



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

ELIONEIDE JANDIRA DE SALES PEREIRA

**ESTRUTURAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM FUNÇÃO
DE RESÍDUOS DA CULTURA DE MILHO (*Zea Mays L.*), ADICIONADOS EM
LABORATÓRIO**

MOSSORÓ
MAIO/2021

ELIONEIDE JANDIRA DE SALES PEREIRA

**ESTRUTURAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM FUNÇÃO
DE RESÍDUOS DA CULTURA DE MILHO (*Zea Mays L.*), ADICIONADOS EM
LABORATÓRIO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Marineide Jussara Diniz, Prof. Dra.

MOSSORÓ

MAIO/2021

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

P436e Pereira, Elioneide Jandira de Sales.
Estruturação de um LATOSSOLO Vermelho Amarelo
em função de resíduos da cultura do milho (*Zea Mays*
L.), adicionados em Laboratório / Elioneide
Jandira de Sales Pereira. - 2020.
39 f. : il.

Orientador: Marineide Jussara Diniz.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2020.

1. compactação do solo. 2. compressão uniaxial.
3. biomassa de milho. 4. índice de compressão do
solo. I. Diniz, Marineide Jussara, orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semiárido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ELIONEIDE JANDIRA DE SALES PEREIRA

**ESTRUTURAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM FUNÇÃO
DE RESÍDUOS DA CULTURA DE MILHO (*Zea Mays L.*), ADICIONADOS EM
LABORATÓRIO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 28 de maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Marineide Jussara Diniz - Orientadora, Prof. Dra. (UFERSA)
Presidente



Rutilene Rodrigues da Cunha, M.Sc.
Examinador externo



Emmila Priscila Pinto do Nascimento, Bel.
Examinadora Externa

*À minha irmã Elza Jandira de Sales Pereira que sempre acreditou no meu potencial e a minha cunhada Rita Francisca do Nascimento, uma vítima da covid-19 que me deu força com palavras de apoio nos momentos em que algumas vezes pensei em desistir face as dificuldades. Que Deus esteja sempre iluminando os seus espiritos na eternidade.
(In Memoriam).*

Aos meus pais Sebastião Constantino de Sales e Jandira Francisca da Conceição sempre presentes na educação dos filhos. Dedico também aos meus Filhos Gabriel e Thiery, o grande presente de Deus.

AGRADECIMENTOS

À Deus, o criador de todo o Universo, fonte de Luz vida e amor para toda a humanidade.

À minha família, em especial aos meus pais, Sebastião Constantino de Sales e Jandira Francisca da Conceição, pelo apoio em todos os momentos da minha vida, por todo amor que tem me dado, pelos seus ensinamentos que levarei pra sempre e por ter sonhado junto comigo. Essa conquista também é de vocês. Agradeço também aos meus irmãos, Elza (in memoriam), Eronite, Francisco, Francinaldo, Maria das Graças, Francelina, Antonio, Edivaneide, Edna e Junior, pela amizade e carinho, por estarem felizes, nunca duvidarem das minhas capacidades e por tornarem possível a realização desse sonho.

Ao meu querido e amado esposo, Joaquim Odilon, por todo amor, companheirismo, amizade, paciência, pelas palavras de incentivo nos momentos difíceis, por me acompanhar ajudando durante toda essa jornada.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente a professora Marineide Jussara Diniz, responsável pela orientação do meu trabalho. Obrigada por esclarecer tantas dúvidas, não somente no trabalho final, mas durante toda a minha trajetória acadêmica, por sua atenção, paciência, amizade, confiança e ajuda para conclusão desse trabalho.

Agradeço a Banca Examinadora pelas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos meus amigos, que tive o prazer de conhecer: Ana Clara, Audilene, Leonardo, Emilla, Raionara, Mariângela, Lunara, Diego, Carlos Henrique, Ana Luiza, Rayane, Priscila, Poliana, Wellyda, Rita, Emily, Aline, Hugo, Jessica, Ricardo, Leticia, Rutilene, Danilo, Charlene, Rochele, Ivan, Gleiciane, Erik, Igo, Douglas, Elton e a todos os demais colegas da universidade que convivi durante esses anos, pela amizade e companheirismo nos momentos bons e ruins. Os nossos momentos de estudos e amizade sempre serão lembrados.

*Cada dia a natureza produz o suficiente para
nossa carência. Se cada um tomasse o que lhe
fosse necessário, não havia pobreza no mundo
e ninguém morreria de fome.*

Mahatma Handhi

RESUMO

A compactação do solo resultante da passagem de máquinas e implementos agrícolas tem sido cada vez mais reconhecida mundialmente como um problema, proporcionando a, redução da produtividade e a qualidade dos produtos. Para os agricultores de regiões onde a estação chuvosa concentra-se em um curto período, como no caso da região semiárida do nordeste brasileiro, o controle do tráfego de máquinas agrícolas nas operações de campo torna-se um fator crítico para o produtor que dispõe de pouco tempo para realizar todas as etapas do ciclo operacional do sistema de produção agrícola. O entendimento do impacto dos resíduos culturais nas propriedades dinâmicas do solo é essencial para o desenvolvimento de sistema de cultivos sustentáveis. Este trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito da matéria orgânica proveniente de resíduos da cultura de milho incorporados em laboratório, em um LATOSSOLO Vermelho-Amarelo, na sua estruturação, resistência a compressão e precompressão. O experimento foi conduzido no Laboratório de Dinâmica do solo no Sistema de interação solo-máquina, da UFERSA. Amostras de solos deformadas, com matéria orgânica mineralizada proveniente de palha de milho nas proporções de 2, 4, 6 e 8% foram utilizadas no ensaio de compressão oedométrico para as densidades de $1,2 \text{ g/cm}^3$ e $1,4 \text{ g/cm}^3$. O índice de vazios estrutural, o índice de compressão e a pressão de precompressão do solo em função da pressão aplicada com relação ao teor de água e da matéria orgânica foram analisados pelas curvas de compressão do solo. A matéria orgânica do solo aumentou linearmente com o crescimento da incorporação da palha de milho, favorecendo o aumento da porosidade estrutural para as densidades $1,2 \text{ g/cm}^3$ e $1,4 \text{ g/cm}^3$. O índice de compressão aumentou com o teor de água e com a matéria orgânica tendo a matéria orgânica revelado maior correlação positiva. A pressão de pré-compressão para o solo com densidade de $1,2 \text{ g/cm}^3$ apresentou maior tensão crítica quando comparada com o solo com densidade de $1,4 \text{ g/cm}^3$.

Palavras-chave: compressão uniaxial, biomassa de milho, índice de compressão do solo, compactação do solo.

ABSTRACT

Soil compaction resulting from the passage of agricultural machines and implements has been increasingly recognized as a problem worldwide, resulting in reduced productivity and product quality. For farmers in regions where the rainy season is concentrated in a short period, as in the case of the semi-arid region of northeastern Brazil, the control of agricultural machinery traffic in field operations becomes a critical factor for the producer who has little time to carry out all stages of the operational cycle of the agricultural production system. Understanding the impact of crop residues on the dynamic properties of the soil is essential for the development of a sustainable cropping system. The objective of this work was to evaluate the effect of organic matter from maize crop residues incorporated in the laboratory, in a Oxisol, on its structuring, compressive strength and precompression. The experiment was carry out at the Soil Dynamics Laboratory in the Soil-Machine Interaction System, UFERSA. Soil samples deformed with mineralized organic matter from maize straw in proportions of 2, 4, 6 and 8% were used in the oedometric compression test for densities of 1.2 g/cm³ and 1.4 g/cm³. The structural void ratio, the compression index and the precompression stress of the soil as a function of the applied pressure in relation to the water and organic matter content were analyzed by the soil compression curves. Soil organic matter increased linearly with the growth of maize straw incorporation, favoring the increase in structural porosity for densities 1.2 g/cm³ and 1.4 g/cm³. The compression index increased with water content and organic matter, with organic matter showing a greater positive correlation. The pre-compression pressure for the soil with a density of 1.2 g/cm³ presented higher critical tension when compared to the soil with a density of 1.4 g/cm³.

