natureza, na maior parte das vezes sob cobertura de matas, mas também sob outros tipos de cobertura vegetal. Como contraponto, mais que a proximidade das condições naturais, está a capacidade do solo continuar produzindo indefinidamente de forma econômica (LLANILLO, 2006).

O uso adequado da terra é o primeiro passo no sentido da preservação do recurso natural solos e da agricultura sustentável. Para isso, deve-se empregar cada parcela de terra de acordo com a sua aptidão, capacidade de sustentação e produtividade econômica, de tal forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para o seu melhor uso e benefício, ao mesmo tempo em que são preservados para gerações futuras (LEPSCH et al., 1991).

Segundo Manzatto et al. (2002), a avaliação da aptidão de terras é condição para o desenvolvimento de uma agricultura em bases sustentáveis. Esta avaliação, assim como o conhecimento da disponibilidade de terras, é obtida através da interpretação de levantamentos



de recursos naturais, com ênfase para o recurso solo, que juntamente com dados de clima e o nível tecnológico define o potencial dessas terras para diversos tipos de utilização.

### **3.4. Sistemas de uso e manejo do solo**

Nos últimos anos, a deterioração da qualidade do solo tem sido um tópico importante na ciência do solo, à medida em que a retirada da cobertura vegetal e o uso intensivo da mecanização em todas as operações de cultivo do solo (semeadura, tratos culturais e colheita) podem resultar na diminuição da sua capacidade produtiva (ASSIS; LANÇAS, 2005).

O preparo do solo tem por objetivo básico otimizar as condições de brotamento, emergência e o estabelecimento das plantas. Deve ainda, aumentar a infiltração de água, reduzindo a enxurrada e, por consequência, a erosão (SANTIAGO; ROSSETTO, 2019).

Sabe-se que o solo, quando passa a ser cultivado, sofre degradação em seus atributos físicos, químicos e biológicos de tal maneira que a condição inicial não é mais revertida. A intensidade dessa degradação depende grandemente das condições nas quais esse manejo é executado. O preparo do solo, definido como a manipulação física, química ou biológica do solo, tem por objetivo básico otimizar as condições de germinação, emergência e o estabelecimento das plântulas (CRUZ et al., 2006).

Cruz et al. (2006) complementam que com o preparo do solo, busca-se obter as condições iniciais favoráveis ao crescimento e estabelecimento das plantas de tal maneira que se assegure altos rendimentos e retorno aos investimentos realizados. O desenvolvimento da má estrutura do solo é um fenômeno associado com operações freqüentes de preparo de solo. As causas mais comuns da má estrutura do solo incluem: drenagem inadequada, preparo excessivo do solo, sistema intensivo de exploração de cultura, operações impróprias no campo e tipo dos implementos agrícolas.

Dessa forma, Teixeira et al. (2016) destacam a importância de usar corretamente as técnicas de preparo do terreno afim de evitar sua progressiva degradação física, química e biológica. Durante as operações agrícolas no sistema de cultivo ocorre uma sequência de ações de compactação e descompactação podendo promover a desagregação da estrutura do solo.

O cultivo mínimo ou preparo reduzido refere-se à redução de uma ou mais operações do preparo do solo, comparado com o sistema convencional. Podem ser realizadas gradagens pesadas (em uma única operação), escarificações e gradagens leves (grade niveladora).

De acordo com Camargo e Alleoni (1997), o cultivo mínimo não significa na redução da profundidade de trabalho no solo, mas no número de operações necessárias para dar condições ao estabelecimento das culturas. O princípio básico do cultivo mínimo é manter somente a cobertura estritamente necessária, observando-se o teor de água do solo e principalmente, a profundidade de preparo que deve ser modificada em cada período de cultivo.

O principal objetivo do cultivo mínimo é a mínima manipulação do solo para uma satisfatória semeadura ou plantio, germinação, lotação, crescimento e produção de uma cultura. As mais frequentes tentativas nessa área tem sido eliminar ou reduzir a severidade de algumas operações, assim como diminuir o tráfego do trator no solo cultivado (BENEZ, 1972; PERTICARRARI; IDE, 1988). Amaral Sobrinho e Mazur (2005) apontam como outras vantagens, a redução da erosão, evitando assim a degradação do solo e melhorando a produtividade das culturas.

Um dos maiores problemas causados pelo cultivo convencional é o uso excessivo e inadequado de arado e de grade, ocasionando compactação do solo nas camadas subsuperficiais, conhecida como pé-de-arado ou pé-de-grade. As camadas compactadas tendem a aumentar a erosão, pois dificultam a infiltração da água da chuva, saturando rapidamente o solo, o que aumenta o escoamento superficial da água, que arrasta consigo as partículas do solo (SANTIAGO; ROSSETTO, 2019).

Cruz et al., (2002) destacam que o uso em excesso de equipamentos de preparo do solo pode aumentar a erosão, sobretudo se o terreno permanecer descoberto no período de maior intensidade de chuvas. Se a estrutura do solo for modificada, altera-se a união entre as partículas, facilitando o seu arrastamento pela água da chuva.

### **3.5. Indicadores físicos de qualidade do solo**

O impacto dos sistemas de preparo e manejo dos solos tem sido mensurado por meio da mensuração das suas propriedades físicas, como a densidade e a porosidade do solo (CARNEIRO et al., 2009), a resistência do solo à penetração (TAVARES FILHO; RIBON, 2008) e a distribuição dos agregados em classes de tamanho e sua estabilidade em água (CASTRO FILHO et al., 1998).

### 3.5.1. Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo possibilita a avaliação de sua estrutura, pois é a relação entre a massa de uma amostra de terra seca e o seu volume na condição natural (sem destruir sua estrutura). Assim, quanto menor a densidade, maior a estruturação do solo. A densidade do solo possui uma grande amplitude de variação, principalmente devido à granulometria do solo, à profundidade e ao manejo adotado (ARATANI, 2008).

