



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

EMMILA PRISCILA PINTO DO NASCIMENTO

**SUSCETIBILIDADE À COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO
AMARELO EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM DOIS SISTEMA DE
CULTIVO**

MOSSORÓ

2019

EMMILA PRISCILA PINTO DO NASCIMENTO

**SUSCETIBILIDADE À COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO
AMARELO EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL EM DOIS SISTEMAS DE
CULTIVO**

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

Orientador: Joaquim Odilon Pereira, Prof. Dr.

Coorientador: Suedemio de Lima Silva, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2019

©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.

N244s Nascimento, Emmila Priscila Pinto do.
Suscetibilidade à compactação de um Latossolo
vermelho amarelo em função da cobertura vegetal em
dois sistemas de cultivo / Emmila Priscila Pinto
do Nascimento. - 2019.
63 f. : il.

Orientador: Joaquim Odilon Pereira.
Coorientador: Suedemio de Lima Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2019.

1. densidade do solo. 2. teor de matéria
orgânica. 3. índice de vazios. 4. índice de
compressão. 5. pressão de pré-compressão. I.
Pereira, Joaquim Odilon, orient. II. Silva,
Suedemio de Lima, co-orient. III. 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.

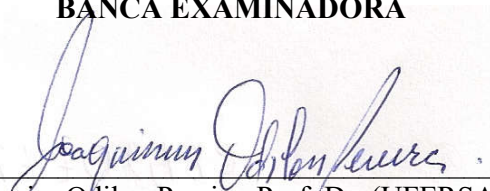
EMMILA PRISCILA PINTO DO NASCIMENTO

**SUSCETIBILIDADE À COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO
AMARELO EM FUNÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E DOIS SISTEMAS DE
CULTIVO**

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

Aprovada em: 12 / 08 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



Joaquim Odilon Pereira, Prof./Dr. (UFERSA)
Presidente



Leonardo Cordeiro da Silva, Eng. Agrícola e Ambiental. (Externo)
Membro Examinador



Raionara Dantas Fonseca, Eng. Agrícola e Ambiental. (Externo)
Membro Examinador

*Á minha avó Francisca Pinto dos Santos, que foi uma mãe para mim e que onde estiver
continua guiando meus passos e celebrando minhas vitórias.
(In Memoriam).*

*Á minha mãe Josana Pinto do Nascimento, que acreditou no meu sonho e fez sacrifícios para
torná-lo realidade.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, porque dEle e por Ele, e para Ele, são todas as coisas (Rm 11:36).

Agradeço aos meus pais Josana Pinto do Nascimento e Francisco Guilherme do Nascimento que tornaram este momento possível. Não foram anos fáceis, mas vocês estavam lá para me amparar. Mãe, obrigado por orar por mim e me reerguer quando me sentia abatida.

Agradeço ao meu noivo Elias Raniel Souza da Fé por todo amor, carinho, amizade, companheirismo e ajuda, por sempre estar ao meu lado me apoiando e incentivando nesta trajetória e por jamais permitir que eu desistisse. Ao meu irmão Eduardo Pablo Pinto do Nascimento por me fazer rir quando o estresse da faculdade de consumia. Á minha irmã de coração Auanna Crislayne Lefundes pela amizade e apoio.

Agradeço ao Orientador pela ajuda e paciência, pelas horas dedicadas para tornar este trabalho possível.

Agradeço a Banca Examinadora pelas sugestões e correções que tornaram meu trabalho mais completo e me enriqueceram como pessoa e como profissional.

Gratidão á todos os professores do curso de Eng. Agrícola e Ambiental que foram responsáveis pela minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

Por fim, agradeço aos meus amigos Letícia Gabriela, Wellyda Keorle, Raionara Fonseca, Leonardo Cordeiro, Elioneide Sales e Audilene Dantas, por terem tornado o caminho menos árduo, foi um prazer conhecer a todos e levarei nossa amizade para a vida. Agradeço a minha amiga Lisandra Alves que sempre esteve do meu lado mesmo estando longe, sua amizade foi luz no meu caminho. Agradeço também a todos os demais colegas que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

A vida me ensinou a nunca desistir. Nem ganhar, nem perder, mas procurar evoluir. Podem me tirar tudo que tenho. Só não podem me tirar as coisas boas que eu já fiz pra quem eu amo.

Charlie Brown Jr.

RESUMO

Um dos principais impactos provocados pela mecanização agrícola é a compactação do solo provocada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos. Outro aspecto fundamental neste processo é a falta de controle das condições do solo, como umidade e teor de matéria orgânica que podem contribuir para a intensificação da compactação. Este fenômeno é resultado da interação solo-máquina, na qual a aplicação de cargas promove modificações na estrutura do solo influenciando suas propriedades físicas e mecânicas, dentre elas, aumento da densidade e da resistência do solo à penetração de raízes, decréscimo da porosidade total, da retenção de água e da aeração do solo, determinando assim, o desenvolvimento das raízes e produtividade das plantas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da cobertura vegetal de feijão e milho sob os sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, respectivamente, na compactação do solo, baseando-se em parâmetros mecânicos de amostras de solo não deformadas. Para isto, foram coletadas amostras de matéria seca para determinação da matéria orgânica e foram coletadas amostras de solo não deformadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm para o ensaio de compressão utilizando o método da oedometria. O índice de vazios estruturais, o índice de compressão e a pressão de pré-compressão do solo foram avaliados. O índice de vazios estruturais diminuiu com o aumento do teor de água e da densidade do solo. O índice de compressão tende a diminuir com o incremento da densidade do solo ou do teor de água, revelando que a camada de 0-5 cm que recebeu a cobertura vegetal do milho se mostrou mais suscetível à compactação. A pressão de pré-compressão aumenta com o aumento da densidade do solo e este efeito foi melhor observado na camada de 10-20 cm. Os resultados mostraram que o solo que recebeu a cobertura de feijão sob sistema de cultivo mínimo apresentou boa capacidade de suporte de carga, sendo considerado mais resistente à compactação.

Palavras-chave: densidade do solo, teor de matéria orgânica, índice de vazios, índice de compressão, pressão de pré-compressão.

ABSTRACT

One of the main impacts caused by agricultural mechanization is the soil compaction caused by the intense traffic of machines and implements. Another fundamental aspect in this process is the lack of soil conditions control, such as moisture and organic matter content, which may contribute to the intensification of compaction. This phenomenon is a result of the soil-machine interaction, in which the application of loads promotes changes in soil structure, influencing its physical and mechanical properties, among them, increase of soil density and resistance to root penetration, decrease of total porosity, water retention and aeration of the soil, thus determining root development and plant productivity. The objective of this study was to evaluate the effect of the bean and corn cover under minimum tillage and no-tillage systems, respectively, on soil compaction, based on mechanical parameters of non-deformed soil samples. For this, dry matter samples were collected for organic matter determination and non-deformed soil samples were collected in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers for the compression test using the oedometer method. The structural voids index, the compression index and the soil pre-compression pressure were evaluated. The index of structural voids decreased with increasing water content and soil density. The compression index tends to decrease with increasing soil density or water content, revealing that the 0-5 cm layer that received the corn cover was more susceptible to compaction. The pre-compression pressure increases with increasing soil density and this effect was best observed in the 10-20 cm layer. The results showed that the soil with the bean cover and minimum growing system presented good load bearing capacity, being considered more resistant to compaction.

Keywords: soil density, organic material index, voids index, compression index, pre-compression pressure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Imagem de satélite da área experimental localizada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (Lagoinha, Mossoró - RN)	28
Figura 2	– Esquema da área experimental	28
Figura 3	– Uniformização da cobertura vegetal em ambas as parcelas	29
Figura 4	– Método do quadrado (amostragem direta). A) Moldura lançada na superfície do solo. B) Coleta de toda matéria seca dentro dos limites da moldura. C) Matéria seca coletada, empacotada e etiquetada. D) Pesagem da matéria seca em laboratório	30
Figura 5	– Determinação do teor de carbono orgânico e nitrogênio no solo. A) Amostras deformadas. B) Determinação do teor de carbono orgânico. C) Determinação do teor de nitrogênio	30
Figura 6	Coleta de amostras não deformadas com auxílio de anel volumétrico	31
Figura 7	A) Amostra não deformada dentro da célula oedométrica. B) Oedômetro. C) Sistema de acionamento do oedômetro e leitura das deformações	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Estimativa da quantidade de matéria seca (MS) oriunda da cultura do milho e do feijão	34
Gráfico 2	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e teor de água fixo, na camada de 0-5 cm.....	38
Gráfico 3	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e teor de água fixo, na camada de 0-5 cm.....	38
Gráfico 4	– Índice de compressão em função da densidade do solo a um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 0-5 cm	39
Gráfico 5	– Pressão de pré-compressão em função da densidade do solo a um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 0-5 cm	40
Gráfico 6	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e densidade do solo fixa, na camada de 0-5 cm	41
Gráfico 7	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e densidade do solo fixa, na camada de 0-5 cm	41
Gráfico 8	– Índice de compressão em função do teor de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 0-5 cm	42
Gráfico 9	– Pressão de pré-compressão em função do teor fixo de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 0-5 cm	43
Gráfico 10	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e teor de água fixo, na camada de 5-10 cm.....	44
Gráfico 11	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e teor de água fixo, na camada de 5-10	

	cm.....	44
Gráfico 12	– Índice de compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 5-10 cm	45
Gráfico 13	– Pressão de pré-compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 5-10 cm	46
Gráfico 14	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e densidade do solo fixa, na camada de 5-10 cm	47
Gráfico 15	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e densidade do solo fixa, na camada de 5-10 cm	47
Gráfico 16	– Índice de compressão em função do teor de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 5-10 cm	48
Gráfico 17	– Pressão de pré-compressão em função do teor fixo de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 5-10 cm	49
Gráfico 18	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e teor de água fixo, na camada de 10-20 cm.....	50
Gráfico 19	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e teor de água fixo, na camada de 10-20 cm.....	50
Gráfico 20	– Índice de compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 10-20 cm	51
Gráfico 21	– Pressão de pré-compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 10-20 cm	52
Gráfico 22	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e densidade do solo fixa, na camada de	

	10-20 cm	53
Gráfico 23	– Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e densidade do solo fixa, na camada de 10-20 cm	53
Gráfico 24	– Índice de compressão em função do teor de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 10-20 cm	54
Gráfico 25	– Pressão de pré-compressão em função do teor fixo de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 10-20 cm	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Valores médios de Carbono, Nitrogênio, Relação C/N e MO em função da profundidade para o tratamento CMPD	35
Tabela 2		Valores médios de Carbono, Nitrogênio, Relação C/N e MO em função da profundidade para o tratamento CFCM	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C/N	Carbono/Nitrogênio
Ccs	Curva de compressão secundária
CFCM	Cobertura vegetal da palhada de feijão sob sistema de cultivo mínimo
CM	Cultivo mínimo
CMPD	Cobertura vegetal da palhada de milho sob sistema de plantio direto
CO	Carbono orgânico
Csc	Capacidade de suporte de carga
cv	Cavalo-vapor
Da	Densidade de agregados
Dp	Densidade de partícula
Ds	Densidade do solo
Ic	Índice de compressão
Iv	Índice de vazios estruturais
LCV	Linha de compressão virgem
mc	Massa do cilindro/anel
mf	Massa final
mi	Massa inicial
MO	Matéria orgânica
Ms	Massa seca
MS	Matéria seca
PC	Plantio convencional
PD	Plantio direto
Ppc	Pressão de pré-compressão
T	Porosidade total
u	Umidade
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semiárido
Vc	Volume do cilindro/anel

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.2 Objetivo Geral	18
2.3 Objetivos Específicos	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Compactação do solo	19
3.2 Compactação do solo no sistema de cultivo mínimo	19
3.3 Compactação do solo no sistema de plantio direto	20
3.4 Impacto da compactação do solo sobre as plantas	21
3.5 Fatores envolvidos na compactação do solo	21
3.5.1 Matéria Orgânica	22
3.5.2 Umidade do Solo	22
3.5.3 Densidade do Solo	23
3.5.4 Textura do Solo	24
3.5.5 Porosidade do Solo	24
3.5.6 Estrutura do Solo	25
3.6 Compressibilidade do Solo	26
3.7 Indicadores de capacidade de suporte de carga	26
3.7.1 Índice de Compressão	26
3.7.2 Pressão de Pré-compressão	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Matéria Seca	34
5.2 Matéria Orgânica	35
5.3 Índice de Compressão e Pressão de Pré-compressão	36
5.3.1 Camada de 0-5 cm	37
5.3.1.1 Umidade Fixa	37
5.3.1.2 Densidade Fixa	40
5.3.2 Camada de 5-10 cm	43
5.3.2.1 Umidade Fixa	43
5.3.2.2 Densidade Fixa	46
5.3.3 Camada de 10-20 cm	49
5.3.3.1 Umidade Fixa	49

5.3.3.2 Densidade Fixa	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
7 REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

O crescente avanço tecnológico na área da produção agrícola tem permitido o desenvolvimento de máquinas e implementos cada vez maiores e pesados, o que somado ao intenso tráfego destas máquinas, ao número de operações no preparo e a falta de controle das condições do solo podem acarretar a compactação do solo. Este fenômeno é resultado da interação solo-máquina, na qual a aplicação de cargas mecânicas promove degradação da estrutura do solo modificando suas propriedades físicas, dentre elas, aumento da densidade e resistência do solo, decréscimo da porosidade total, da retenção de água e da aeração do solo, interferindo dessa forma, no desenvolvimento radicular e consequente a produtividade das plantas.