Keywords: uniaxial compression, maize straw, soil compression index, soil compaction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Perfil de Latossolo Vermelho-Amarelo (Rio Paranaíba, MG). Fonte – Sistema Brasileiro de Classificação do Solo, (2018)	21
Figura 2	–	Bandejas contendo compostos de solos com palhas de milho nas percentagens de 2, 4, 6 e 8%.	24
Figura 3	–	Bandejas com solo após a decomposição da palha de milho.	25
Figura 4	–	Batelada de amostra de solo em saturação.....	26
Figura 5	–	Determinação da retenção de água das amostras de solo M ₁ , M ₂ , M ₃ e M ₄	26
Figura 6	-	Célula oedométrica para ensaio de compressão uniaxial	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Evolução da área de milho (primeira safra, segunda safra e total) – Brasil. Fonte CONAB (2018).	19
Gráfico 2	–	Ajuste do carbono orgânico mineralizado em função da palha de milho incorporada no solo.....	29
Gráfico 3	–	Efeito do teor de água e da matéria orgânica na compressão de um Latossolo Vermelho Amarelo com relação a pressão vertical aplicada e o índice de vazios estrutural para densidade inicial de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$	30
Gráfico 4	–	Efeito do teor de água e da matéria orgânica na compressão de um Latossolo Vermelho Amarelo com relação a pressão vertical aplicada e o índice de vazios estrutural para densidade inicial de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$	31
Gráfico 5	–	Efeito da matéria orgânica e do teor de água na compressão do Latossolo Vermelho Amarelo com relação a pressão vertical aplicada e o índice de vazios estrutural para densidade inicial de $1,2$ e $1,4 \text{ g cm}^{-3}$	32
Gráfico 6	-	Índice de compressão do solo em função do teor de água e da matéria orgânica para as densidades de $1,2$ e $1,4 \text{ g/cm}^3$	33
Gráfico 7	-	Pressão de precompressão do solo em função do teor de água e da matéria orgânica para as densidades de $1,2$ e $1,4 \text{ g/cm}^3$	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Produção de milho do Brasil, safra 2019. Fonte FAO, (2020).....	18
Tabela 2	–	Tabela 2. Percentagem de palha de milho incorporada no solo e equivalente em t/ha.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C/N	Carbono/Nitrogênio
M ₁	Massa de palha de milho com 2% incorporada no solo
M ₂	Massa de palha de milho com 4% incorporada no solo
M ₃	Massa de palha de milho com 6% incorporada no solo
M ₄	Massa de palha de milho com 8% incorporada no solo
IES	Intituição de Ensino Superior
e _T	Índice de vazios total do solo
e _t	Índice de vazios textural do solo
e _s	Índice de vazios estrutural do solo
Ic	Índice de compressão do solo
Pc	Pressão de precompressão do solo
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CO	Carbono orgânico
MO	Matéria orgânica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Histórico da cultura do milho	17
3.2	Resíduos da cultura do milho	18
3.3	LATOSSOLO Vermelho-Amarelo	19
3.3.1	Inserção dos resíduos agrícolas no Latossolo Vermelho-Amarelo	20
3.3.2	Inserção dos resíduos da cultura de milho no Latossolo Vermelho-Amarelo.	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	Local do experimento	23
4.2	Ensaio de Laboratório.....	24
4.2.1	Determinação da matéria orgânica – MO.....	24
4.2.2	Preparo das amostras de solo para ensaio de compressão uniaxial do solo...	24
4.2.3	Ensaio de compressão do solo.....	25
4.2.4	Parâmetros avaliados.....	26
4.2.4.1	Porosidade estrutural	26
4.2.4.2	Índice de compressão do solo – Ic.....	26
4.2.4.3	Pressão de precompressão do solo – Pc.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1	Matéria orgânica.....	28
5.2	Porosidade estrutural.....	29
5.3	Índice de compressão do solo.....	31
5.4	Pressão de precompressão.....	33
6	CONCLUSÃO.....	35
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A compactação dos solos agrícolas é uma das principais causas da degradação do solo e ambiental, razão pela qual tem chamado a atenção de cientistas, engenheiros agrícolas e produtores. Ela afeta de modo geral, todas as propriedades do solo. Face ao uso de máquinas agrícolas nos sistemas de cultivos, a compactação do solo tem sido cada vez mais reconhecida como um problema nos sistemas de produção agrícolas, levando à redução do rendimento e da qualidade dos produtos, maior necessidade de energia para o preparo do solo. O tipo de solo, o teor de água, o sistema de manejo associado a quantidade de cobertura do solo, bem como a carga aplicada pelas máquinas agrícolas nas operações de campo são fatores relacionados ao processo de compactação. O conhecimento de métodos para controlar ou diminuir o progresso da compactação do solo nas áreas agrícolas é uma tarefa muito importante, para melhoria das condições ambientais favorecendo maior produtividade do sistema de produção.

A matéria orgânica do solo é considerada como fator importante na avaliação dos sistemas de manejo do solo. Seus efeitos benéficos nas propriedades do solo para o desenvolvimento das culturas, têm sido avaliados por causa da sua grande contribuição para estabilidade dos agregados. Para [Zhang \(1994\)](#) A densidade do solo diminui com o aumento da matéria orgânica e isso pode resultar em uma redução na resistência do agregado tanto em condições secas quanto úmidas.

É inegável que vários trabalhos têm mostrado a influência da matéria orgânica nas propriedades físicas do solo, principalmente na densidade e porosidade do solo, quando relacionada com sistemas de cultivos. Nestes estudos são avaliados o efeito da biomassa na cobertura ou incorporada ao solo com principal destaque para o sistema de plantio direto. No entanto, poucos trabalhos têm abordado a relação da quantidade e qualidade de resíduo incorporado com a quantidade de matéria orgânica mineralizada no solo e seu efeito na estrutura do solo levando em consideração as propriedades mecânicas.

Uma vez que os solos precisam de estabilidade para resistir à compressão de cargas aplicadas externamente, é importante o conhecimento dos materiais orgânicos e sua relação com a quantidade ligada aos constituintes minerais, particularmente aqueles incorporados ao solo para melhorar sua resistência física e sua porosidade estrutural.

Informações sobre as mudanças que ocorrem na estrutura do solo em função da disponibilidade de matéria orgânica nos constituintes minerais do solo produzida pelos resíduos disponíveis podem permitir um melhor manejo dos solos de forma a obter um controle mais eficiente da diminuição da compactação do solo, melhorando a produtividade dos sistemas de produção agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito da matéria orgânica proveniente de resíduos da cultura de milho incorporados em laboratório, em um LATOSSOLO Vermelho-Amarelo, na sua estruturação, resistência a compressão e precompressão.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito dos resíduos culturais incorporados ao solo, nas curvas de compressão do solo com o índice de vazios estrutural em função do teor de água e da matéria orgânica.
- Avaliar o índice de compressão e a pressão de precompressão do solo nas curvas de compressão do solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Histórico da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes para a economia brasileira, sendo a segunda com maior produção de grãos no território nacional e com grande participação nas exportações. Segundo dados da CONAB (2018), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial depois dos EUA e China e segundo maior exportador, cereal de maior produção no mundo (FAO, 2020), com produção superior a 101 milhões de toneladas, na safra 2019, e produtividade média de 5.773 kg ha⁻¹, numa área colhida de 17,518 milhões de hectares (Tabela 1), denotando a importância estratégica do país na oferta desse produto, tendo em vista o aumento do consumo mundial.

Tabela 1. Produção de milho do Brasil, safra 2019.