A densidade do solo tem sido usada como medida da qualidade do solo devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como porosidade, umidade do solo, condutividade hidráulica, etc. (COSTA et al., 2007). Reichardt e Timm (2008) salientam que a densidade do solo possa ser usada como um índice do grau de compactação de um solo. Pois, a variabilidade espacial da densidade do solo é altamente afetada pelo manejo agrícola, pelo tipo de solo e pela profundidade de amostragem.

Segundo Aratani (2008) a porosidade total diz respeito ao volume de espaços ocupados por fluídos (gases e líquidos) no solo. A distribuição desses espaços em classes de tamanho influencia diretamente o armazenamento de água, a disponibilidade de nutrientes e o transporte da solução e do ar no solo. A quantidade de macroporos ou porosidade de aeração destaca-se como uma das propriedades mais importantes em relação ao desempenho dos sistemas de manejo sobre a produtividade das culturas.

A formação de camadas compactadas reduz a atividade biológica e a macroporosidade no perfil do solo, aumentando a densidade, o que proporciona maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ et al., 2008). Além disso, limita a permeabilidade e a disponibilidade de nutrientes e água (FREDDI et al., 2007). O impacto dos sistemas de preparo e manejo dos solos tem sido avaliado por meio de medidas de propriedades físicas, como a densidade e a porosidade do solo (CARNEIRO et al., 2009), a resistência do solo à penetração (TAVARES FILHO; RIBON, 2008) e a distribuição dos agregados em classes de tamanho ou sua estabilidade em água (CASTRO FILHO et al., 1998).

As pressões exercidas pelas máquinas e implementos podem causar um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando e compactando-o, diminuindo sua porosidade. Desse modo, verifica-se, com o tempo, maior densidade do solo sob manejos agrícolas em relação ao encontrado em condições naturais (ARAUJO et al., 2004). Nessa modificação estrutural, a macroporosidade do solo é a mais facilmente afetada pelo manejo, pois os

agregados grandes, que compõem poros maiores, são destruídos mais facilmente que agregados menores (BARBER et al., 1996).

Dentre os métodos de determinação da densidade e porosidade do solo, o de maior utilização e considerado padrão, é o do anel volumétrico, o qual consiste na amostragem de solo com estrutura indeformada num anel (cilindro metálico) de volume conhecido (PIRES et al., 2011) Outro método utilizado, o do torrão parafinado, consiste na coleta de torrões de volume variável, secos ao ar, e impermeabilizados com parafina líquida. O volume dos torrões é determinado pelo volume de água deslocado pelos mesmos quando imersos em água (REICHARDT; TIMM, 2008).

### **3.5.2. Resistência do solo à penetração**

A resistência do solo à penetração juntamente com a densidade do solo são atributos físicos que influenciam diretamente o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a parte aérea das plantas. O efeito do impedimento mecânico sobre o desenvolvimento radicular é dependente das características pedológicas e das práticas de manejo a que o solo é submetido. Quando aumenta a resistência à penetração do solo, o sistema radicular apresenta desenvolvimento reduzido, podendo comprometer a produtividade da área (DEXTER, 2004).

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas que expressa o grau de compactação, e conseqüentemente, quão facilmente as raízes penetram o solo. Segundo Tormena e Roloff (1996), a penetrometria é um método apropriado para avaliar a resistência à penetração de raízes no solo, apesar das diferenças entre uma raiz e um cone metálico. Num dado perfil, a resistência do solo à penetração identifica as camadas compactadas devido o manejo do solo. Essa medida descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele como, por exemplo, uma raiz em crescimento ou a água percolando (PEDROTTI et al., 2001).

A densidade do solo e a umidade são os fatores mais importantes na quantificação da resistência do solo à penetração. A densidade tem uma relação direta com a resistência do solo à penetração (BELTRAME et al., 1981; CASTRO, 1995; BORGES et al., 1999) e a umidade está negativamente correlacionada com a resistência do solo à penetração (BELTRAME et al., 1981; CORRECHEL, et al., 1997; TORMENA et al., 1998).

De certa forma, existe uma relação entre resistência do solo à penetração e a densidade solo. Essa relação afetada principalmente pela textura e teor de umidade do solo.

Há quem relate a influencia da densidade do solo no desenvolvimento radicular das plantas. Com o aumento da densidade ocorre diminuição do volume de poros, contribuindo para baixas produtividades da área cultivada (LETEY, 1985).

A resistência do solo à penetração é determinada com o uso de penetrômetros, os mais utilizados encontram-se os estáticos (que registram a resistência do solo à penetração por unidade de área), os dinâmicos ou de impacto (que registram a resistência do solo à penetração por unidade de profundidade) e os estáticos eletrônicos (que registram a resistência do solo à penetração por valores de resistência elétrica do solo). O penetrômetro de impacto possui as seguintes vantagens: o baixo custo; a não necessidade de calibração frequente; a obtenção de resultados independente do operador; a leveza do equipamento, reunido num conjunto de cerca de 7,5 kg; a aplicabilidade a todas as situações indicadas aos penetrômetros estáticos manuais; a possibilidade da utilização em solos de alta resistência; a praticidade por dispensar o dinamômetro e o registrador; e a rapidez na execução dos ensaios em campo (TORMENA; ROLOFF, 1996; CASA GRANDE, 2001; COSTA, NISHIYAMA, 2007).

### **3.5.3. Agregação do solo**

A estrutura adequada do solo é aquela que permite bom fluxo de água, aeração do seu interior, resistência à erosão e ao tráfego de maquinários, desenvolvimento de organismos vivos (microrganismos e fauna do solo) e o apropriado desenvolvimento e funcionamento das raízes das plantas. A qualidade estrutural do solo é decorrente das características do solo e também da forma de uso (SALTON; TOMAZI, 2014). Os autores acrescentam também que, os solos que apresentam boa agregação são mais resistentes à erosão e à compactação pelo tráfego de maquinário, apresentando boa aeração e maior capacidade de infiltração de água.