Os sistemas de manejo do solo têm grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas do solo e estão intrinsecamente relacionados com o processo de compactação. De maneira geral, o sistema de preparo convencional do solo é responsável por provocar a compactação subsuperficial em virtude da desestruturação da camada mobilizada e da aplicação de carga que apresenta efeito acumulativo em subsuperfície ao longo do tempo, enquanto que, em sistema de cultivo mínimo e sistema de plantio direto, a compactação é mais superficial pela mínima ou nenhuma mobilização do solo. Os sistemas de plantio direto e cultivo mínimo são considerados técnicas eficientes no controle da degradação do solo, quando comparados ao sistema convencional. No entanto, estes tipos de manejo do solo apresentam potencial contribuição para a compactação do solo a depender das condições do perfil. Dessa forma, devem-se adequar sistemas de cultivo e práticas de preparo do solo que mantenham sua estrutura favorável ao crescimento das plantas.

A falta de controle da umidade do solo e do teor de matéria orgânica pode também ser considerado um fator substancial no processo de compactação do solo, associado ao tráfego intenso de máquinas e o tipo de sistema de manejo do solo empregado, afetando, de forma direta, a aeração do solo, a temperatura, a infiltração, a condutividade de água, e consequentemente, a disponibilidade de água para as plantas, o que se torna um fator limitante à obtenção de maior produtividade agrícola. Dessa forma, o acúmulo de matéria orgânica e o controle do intervalo de umidade em que o solo pode sofrer tráfego pode aumentar a resistência do solo à compactação ou reduzir seus efeitos, uma vez que o solo passa a ter maior resistência à deformação. Em função dos obstáculos que a compactação apresenta à produção agrícola, vêm se buscando alternativas que minimizem as alterações físicas do solo.

O presente trabalho trata da determinação da suscetibilidade do solo a compactação em função da cobertura vegetal e do sistema de preparo do solo. Para isso, foram utilizados indicadores de capacidade de suporte de carga, o índice de compressão e a pressão de pré-compressão, que são representados graficamente através da relação entre a pressão aplicada e o índice de vazios.

2 OBJETIVOS

2.2 Objetivo Geral

O presente trabalho visa avaliar o efeito da cobertura vegetal de feijão e milho sob os sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, respectivamente, na compactação do solo, baseando-se em parâmetros mecânicos de amostras de solo não deformadas.

2.3 Objetivos Específicos

- Quantificar a matéria orgânica em função da cultura de cobertura e da profundidade de cada camada;
- Determinar os parâmetros mecânicos: índice de vazios estruturais (I_v), índice de compressão (I_c) e pressão de pré-compressão (P_{pc}); e
- Avaliar o comportamento compressivo do solo das camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, para ambas as coberturas vegetais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Compactação do solo

A compactação é resultado da ação antrópica, na qual ocorre a compressão do solo resultante da aplicação de energia mecânica. É caracterizada pela redução do volume do solo provocada por compressão, o que implica no rearranjo estrutural das partículas do solo e consequente redução da porosidade (RICHART *et al.* 2005).

Uma das principais causas da compactação do solo é o uso de máquinas e implementos agrícolas, equipamentos de transporte e pelo pisoteio de animais (LIMA, 2004). A aplicação de cargas dinâmicas no solo resulta em mudanças nas suas propriedades físicas e mecânicas a nível superficial e subsuperficial, com aumento da densidade e da resistência a penetração do solo (SILVA, 2000).

Este fenômeno vem sendo amplamente estudado, pois a agricultura é uma atividade que depende diretamente do solo e de suas propriedades biológicas, químicas, físicas e mecânicas. Em termos de produção agrícola, a compactação torna-se um obstáculo reduzindo a produtividade biológica do solo e tornando-o inadequado ao desenvolvimento das culturas (REICHERT *et al.* 2007). Em solos compactados, o desenvolvimento deficiente das plantas está relacionado ao impedimento mecânico e ao crescimento radicular, o qual resulta em menor volume de solo explorado, menor absorção de água e nutrientes e, consequentemente, decréscimo da produção (STONE; GUIMARÃES; MOREIRA, 2002).

3.2 Compactação do solo no sistema de cultivo mínimo

O sistema de cultivo mínimo consiste de uma técnica em que é realizada a mínima manipulação do solo, sendo realizadas escarificações e gradagens leves e são mantidos resíduos vegetais em sua superfície (SILVA, 2011). Segundo Varella (1999), existem, basicamente, três operações envolvidas neste tipo de sistema de preparo do solo: escarificação, gradagem e o preparo com enxada rotativa. Sendo o primeiro, uma operação na qual o solo não sofre inversão, mantendo a cobertura vegetal e evitando perdas de solo e água. Já na operação de gradagem, são utilizadas grades de discos, de forma que o solo é invertido e a vegetação é picada e incorporada ao mesmo. Por fim, o preparo com enxada rotativa consiste na mobilização do solo por meio de lâminas rotativas.

Um dos pontos fundamentais do sistema de cultivo mínimo é a redução das operações agrícolas necessárias ao preparo do solo e que dessa forma seja possível a diminuição da compactação das camadas agricultáveis causada pelo tráfego de máquinas, bem como redução de gastos com combustível, reparos e manutenção, pois quanto menor o número de operações, menor será o número de máquinas envolvidas no preparo do solo (VARELLA, 1999).

Outra vantagem deste sistema é a diminuição da degradação do solo. O preparo do solo através do método de cultivo mínimo pode contribuir na redução da erosão, pois evita a pulverização do solo, reduz os efeitos da compactação do solo, uma vez que reduz o tráfego de máquinas diminuindo a mobilização e desestruturação do solo, o que contribui para a melhora a produtividade das culturas, além de controlar o surgimento de plantas daninhas com a cobertura vegetal (GABRIEL FILHO, 2000; SUZUKI, 2005 e SILVA, 2011).

Segundo Silva (2004), a permanência de cobertura vegetal na superfície do solo após sua mobilização no preparo reduzido, promove a redução do impacto das gotas de chuva e ou irrigação, aumenta a infiltração de água e diminui a formação do encrostamento superficial, garantindo uma superfície menos adensada quando comparada a outros sistemas de preparo.

3.3 Compactação do solo no sistema de plantio direto

O sistema de plantio direto (PD) é considerado uma prática conservacionista que consiste no plantio de culturas sem que haja as etapas do preparo convencional de aração e gradagem. Este tipo de preparo do solo pode ser considerado uma modalidade do cultivo mínimo, uma vez que o preparo do solo se limita a linha de semeadura, sendo realizada a semeadura, adubação e aplicação de herbicidas em uma única operação, sem que haja o revolvimento do solo. Um dos aspectos mais importantes deste tipo de preparo é a manutenção da cobertura vegetal, viva ou morta, que desempenhará papel fundamental na conservação do solo, minimizando os processos erosivos, auxiliando na maior retenção de água e promovendo maior disponibilização de nutrientes (SOUZA, 2009).

Dentre as principais vantagens do sistema de PD tem-se: a recuperação da estrutura e proteção o solo contra o impacto das gotas da chuva, o armazenamento de água, a redução da erosão pluvial, a redução do uso de máquinas e implementos agrícolas, redução do número de operações, diminuição da mão-de-obra e consequentemente, redução do custo de produção (SOUZA, 2009).

O sistema de PD foi desenvolvido com a finalidade de controlar a erosão do solo, pois com a cobertura vegetal, evita-se que o solo fique exposto à ação do sol e da chuva. No

entanto, segundo Assis (2002) e Lal, Logan e Fausey (1989, apud MARASCA, 2010) a reduzida operação de revolvimento do solo ocasiona no aumento da compactação do solo, principalmente em superfície, representando um obstáculo para o desenvolvimento das culturas, podendo acarretar na redução da produtividade.

Segundo Veiga, Reichert e Reinert (2009) no sistema de PD com palhada na superfície do solo ocorre a formação de uma camada superficial com maior resistência à compressão, em função do tráfego de máquinas e equipamentos e do não revolvimento do solo, possibilitando dessa forma, o tráfego sem que a compactação seja propagada para camadas inferiores, visto que a pressão aplicada na superfície se distribui no perfil do solo de forma radial, e a profundidade de dissipação dessa pressão é inversamente proporcional à resistência do solo. Dessa forma, no sistema de PD a pressão aplicada se dissipa nas camadas superficiais, enquanto que em sistemas que envolvem o revolvimento do solo, as pressões se aprofundam em função da menor resistência da camada superficial.

3.4 Impacto da compactação do solo sobre as plantas

A compactação do solo tem vários efeitos que podem ter influência sobre a produção agrícola como, redução da retenção de água, da aeração do solo, do crescimento radicular por impedimento mecânico e consequentemente a redução da taxa de absorção de água e nutrientes, causando declínio de produtividade (BEUTLER, 2003).

É importante garantir que a resistência à penetração não seja restritiva ao crescimento radicular, pois segundo Beutler *et al.* (2006) a resistência do solo à penetração pode reduzir a produtividade das culturas, uma vez que a presença de estruturas compactadas diminui a exploração do sistema radicular (BEUTLER; CENTURION, 2004).

Collares *et al.* (2008) verificaram em seu estudo que o crescimento radicular e a área foliar do feijoeiro foram afetados pela compactação adicional, refletindo-se em redução da produtividade. Resultados semelhantes foram obtidos por Freddi *et al.* (2007) onde observaram que as restrições físicas resultantes da compactação do solo provocaram alterações na morfologia do sistema radicular do milho, reduzindo sua produtividade.

3.5 Fatores envolvidos na compactação do solo

O tráfego de máquinas agrícolas não é a única causa da compactação do solo, fatores intrínsecos às características químicas, físicas e mecânicas, tais como: matéria orgânica,

umidade, densidade, textura, porosidade e estrutura, também podem contribuir para os efeitos da desestruturação e compactação do solo.

3.5.1 Matéria Orgânica

O teor de matéria orgânica (MO) é considerado um dos principais fatores responsáveis pela manutenção das condições físicas do solo e seu acúmulo no solo está associado à susceptibilidade do solo à compactação (BRAIDA *et al.*, 2010). O uso de coberturas vegetais que venham a promover a manutenção e o aumento de MO no solo é um aspecto fundamental contra o processo de compactação (MARTINS *et al.*, 2010).

Segundo Soane (1990), conforme citado por Richart *et al.* (2005), a MO pode influenciar na força de união entre partículas e entre agregados, na elasticidade do solo, no efeito de diluição, no efeito de cargas elétricas, no efeito na fricção, entre outros. No entanto, a estabilidade dos agregados é o fator determinante na susceptibilidade do solo à compactação.

Wendling *et al.* (2005) verificaram em seu estudo que o teor de carbono orgânico (CO) apresenta boa correlação com os índices de estabilidade de agregados, indicando que para maiores valores de CO tem-se maior estabilidade de agregados. Já Silva, Cabeda e Carvalho (2005) observaram em seu experimento a tendência de ocorrer o aumento do limite de plasticidade em função do teor de carbono orgânico total do solo. Por fim, Braida *et al.* (2008) verificaram que acréscimos no teor de CO resultam em aumento da elasticidade do solo.

3.5.2 Umidade do Solo

A umidade do solo é um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento de plantas, influenciando na resistência do solo à penetração ou interferindo nas trocas gasosas. Em condições de alta umidade do solo, a aeração do solo pode ser comprometida, prejudicando dessa forma, as trocas gasosas e consequentemente a respiração das raízes das plantas, por outro lado, em condições de solo seco, o crescimento radicular pode ser restringido devido à alta resistência oferecida pelas camadas compactadas (KAISER *et al.*, 2009).

O conteúdo de água tem grande influência na redução e redistribuição do espaço poroso, no momento em que o solo é comprimido. Solos secos são mais resistentes a

mudanças na sua porosidade e essa resistência é reduzida com o aumento do teor de água. Se o teor de umidade aumenta, a resistência à compactação diminui, devido à maior lubrificação das partículas que permite o seu deslocamento, promovendo o rearranjo estrutural (SILVA FILHO, 2015).

De acordo com Silva e Cabeda (2006) os parâmetros de compressibilidade são influenciados pelo conteúdo de água do solo, verificando-se que, à medida que aumenta a umidade do solo, diminui os valores da pressão de pré-compressão e ocorre o aumento do índice de compressão do solo, indicando menor capacidade de suporte de carga e maior compressibilidade do solo.

3.5.3 Densidade do Solo

A densidade do solo (D_s) pode ser definida como a relação existente entre a massa seca de uma amostra de solo e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e poros; e depende da natureza, das dimensões e da forma como as partículas do solo se encontram dispostas. A D_s é uma das características mais afetadas pelo manejo antrópico, em linhas gerais, o manejo incorreto do solo pode provocar a compactação, alterando a estruturação e a densidade do solo (SANTANA, 2009).

Segundo Tormena *et al.* (2002) os sistemas de preparo do solo promovem modificações nas propriedades físicas como a agregação do solo, a densidade e a porosidade do solo. Mantovani (1987) e Santana (2009) relacionam a compactação do solo com atributos como porosidade, densidade do solo e resistência à penetração, afirmando que com o aumento da D_s , ocorre o aumento da resistência do solo à penetração, indicando um estado de compactação, onde ocorre a limitação do desenvolvimento do sistema radicular.

Collares *et al.* (2006) verificaram em seu estudo que a resistência à penetração é o fator que mais afeta o crescimento radicular das plantas e consequentemente a produtividade do feijoeiro. Beutler *et al.* (2004) chegaram a mesma conclusão ao estudar a produtividade do arroz de sequeiro em função da densidade e respectiva resistência à penetração. Por fim, Beutler e Centurion (2004) também perceberam que o decréscimo da densidade radicular em função da resistência à penetração provoca a redução na produtividade da soja.

3.5.4 Textura do Solo

A textura do solo representa a porção mineral que compõe o solo e é definida pela proporção relativa das classes de tamanho de partículas de um solo (REINERT & REICHERT, 2006). Para Reinert e Reichert (2006) o uso e o manejo do solo dificilmente afetarão sua textura, dessa forma, as variações da qualidade física do solo estão relacionadas à variação de outras propriedades físicas como porosidade, densidade e resistência a penetração.