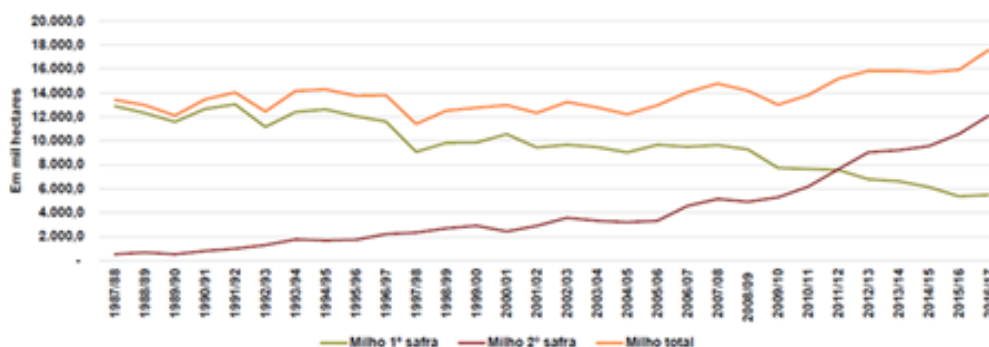
Pais	Elementos	
Argentina	Produtividade (kg/há)	7.862
	Produção (t)	56.860.704
Brasil	Produtividade (kg/há)	5.773
	Produção (t)	101.138.617
China	Produtividade (kg/há)	6.317
	Produção (t)	260.957.662
Estados Unidos da América	Produtividade (kg/há)	10.532
	Produção (t)	347.047.570
Uruguai	Produtividade (kg/há)	7.626
	Produção (t)	816.000

Fonte FAO, (2020)

Segundo os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, na sigla em inglês), citado pela CONAB, (2018), o consumo mundial de milho aumentou 9,4% nos últimos cinco anos, enquanto a produção subiu 3,2%. Ainda segundo a CONAB (2018), o Brasil tem vantagem frente aos seus concorrentes diretos, pela possibilidade de cultivo de duas safras

no mesmo ano agrícola. Nos últimos 30 anos, a área de milho primeira safra reduziu 2,8% ao ano, em média, enquanto a área de milho segunda safra aumentou 12,1% ao ano, em média. Com isso, na safra 2011/12, as áreas de ambas as safras agrícolas ficaram muito próximas. A partir de 2012, a safra de milho segunda safra se tornou a mais importante do país (gráfico 1).

Gráfico 1. Evolução da área de milho (primeira safra, segunda safra e total) – Brasil



Fonte CONAB (2018).

Entre os fatores considerados importantes, na produtividade do milho, podem se destacar o clima e os sistemas de manejo do solo que apresenta boa quantidade de matéria seca como cobertura do solo (Oliveira et al. 2013). Por esta razão vários trabalhos têm apontado o sistema de plantio direto como boa alternativa para melhorar a produtividade do milho uma vez que esta cultura disponibiliza grande quantidade palhada na superfície do solo aumentando a quantidade de matéria orgânica e a atividade biológica do solo (Castro Filho et al. 1991).

3.2 Resíduos da cultura do milho

A decomposição dos resíduos agrícolas pode assumir importante papel como fonte de C e N no manejo da fertilidade do solo, e possibilita a elaboração de sistemas de manejos de cultivo que melhorem a utilização de nutrientes contidos nos resíduos (Medeiros et al. 2015).

Estudos têm evidenciado a importância dos resíduos da cultura de milho como fator importante para os sistemas de produção agrícola. Albuquerque e Mello (1990) avaliaram o teor de carbono bem como a relação C/N do solo da decomposição dos restos de cultura de milho adicionados ao solo concluindo que estes parâmetros se mostraram eficientes na avaliação e recomendam para fins práticos, a determinação do teor de carbono pela rapidez e facilidade de realização.

Em condições de experimento Freitas et al. (2004) avaliaram duas taxas (o que corresponde a 50 e 100% da quantidade da cobertura de resíduo do milho, disposta sobre o solo) na evaporação da água em dois solos com características físico-hídricas distintas, em colunas de solo em condições de laboratório. A redução na evaporação da água do solo promovida pelo resíduo da cultura dispostos sobre a superfície do solo, em sistema irrigado em plantio direto, permitiria uma aplicação de lâmina d'água menor, no início do crescimento da cultura, propiciando economia de água e energia.

Avaliando as taxas de decomposição de resíduos de milhos em sacolas plásticas no campo (litterbags) durante 30, 60 e 90 dias (Medeiros et al. 2015) concluíram que apesar de ocorrer uma redução da biomassa do resíduo de milho de 30,5% nos primeiros 30 dias, a taxa de decomposição se mostra maior aos 60 e 90 dias, quando há um acréscimo das doses de nitrogênio combinada com doses intermediárias de potássio.

Vale et al, (2013) avaliaram o potencial energético dos resíduos da cultura do milho e constataram resultados que mostram que o resíduo da cultura do milho tem potencial para a utilização na geração de energia. Também concluíram que o caule e a folha destacam-se quanto à produção de biomassa e estoque de carbono, produzindo juntos, em torno de 70% da biomassa total.

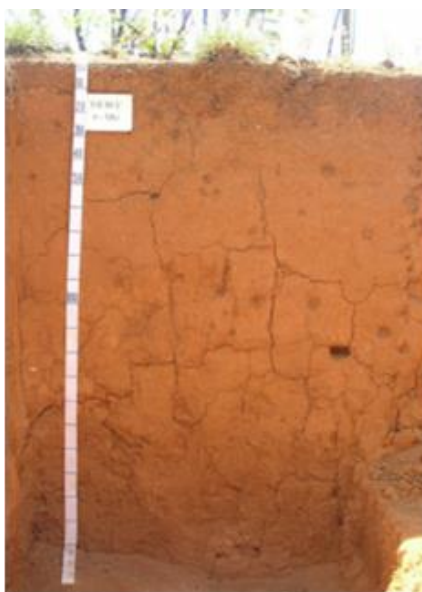
3.3 LATOSSOLO Vermelho-Amarelo

A compactação dos solos agrícolas provocada pelo tráfego de máquinas tem sido identificada pelo aumento da capacidade de suporte de carga do solo, pelo aumento da resistência mecânica do solo e da densidade deste e pela redução na porosidade total (Dias Junior, 2000). De acordo com Secco et al. (2004) o grau de compactação do solo depende da intensidade de preparo, do histórico de uso, das pressões são aplicadas, do teor de água do solo no momento das operações de cultivo e do número e frequência das passadas dos equipamentos em cada sistema de manejo do solo utilizado.

O uso do solo com manejos adequados contribuirá para que, a longo prazo, um novo equilíbrio seja atingido, resultando em solo com qualidade diferente daquela de solos sob vegetação natural (Papa, et al. 2011). Os indicadores mais frequentemente utilizados para avaliar a qualidade do solo têm sido os atributos que podem ser alterados, de forma lenta, pelo uso do solo, tais como densidade, porosidade total, grau de floculação, nível de agregação, teor de matéria orgânica (Dexter, 2004).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são identificados em extensas áreas dispersas no Brasil associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado (Kluthcouski e Stone, 2003). Ocorrem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade, figura 1 (SisBCS, 2018). Nestes solos a matéria orgânica é de grande importância pois serve para melhorar as suas propriedades. Para Kluthcouski e Stone (2003), as limitações com a fertilidades e com baixa retenção de água destes solos podem ser corrigidas com o aumento do teor de matéria orgânica obtida pelo sistema de manejo que produza maior quantidade de biomassa vegetal. Neste sentido, o sistema de plantio direto tem sido usado como alternativa, onde a decomposição da palhada de cobertura, incorporando-se, gradualmente, à matéria orgânica do solo, proporciona melhoria na estrutura e fertilidade do solo (Padovan et al. 2006), e, com a liberação de nutrientes que serão absorvidos pelas culturas sucessoras, ocorrem reflexos positivos na produtividade (Kluthcouski e Stone 2003, Oliveira et al. 2013).

Figura 1. Perfil de Latossolo Vermelho-Amarelo (Rio Paranaíba, MG).



Fonte. SisBCS - Sistema Brasileiro de Classificação do Solo, (2018)

3.3.1 Inserção dos resíduos agrícolas no Latossolo Vermelho-Amarelo

A incorporação dos resíduos agrícola nos solos agricultáveis é considerada como um fator importante para agricultura sustentável. Um relatório da Comissão Europeia (COM, 2002 e ClimSoil, 2008) revela que uma quantidade duas vezes mais de carbono pode ser armazenada no solo do que na atmosfera e três vezes mais do que nas florestas, podendo ser retido

temporariamente na circulação como um nutriente, permitindo adicionalmente a limitação de fertilizantes sintéticos. Por esta razão, os sistemas de cultivos agrícolas que favoreçam a formação de matéria orgânica do solo aumentando a sua capacidade de sorção, podem contribuir com a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e com a melhoria da produtividade.