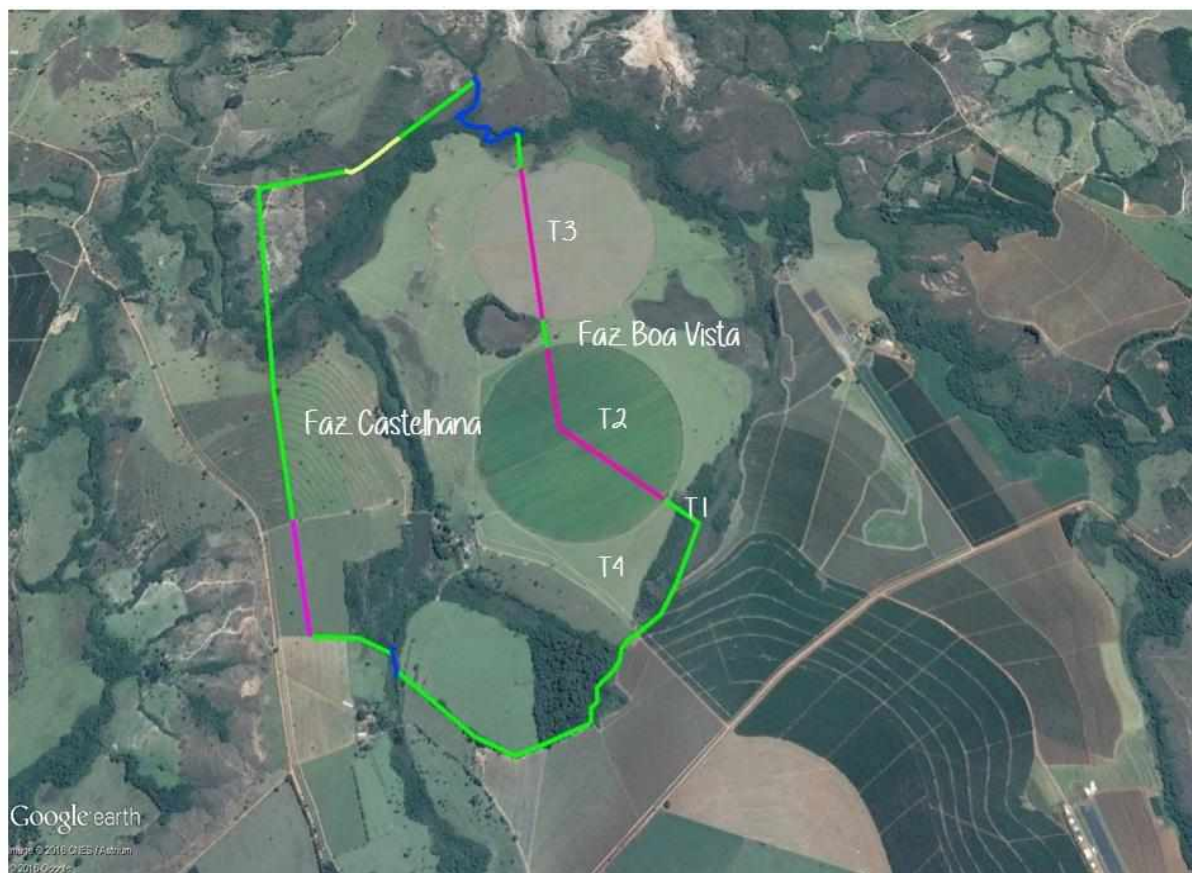
As raízes liberam constantemente exsudados que promovem maior atividade dos microrganismos e funcionam como agente agregador das partículas do solo, para formação dos agregados. O trabalho exercido pelo sistema radicular na estruturação do solo e acúmulo de matéria orgânica é uma consequência do cultivo das gramíneas e não pode ser substituído pela adição de resíduos da parte aérea sobre o solo (SALTON; TOMAZI, 2014).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### 4.1. Área experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido nas Fazendas Castelhana e Boa Vista, no município de Monte Carmelo-MG (18°47'24.85"S e 47°23'40.23"W; 875m de altitude). O solo da área experimental, de acordo com os critérios da EMBRAPA (2013) são classificados como LATOSSOLO AMARELO. A pluviosidade média é de aproximadamente 1.200 mm e com temperatura média de 28°C. O clima predominante é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical chuvoso com inverno seco (ANTUNES, 1986).

Os tratamentos foram constituídos por diferentes sistemas de uso e manejo do solo: condições naturais (mata nativa) (T1), cultivo convencional (T2) e cultivo mínimo (T3) para a semeadura da soja e pastagem (T4) (Figura 4), os quais foram avaliados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em cinco repetições, durante o ano agrícola: 2018/2019.



**Figura 4.** Mapa da localização da área experimental: T1- mata nativa, T2 - preparo convencional, T3 - cultivo mínimo e T4 - pastagem. Fonte: Imagem *Google earth* (2019).

T1: área de aproximadamente quatro hectares. A área sob vegetação nativa é do tipo Cerrado com árvores de médio a grande porte, como Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Ipê (*Handroanthu* ssp.), Bálsamo (*Cotyledonor biculata* L.), Peroba (*Aspidosperma polyneuron*), Angico (*Anadenanthera* sp.), Sucupira (*Pterodone marginatus*), diversos animais silvestres como macaco-prego (*Sapajus* sp.), mico-estrela (*Callithrix penicillata*), maitaca-verde (*Pionus maximiliani*), tucano-toco (*Ramphastos toco*) e demais pássaros nativos do Cerrado. Nota-se que os bovinos e equinos da propriedade não tem acesso a área. Essa localidade foi utilizada como controle da condição original em que se encontrava o bioma

T2: área de 50 hectares irrigada com pivô central, sendo agrícola por aproximadamente quinze anos. Anteriormente a implantação do pivô, a área foi cultivada no sequeiro com soja, feijão, milho e posteriormente pastagem. Nesta área, sempre se fez o uso da gradagem e aração como preparo do solo para semeadura.