A textura do solo interfere nos valores de resistência à penetração e em conjunto com o teor de água presente no solo é um aspecto fundamental para a determinação dos valores de resistência à penetração (SANTANA, 2009). Sua relação com processo de compactação surge no momento de aplicação de pressões no solo oriundas de máquinas e equipamentos, que provoca um novo rearranjo estrutural das partículas em função do seu tamanho e de sua forma geométrica, diminuindo o volume de espaços vazios do solo, incrementando a densidade e a resistência à penetração e consequentemente, aumentando a compactação (RICHART *et al.*, 2005; REINERT & REICHERT, 2006).

Lima, Léon e Silva (2013), estudando a resistência a penetração de solos de três classes texturais (textura muito argilosa, areia franca e franco-argilo-arenosa), não encontraram diferenças significativas para os valores de resistência a penetração do solo com textura muito argilosa e o solo com textura areia franca. No entanto, apresentaram diferença significativa com relação aos do solo de textura franco-argilo-arenosa, apresentando maior média de resistência à penetração. Segundo Araújo (2004), a argila apresenta propriedade cimentante e ao combinar-se com a fração areia, promove a formação de agregados secundários, provocando a formação de camadas compactadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Cavalieri *et al.* (2009), que verificaram maior concentração da resistência à penetração nas camadas a partir de 0,1 m de profundidade em solos de textura franco-argilo-arenosa, sob tráfego de máquinas agrícolas.

3.5.5 Porosidade do Solo

A porosidade de um solo é definida pelo o volume de vazios que o compõe. Representa a relação entre a proporção de espaços que podem ser ocupados por líquidos e ar em relação ao espaço ocupado pela massa de solo. A porosidade total é composta por um emaranhado de capilares de diferentes formas e tamanhos, sendo dividida em macroporos e microporos (SANTANA, 2009).

Segundo Aguiar (2008) a porosidade está diretamente relacionada ao manejo do solo, sendo possível observar a redução dos poros de maior diâmetro em função do uso do solo, ocorrendo a quebra de agregados e rearranjo das partículas. Esta redução do espaço poroso está relacionada com a compactação, que tem como característica a perda de porosidade; e tem grande influência na capacidade do solo em reter água (SANTANA, 2009).

As pressões exercidas pelo tráfego de máquinas e pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam o aumento da densidade em função da profundidade do perfil, devido a movimentação de material fino nos horizontes superiores para inferiores, caracterizando a perda do espaço poroso que indica um estado de compactação (SANTANA, 2009).

Segundo Stone, Guimarães e Moreira (2002) o aumento da densidade do solo reduz o tamanho dos poros interferindo no fluxo de água e na condutividade hidráulica, além de provocar o aumento da resistência do solo à penetração. Lima *et al.* (2007) ao avaliarem a produtividade de forragem do milho outonal em relação á porosidade total do solo, verificaram que o incremento da porosidade total promove a melhora da produtividade em virtude da melhora da aeração das raízes e absorção radicular.

3.5.6 Estrutura do Solo

A estrutura do solo é definida pelo agrupamento e organização das partículas do solo (das frações argila, silte e areia) em agregados e relaciona-se com a distribuição das partículas e agregados num volume de solo (RICHART *et al.*, 2005; REINERT & REICHERT, 2006).

A estrutura do solo não é propriamente dita um fator de crescimento das plantas ou sequer indicativo da qualidade física do solo. No entanto, está relacionada ao suprimento de água, aeração, disponibilidade de nutrientes, atividade microbiana e a penetração de raízes, dentre outros (REINERT & REICHERT, 2006). O uso agrícola do solo pode provocar alterações negativas em sua estrutura, contribuindo para o aumento da resistência do solo a penetração (AGUIAR, 2008).

Segundo Richart *et al.* (2005) a modificação da estrutura do solo provoca a limitação na adsorção e absorção de nutrientes, restrição na infiltração e na distribuição de água, resultando em problemas no estabelecimento e no crescimento das raízes. Barbosa, Tavares Filho e Fonseca (2002) verificaram a degradação da estrutura do solo em função da compactação, onde a destruição dos macroagregados limita o crescimento de raízes e diminui o volume de solo explorado pelo sistema radicular.

3.6 Compressibilidade do Solo

A compressibilidade do solo é uma propriedade comumente utilizada para avaliar o estado de compactação do solo, pois é definida pela facilidade com que o solo diminui de volume quando submetido a uma carga mecânica (LIMA, 2004; RICHART *et al.*, 2005).

Segundo Gupta e Allmaras (1987), conforme citado por Lima (2004), a compressibilidade é um termo amplo que compreende os conceitos de consolidação e compactação do solo. A consolidação refere-se à compressão de solos saturados enquanto que a compactação refere-se à compressão de solos não saturados.

Propriedades relativas ao comportamento compressivo do solo como índice de compressão e pressão de pré-compressão, são obtidas a partir da análise das curvas de compressão que são representadas graficamente pela relação entre o logaritmo da pressão aplicada e a densidade do solo ou o índice de vazios (LIMA, 2004; RICHART *et al.*, 2005).

3.7 Indicadores de capacidade de suporte de carga

A capacidade de suporte de carga (C_{sc}) do solo é definida como sendo a pressão máxima que o solo é capaz de suportar sem que ocorra compactação adicional (DIAS JÚNIOR, 2000; FREITAS, 2015). Este limite de suporte de pressão recebe o nome de pressão de pré-compressão (P_{pc}) e está diretamente relacionada ao conteúdo de água no solo, de forma que à medida que ocorre acréscimo da umidade no solo a P_{pc} tende a diminuir, indicando a redução na capacidade de suporte de carga (MARTINS, 2010; FREITAS, 2015). A redução da C_{sc} reflete-se no índice de compressão do solo que representa a suscetibilidade que o solo tem à compactação, onde quanto menor a capacidade de suporte de carga, maior será o índice de compressão (SUZUKI *et al.*, 2008).

3.7.1 Índice de Compressão

O índice de compressão é definido com um indicativo de suscetibilidade do solo à compactação, sendo determinado pela inclinação da reta de compressão virgem. Dessa forma, quanto maior for a inclinação da reta, maior será o índice de compressão, indicando maior suscetibilidade à compactação (LIMA, 2004).

Macedo, Silva e Cabeda (2010), objetivando estudar o comportamento compressivo de um Latossolo vermelho que sofreu preparo intensivo durante dez anos, verificaram que o solo

fisicamente recuperado – aquele que teve sua camada compactada rompida por aração – mostrou-se mais compressível, apresentando maior índice de compressão em relação ao solo fisicamente degradado – compactado. Consequentemente, o solo fisicamente degradado apresentou os maiores valores de pressão de pré-compressão em relação ao solo recuperado, visto que o solo degradado já se encontrava numa condição de compactação e dessa forma apresentava maior resistência a penetração e consequente maior pressão de pré-compressão.

3.7.2 Pressão de Pré-compressão

A pressão de pré-compressão (Ppc), como mencionado anteriormente, é definida pela pressão máxima que o solo suporta antes que ocorra compactação adicional e representa a estimativa da capacidade de suporte de carga (LIMA, 2004; RICHART *et al.*, 2005). Dessa forma, quando a força aplicada ao solo exceder o valor da Ppc ocorre deformações plásticas e irreversíveis, caracterizando a compactação (LIMA, 2004).

Rosa *et al.* (2011), ao avaliarem os métodos de determinação da tensão de pré-consolidação num Argissolo Vermelho-Amarelo, verificaram que ao submeter o solo a uma pressão aplicada, durante o tráfego, superior à capacidade de suporte de carga ocorria o declínio da macroporosidade e da porosidade total atestando o estado de compactação da camada em estudo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (UFERSA), distrito de Lagoinha, zona rural de Mossoró, RN, com coordenadas geográficas 5°03'33.5"S 37°23'59.5"W. O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura arenosa. O solo dessa área vem sendo objeto de estudo em projetos de pesquisa que buscam avaliar o efeito da interação solo-máquina sobre o comportamento compressivo do solo.



Figura 1 – Imagem de satélite da área experimental localizada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (Lagoinha, Mossoró RN)
Fonte: Google Maps, 2019.

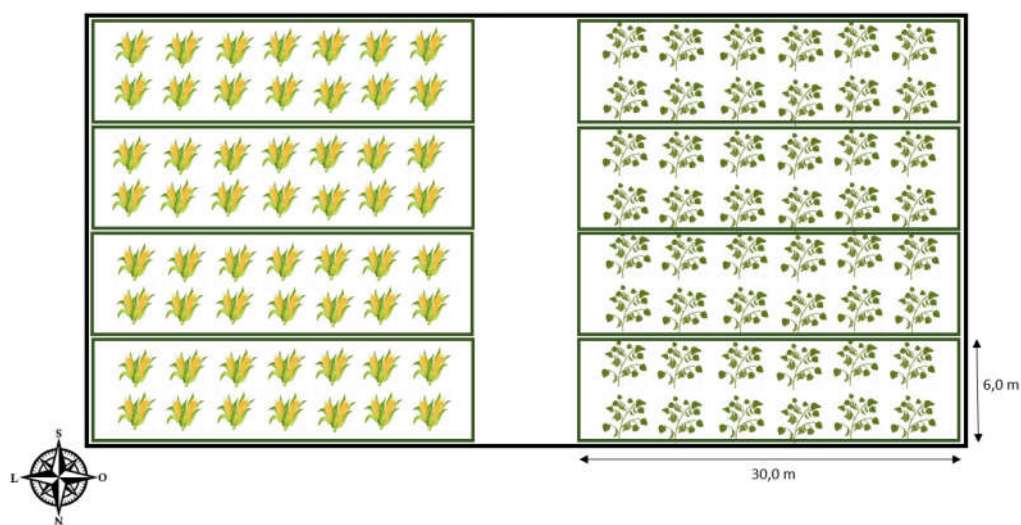


Figura 2 – Esquema da área experimental
Fonte: Autoria própria, 2019.

A área experimental foi dividida em duas parcelas, cada parcela foi subdividida em 4 blocos com dimensões de 30m x 6m, (Figura 1 e 2), onde se utilizou os seguintes tratamentos: cobertura vegetal da palhada de feijão sob sistema de cultivo mínimo (CFCM) e cobertura vegetal da palhada de milho sob sistema de plantio direto (CMPD) realizando a rotação de culturas. Ao final do ciclo das culturas foi realizado o manejo da cobertura vegetal utilizando o rotocultivador - triton acoplado a um Trator John Deere 6110 J, com potência de 110 cv (Figura 3).



Figura 3 – A) Manejo da cobertura vegetal do feijão. B) Manejo da cobertura vegetal do milho.
Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Para a estimativa da quantidade de cobertura vegetal presente no solo, foram realizadas coletas de amostras de matéria seca (MS) após a secagem natural dos restos culturais. Foi utilizado o “Método do quadrado”, para realizar a amostragem direta da MS presente na superfície do solo. Esta técnica consiste de utilizar uma moldura de madeira com dimensões de 0,50m x 0,50m que é arremessada aleatoriamente dentro da área em estudo e a MS que fica dentro dos limites dessa moldura é coletada (Figura 4). As amostras de MS foram empacotadas, etiquetadas e encaminhadas para o Laboratório de Dinâmica da Interação Solo-Máquina da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), para pesagem.

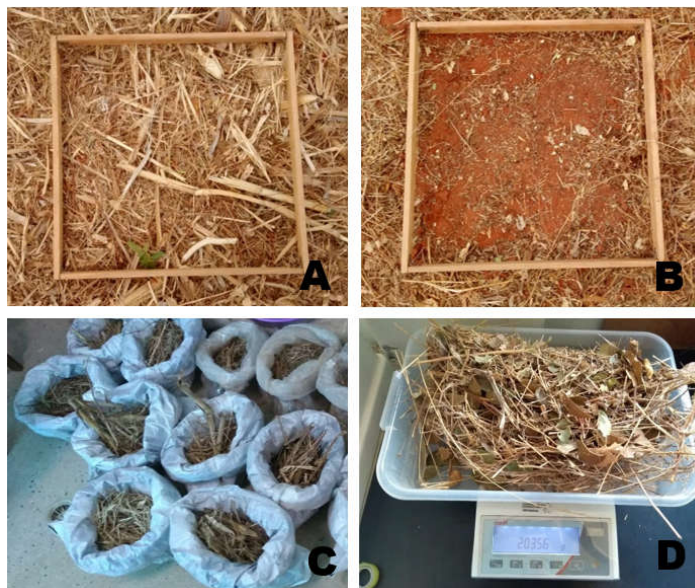


Figura 4 – Método do quadrado (amostragem direta). A) Moldura lançada na superfície do solo. B) Coleta de toda matéria seca dentro dos limites da moldura. C) Matéria seca coletada, empacotada e etiquetada. D) Pesagem da matéria seca em laboratório.
Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Para a determinação do teor de carbono orgânico e nitrogênio presente em 3 profundidades (aproximadamente 5, 10 e 20 cm) foram coletadas amostras deformadas de solo e encaminhadas para o Laboratório de Solos da UFERSA onde se procedeu a análise (Figura 5).



Figura 5 – Determinação do teor de carbono orgânico e nitrogênio no solo. A) Amostras deformadas. B) Determinação do teor de carbono orgânico. C) Determinação do teor de nitrogênio.
Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Para a determinação do teor de matéria orgânica foi utilizado um fator multiplicativo. Os valores de carbono orgânico foram multiplicados por 1,742, obtendo-se dessa forma o teor de matéria orgânica das amostras.

Foram coletadas amostras não deformadas, com o auxílio de anéis volumétricos com as seguintes dimensões: 7,0 cm de diâmetro e 2,4 cm de altura (Figura 6). As amostras tiveram origem em 3 camadas diferentes do solo, de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em seguida, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Dinâmica da Interação Solo-Máquina para análise dos parâmetros físicos e mecânicos.