Resultados do impacto da cobertura morta na forma de palha ou plantas de cobertura na camada de solo (Medina, et al., 2015, Mulumba e Lal, 2008) têm sido publicados. Para Mulumba e Lal (2008) os efeitos da cobertura morta na densidade do solo podem variar devido ao tipo de solo, propriedades anteriores do solo, tipo de cobertura morta, clima e uso da terra.

3.3.2 Inserção dos resíduos da cultura de milho no Latossolo Vermelho-Amarelo

Poucos estudos avaliaram a variação da matéria orgânica em função da qualidade e quantidade da palha incorporada ao solo. De acordo com Kay e Vanden Bygaart (2002), diferentes formas de matéria orgânica representam coletivamente um reservatório de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Informações sobre as taxas de mudanças que ocorrem na estrutura do solo podem permitir um melhor manejo dos solos de forma a se obter um controle mais eficiente da compactação do solo, melhorando a produtividade dos sistemas de produção agrícola.

Em experimento realizado em campo de 2013 a 2014 com cobertura morta de milho e feijão-caupi, incorporada ao solo com enxada, para avaliar o efeito desses resíduos nas propriedades do solo, Khalid et al. (2019) constataram que a palha de feijão produziu maior porosidade total do que a palha de milho (49,28% contra 47,95%), embora a diferença não tenha sido significativa. Algumas pesquisas têm indicado que a remoção dos resíduos da cultura está correlacionada com a degradação estrutural do solo devido à menor formação de carbono orgânico do solo (Blaco-Canqui e Lal, 2009, e Tormena et al. 2016) e baixa resistência do solo ao carregamento mecânico causado por rodados durante o tráfego em campo (Braidá et al, 2006), levando à redução dos macroagregados (Johnson et al 2016) e, conseqüentemente, à diminuição da macroporosidade do solo (Osborne et al 2014). Avaliando o efeito da matéria orgânica e da palha de milho na umidade em um Latossolo sob diferentes cultivos, Guimarães et al. (2018) concluíram que a matéria orgânica apresentou correlação positiva com o teor de água do solo. No entanto, embora tenha ocorrido boa distribuição de palha de milho em todos os sistemas de cultivos, esta não influenciou na umidade.

Verifica-se que a palha de milho apresenta um grande potencial de biomassa produzindo maior quantidade de restos culturais o que segundo Gong et al. (2008) e Zhou et al. (2008) citados por Kong (2014), os efeitos benéficos da retenção de resíduos de milho sobre a qualidade do solo é maior do que a observada quando a mesma quantidade de esterco de porco ou fezes de gado é aplicada. A melhoria na qualidade do solo está positivamente relacionada à quantidade de resíduos em uma faixa de 0 - 6.750 kg ha⁻¹

4 MATERIAL E MÉTODOS

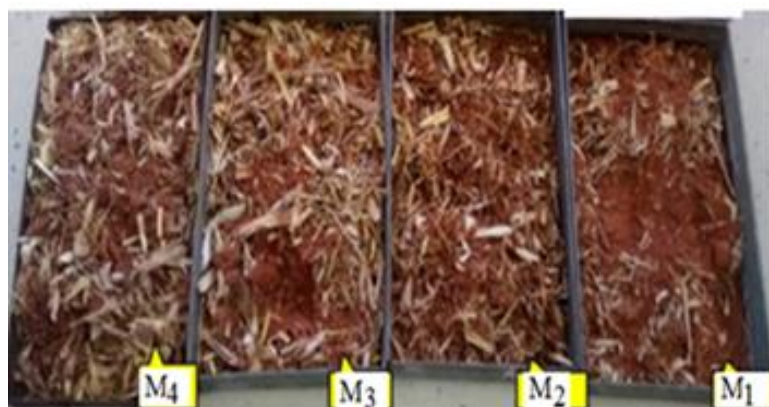
4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Dinâmica do Solo no sistema de interação solo-máquina, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). O solo estudado foi classificado como LATOSSOLO Vermelho-Amarelo, material de origem calcário, com as frações inorgânicas variando de 890 g.kg⁻¹ de areia, 10 g.kg⁻¹ de silte e 100 g.kg⁻¹ de argila, caracterizando-o como solo de textura arenosa.

A palha de milho (*Zea mays* L) utilizada como matéria orgânica para ser incorporada ao solo foi obtida do experimento de campo na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (UFERSA). A mesma consiste de fração de tamanho na faixa de 20 a 50mm, obtida da palha após o tritramento em no campo, posteriormente a colheita. O solo foi submetido ao processo de secagem ao ar e passado na peneira de 2,0 mm para a obtenção da terra fica seca ao ar (TFSA), para posterior incorporação da palha de milho ao solo.

As proporções das frações da palhada incorporada ao solo foram: de 2:100; 4:100; 6:100 e 8:100 g/g, denominadas, respectivamente, como M1, M2, M3 e M4, com disposição em bandejas de 60 x 30 x 7 cm (comprimento x largura x altura), (Figura 2). Em seguida, a mistura do solo com a palha foi umedecida com água destilada e controlada em laboratório por quatro meses para simular as condições de campo. Quatro minhocas foram colocadas em cada bandeja para acelerar o processo de decomposição da palha, considerando as atividades microbianas de acordo com Dufranc et al. (2004).

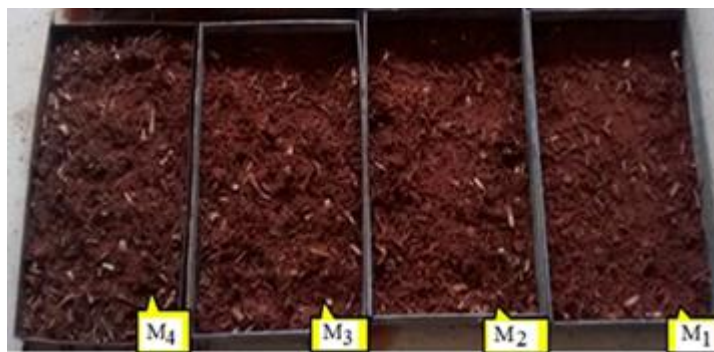
Figura 2. Bandejas com compostos de solos com palhas de milho nas percentagens de 2, 4, 6 e 8%.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Ao final do período de 120 dias, verificou-se o processo de mineralização da palha com o solo, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Bandejas com solo após a decomposição da palha de milho.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

4.2 Ensaio de Laboratório

Todo o material composto em cada bandeja (solo mais palha decomposta) foi passado em peneira de 2,00 mm para análise de matéria orgânica e realização dos ensaios de compressão do solo.

4.2.1 Determinação da matéria orgânica – MO

A matéria orgânica do solo foi determinada segundo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) com amostras de solo composto (solo-palha decomposta) de cada bandeja ao final do período de pousio do material incorporado.

4.2.2 Preparo das amostras de solo para ensaio de compressão uniaxial do solo

Amostras deformadas dos mesmos compostos com agregados de diâmetro inferior a 2,0 mm foram coletadas e ajustadas nas densidades de 1,2 e 1,4 g/cm³ em cilindros de 70 mm de diâmetro por 24 mm de altura e saturadas durante 24 horas (Figura 4). Em seguida, foram colocadas na placa de pressão de Richard (Figura 5) e submetidas nas tensões de 20, 40, 60, 80 e 100 kPa para estabelecer o equilíbrio dos teores de água para realização do ensaio de compressão uniaxial. Cada ensaio de compressão foi constituído em batelada por duas

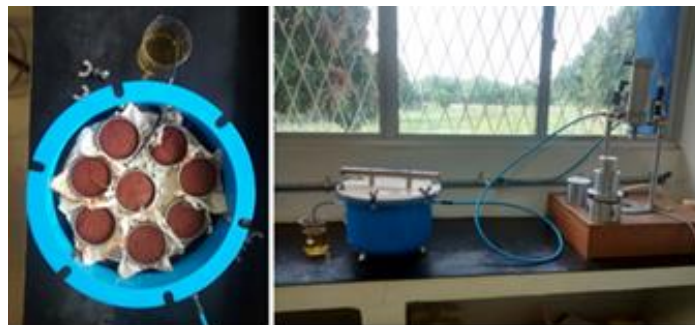
repetições de cada densidade das amostras do solo composto (M_1 , M_2 , M_3 e M_4) para cada pressão de equilíbrio.