T3: área de 50 hectares consta com irrigação de pivô central, sendo agrícola por mais de vinte e um anos, em uma sucessão de soja no verão e milho na safrinha, porém atualmente não há mais o cultivo da safrinha em uma sucessão de soja no verão e atualmente pousio na safrinha. Nas safras dos anos anteriores, praticava-se o plantio direto, porém, na presente safra, o produtor fez uso a grade niveladora leve para o corte da matéria verde que se encontrava na área para facilitar e prosseguir com o plantio da soja.

T4: área de 17 hectares. A área de pastagem com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu é mantida sobre pastejo contínuo. É formada cerca de vinte anos e desde então, não foram realizados manejos de adubação e calagem por todo esse período. Anteriormente a pastagem, a área já foi cultivada com soja, feijão e milho e atualmente encontra-se em estágio de degradação.

As cultivares de soja utilizadas foram 6210 e 6960. As adubações foram realizadas com o adubo formulado (NPK) na proporção 2:24:12 na dosagem de 500 kg ha<sup>-1</sup>, e também realizou-se controle de plantas invasoras com herbicida glifosato.

#### **4.2. Determinação dos indicadores físicos de qualidade do solo**

As amostras de solo foram analisadas no Laboratório de Física do Solo (LAFIS), da Universidade Federal de Uberlândia.

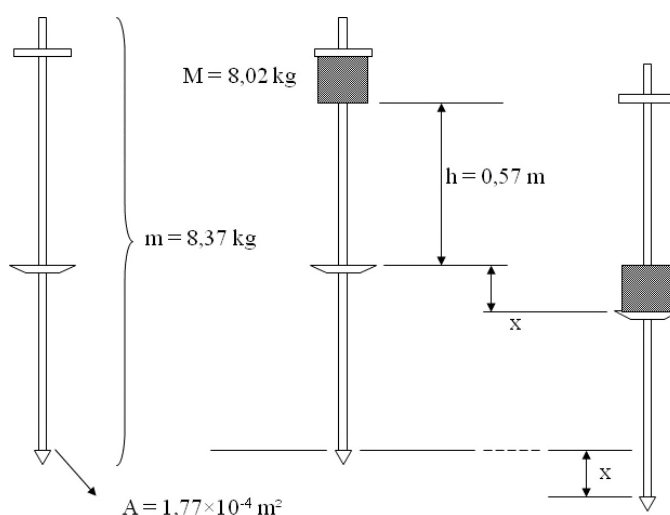
#### 4.2.1. Densidade e porosidade do solo

Foram coletadas amostras indeformadas de solo, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, com cilindros de 0,03m de altura e 0,048m de diâmetro ( $53,16 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ ), as quais foram saturadas através lâmina de água por capilaridade, pesadas e posteriormente levadas à estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 24 horas. Nessas amostras determinou-se a densidade e a porosidade total do solo seguindo a metodologia descrita pela EMBRAPA (2017).

#### 4.2.2. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração foi obtida com o penetrômetro de impacto (modelo IAA/Planalsucar-Stolf, com ângulo de  $30^\circ$ ), sendo determinada nas camadas de 0,0-10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30m, conforme STOLF (1991).

O penetrômetro utilizado consta com as seguintes características: área da base do cone de  $1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ; altura de queda de 0,57 m; massa do êmbolo, ou seja, massa que provoca o impacto igual a 8,02 kg e massa dos demais componentes do penetrômetro, excluída a de impacto, igual a 8,37 kg, conforme representado na Figura 5.



**Figura 5.** Características do penetrômetro de impacto utilizado.

O conteúdo de água no solo foi quantificado, simultaneamente à medida da



resistência do solo à penetração, nas mesmas camadas, pelo método gravimétrico, conforme EMBRAPA (2017).

#### **4.2.3. Agregação do solo**

As amostras inicialmente foram secas ao ar e em seguida foram passadas em peneiras de abertura de malha de 4 mm. Foram determinadas a distribuição das classes de agregados por meio do tamisamento úmido (EMBRAPA, 2017).

O tamisamento úmido foi realizado em um recipiente cilíndrico onde se colocam quatro jogos de peneiras.

Quantificou-se o solo retido em cada peneira e, ainda, aquele que passou através da última peneira ( $<0,25\text{mm}$ ), obtendo-se, assim, cinco classes de agregados, cujos diâmetros médios foram, respectivamente, 3,0 - 1,5 - 0,75 - 0,375 e 0,125 mm.

O processo de tamisagem para cada amostra consistiu na separação de três subamostras de 50 g cada, duas para cada jogo de peneiras e uma para determinar a umidade e, assim, calcular o peso da amostra seca. Em cada jogo de peneiras, as amostras foram dispostas sobre a peneira de maior malha, contendo um papel de filtro para retenção da amostra até que ela fosse saturada por capilaridade, durante 4 minutos. A saturação por capilaridade foi obtida por meio da elevação do nível de água do tamisador até o umedecimento do papel de filtro. Depois de saturadas as amostras, retirou-se o papel com auxílio de uma pisseta com água.

Em seguida, o tamisador foi acionado por 4 minutos, com movimento vertical de 32 oscilações por minuto. O solo retido em cada peneira foi transferido para cápsulas de alumínio com o auxílio de jatos de água de uma pisseta dirigidos ao fundo da peneira. As amostras foram então levadas à estufa para secagem a 105 °C, sendo posteriormente pesadas. A menor classe de agregados foi constituída pelo solo que passou pela peneira de 0,25 mm de abertura de malha, ficando disperso no tamisador, sendo determinada, subtraindo o somatório do peso das outras classes de agregados do peso total da mostra seca. Os resultados obtidos foram utilizados para o cálculo do diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG, em mm) e diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP, em mm) da seguinte maneira (KEMPER; ROSENAU, 1986):

$$DMG = \exp \frac{\sum_{i=1}^n w_i \log(\bar{x}_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

$$DMP = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i w_i \quad (2)$$

em que  $w_i$  é o peso dos agregados em cada classe (g),  $\bar{x}_i$  é o diâmetro médio das classes (mm)

e  $\sum_{i=1}^n w_i$  é o peso total da amostra (g).