Figura 6 – Coleta de amostras não deformadas com auxílio de anel volumétrico
Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

A partir do método da secagem em estufa foi possível determinar a umidade das amostras. Neste método as amostras foram pesadas após a coleta, em seguida foram colocadas na estufa para secar à 105°C, durante 24 horas e após este período, foram pesadas novamente. De posse do valor das massas úmidas e secas das amostras foi possível calcular a umidade pela equação 1.

$$u = ((m_i - m_f) \div (m_f - m_c)) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

u – umidade (%)

m_i – massa inicial (massa úmida) (g)

m_f – massa final (massa seca) (g)

m_c – massa do cilindro/anel (g)

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, no qual partindo do conhecimento das dimensões do anel e em posse da massa seca das amostras, foi possível determinar este parâmetro pela equação 2.

$$D_s = M_s \div V_c \quad (2)$$

Na qual:

D_s – Densidade do solo (g/cm^3)

M_s – Massa seca (g)

V_c – Volume do cilindro/anel (cm^3)

A porosidade total das amostras foi determinada com base na densidade de partículas e densidade do solo e expressa em termos de índice de vazios total, por meio da equação 3.

$$n = (D_s \div D_p) - 1 \quad (3)$$

Onde:

n – Porosidade total (%)

D_s – Densidade do solo (g/cm^3)

D_p – Densidade de partícula (g/cm^3)

O índice de vazios estruturais foi obtido a partir da densidade de partículas, densidade do solo e densidade de agregados, este último foi obtido com base no teor de água. A equação 4 permitiu a obtenção do índice estrutural, sendo apresentada a seguir.

$$e = D_p \times (1 \div (D_s - D_a)) \quad (4)$$

Onde:

e – Índice de vazio estrutural (%)

D_p – Densidade de partículas (g/cm^3)

D_s – Densidade do solo (g/cm^3)

D_a – Densidade de agregados (cm^3)

Para a determinação das curvas de compressão secundárias e LCVs, as amostras não deformadas de cada camada foram submetidas ao ensaio oedométrico. Este ensaio consiste na aplicação de pressões cíclicas sequenciais, por meio do oedômetro. Foram aplicadas as pressões de 10, 25, 50, 75, 100, 200, 300, 450 e 600 kPa. As amostras foram submetidas a compressão durante um período de 30 segundos e tiveram um intervalo de 60 segundos para descompressão (relaxamento), sendo obtida as deformações de cada amostra de solo antes e depois da compressão (Figura 7).



Figura 7 – A) Amostra não deformada dentro da célula oedométrica. B) Oedômetro. C) Sistema de acionamento do oedômetro e leitura das deformações.

Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

Para cada camada em estudo, foram selecionadas amostras com umidade e densidade iguais ou muito próximas, para avaliar o comportamento compressivo do solo na condição de umidade e densidade fixa. Os parâmetros de índice de compressão do solo e pressão de pré-compressão do solo foram analisados em função do teor de água e da densidade do solo. Para descrever o comportamento compressivo do solo, os dados de: umidade, densidade, porosidade, índice de vazios estruturais, entre outros, foram plotados em planilha eletrônica (Excel).

O índice de vazios estruturais (I_v) foi relacionado com o logaritmo da pressão aplicada no oedômetro, obtendo-se dessa forma, as curvas de compressão secundárias (Ccs) e as linhas de compressão virgem (LCV), sendo representadas pela equação de uma reta linear. A Ccs era formada pelas três primeiras pressões (10, 25 e 50 kPa) e os três primeiros valores de I_v em função dessas pressões, enquanto que a LCV era formada pelas demais pressões (75, 100, 200, 300, 450, 600 kPa) e seus respectivos valores de I_v . Foram adicionadas as linhas de tendência para ambas as curvas, descrevendo o comportamento linear do I_v em função da pressão aplicada de acordo com o modelo proposto por Arvidsson & Keller (2004). Tendo conhecimento das curvas de compressão, foi possível determinar o índice de compressão (I_c) por meio do coeficiente angular da equação da LCV, e a pressão de pré-compressão (P_{pc}) por meio da igualdade entre as retas de compressão Ccs e VCL. Estes parâmetros (I_v e P_{pc}) foram utilizados como indicadores da capacidade de suporte de carga do solo e sua suscetibilidade a compactação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Matéria Seca

O rendimento de matéria seca (MS) mostrou relação com o tipo de cobertura vegetal utilizado. O feijão apresentou maior produção de MS quando comparada ao milho, sendo estimadas 10,96 e 8,5 t/há, respectivamente (Gráfico 1).

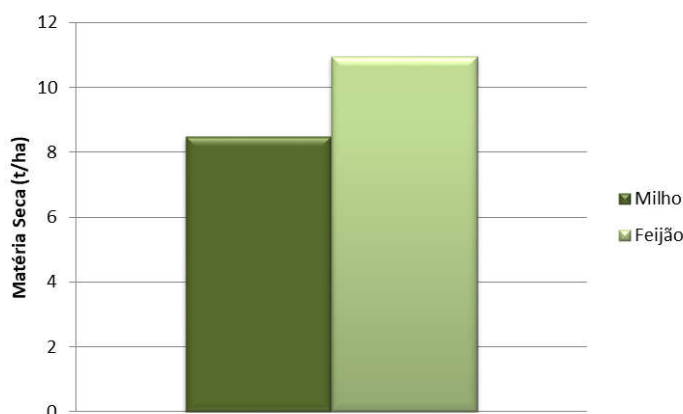


Gráfico 1: Estimativa da quantidade de matéria seca (MS) oriunda da cultura do milho e do feijão
Fonte: Autoria própria, 2019.

Segundo Schroeder *et al.* (2010), a cultura do milho produz maior quantidade de biomassa do que as culturas de soja e feijão, sendo este um resultado esperado devido às diferenças morfológicas das culturas. No entanto, o resultado obtido neste trabalho mostrou-se contraditório. Vários fatores que influenciam o crescimento das plantas podem ter culminado para este resultado, como luminosidade, temperatura, tipo da cultivar utilizada, qualidade da semente, competição com plantas invasoras, estresse hídrico, entre outros. Logo, se fazem necessários mais estudos para compreender os fatores que influenciam a produção de MS numa determinada área.

Verificou-se neste trabalho tendência observada por Derpsch, Sidiras e Heinzmann (1985) e Ferro (1991), na qual leguminosas cultivadas após uma gramínea para adubação verde tem desenvolvimento da biomassa favorecido, corroborando os resultados do experimento (Gráfico 1). Medeiros *et al.* (1984) observaram resultado similar em seu estudo, no qual as melhores produções de leguminosas foram obtidas após o cultivo de uma gramínea ou crucífera.

5.2 Matéria Orgânica

As Tabelas 1 e 2 apresentam os teores de carbono orgânico (CO), nitrogênio, relação carbono/nitrogênio (C/N) e os teores de matéria orgânica (MO) em diferentes camadas em função do sistema de cultivo adotado em cada parcela.

Tabela 1. Valores médios de Carbono, Nitrogênio, Relação C/N e MO em função da profundidade para o tratamento CMPD

Camada (cm)	Cobertura Milho (Plantio Direto)			
	Carbono (g/Kg)	Nitrogênio (g/Kg)	C/N	MO (g/Kg)
(0 – 5)	5,1725	0,24	21,54	8,92
(5 – 10)	4,6	0,41	11,22	7,93
(10 – 20)	0	0,27	0	0

Fonte: Autoria própria, 2019.

Tabela 2. Valores médios de Carbono, Nitrogênio, Relação C/N e MO em função da profundidade para o tratamento CFCM

Camada (cm)	Cobertura Feijão (Cultivo Mínimo)			
	Carbono (g/Kg)	Nitrogênio (g/Kg)	C/N	MO (g/Kg)
(0 – 5)	7,76	0,45	17,24	13,38
(5 – 10)	3,45	0,27	12,78	5,95
(10 – 20)	4,03	0,31	13,00	6,95

Fonte: Autoria própria, 2019.

Os dados tornaram possível observar a redução do teor de MO, determinado a partir do conteúdo de carbono orgânico do solo, em função da profundidade da camada. Essa condição foi consequência do tipo de manejo adotado em cada parcela. Na parcela onde se adotou o PD, observou-se que os maiores teores de MO encontravam-se nas camadas superficiais enquanto que na camada de 10 – 20 cm não foi encontrado carbono orgânico, isto pode ser explicado pela falta de material vegetal incorporado, o que foi resultado da ausência de revolvimento do solo que é característica deste tipo de manejo. Por outro lado, na parcela

onde foi adotado o CM, foi possível detectar MO na camada subsuperficial de 10 –20 cm, uma vez que neste tipo de manejo ocorre o mínimo revolvimento do solo incorporando material vegetal a este. Levando em consideração o conteúdo médio de carbono e nitrogênio das amostras, observou-se uma maior relação C/N nas camadas superficiais de 0-5 cm, sendo a cobertura de milho aquela que apresentou maior relação C/N, no entanto apresentou menor teor de MO comparado ao feijão. Cunha *et al.* (2011) afirmam que, além da quantidade de resíduos fornecidos pelas culturas de cobertura, o aumento da matéria orgânica depende também da qualidade desses resíduos, sobretudo no que se refere à relação C/N e de constituintes recalcitrantes à decomposição microbiana, como ligninas, ceras e compostos fenólicos de alto peso molecular. Possivelmente estes fatores influenciaram para que a contribuição de MO do milho fosse inferior à contribuição do feijão.

A matéria orgânica exerce importante influência na curva de compactação do solo, tanto devido ao seu poder de absorção de água, como também ao atribuir elasticidade ao solo, o que dificulta sua compactação (DIAS JÚNIOR, 2000). Pereira, Défossez e Richard (2007) e Silva, Cabeda e Carvalho (2006) observaram em seu estudo que a curva de compactação é influenciada por atributos como teor de argila, areia e matéria orgânica do solo. E de fato, outros autores também verificaram esta influência dos teores de matéria orgânica nos parâmetros de compactabilidade do solo (DIAS JUNIOR & MIRANDA, 2000; SILVA, REINERT & REICHERT, 2000; RICHART *et al.*, 2005; BRAIDA *et al.*, 2010).

Braida *et al.* (2010) observaram em seu estudo, que o aumento do teor de CO resultou em redução no coeficiente de compressibilidade do solo. A matéria orgânica estabelece e fortalece as ligações entre as partículas minerais, em função do seu elevado número de cargas superficiais e elevada área superficial específica, sendo assim, quanto maior o teor de MO, maior será a força e o número de ligações entre as partículas minerais, consequentemente maior será a resistência do solo à deformação.

5.3 Índice de Compressão e Pressão de Pré-compressão

As curvas de compressão do solo foram utilizadas para avaliar sua suscetibilidade a compactação. Para a determinação do índice de compressão do solo (I_c) e da pressão de pré-compressão (P_{pc}), as amostras foram analisadas em função da profundidade: num primeiro momento foi observada a influência da densidade do solo (D_s) sobre o I_c a um teor fixo de umidade (u), em outro momento foi observada a influência da umidade sobre o I_c a uma densidade fixa.

5.3.1 Camada de 0-5 cm

5.3.1.1 Umidade Fixa

Nos Gráficos 2 e 3, foi possível observar o comportamento do solo na camada de 0-5 cm, com o teor de água fixo e densidades variadas, quando submetido às pressões do oedometro. As linhas de compressão virgem (LCV) e secundárias apresentaram tendência a se tornarem paralelas indicando que a metodologia utilizada está correta, pois à medida que se eleva a pressão aplicada às amostras tem-se a redução do índice de vazios estruturais (I_v), resultante do aumento da D_s . Kondo e Dias Júnior (1999) obtiveram resultados semelhantes ao trabalhar com amostras de Latossolo vermelho-escuro, sendo observado o incremento da D_s ao se elevar a pressão aplicada, indicando o aumento da resistência mecânica do solo. Pereira *et al.* (2005), constaram comportamento semelhante das curvas de compressão de um Nitossolo vermelho distroférico, onde foi observado o declínio do I_v em função das pressões aplicadas.

Outro ponto observado foi que, nesta camada, para menores valores de D_s foram encontrados maiores valores de I_v , tanto para o tratamento Cobertura Feijão-Cultivo Mínimo (CFCM) quanto para o tratamento Cobertura Milho-Plantio Direto (CMPD), no entanto o tratamento CMPD apresentou valores de I_v imediatamente superiores ao tratamento CFCM, quando aplicada a pressão de 600 kPa, indicando que mesmo ao sofrer grandes compressões, o solo da camada de 0-5 cm com tratamento CMPD sofreu menor perda de porosidade.