Figura 4. Batelada de amostra de solo em saturação.



Fonte. Autoria própria, (2021).

Figura 5. Determinação da retenção de água das amostras de solo M_1 , M_2 , M_3 e M_4



Fonte. Autoria própria, (2021).

4.2.3 Ensaio de compressão do solo

Para determinação das curvas de compressão, as amostras de solo contidas nos anéis volumétricos, após estabelecido o equilíbrio do teor de água com a tensão específica, foram colocadas na célula de compressão oedométrica, (Figura 6), para realização do ensaio de compressão. Cada amostra foi submetida as pressões cíclicas sequenciais 25, 50, 75, 100, 200, 300, 450, 600 kPa. O tempo de aplicação foi de 30 s para simular o tempo de passada do pneu de trator em operação no campo em menor velocidade (Etana et al. 1997). Ao final de cada pressão ocorreu o relaxamento do solo por um tempo de 60 s. Após a liberação da pressão de

600 kPa, as amostras foram secas em estufa a 105°C, por 24 h, para determinação do teor de água.

Figura 6. Célula oedométrica para ensaio de compressão uniaxial.



Fonte. Autoria própria, (2021)

4.2.4 Parâmetros avaliados

4.2.4.1 Porosidade estrutural – e_s

A porosidade estrutural foi determinada de acordo com Monnier et al. (1973), como uma função da pressão aplicada, do teor de água e da matéria orgânica do solo. Os poros estruturais estão sujeitos a variações de curto prazo, como compactação pela passada das rodas em operações agrícolas (Richard et al., 2001, Pereira et al 2007). A porosidade estrutural foi determinada em termo de índice de vazios estruturais pela diferença entre o índice vazios total e o índice de vazios textural segundo a equação

$$e_s = e_T - e_t \quad (1)$$

Em que e_s é o índice de vazios estrutural, e_T é o índice de vazios total e e_t é o índice de vazios textural. O índice de vazios total foi calculado pela equação

$$e_T = \rho_p / \rho_s - 1 \quad (2)$$

Em que ρ_p é a densidade de partículas do solo e ρ_s é a densidade do solo. O índice de vazios textural foi medido em função da umidade do solo na fração agregada de 2–3,35 mm usando o método de querosene (Monnier et al., 1973).

4.2.4.2 Índice de compressão do solo – I_c

O índice de compressão do solo foi determinado pelas curvas de compressão obtidas no ensaio de compressão uniaxial do solo em função da pressão aplicada, traçando-se o índice de vazios estrutural de cada amostra no eixo das ordenadas (y) em função do logaritmo da pressão aplicada no eixo das abscissas (x). Foi utilizado o método da regressão linear para os pontos das três primeiras pressões (25, 50 e 75 kPa), determinando-se a reta de compressão secundária (rcs) e os pontos das demais pressões (100, 200, 300, 450, 600 kPa) a reta de compressão virgem (rcv), segundo o modelo proposto por Arvidsson & Keller (2004).

4.2.4.3 Pressão de precompressão do solo – P_c

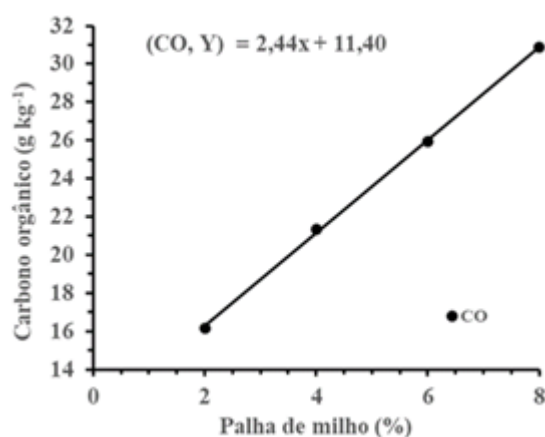
O método de regressão estima a tensão de pré-compressão como a interseção de duas linhas: (a) a linha de regressão obtida para a parte de recompressão da curva de compressão e (b) a linha de compressão virgem. A linha de regressão (a) foi determinada a partir dos dados da parte inicial da curva de compactação, em uma faixa de tensões não superior a 75 kPa. A linha de compressão virgem (b) foi determinada a partir dos dados associados à alta tensão aplicada (Arvidsson & Keller, 2004 e Pereira et al. 2007).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Matéria orgânica

O gráfico 1 e a tabela 2 mostram a evolução da mineralização da matéria orgânica em função da quantidade de palha de milho incorporada ao solo em laboratório durante 120 dias. Os percentuais da palha de milho incorporados no Latossolo Vermelho Amarelo textura arenosa foram equivalentes as quantidades de 4,5 t/ha, 9,0 t/a, 13,2 t/ha e 17,6 t/ha. Ocorreu aumento linear do teor de matéria orgânica mineralizada, nas amostras compostas (solo-palha de milho) com o aumento da quantidade de palha incorporada. Nesta faixa de resíduos de palha de milho incorporados neste solo, os resultados revelam crescimento médio de 11,3% no aumento do percentual de palha.

Gráfico 2. Ajuste do carbono orgânico mineralizado em função da palha de milho incorporada no solo.



Fonte. Autoria própria (2021)

Tabela 2. Percentagem de palha de milho incorporada no solo e equivalente em t/há.

Palha de milho no solo, % (t/ha)	Carbono mineralizado (g kg ⁻¹)
2 (4,5)	16
4 (9,0)	21
6 (13,2)	26
8 (17,6)	31

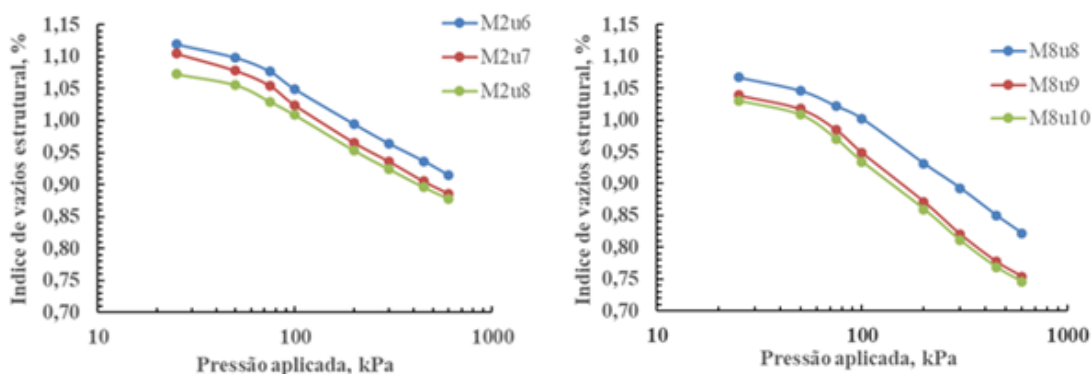
Fonte. Autoria Própria (2021)

5.2 Porosidade estrutural

A porosidade foi avaliada em termos de índice de vazios estrutural determinado pela equação 1. Considerando que a matéria orgânica teve comportamento semelhante nos parâmetros de compactação do solo nas quatro condições de misturas-solos analisadas, para o índice de vazios estrutural em função da pressão vertical aplicada, aqui são analisados apenas os resultados apresentados dos solos com teor de carbono formado pela adição de palha de milho nas proporções de 2% e 8%, variando-se o teor de água para as densidades de 1,2 e 1,4 g.cm⁻³, respectivamente, gráficos 3 e 4. As curvas de compressão para os solos com densidade, respectivamente, de 1,2 g.cm⁻³ e 1,4 g cm⁻³, nos variados teores de água, revelam que o índice de vazios estrutural diminui com o aumento do teor de água. Menor diferença verifica-se no solo em que a incorporação de palha foi de 2%, equivalente a um montante de 4,5 t/há com teores de água de 7 e 8% e no solo com a incorporação de 8% de palha, equivalente ao montante de 17,6 t/há, com teores de 9 e 10%. Os resultados revelam também que o solo com maior teor de matéria orgânica apresentou maior retenção de água em todas as tensões aplicadas. Considerando o mesmo teor de água de 8%, nos dois solos com a densidade de 1,2 g cm⁻³, a porção linear das curvas começa com uma menor tensão aplicada para M₂ do que para M₈. Para ambos os solos, as linhas são deslocadas para a esquerda à medida que o teor de água aumenta, mas elas são aproximadamente paralelas. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Larson et al. (1980) e Gupta et al (1987) avaliando as características de compressão de Chernossolos provenientes dos Estados Unidos da América e de Latossolos do Brasil.