### 4.3. Análises estatísticas

Os dados referentes aos indicadores de qualidade física do solo foram submetidos à análise de variância e ao teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias. Foi seguido o esquema de um experimento em delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, cujas subdivisões corresponderam às camadas do solo, com cinco repetições.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos sob mata nativa e sob cultivo mínimo indicaram menor densidade do que os tratamentos sob cultivo convencional e pastagem, nas três camadas analisadas (Tabela 1). Viana et al. (2011) constataram valores semelhantes para densidade do solo em áreas sob mata nativa. Os dados encontrados na literatura para a densidade do solo variam em média entre 1,0 a 1,25 g cm<sup>-3</sup>, em solos argilosos.

**Tabela 1.** Densidade (g cm<sup>-3</sup>) de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes sistemas de uso e manejo

| Tratamentos | Camadas (m) |           |           |
|-------------|-------------|-----------|-----------|
|             | 0-0,10      | 0,10-0,20 | 0,20-0,30 |
| T1          | 1,05a       | 1,12a     | 1,21a     |

|          |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|
| T2       | 1,45b | 1,43b | 1,61b |
| T3       | 1,12a | 1,22a | 1,31a |
| T4       | 1,44b | 1,44b | 1,49b |
| C.V. (%) | 10,58 | 10,99 | 12,79 |

T1- Mata nativa, T2 - preparo convencional, T3 - cultivo mínimo e T4 - pastagem. Médias seguidas por letras iguais comparando tratamentos não diferem pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. C.V. (%) - coeficiente de variação.

Como a densidade do solo é a relação entre as suas fases, ou seja, a relação entre a massa e o volume, solos com maior proporção de espaços porosos em relação ao volume de sólidos possuem menor densidade, assim, remetendo a uma melhor qualidade de sua estrutura física, principalmente para sua utilização para os cultivos agrícolas. Além disso, a organização das partículas sólidas relaciona-se com a estrutura do solo, estabelece o sistema poroso, influenciando diretamente os valores da densidade do solo.

Por outro lado, o uso contínuo do cultivo convencional do solo realizado com aração e gradagem e a falta de manutenção da pastagem, resultam em solos mais densos e compactados com restrições graves para a germinação das sementes, crescimento das raízes e o desenvolvimento da microbiota. Stefanoski et al. (2013) certificam que, a compactação do solo pelo uso de maquinário, é a principal causa da degradação física dos solos agrícolas.

Em concordância com os estudos de Ramos et al. (2017), alguns manejos empregados nas áreas agrícolas não são ideais para a conservação do solo, uma vez que, o cultivo convencional destrói a estrutura do solo e o expõe aos fatores abióticos, promovendo a perda de sua qualidade física, ocasionando erosão, perda de nutrientes e adensamento das camadas. Além disso, esses autores afirmam que pastagens bem manejadas podem apresentar qualidade física semelhante ao da área com vegetação nativa, evidenciando neste estudo que a falta de manejo da pastagem realmente afetou a sua estrutura física mensurada através da densidade do solo.

Reichardt e Timm (2008) destacam que, a densidade do solo pode sim ser usada como um índice do grau de compactação de um solo, sendo um indicativo de sua qualidade. Ou seja, o solo por ser um material poroso, quando submetido à compressão, a mesma massa pode ocupar um volume menor afetando a sua estrutura, o arranjo e volume dos poros e as características de retenção de água.

A porosidade total é inversamente proporcional à densidade do solo e de grande importância para o crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo e, refere-se a parte do volume do solo preenchidos pela água e ar, como a proporção de macro e microporos, sendo em solos argilosos normalmente entre 0,40 a 0,60m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Dessa forma,

não houve diferença significativa entre os tratamentos para as camadas de 0-0,10m e 0,20-0,30m (Tabela 2).

**Tabela 2.** Porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes sistemas de uso e manejo

| Tratamentos | Média das camadas (m) |           |           |
|-------------|-----------------------|-----------|-----------|
|             | 0-0,10                | 0,10-0,20 | 0,20-0,30 |
| T1          | 0,54a                 | 0,57a     | 0,54a     |
| T2          | 0,49a                 | 0,47b     | 0,42a     |
| T3          | 0,55a                 | 0,51b     | 0,48a     |
| T4          | 0,50a                 | 0,47b     | 0,45a     |
| Média       | 0,52                  | 0,50      | 0,47      |
| C.V. (%)    | 6,96                  | 6,42      | 12,30     |

T1- Mata nativa, T2 - cultivo convencional, T3 - cultivo mínimo e T4 - pastagem. Médias seguidas por letras iguais comparando tratamentos não diferem pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. C.V. (%) - coeficiente de variação.

Já para a camada de 0,10-0,20m, a porosidade total do solo sob mata nativa foi superior aos demais tratamentos, confirmando o que já se esperava, apresentando assim melhor estruturação física devido as suas condições naturais. A maior porosidade total no solo sob mata nativa também foram apontados por Melloni et al. (2008).

Examinando os tratamentos cultivo convencional, cultivo mínimo e pastagem nessa mesma camada, não houve variação significativa entre eles para a porosidade total. Em concordância com os estudos de Cury et al. (2014) que descreveram que o uso de implementos para o preparo do solo podem criar camadas mais compactadas em subsuperfície (camada de 0,10-0,20 m) com aumento da densidade do solo e conseqüentemente redução da porosidade total.

A resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas que expressa o grau de compactação, portanto, quão facilmente as raízes penetram o solo, integrando os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes. O solo sob cultivo mínimo exibiu menor resistência do solo à penetração (Tabela 3). Ao contrário, o solo sob cultivo convencional mostrou-se com a resistência do solo à penetração elevada, de tal modo, a resistência do solo à penetração apresentou comportamento semelhante ao observado para a densidade do solo (Tabela 1), apresentando maior compactação nas áreas sob cultivo convencional. De tal modo, demonstrando que a redução da qualidade do solo, Tormena et al. (1998) confirmaram em seus estudos que valores de resistência à penetração a partir de 2 MPa começam a provocar

redução no crescimento radicular das culturas.