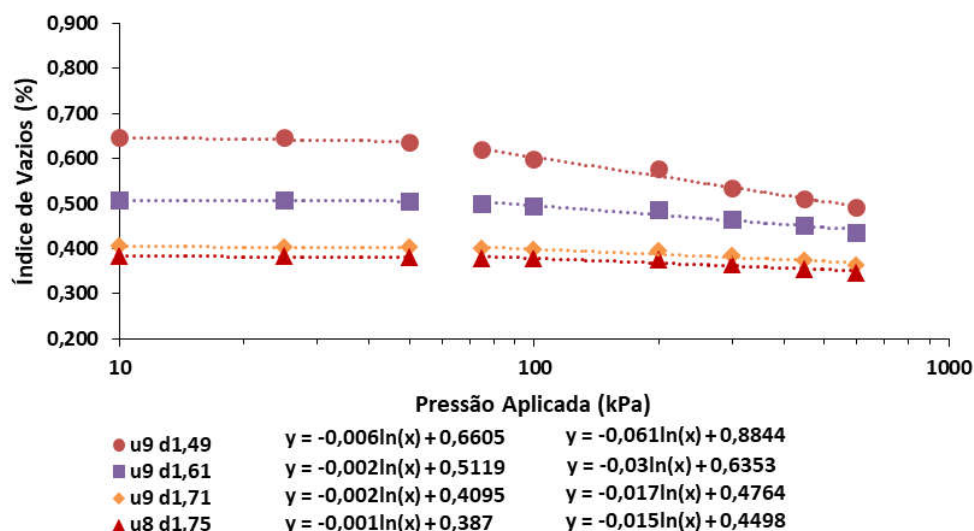


Gráfico 2: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e teor de água fixo, na camada de 0-5 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

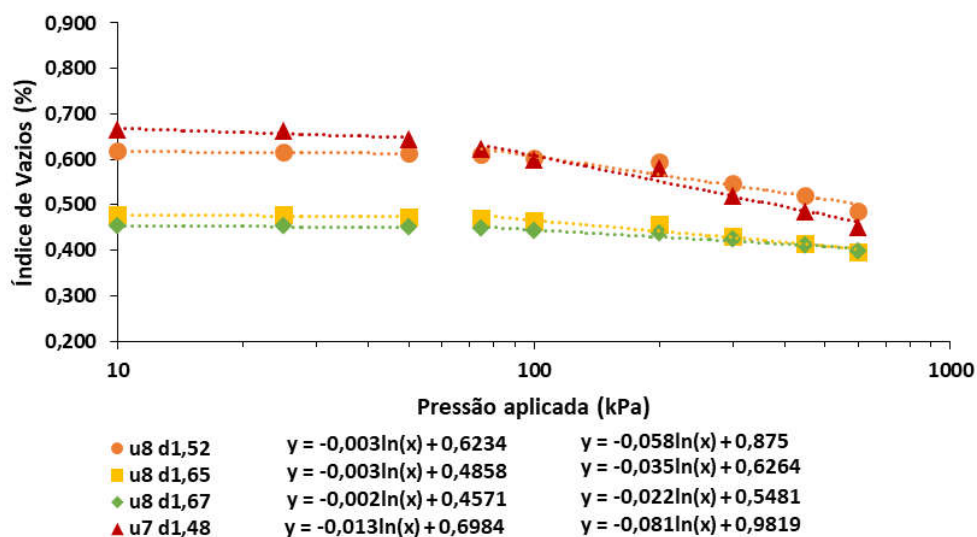


Gráfico 3: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e teor de água fixo, na camada de 0-5 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

A partir da inclinação das LCVs foram determinados os valores para I_c das amostras. No Gráfico 4, foi possível observar a variação do I_c em função da D_s a um teor de água fixo para cada tratamento. Os dados obtidos mostraram uma correlação negativa de 97% tanto para o tratamento CFCM, quanto para o tratamento CMPD, ou seja, quando ocorre um incremento da D_s há a redução do I_c e quanto menor este, maior torna-se a resistência mecânica do solo à compressão.

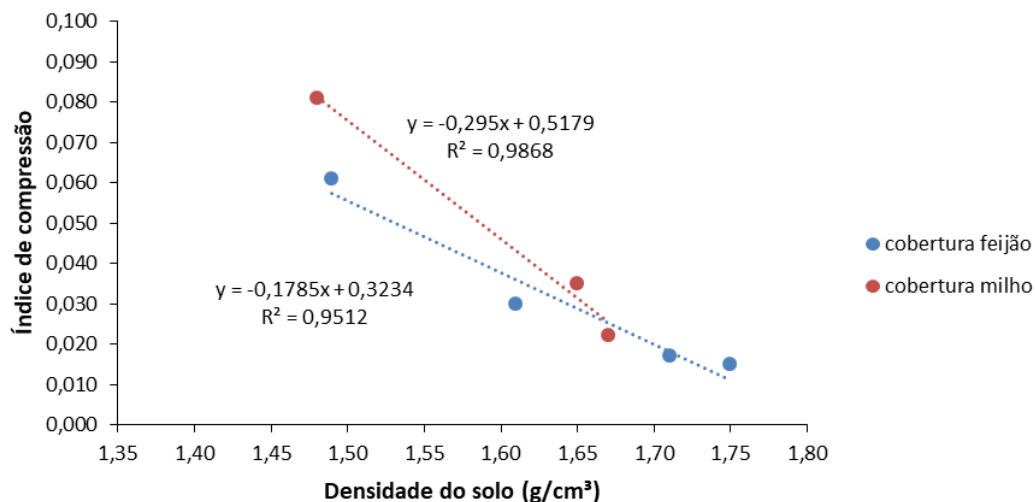


Gráfico 4: Índice de compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 0-5 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

A P_{pc} é definida pela interseção da LCV com a reta secundária, indicando o ponto exato onde o solo passa a sofrer deformações permanentes. Os valores destas pressões foram obtidos a partir da igualdade entre as equações das retas secundárias e LCVs. O Gráfico 5 apresenta uma correlação positiva entre a D_s e a P_{pc} , indicando que para maiores valores de D_s tem-se maiores valores de pressão. Nesta camada, o tratamento CMPD apresentou valores superiores de P_{pc} quando comparado ao tratamento CFCM. Altos valores de P_{pc} indicam que o solo possui boa capacidade de suporte de carga e mais dificilmente sofrerá compactação.

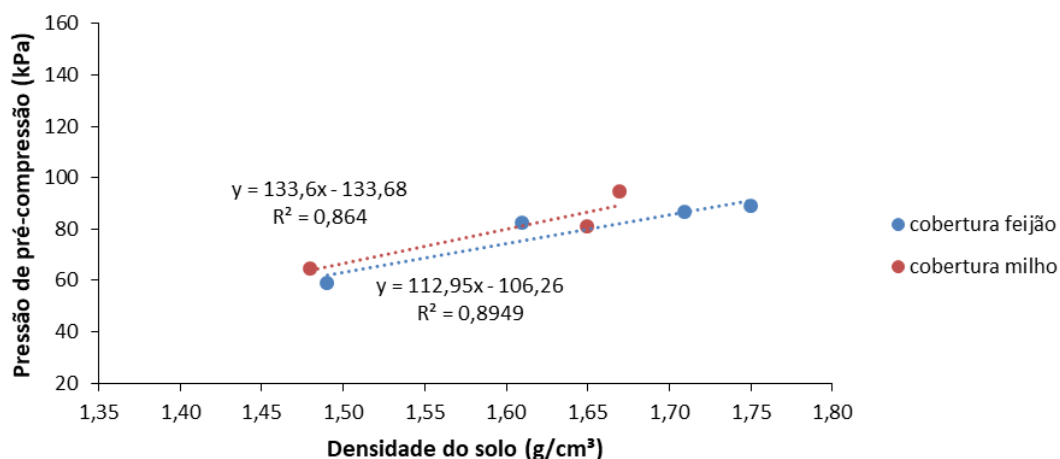


Gráfico 5: Pressão de pré-compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 0-5 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3.1.2 Densidade Fixa

Nos Gráficos 6 e 7, foi possível observar o comportamento do solo na camada de 0-5 cm, com densidade fixa e teores de água variados, quando submetido às pressões do oedômetro. Assim como nos gráficos 2 e 3, as amostras com densidade fixa apresentaram o mesmo comportamento, variação do I_v em função das pressões aplicadas. No entanto, neste caso, foi possível observar o efeito da variação de umidade sobre a compressibilidade do solo. Os dados obtidos mostraram que para maiores valores de u foram encontrados menores valores de I_v , tanto para o tratamento CFCM quanto para o tratamento CMPD, no entanto, o tratamento CMPD apresentou melhores resultados quando comparado ao tratamento CFCM, pois a redução do I_v foi pequena quando variado o teor de água. A redução do I_v com o aumento do teor de água e da pressão aplicada seguiu o mesmo comportamento observado nos trabalhos de Larson, Gupta & Useche (1980); Etana, Comia & Håkansson (1997); e Pereira, Défossez & Richard (2007).

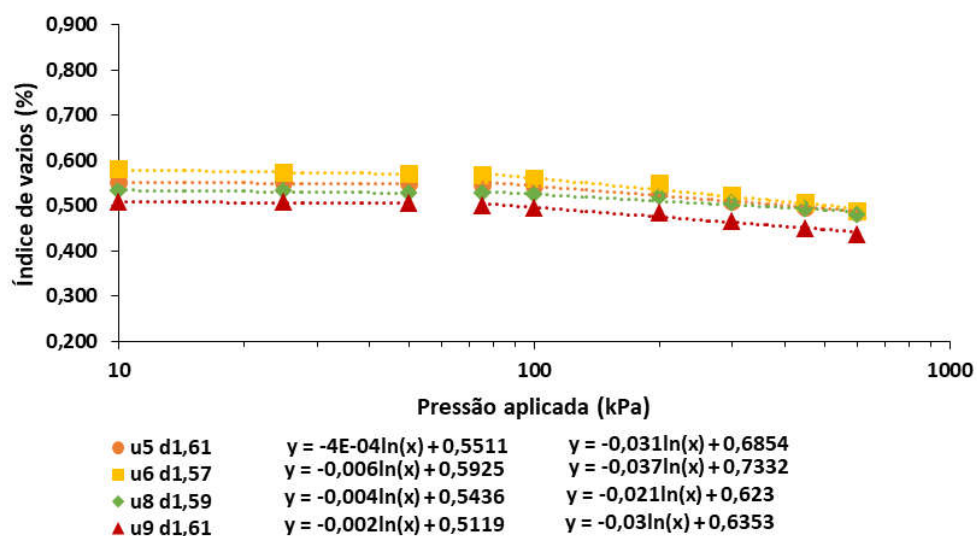


Gráfico 6: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e densidade do solo fixa, na camada de 0-5 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

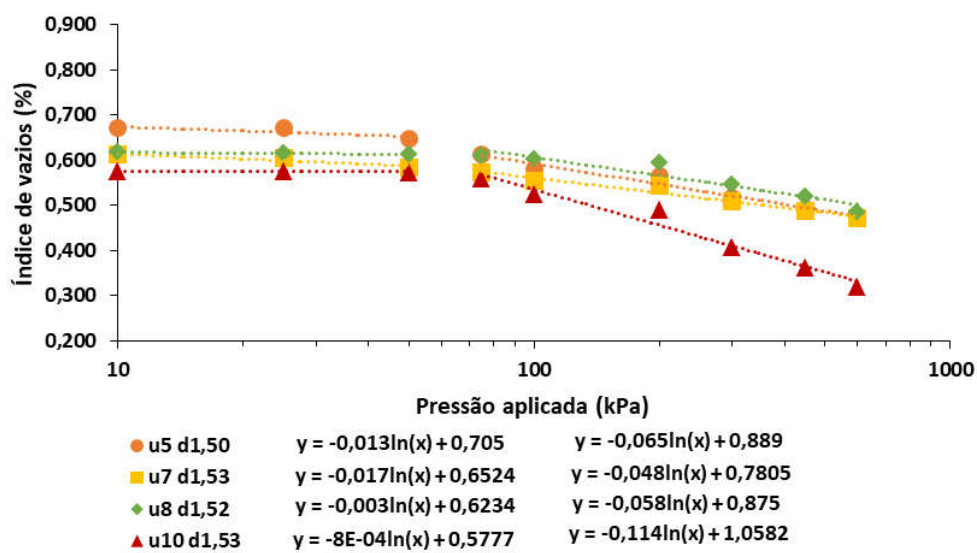


Gráfico 7: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento MPD e densidade do solo fixa, na camada de 0-5 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

No Gráfico 8, foi possível observar a variação do I_c em função do teor de água a uma densidade fixa para cada tratamento. Os resultados obtidos mostram que para o tratamento CMPD há uma tendência de ocorrer o aumento do I_c em função do teor de água, enquanto que no tratamento CFCM o teor de água praticamente não apresentou efeito sobre o I_c . Estes dados indicam que para o tratamento CMPD, à medida que se aumenta u , o solo torna-se mais compressível.

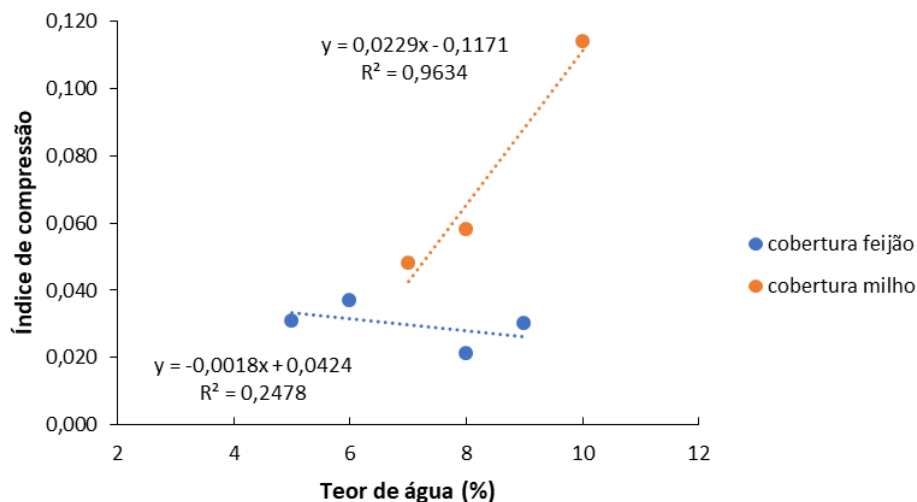


Gráfico 8: Índice de compressão em função do teor de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 0-5 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

O Gráfico 9, apresenta a variação da P_{pc} em função do teor de água. Os dados mostram uma correlação positiva de 93% para o tratamento CFCM e 90% para o tratamento CMPD, indicando que para maiores valores de u tem-se maiores valores de P_{pc} , o que representa boa capacidade de suporte de carga do solo. No entanto, a P_{pc} só aumenta até um determinado teor de água, após este ponto crítico a P_{pc} começa a declinar, indicando o aumento da suscetibilidade a compactação. O tratamento CFCM apresentou valores de P_{pc} superiores ao tratamento CMPD, indicando o efeito conjunto da MO e do teor de água sobre a compressibilidade do solo nesta camada.