Para ambas as densidades, (1,2 e 1,4 g cm⁻³) as curvas ilustram as diferenças básicas nos índices de vazios estruturais para mesma pressão vertical aplicada.

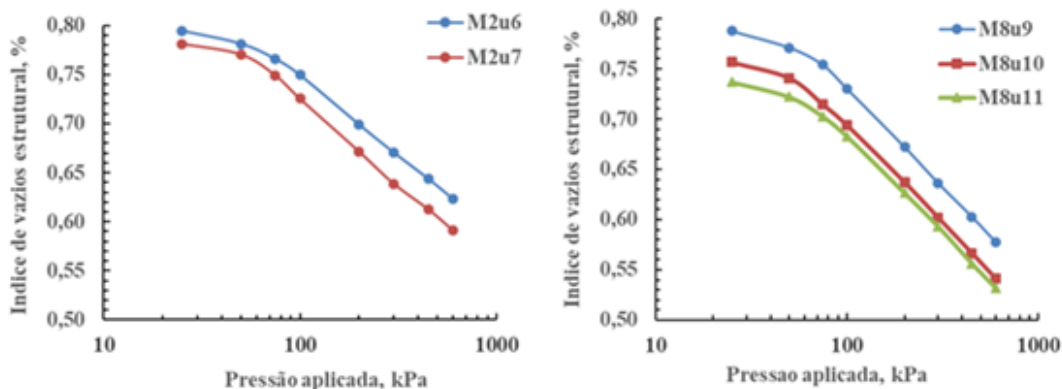
Gráfico 3. Efeito do teor de água e da matéria orgânica na compressão de um Latossolo Vermelho Amarelo com relação a pressão vertical aplicada e o índice de vazios estrutural para densidade inicial de 1,2 g cm⁻³.



Fonte. Autoria própria (2021)

A porção não linear inicial das curvas para estes solos representa parcialmente a curva de compressão secundária. Para Gupta et al. (1987) a parte côncava da curva provavelmente resulta de um grande rearranjo das partículas do solo umas em relação às outras. Neste trabalho verifica-se tendência de mudança da linha de compressão secundária para compressão virgem às pressões relativamente baixas (25 a 50 kPa), nos teores de água mais baixos com ambas as densidades do solo com menor teor de carbono orgânico, o que segundo os autores parece ser características de solos com grande quantidade de areia, corroborando os resultados deste trabalho, cuja textura apresenta 89% de areia. No solo com incorporação de maior teor de palha (8%) transformando 31 g kg^{-1} de carbono orgânico mineralizado verificou-se que a mudança da curva de compressão secundária para curva de compressão virgem ocorre as pressões mais altas até 75 kPa, para ambas densidades do solo. Para Soane (1990), o nível de pressão aplicada provavelmente influenciará a faixa de extensão em que a matéria orgânica afeta os resultados, com maior efeito em situação de pressões baixa que nas pressões altas.

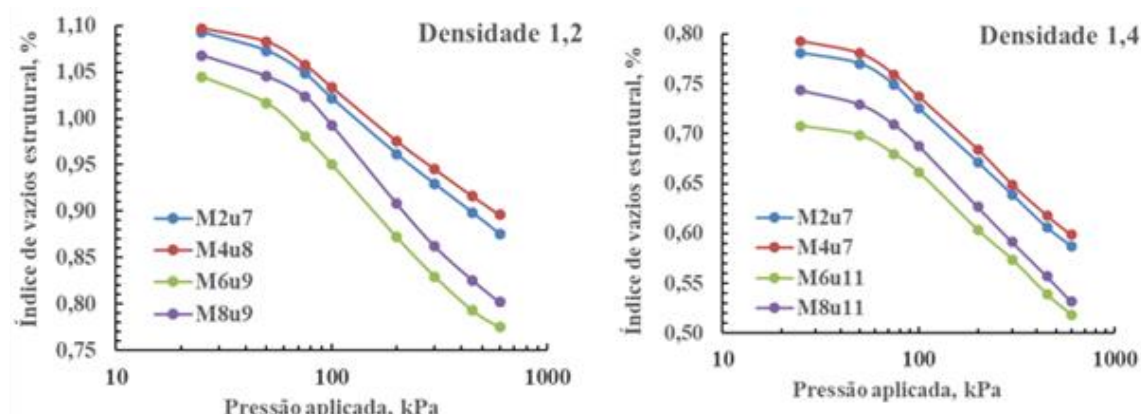
Gráfico 4. Efeito do teor de água e da matéria orgânica na compressão de um Latossolo Vermelho Amarelo com relação a pressão vertical aplicada e o índice de vazios estrutural para densidade inicial de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$.



Fonte. Autoria Própria (2021)

O gráfico 5 mostra a variação do índice de vazios estrutural em função da pressão vertical aplicada para solos com variação de carbono orgânico proveniente da adição de palha de milho em laboratório com densidade de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. Como as amostras foram colocadas em placa de pressão em cinco tensões, as amostras com maior teor de matéria orgânica apresentaram maior retenção de água e variou com a densidade inicial, como pode-se verificar pelo gráfico 5

Gráfico 5. Efeito da matéria orgânica e do teor de água na compressão do Latossolo Vermelho Amarelo com relação a pressão vertical aplicada e o índice de vazios estrutural para densidade inicial de $1,2$ e $1,4 \text{ g cm}^{-3}$.



Fonte. Autoria Própria (2021)

Ocorreu aumento do índice de vazios estrutural com o aumento da matéria orgânica com todas as pressões aplicadas para um mesmo teor de água ou mais próximos, verificando-se maior acréscimo para os solos com maior quantidade de carbono orgânico (21 g/kg e 34 g/kg proveniente das quantidades de 6 e 8%, respectivamente, de palha incorporada) para a densidade de 1,2 g cm⁻³ com o teor de água de 9% e para a densidade de 1,4 g cm⁻³ com o teor de água de 11%, gráfico 5. Os resultados também revelam que os aumentos são maiores para as baixas pressões (25 a 100 kPa).

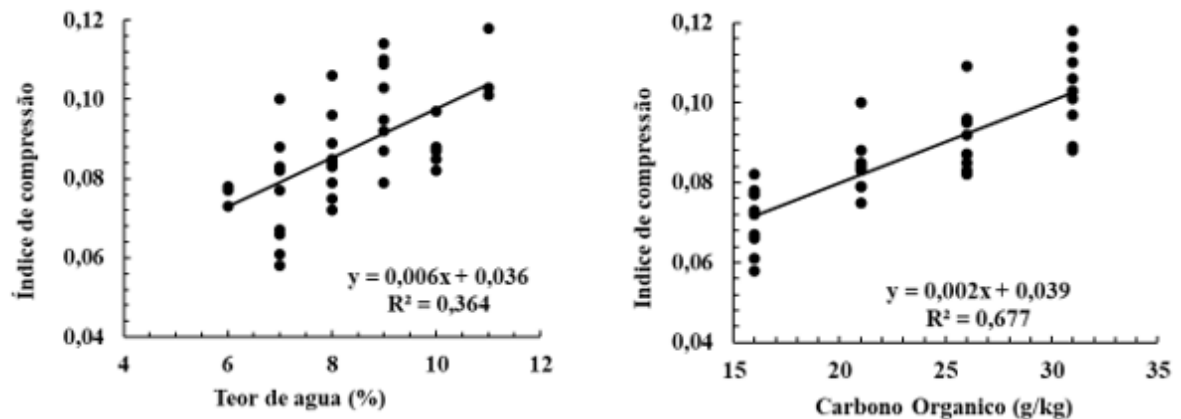
Uma explicação plausível para esta observação é que os resíduos da palha do milho possuem propriedades com características elásticas muito fortes que podem ter contribuído para a formação de maiores vazios estruturais no solo durante o relaxamento entre uma pressão aplicada e a seguinte. Durante o peneiramento do solo, foram observadas partículas residuais menores que 2,00 mm que passaram pelas malhas da peneira, o que pode ter causado um efeito adicional à matéria orgânica, sobre o estudo, ligada aos constituintes minerais. Além disso, observação feita por Gupta et al. (1987) consideram que os solos arenosos possuem pequena área superficial, tornando as partículas dos resíduos mais eficazes na separação das partículas dos grãos individuais, reduzindo a força de atrito da fração mineral e resistindo à compressão do solo. Todas essas observações corroboram os resultados deste estudo, indicando que maiores quantidades dos resíduos de milho proporcionaram maior índice de vazios estrutural do solo para mesma pressão aplicada e teor de água.