**Tabela 3.** Resistência à penetração (MPa) e umidade gravimétrica ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes sistemas de uso e manejo

| Tratamentos | Camadas (m) |       |           |       |           |       |
|-------------|-------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|             | 0-0,10      |       | 0,10-0,20 |       | 0,20-0,30 |       |
|             | RP          | UG    | RP        | UG    | RP        | UG    |
| T1          | 1,55b       | 0,40a | 2,98b     | 0,33a | 3,68c     | 0,31a |
| T2          | 2,79c       | 0,16b | 4,25c     | 0,18c | 4,02c     | 0,18b |
| T3          | 0,90a       | 0,25b | 1,48a     | 0,24b | 1,84a     | 0,21b |
| T4          | 1,69b       | 0,24b | 2,68b     | 0,21b | 2,92b     | 0,21b |
| Média       | 1,74        | 0,26  | 2,85      | 0,24  | 3,11      | 0,23  |
| C.V. (%)    | 29,26       | 24,44 | 23,93     | 8,73  | 17,49     | 24    |

T1- Mata nativa, T2 - cultivo convencional, T3 - cultivo mínimo e T4 - pastagem. Médias seguidas por letras iguais comparando tratamentos não diferem pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. C.V. (%) - coeficiente de variação.

Foram observadas variações da resistência do solo à penetração entre os tratamentos na camada de 0,10-0,20m, indicando maior resistência do solo à penetração para o solo sob cultivo convencional (4,25 MPa) e menor resistência do solo à penetração para o solo sob cultivo mínimo (1,48 MPa). Já os solos sob mata nativa e pastagem não diferiram, porém foram inferiores ao preparo convencional. Na camada de 0,20-0,30m, a resistência do solo à penetração foi maior nos solos sob mata nativa e preparo convencional. E o menor valor de resistência do solo à penetração foi observado no solo sob cultivo mínimo. Segundo a CONAB (2017), o não aprofundamento das raízes pode prejudicar a absorção de água em caso de restrição hídrica, logo, é de se esperar que haja impacto na produtividade.

O solo sob mata nativa, por deter melhor estruturação física do solo, retém maior umidade, sendo confirmada pela superioridade nos dados referentes a conteúdo de água no solo em relação aos demais tratamentos, nas três camadas analisadas.

Os solos sob mata nativa e pastagem apresentaram maior teor de agregados na maior classe (4-2 mm) comparados aos demais, sendo um indicativo de melhor estrutura física do solo, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20m (Tabela 4). Além disso, observa-se baixo teor de agregados nas peneiras seguintes, confirmando maior agregação das partículas nesses sistemas.

**Tabela 4.** Distribuição de agregados estáveis em água em cada classe ( $\text{dag kg}^{-1}$ ) de um LATOSSOLO AMARELO, nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20- 0,30m, sob diferentes sistemas de uso e manejo

| Tratamento | Classes (mm) |
|------------|--------------|
|------------|--------------|

|         | 4-2         | 2-1     | 1-0,5   | 0,5-0,25 | <0,25  |
|---------|-------------|---------|---------|----------|--------|
|         | 0-0,10 m    |         |         |          |        |
| T1      | 869,93a     | 55,45c  | 45,19b  | 17,11b   | 12,33b |
| T2      | 362,36b     | 304,22a | 173,46a | 90,55a   | 69,42a |
| T3      | 451,89b     | 239,22b | 128,41a | 92,30a   | 88,17a |
| T4      | 731,84a     | 177,79b | 46,89b  | 23,44b   | 20,04b |
| C.V (%) | 17,78       | 33,66   | 35,61   | 31,64    | 30,27  |
|         | 0,10-0,20 m |         |         |          |        |
| T1      | 846,13a     | 63,73c  | 53,49b  | 20,50c   | 16,15c |
| T2      | 489,60b     | 264,05a | 125,97a | 69,09b   | 51,29b |
| T3      | 371,81b     | 286,78a | 161,43a | 101,53a  | 78,45a |
| T4      | 730,68a     | 163,51b | 53,26b  | 30,68c   | 21,87c |
| C.V (%) | 21,55       | 37,43   | 44,50   | 36,35    | 30,10  |
|         | 0,20-0,30 m |         |         |          |        |
| T1      | 690,38a     | 141,13b | 105,63b | 38,99b   | 23,87b |
| T2      | 410,79b     | 267,59a | 163,29a | 92,01a   | 57,17a |
| T3      | 366,58b     | 295,28a | 172,44a | 102,70a  | 72,15a |
| T4      | 518,07b     | 315,02a | 89,63b  | 470,12b  | 30,28b |
| C.V (%) | 25,36       | 28,99   | 30,73   | 34,94    | 31,28  |

T1- Mata nativa, T2 - cultivo convencional, T3 - cultivo mínimo e T4 - pastagem. Médias seguidas por letras iguais comparando tratamentos não diferem pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. C.V. (%) - coeficiente de variação.

O efeito benéfico das pastagens na agregação das partículas do solo é devido ao sistema radicular das gramíneas. Salton et al. (2008) ressaltam que as pastagens favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação à sistemas apenas com lavouras, em consequência do acentuado revolvimento do solo, principalmente no cultivo convencional em há a quebra mecânica dos agregados e a redução do conteúdo de matéria orgânica do solo.

Ao contrário os solos sob cultivo convencional e cultivo mínimo apresentaram menores teores de agregados nas menores classes, demonstrando, dessa forma, a fragilidade da sua estrutura, o que pode ocasionar sua degradação pela perda de solo e de nutrientes, principalmente através do escoamento superficial da água, em que há o arraste das partículas do solo.