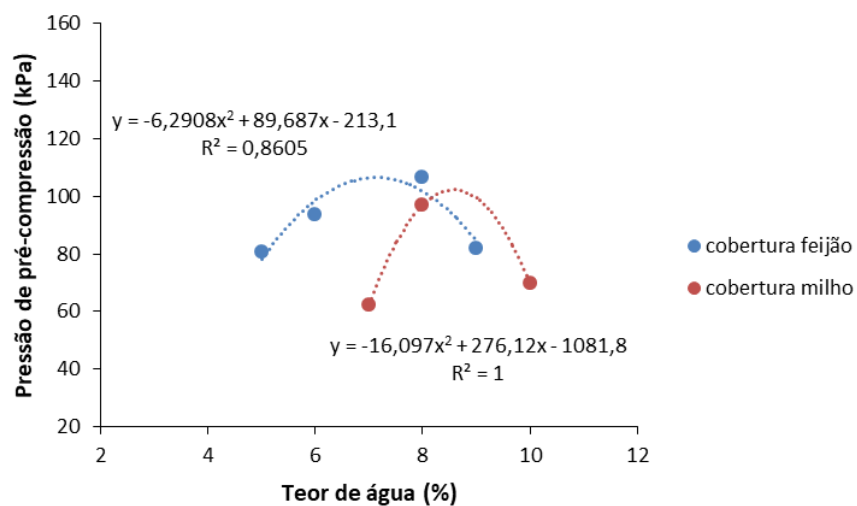


Gráfico 9: Pressão de pré-compressão em função do teor fixo de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 0-5 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3.2 Camada de 5-10 cm

5.3.2.1 Umidade Fixa

Nos Gráficos 10 e 11, foi possível observar o comportamento do solo na camada de 5-10 cm, com o teor de água fixo e densidades variadas, quando submetido às pressões do oedômetro. Seu comportamento se assemelhou aos gráficos anteriores, apresentando redução do I_v em função das pressões aplicadas. Assim como na camada de 0-5 cm à um teor de água fixo, o tratamento CMPD apresentou melhores resultados, com maiores valores de I_v quando comparado ao tratamento CFCM.

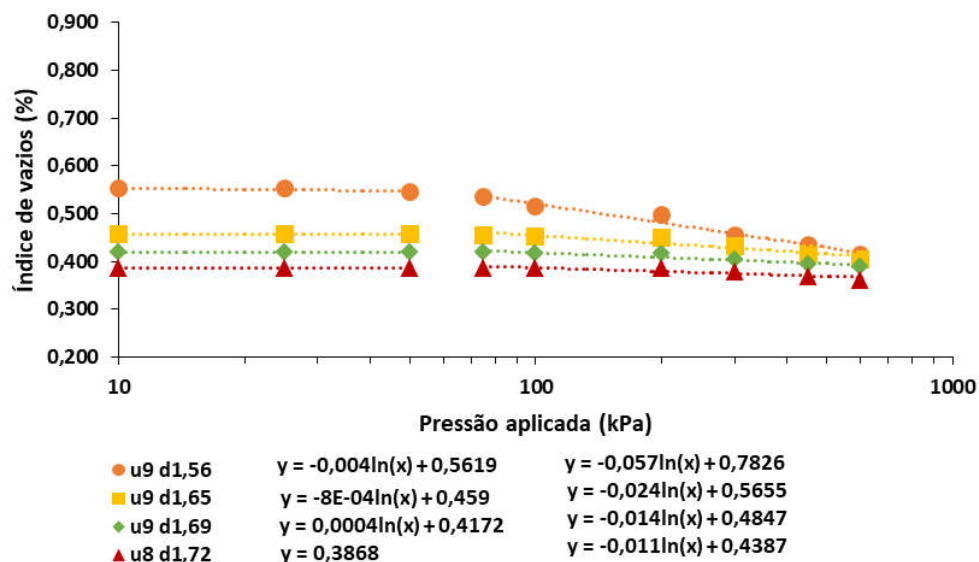


Gráfico 10: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e teor de água fixo, na camada de 5-10 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

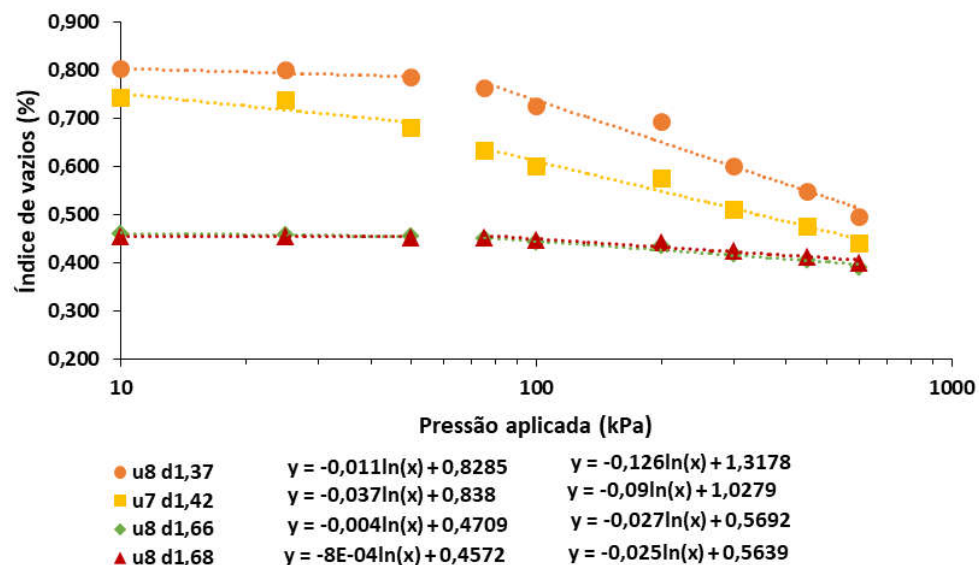


Gráfico 11: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e teor de água fixo, na camada de 5-10 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

No Gráfico 12, foi possível observar a variação do I_c em função da D_s a um teor de água fixo para cada tratamento. Os resultados obtidos mostraram uma correlação negativa de 98% tanto para o tratamento CFCM, quanto para o tratamento CMPD, ou seja, há a redução do I_c com o aumento da D_s e consequentemente torna-se maior a resistência mecânica do solo. No entanto, o tratamento CMPD apresentou maiores valores para o I_c , relevando que este solo possui maior suscetibilidade à compactação quando comparado ao solo do tratamento CFCM.

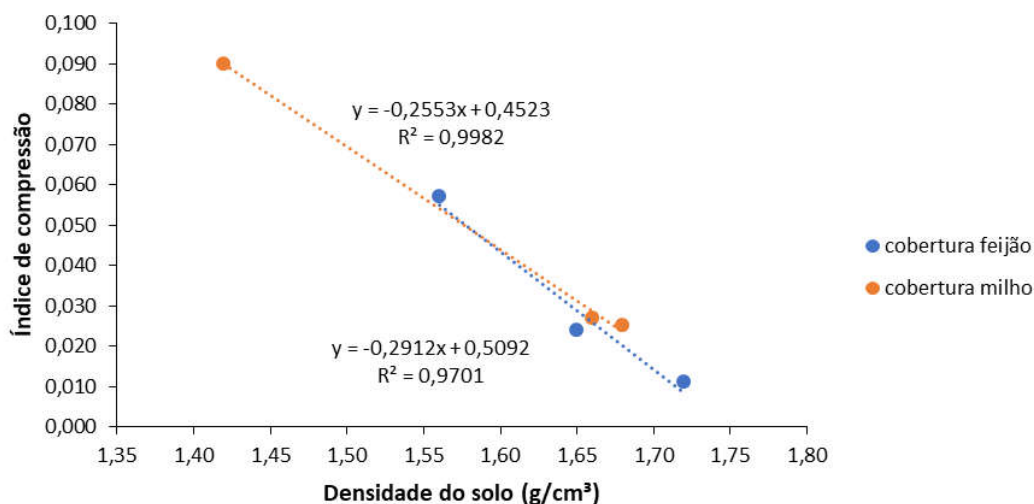


Gráfico 12: Índice de compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 5-10 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

O Gráfico 13, apresenta uma correlação positiva de 98% entre a D_s e a P_{pc} para o tratamento CFCM, indicando que para maiores valores de D_s tem-se maiores valores de pressão, seguindo o mesmo comportamento dos gráficos anteriores de P_{pc} para a camada de 0-5 cm. O tratamento CFCM apresentou valores superiores de P_{pc} quando comparado ao tratamento CMPD, comportamento contrário à camada 0-5 cm com umidade fixa, indicando que o solo desta camada possui maior resistência a compactação.

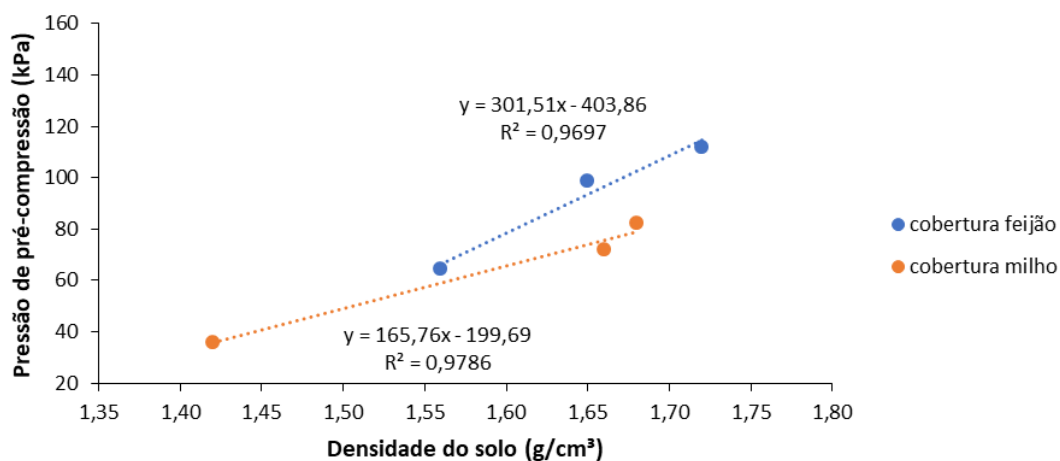


Gráfico 13: Pressão de pré-compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 5-10 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3.2.2 Densidade Fixa

Nos Gráficos 6 e 7, foi possível observar o comportamento do solo na camada de 5-10 cm, com densidade fixa e teores de água variados, quando submetido às pressões do oedômetro. Assim como nos gráficos anteriores de Iv, as amostras com densidade fixa apresentaram o mesmo comportamento, variando Iv em função das pressões aplicadas. Neste caso, foi possível observar o efeito da variação de umidade sobre a compressibilidade do solo, onde o tratamento CF apresentou maior variação de Iv em função dos teores de água, indicando que a umidade é um fator de grande relevância na estrutura do solo.

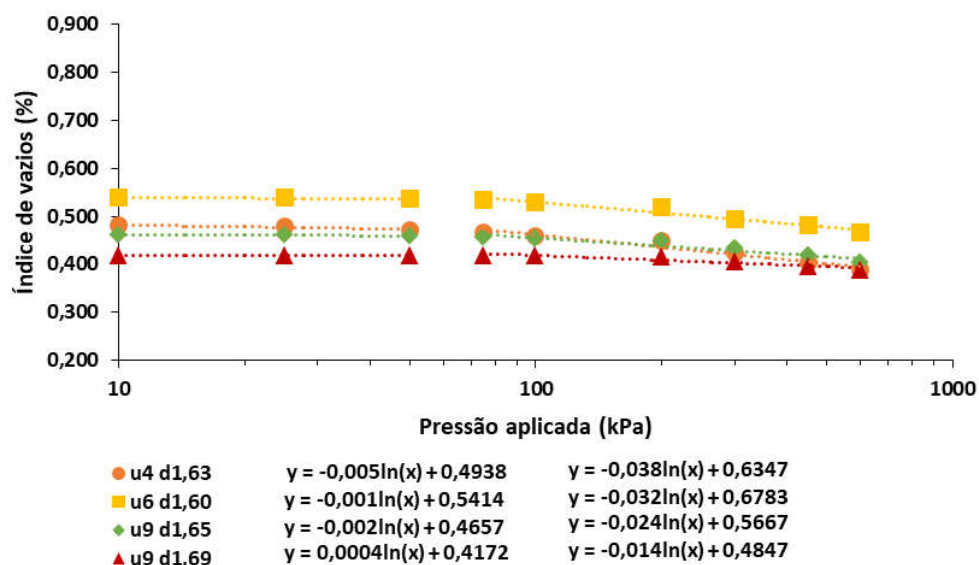


Gráfico 14: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e densidade do solo fixa, na camada de 5-10 cm

Fonte: Autoria própria, 2019.

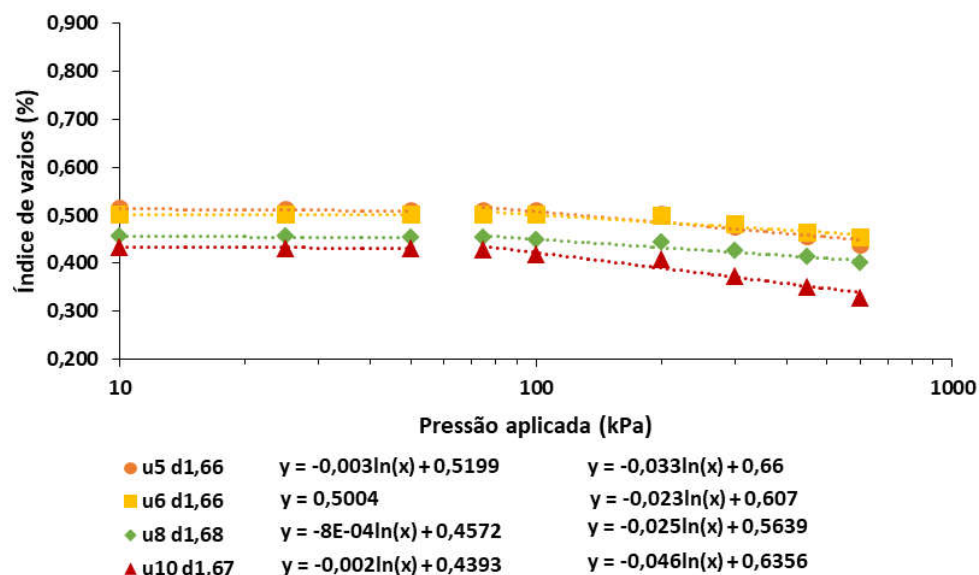


Gráfico 15: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e densidade do solo fixa, na camada de 5-10 cm

Fonte: Autoria própria, 2019.