5.3 Índice de compressão do solo – Ic

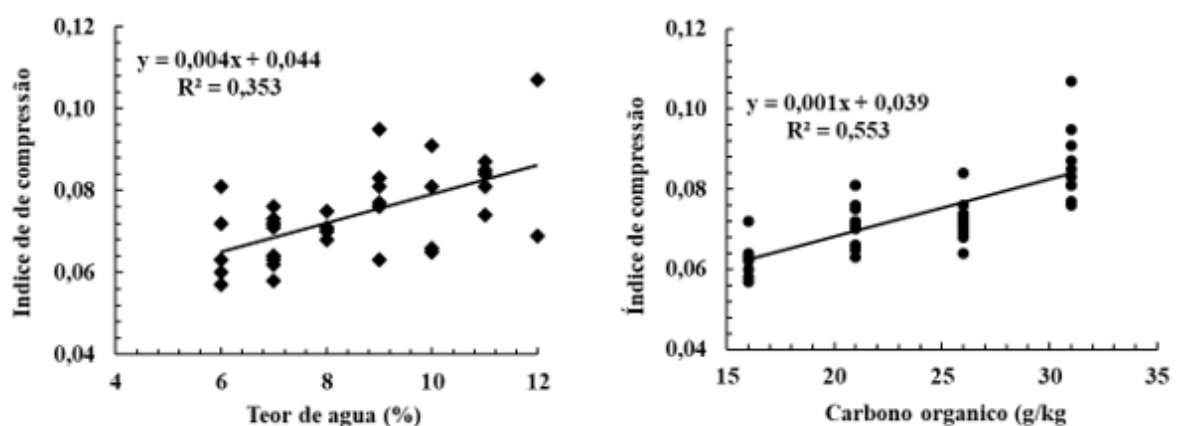
O índice de compressão do solo revelou forte correlação positiva com o carbono orgânico (gráfico 6), 82,3% para a densidade de 1,2 g cm⁻³ e 74,4% para a densidade de 1,4 g cm⁻³. Por outro lado, o índice de compressão apresentou menor correlação com o teor de água,

60,3% e 59,4%, respectivamente, para as densidades de 1,2 e 1,4 g cm⁻³. Pelos resultados verifica-se que há forte tendência do crescimento do índice de compressão tanto com o aumento do teor de carbono orgânico como o aumento do teor de água. Pode-se verificar que a influência da matéria orgânica no comportamento da compressão do solo é amplamente dependente do estado estrutural inicial. Estes resultados corroboram com os obtidos por Zhang e Hartge (1995) para amostras deformadas de solos siltsos e solos argilosos com incorporação de turfa. Stone e Ekwue (1996) estudando a influência do lodo de esgoto incorporado ao solo argiloso na compressibilidade do solo verificaram que o índice de compressão foi bastante sensível, particularmente, nas pressões de 10 a 100kPa.

Gráfico 6. Índice de compressão do solo em função do teor de água e da matéria orgânica para as densidades de 1,2 e 1,4 g/cm³.



Densidade 1,2 g cm⁻³



Densidade 1,4 g cm⁻³

Fonte. Autoria Própria (2021)

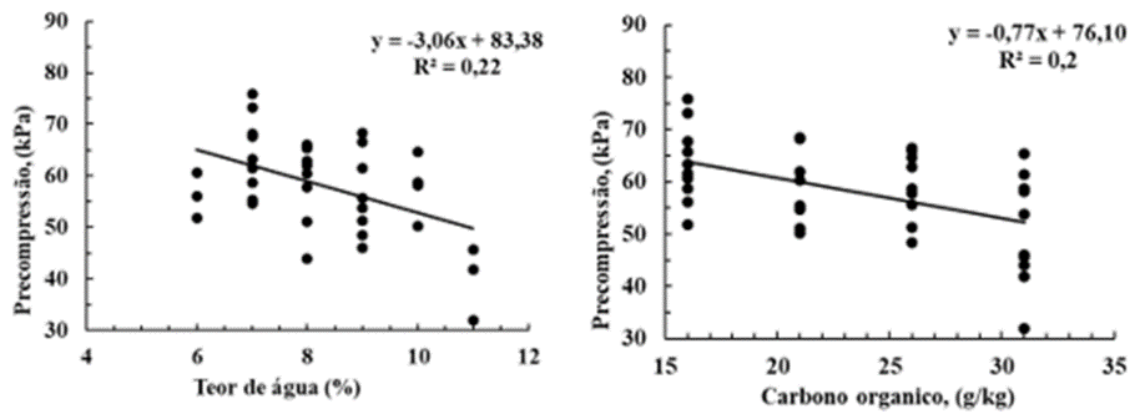
5.4 Pressão de precompressão – P_c

A pressão de precompressão para as amostras de solo deformado com incorporação de palha de milho mostra-se claramente dependente do estado estrutural inicial do solo (gráfico 7).

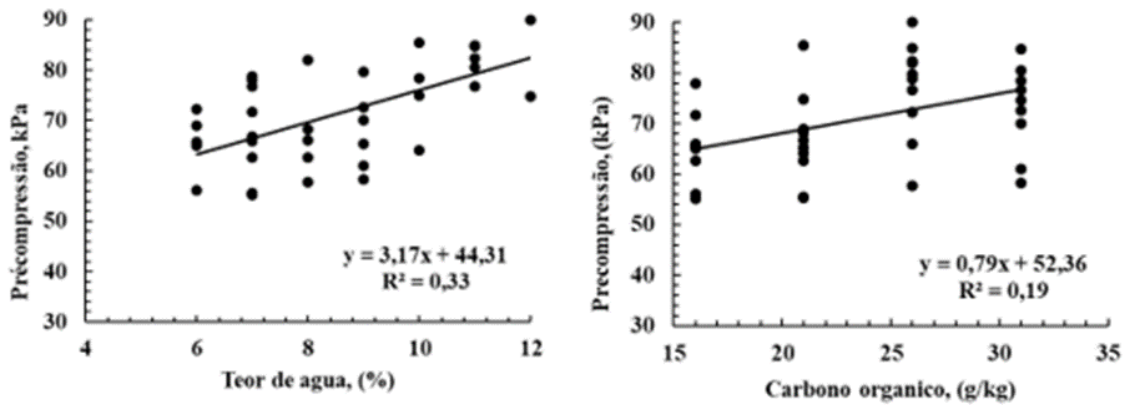
Verificou-se para o solo com densidade de $1,2 \text{ g/cm}^3$, tendência da pressão de precompressão reduzir com o aumento do teor de água e da matéria orgânica, revelando correlação negativa, respectivamente, de 47% e 45%. Entretanto, para densidade de $1,4 \text{ g/cm}^3$, ocorreu o processo inverso, a pressão de precompressão cresceu com o aumento do teor de água e da matéria orgânica, indicando correlação positiva, respectivamente, de 57,4% e 43,6%, com maior correlação para o teor de água. Os resultados obtidos para pressão de precompressão para a densidade de $1,2 \text{ g/cm}^3$ corroboram com Larson et al. (1980), e Kondo e Dias Junior (1999) revelando neste estudo redução do índice de vazios estrutural e da pressão de precompressão em função do aumento do teor de água e do teor de matéria orgânica (gráficos 3, 5 e 7).

Do ponto de vista do uso de máquinas nos sistemas de operações agrícolas, a dependência da pressão de precompressão nas condições iniciais de teor de água e matéria orgânica justifica, por um lado, a aplicação destes dois fatores como critério de avaliação qualitativa e, por outro lado, permite definir limites adequados de otimização, principalmente, de teor de água do solo para a capacidade de tráfego permitida, a fim de proteger o subsolo contra compactação.