Os solos sob mata nativa e pastagem apresentaram menor diâmetro médio geométrico e maior diâmetro médio ponderado dos agregados, nas três camadas analisadas, diferindo dos solos sob cultivo convencional e sob cultivo mínimo (Tabela 5).

**Tabela 5.** Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados (mm) de um LATOSSOLO AMARELO sob diferentes sistemas de uso e manejo

| Tratamentos | Camadas (m) |       |           |       |           |       |
|-------------|-------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|             | 0-0,10      |       | 0,10-0,20 |       | 0,20-0,30 |       |
|             | DMG         | DMP   | DMG       | DMP   | DMG       | DMP   |
| T1          | 1,49a       | 2,73a | 1,47a     | 2,68a | 1,36a     | 2,38a |
| T2          | 1,11b       | 1,72b | 1,21b     | 1,99b | 1,14b     | 1,80b |
| T3          | 1,13b       | 1,86b | 1,10b     | 1,72b | 1,11b     | 1,71b |
| T4          | 1,42a       | 2,51a | 1,41a     | 2,49a | 1,29a     | 2,11a |
| C.V (%)     | 5,53        | 9,61  | 7,04      | 11,65 | 7,55      | 12,43 |

T1- Mata nativa, T2 - cultivo convencional, T3 - cultivo mínimo e T4 - pastagem. Médias seguidas por letras iguais comparando tratamentos não diferem pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. C.V. (%) - coeficiente de variação.

O mesmo comportamento foi comprovado pelos estudos de Almeida et al. (2014), em que os ambientes sob Cerrado, pastagem e eucalipto não foi possível verificar diferença entre o diâmetro médio geométrico dos agregados dos solos. Porém, observaram menor diâmetro médio geométrico dos agregados no solo sob cultivo de milho.

Diante disso, percebe-se que o uso do solo com propósitos agrícolas e pecuários, independente do sistema de manejo executado, promove alterações em suas propriedades físicas destacando-se então a importância de sua quantificação para determinação do armazenamento e movimento de água e a aeração do solo, desenvolvimento do sistema radicular, fluxo e retenção de calor, ou seja, a influencia direta na criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento e crescimento das plantas. Dessa forma, o monitoramento da estrutura física dos solos, por meio da densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração e teor de agregados, são fundamentais para o acompanhamento da qualidade de terras agrícolas e pecuária, para o desenvolvimento da produção de maneira cada vez mais sustentável. E também, apresenta como fonte de dados para tomada de decisão para reestabelecer a capacidade produtiva dos solos.

## 6. CONCLUSÕES

A qualidade física dos tratamentos foram influenciadas pelos sistemas de uso e manejo a que foram submetidos.

O solo de mata nativa, manteve sua qualidade física. O cultivo mínimo do solo promoveu menor densidade e menor resistência do solo à penetração.

A pastagem degradada contribuiu para a queda da qualidade física do solo, verificada pelos maiores valores de densidade do solo e de resistência do solo à penetração. O mesmo foi observado para o solo sob cultivo convencional.

O cultivo convencional e o cultivo mínimo influenciam o tamanho dos agregados do solo, sendo constatado nesses sistemas menores valores do diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado dos agregados. Já a pastagem mostrou-se eficiente para manutenção da agregação das partículas do solo.

### Referências bibliográficas

ALMEIDA, R. F.; MACHADO, H. A.; MARTINS, F. P.; QUEIROZ, I. D. S.; TEIXEIRA, W. G.; MIKHAEL, J. E. R.; BORGES, E. N. Correlação do tamanho e distribuição dos agregados em Latossolos Amarelo da região do triângulo mineiro em diferentes ambientes. *Bioscience Journal*, Uberlândia-MG, v. 30, n. 5, p. 1325-1334, 2014.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Soil preparation and nutrient losses by erosion in the culture cucumber. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 572- 577. 2005.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 138, p. 9-13, 1986.

ARATANI, R. G. **Qualidade física e química do solo sob diferentes manejos e condições edafoclimáticas no estado de São Paulo**. 112 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2008.

ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava- PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distro férrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.

BENEZ, S. H. **Estudo do cultivo mínimo na cultura do milho (*Zeamays L.*) em solo Podzólico vermelho amarelo var. Laras**. 1972. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

BLACK, R. J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. S. (Ed.). **Soja: tecnologia de produção II**. Piracicaba: ESALQ, p.1- 18, 2000.

BRADY, N. C.; WEIL, R. P. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Ed. Prentice Hall, 2002. 1000 p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 94 p.



CARDOSO, E. J. B.N; VASCONCELLOS, R. L. F; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Sci. Agric.**, Piracicaba-SP, v.70, p.274-89, 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CASA GRANDE, A. A. **Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar**. In: MORAES, M.H.; M .M. L.; FOLONI, J. S. S. (Ed.). Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistemas de prepare e manejo do solo. Jaboticabal: FUNEP, p. 150-97, 2001.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the Genetic Base of Soybean: A Multidisciplinary Approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 27, n.5, p. 295-341, 2008.

COELHO, M. R., FIDALGO, E. C., SANTOS, H. G. dos, BREFIN, M. L. M. S., PÉREZ, D.V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. In: **O Ecossistema solo**. Cap. 3. 18p. Embrapa Solos. Artigo em anais de congresso 2013. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94212/1/Ecossistema-cap3C.pdf>> . Acesso em: 20 mai 2019.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, v.4, Safra 2016/2017, n.6, Sexto levantamento, mar. 2017.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos 2018/2019**. Brasília, v.6, Safra 2016/2017, n.9, Nono levantamento, jun. 2019.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento**. v. 10. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 20 mai 2019.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária Safra 2018-2019**. v.6. Brasília, 2018.

CORRECHEL, V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Resistência de um Latossolo Roxo ao penetrômetro em dois sistemas de preparo do solo. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro. **Anais - Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1997.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

COSTA, F. P. M.; NISHIYAMA, L. Caminhos da Geografia. **Revista online**. <http://www.igufu.br/revista/caminhos.html>. ISSN 1678- 6343. Uberlândia, v. 8, n. 24, p. 131-143, 2007.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 515-523, 2008.