No Gráfico 16, foi possível observar a variação do I_c em função do teor de água a uma densidade fixa para cada tratamento. Os dados obtidos mostraram que para o tratamento CMPD há uma tendência de ocorrer o aumento do I_c em função do teor de água, enquanto que no tratamento CFCM ocorre o oposto, onde o I_c decresce à medida que aumenta o teor de água. Estes dados indicam que para o tratamento CMPD, o solo torna-se mais compressível à medida que se aumenta a umidade, enquanto que para o tratamento CFCM o solo torna-se mais resistente à compressão.

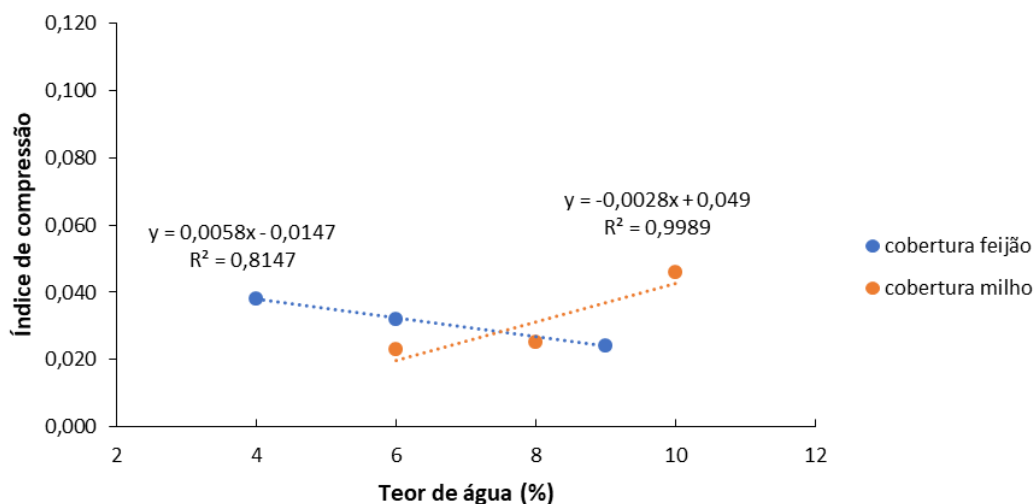


Gráfico 16: Índice de compressão em função do teor de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 5-10 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

O Gráfico 17, apresenta a variação da P_{pc} em função do teor de água para a camada de 5-10 cm. Os dados mostram uma correlação positiva de 99% para o tratamento CFCM, indicando que para maiores valores de u tem-se maiores valores de pressão, o que representa boa capacidade de suporte de carga do solo. Já no tratamento CMPD houve uma correlação negativa de 86% entre o teor de água e a P_{pc} , indicando maior susceptibilidade a compactação.

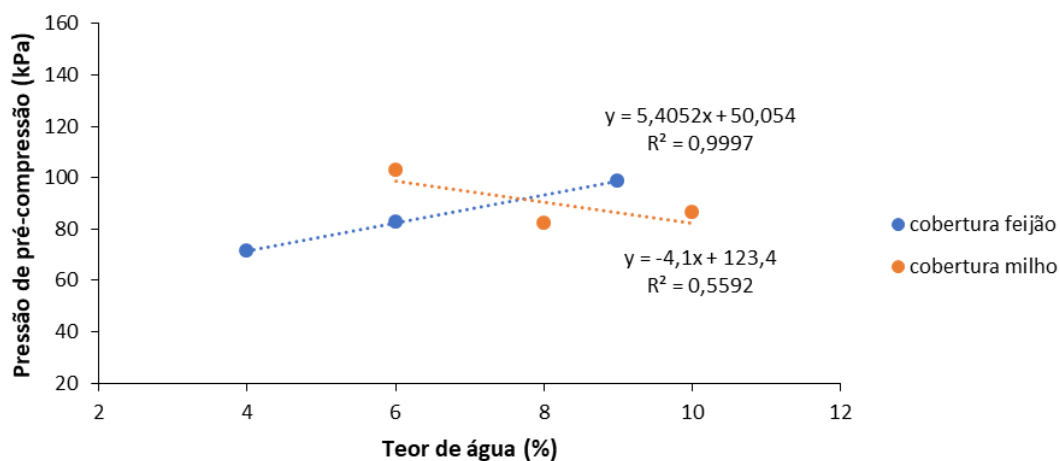


Gráfico 17: Pressão de pré-compressão em função do teor fixo de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 5-10 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3.3 Camada de 10-20 cm

5.3.3.1 Umidade Fixa

Nos Gráficos 18 e 19, foi possível observar o comportamento do solo na camada de 10-20 cm, com o teor de água fixo e densidades variadas, quando submetido às pressões do oedômetro. Seu comportamento se assemelhou aos gráficos anteriores, apresentando redução do I_v em função das pressões aplicadas. No entanto, os dados mostraram que a variação do I_v para o tratamento CFCM foi menor quando comparado ao tratamento CMPD, diferentemente do comportamento ocorrido nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Este resultado pode ser explicado pela presença de MO na camada de 10-20 cm da área que recebeu o tratamento CFCM, enquanto que o mesmo não ocorreu para a mesma profundidade da área que recebeu o tratamento CMPD (Tabela 2).

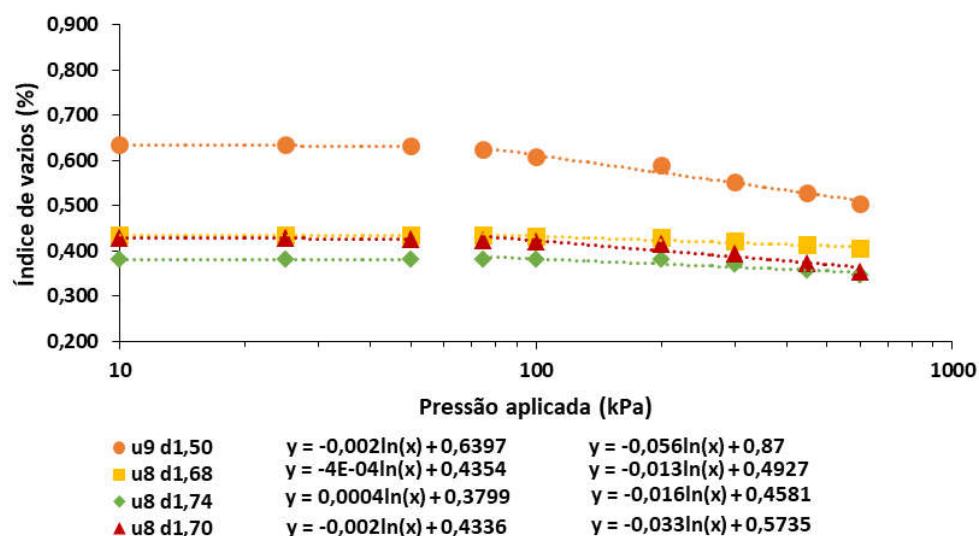


Gráfico 18: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e teor de água fixo, na camada de 10-20 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

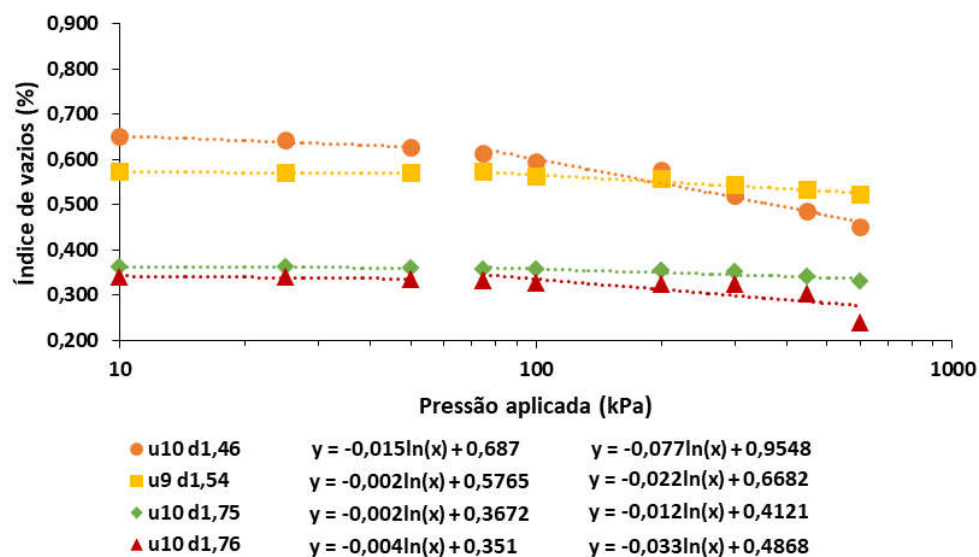


Gráfico 19: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e teor de água fixo, na camada de 10-20 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

No Gráfico 20, foi possível observar a variação do I_c em função da D_s a um teor de água fixo para cada tratamento. Os dados obtidos mostraram uma correlação negativa tanto para o tratamento CFCM, quanto para o tratamento CMPD, ou seja, há a redução do I_c com o aumento da D_s , sendo o tratamento CMPD aquele que apresentou maiores valores médios para o I_c , relevando que este solo possui maior suscetibilidade à compactação quando comparado ao solo que recebeu o tratamento CFCM.

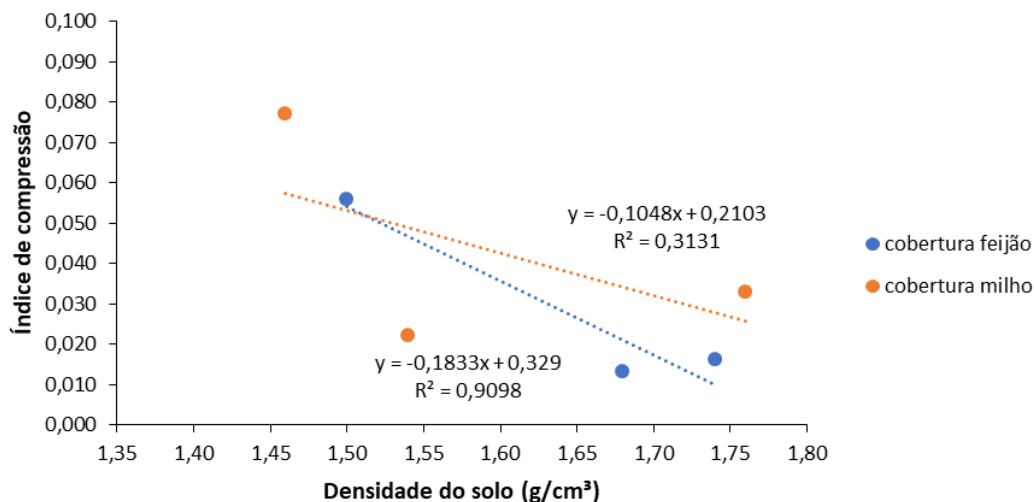


Gráfico 20: Índice de compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 10-20 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

O Gráfico 21, apresenta uma correlação positiva entre a D_s e a P_{pc} para ambos os tratamentos, indicando que para maiores valores de D_s tem-se maiores valores de pressão, seguindo o mesmo comportamento dos gráficos anteriores de P_{pc} para as camadas de 0-5 e 5-10 cm. O tratamento CFCM apresentou valores superiores de P_{pc} quando comparado ao tratamento CMPD, indicando que o solo desta camada possui maior resistência a compactação.

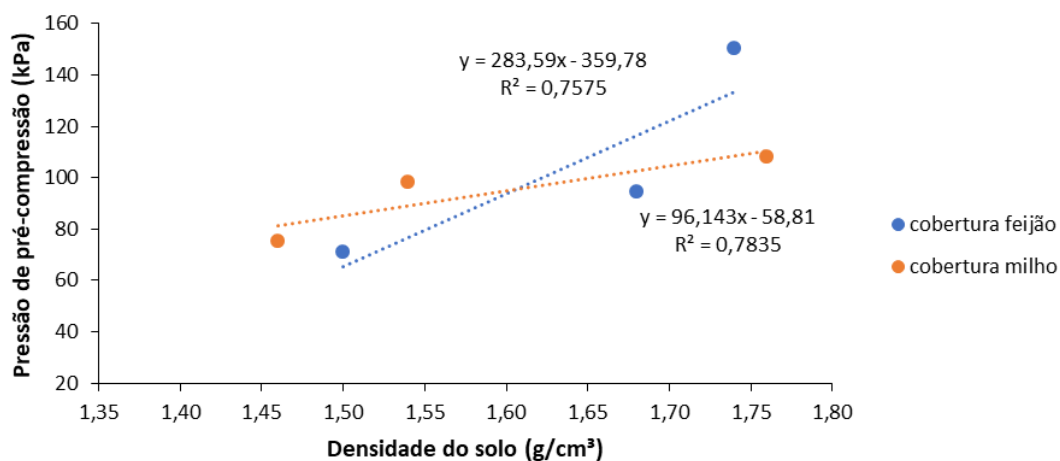


Gráfico 21: Pressão de pré-compressão em função da densidade do solo à um teor fixo de água em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 10-20 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3.3.2 Densidade Fixa

Nos Gráficos 22 e 23, foi possível observar o comportamento do solo na camada de 10-20 cm, com densidade fixa e teores de água variados, quando submetido às pressões do oedômetro. Assim como nos gráficos anteriores de Iv, as amostras com densidade fixa apresentaram o mesmo comportamento, variando o Iv em função das pressões aplicadas. Neste caso, o tratamento CFCM apresentou maior variação de Iv em função dos teores de água, indicando que a umidade em conjunto com o teor de MO é um fator de grande relevância comportamento dinâmico do solo.