Gráfico 7. Pressão de precompressão do solo em função do teor de água e da matéria orgânica para as densidades de 1,2 e 1,4 g/cm³.



Densidade 1,2 g/cm³



Densidade 1,4 g/cm³

Fonte. Autoria própria (2021)

6 CONCLUSÃO

Ocorreu aumento linear da matéria orgânica do solo com o crescimento da palha de milho incorporado ao solo, favorecendo a estruturação do LATOSSOLO Vermelho-Amarelo de textura arenosa;

Em ambos os estados estruturais iniciais do solo (densidade $1,2 \text{ g/cm}^3$ e $1,4 \text{ g/cm}^3$), a diminuição do teor de água e o aumento da matéria orgânica favoreceram o crescimento do índice de vazios estruturais;

O índice de compressão do solo aumentou com o crescimento do teor de água e do teor de matéria orgânica nas densidades de $1,2 \text{ g/cm}^3$ e $1,4 \text{ g/cm}^3$. Em ambas as densidades a matéria orgânica revelou maior correlação positiva;

A pressão de precompressão indicou maior capacidade de suporte com a redução do teor de água e da matéria orgânica na densidade de $1,2 \text{ g/cm}^3$. O inverso ocorreu para a densidade de $1,4 \text{ g/cm}^3$.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, G.A.C., Mello, F.A.F. Decomposição de resíduos de cultura de milho (*Zea mays* L.) medida pelo teor de carbono e relação C/N do solo. **An. ESALQ** 47 (parte 1), 233-241, 1990.
- Arvidsson, J. Keller, T. Soil precompression stress. I. A survey of Swedish arable soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, p. 85-95, 2014.
- Blanco-Canqui, H.; Lal, R. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28: 139-163, 2009.
- Braida, J.A.; Reichert, J.M.; Veiga, M.; Reinert, D.J. Mulch and soil organic carbon content and their relationship with the maximum soil density obtained in the proctor test. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30: 605-614. 2006. (in Portuguese, with abstract in English).
- Castro Filho, C. et al. Tillage methods and soil and water conservation in Southern Brasil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, n. 2-4, p. 271-293, 1991.
- ClimSoil. Final Report: Review of existing information on the interrelations between soil and climate change. 2008. Disponível em:
https://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/climsoil_report_dec_2008.pdf. Acessado em: 10/04/2021.
- COM 179 final. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Towards a thematic strategy for soil protection. 2002. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2002:0179:FIN:EN:PDF>. Acessado em: 10/04/2021.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. ISSN 2318-6852. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 5 Safra 2017/18 - Quinto levantamento, Brasília, p. 1-140. Fevereiro/2018.
- Dexter, A. R. Soil physical quality: part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.
- Dias Junior, M.S. Compactação do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., H.V. & Schaefer, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.1. p.55-94, 2000.

Dufranc, G.; Dechen, S. C. F.; Freitas, S. S.; Camargo, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados em dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.505-517, 2004.

Etana, A. Comia, R.A. Hakansson. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four swwedish soils. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v. 44 p. 13-21, 1997.

[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00025-1).

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Production: crops. 2020. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

Freitas, P.S.L., Mantovani, E.C., Sediyaama, G.C., Costa, L.C. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.1, p.85-91, 2004.

Guimarães, C.M., Costa, C.A.G., Gomes Filho, R.R., Xavier, W.D., Alvino, F.C.G., Silva, P.A., Santos, I.L.N., Lima, S.C.R.V. Organic matter and maize straw influence on soil moisture in an Oxisol under different tillages. **African Journal of Agricultural Research**, v. 13(45), pp. 2602-2609, 2018. DOI: 10.5897/AJAR2018.13477

Gupta, S.C. Schneider, E.C. Larson, W.E. Hadas, A. Influence of corn residue on compression and compaction behavior of soil. **Soil Science Society of American Journal**. 51: 207-212, 1987.

Johnson, J.M.F.; Strock, J.S.; Tallaksen, J.E.; Reese, M. Corn stover harvest changes soil hydrology and soil aggregation. **Soil and Tillage Research** 161: 106-115, 2016.

Khalid AA, Tuffour HO, Abubakariand A, Novor S. Conservation Tillage and Organic Matter management on Soil Structure. **Madridge J Agric Environ Sci**. 1(1): 14-18, 2019. doi: 10.18689/mjaes-1000103.

Kay, B.D. Vanden Bygaart, A.J Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, v.66, p. 107–118, 2002.

Kluthcouski, J., Stone, L.F. Manejo Sustentável dos Solos dos Cerrados, In: Aidar, H., Stone, L.F., Kluthcouski, J. eds. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás, **EMBRAPA Feijão e Arroz**, p. 59-104, 2003.

Kondo, M.K., Diar Junior, M.S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 23 p. 497-506, 1999.

Kong, L. Maize residues, soil quality, and wheat growth in China. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 34 (2), p.405-416. 2014.. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01234802/document>. Acessado em 10/04/2021.

Larson, W.E.; Gupta, S.C.; Useche, R.A. Compression of agricultural soil from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.3, p.450-457, 1980

Medeiros, L.C., Souza, A.P., Santos, D., Sousa, R.R., Sousa Neto, J.G., Silva, H.S. Decomposição de resíduos da cultura do milho em um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido à adubação nitrogenada e potássica. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2-7 de agosto de 2015. Natal – RN.

Medina, J.; Monreal, C.; Barea, J.M.; Arriagada, C.; Borie, F.; Cornejo, P. Crop residue stabilization and application to agricultural and degraded soils: A review. **Waste Management** n. 42. p. 41–54, 2015.

Monnier, G., Stengel, P. & Fies, J.C. Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application a l'analyse des systèmes de porosité du sol. **Annales Agronomiques**, 24, 533–545, 1973.

Mulumba, L.N., Lal R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil & Tillage Research**, n. 98, 106–111. 2008.

Oliveira, P., Nascente, A.S., Kluthcouski, J., Portes, T.A. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 239-246, jul/set. 2013.

Osborne, S.L.; Johnson, J.M.F.; Jin, V.L.; Hammerbeck, A.L.; Varvel, G.E.; Schumacher, T.E. The impact of corn residue removal on soil aggregates and particulate organic matter. **BioEnergy Research**. 7: 559-567, 2014.

Padovan, M. P.; Almeida, D.L.; Guerra, J. G.M.; Ribeiro, R.L.D.; Oliveira, F.L.; Santos, L.A.; Alves, B.J.R.; Souto, S.M. Decomposition and nutrient release from soybean cut at different growth stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 4, p. 667-672, 2006.

Papa, R. A., Lacerda, M. P. C., Campos, P. M., Goedert, W. J., Ramos, M. L. G., Kato, E. Qualidade de Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos-Amarelos sob vegetação nativa de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 564-571, out./dez. 2011.

Pereira JO, Defossez P, Richard G. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system. **European Journal of Soil Science**, v. 58 p. 34-44, 2007.

Richard, G., Cousin, I., Sillon, J.F., Bruand, A. & Guérif, J. Effect of compaction on soil porosity: consequences on hydraulic properties. **European Journal of Soil Science**, v. 52, p. 49–58, 2001.

Secco, D.; Reinert, D.J.; Reichert, J.M.; Ros, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p.797-804, 2004.

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p.

Soane, B.D. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research** v. 16: 179-201, 1990.

Stone, R.J, Ekwue, E.L. Soil Compressibility as Influenced by Sewage Sludge Incorporation. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 64, 227 – 236, 1996.

Vale, A.T., Dantas, V.F.S., Zambrzycki, G.C. Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays* L.). **Evidência**, v. 13 n. 2, p. 153-164, jul./dez. 2013.

Tormena, C.A.; Karlen, D.L.; Logsdon, S.; Cherubin, M.R. Visual soil structure effects of tillage and corn stover harvest in Iowa. **Soil Science Society of America Journal** 80: 720-726, 2016

Zhang, H. Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates. **Soil & Tillage Research**, v. 31, p. 263-275, 1994.

Zhang, H.Q. Hartge, K.H. Mechanical properties of soils as influenced by the incorporation of organic matter. In: Hartge, H.K and Stewart, B.A. Advances in Soil Science. **Soil structure its development and function**. p. 93-107. 1995. Ed. CRC. Lewis publishers, London.