CRUZ, J. C.; HAMON, C. A., PEREIRA FILHO, I. A. Plantio Direto x Convencional. **Anais.. I Semana de Ciências Agrárias de Diamantina - SECAD - Diamantina, MO**. 2006.

CRUZ, J. C.; HAMON, C. A., PEREIRA FILHO, I. A.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; SANTANA, D. P. **Cultivo do milho sistema plantio direto**. Comunicado Técnico 51. Sete Lagoas. Dezembro, 2002. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_72\\_59200523355.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html) Acesso em: 29 jun 2019.

CURY, T. N., DE MARIA, I. C., BOLONHEZI, D. Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:1929-1938, Viçosa, 2014.

DEXTER, A. R. Soil physical uality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. **Rev., Atual. e Ampl.** Belém, PA, 2011.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p. (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1983-0513; 402). Disponível em: <[www.cpatu.embrapa.br/publicacoes\\_online](http://www.cpatu.embrapa.br/publicacoes_online)>. Acessoem: 20 mai 2019.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America; 1994. p.1-20.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 412p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 353 p. Rio de Janeiro, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, 2009. 627 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2017. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: EmbrapaSoja, p. 262, 2011.

FAO. **The state of food and agriculture**. Rome: FAO, 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/dcsAFD>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. D. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 627-636, 2007.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.; BALIEIRO, F. de C.; MOURA, T. P. A. de; MENEZES, A. R. de; SANTANA, C. I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1457-1465, 2016.

GONÇALVES, H. H. S., MARINHO, F. A. M.; FUTAI, M. M. **Mecânica dos solos e fundações**. Cap. 1- Formação, Caracterização e Classificação dos Solos. 2014.

HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T. The U.S. carbon budget: contribution from land-use change. **Science**, n. 285, p. 574-578, 1999.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário 1920/2006. Até 1996. **Estatística do Século XX**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE. 430 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 4). Rio de Janeiro, 2015.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part. 1, p. 635-662.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; TURNER, B. L.; AGBOLA, B. et al. The causes of land-use and land-cover change moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, p. 261-9, 2001.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable**

**environment.** Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1994. p. 37-51.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação.** 2. Imp. rev. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 175 p. Campinas, 1991.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop reduction. **Advances in Soil Science**, v.1, p. 27-294, 1985.

LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOED, W. B.; GOEDE, R. G M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p.194-200, 2013.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P. Mesa de tensão com areia: procedimentos para montagem e validação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2209-2214, 2008.

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

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 21.ed. 174 p. Rio de Janeiro, 2002.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2461-2470, 2008.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 155-161, 2005.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; CARDOSO, E. L.; MACEDO, R. L. G.; FERREIRA, M. M.; SOUZA, F. S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, v. 74, p. 45-53, 2007.

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

PERTICARRARI, J. G.; IDE, B. Y. Cultivo mínimo. In: Seminários de tecnologia agrônômica, 4., 1988. Piracicaba. **Trabalhos apresentados...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1988. p. 43.

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011.

RAMOS, M. R.; DEDECEK, R. A.; SILVA, T. R. da; FREIRE, T. M. Atributos físicos do solo no horizonte superficial em diferentes usos. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 3, n. 1, 2017.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2008.

SALA, O. E., CHAPIN, F. S.; ARMESTO, J. J., BERLOW, E.; BLOOMFIELD, J.; DIRZO, R.; HUBER-SANWALD, E.; HUENNEKE, L. F.; JACKSON, R. B., et al. Biodiversity: global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, n. 287, p. 1770-1774, 2000.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 6 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 198).

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Cultivo mínimo**. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01\\_85\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_85_22122006154841.html)> Acesso em: 08 nov de 2019.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Preparo convencional**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Ageitec. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Brasília-DF. 2019. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01\\_84\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_84_22122006154841.html)>. Acesso em: 29 jun 2019.

SCHELLING, J. Soil genesis, soil classification and soil survey. **Geoderma**, Amsterdam: Elsevier, v. 4, n. 3, p. 165-193, Sept. 1970. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706170900029#>>. Acesso em: 20 mai 2019.

SCHOENEBERGER, P. J. et al. (Ed.). **Field book for describing and sampling soils**. Version 1.1. Lincoln: United States Department of Agriculture - USDA, National Soil Survey Center, 1998. [180] p. Disponível em: <[http://www.water-research.net/Waterlibrary/Stormwater/FIELD\\_GD.PDF](http://www.water-research.net/Waterlibrary/Stormwater/FIELD_GD.PDF)>. Acesso em: 20 mai 2019.

SHI, X. H., et al. Impact of ridge tillage on soil organic carbon and selected physical properties of a clay loam in southwestern Ontario. **Soil & Tillage Research**, v.120, p.1-7, 2012.

SILVA, F. M. da; CHAVES, M. S.; LIMA, Z. M. C. **Geografia Física II**. UFRN - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. EDUFRN. 240 p. Natal-RN, 2009.

- STEFANOSKI, D. C. S. G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17(12): 1301-1309. 2013.
- TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 487-494, 2008.
- TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of different management systems on porosity of oxisols in Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.899-906, 2010.
- TEIXEIRA, A.; HECKLER, J; PAVANELO, R.; TELOEKEN, R., NASCIMENTO, L. **A. Plantio Direto X Plantio Convencional**. Convibra- Congresso Online de Agronomia 2016.
- TOLBA, M. K., EL-KHOLY, O. A. (ed.). **The World environment 1972-1992: two decades of challenge**. London: Chapman & Hall, 1992. v.1. 1992.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 2, v. 20, p. 333-339, 1996.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998.
- TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência & Agrotecnologia**, v.35, p.437-445, 2011.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Land degradation in drylands (LADA)**: GEF grant request. Nairobi, Kenya, 2004.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**.v. 33, p.743-55, 2009.
- VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 2105-2114, 2011..
- YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 28, p. 337-351, 1936.