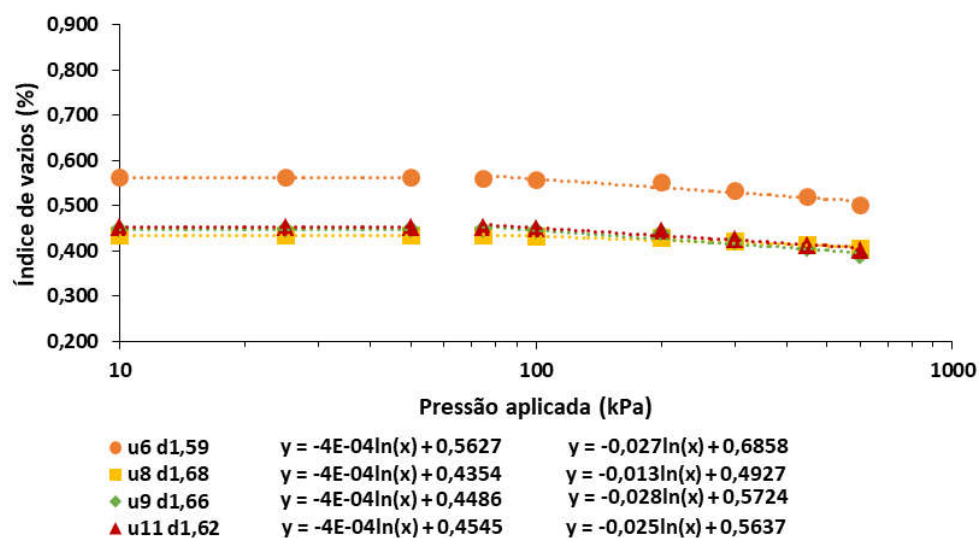


Gráfico 22: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CFCM e densidade do solo fixa, na camada de 10-20 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

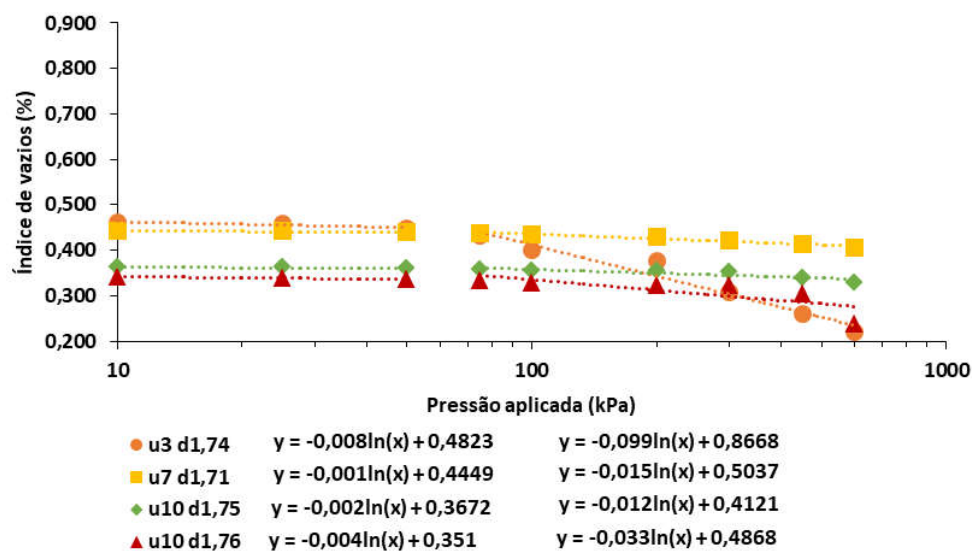


Gráfico 23: Índice de vazios estruturais em função da pressão aplicada em amostras não deformadas com tratamento CMPD e densidade do solo fixa, na camada de 10-20 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

No Gráfico 24, foi possível observar a variação do I_c em função do teor de água a uma densidade fixa para cada tratamento. Os dados obtidos mostram que para o tratamento CMPD há uma tendência de ocorrer à redução do I_c em função do aumento do teor de água, enquanto que no tratamento CFCM não foi observado efeito significativo do teor de água sobre o I_c , revelando que para o tratamento CMPD nesta camada, o solo torna-se mais resistente à compressão.

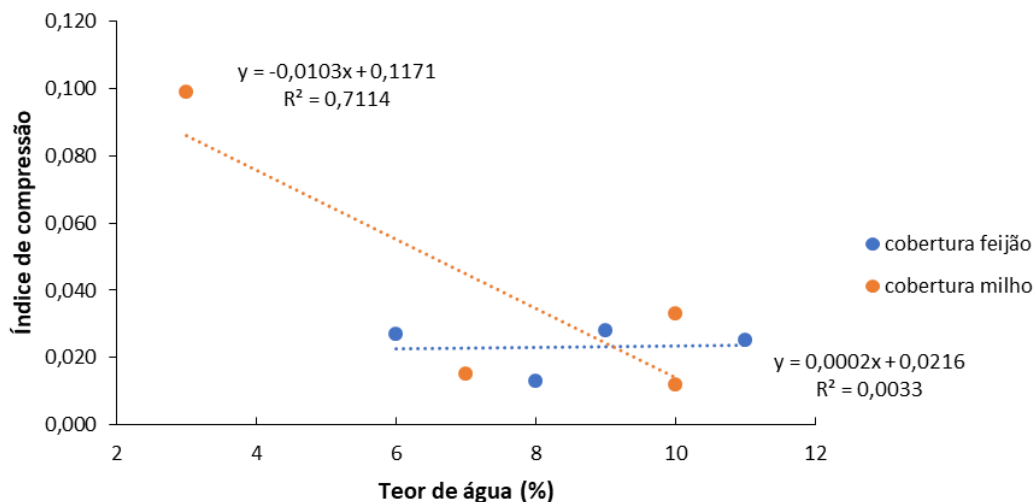


Gráfico 24: Índice de compressão em função do teor de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 10-20 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

O Gráfico 25, apresenta a variação da P_{pc} em função do teor de água para a camada de 10-20 cm. Os dados mostram uma correlação positiva de 78% para o tratamento CMPD, indicando que para maiores valores de u têm-se maiores valores de pressão, enquanto que para o tratamento CFCM existe uma correlação negativa de 98%, indicando a redução da P_{pc} em função do aumento do teor de água. Os dados revelam que o solo do tratamento CFCM tem maior susceptibilidade a compactação à medida que há um incremento na umidade desta camada.

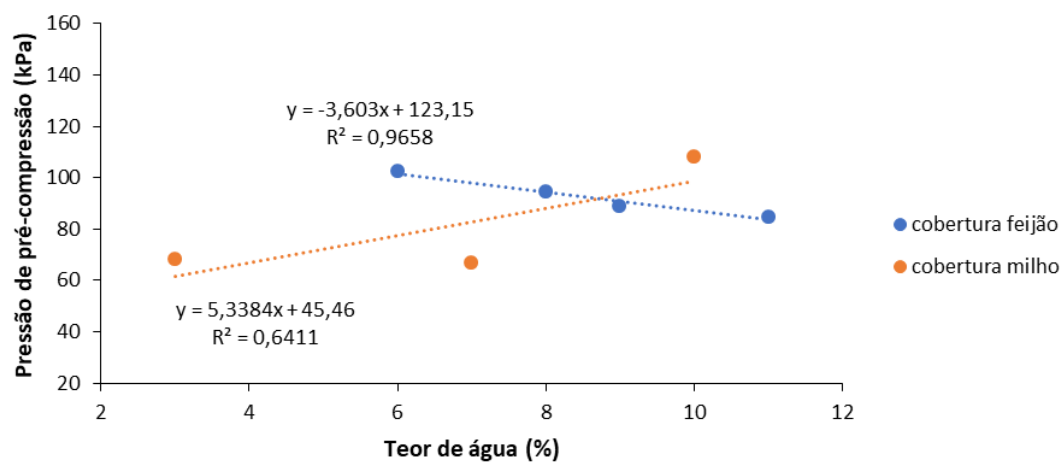


Gráfico 25: Pressão de pré-compressão em função do teor fixo de água a uma densidade fixa em amostras não deformadas com cobertura vegetal de feijão e milho, na camada de 10-20 cm
Fonte: Autoria própria, 2019.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram o declínio do teor de matéria orgânica em função da profundidade. Foi possível constatar que o tratamento CFCM apresentou melhores resultados quanto à distribuição de matéria orgânica nas camadas estudadas, enquanto que no tratamento CMPD a matéria orgânica se concentrou nas camadas superficiais de 0-5 e 5-10 cm.

O índice de vazio estrutural diminuiu com o aumento do teor de água mesmo esta variação sendo pequena, por se tratar de um solo de textura arenosa, para ambos os tratamentos.

Ao estudar os índices de compressão foi possível verificar uma correlação negativa tanto com a umidade fixa quanto com a densidade fixa, onde foi observado que, de modo geral, o I_c tende a decrescer à medida que se eleva a umidade ou a densidade do solo. Os maiores valores de I_c foram encontrados para o solo com tratamento CMPD, sendo a camada de 0-5 cm mais suscetível à compactação por apresentar I_c superior às demais camadas.

Por fim, o estudo da pressão de pré-compressão revelou uma correlação positiva com a densidade, onde quanto maior a densidade do solo, maior será a P_{pc} . Os maiores valores para P_{pc} foram encontrados na camada de 10-20 cm, onde a D_s é maior. Ao comparar os tratamentos estudados, verificou-se que o tratamento CFCM apresentou maiores valores de P_{pc} quando comparado ao tratamento CMPD, dessa forma foi possível concluir que o solo que recebeu a cobertura de feijão sob sistema de cultivo mínimo apresentou boa capacidade de suporte de carga, sendo mais resistente à compactação.

7 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 89 p. Dissertação (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2008.
- ARAÚJO, A. G. **Estimativa e classificação da compactação do solo pelo tráfego de máquinas agrícolas através da modelagem nebulosa**. 2004. 224 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.
- ARVIDSSON, J.; KELLER, T. Soil precompression stress I. A survey of Swedish arable soils. **Soil & Tillage Research**, v.77, p.85-95, 2004.
- ASSIS, R. L. **Avaliação dos atributos físicos e da compressibilidade de um Nitossolo vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa**. 2002. 71 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu. 2002.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B. Avaliações das propriedades físicas em Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, Curitiba, v.17, p.94-101, 2002.
- BEUTLER, A. N. **Efeito da compactação do solo e do conteúdo de água nas características agronômicas de soja e arroz de sequeiro**. 2003. 135 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2003.
- BEUTLER, A. N. et al. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.575-580, jun. 2004.
- BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:787-794, 2006.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, jun. 2004.
- BRAIDA, J. A. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, núm. 2, p. 477-485, 2008.

BRAIDA, J. A., et al. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.131-139, 2010.

CAVALIERI K. M. V., et al. Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um Cambissolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:477-485, 2009.

COLLARES, G. L. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:933-942, 2008.

COLLARES, G. L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa agropecuária. brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1663-1674, 2006.

CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 35:589-602, 2011.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19., 1983, Curitiba. **Anais...** Brasília: Pesquisa agropecuária brasileira, 1985. p. 761-773.

DIAS JÚNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da Região de Lavras (MG). **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p.337-346, 2000.

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

ETANA, A.; COMIA, R. A.; HÄKANSSON, I. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, n. 1 p. 13-21, 1997.

FERRO, M. Efeito residual de diferentes espécies de adubos verdes de inverno sobre o rendimento de soja e milho. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 3., Cascavel, 1991. **Resumos**. Cascavel, OCEPAR, 1991. p.126.

FREDDI, O. S. et al. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:627-636, 2007.

FREDDI, O. S. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.113-121, jan./abr. 2006.

FREITAS, J. A. S. **Compressibilidade e suscetibilidade à compactação de um Latossolo vermelho sob diferentes condições de preparo e manejos**. 2015. 37p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira do Sul, Rio Grande do Sul. 2015.

GABRIEL FILHO, A. G. et al. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.953-957, 2000. ISSN 0103-8478.

GOOGLE, INC. **Google Maps**. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/maps/place/5%C2%B003'32.9%22S+37%C2%B023'59.1%22W/@-5.0593529,-37.4005596,273m/data=!3m1!1e3!4m14!1m7!3m6!1s0x7b9f8df77b70b59:0x28f6e28df6a5cd7!2sLagoinha,+Mossor%C3%B3+-+RN!3b1!8m2!3d-5.0647955!4d-37.4013219!3m5!1s0x0:0x0!7e2!8m2!3d-5.059135!4d-37.3997588>>. Acesso em: 23 de julho de 2019. (Figura 1).

KAISER, D. R. et al. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 33, núm. 4, p. 845-855, 2009.

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Estimativa do efeito do uso e da umidade do solo sobre a compactação adicional de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:773-782, 1999.

LARSON, W.E.; GUPTA, S.C.; USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, 44:450-457, 1980.

LIMA et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1233-1244, 2007.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70 p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

LIMA, R. P.; LÉON, M. J.; SILVA, A. R. Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.1, p. 016-020, 2013.

MACEDO, V. R. M.; SILVA, A. P. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influencia de tensões compressivas na pressão de pré-compactação e no índice de compressão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 856-862, 2010.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informativo Agropecuário**, Belo Horizonte, num. 13 (147), p. 52-55, 1987.

MARASCA, I. **Atributos físicos do solo em áreas de plantio direto com e sem escarificação**. 2010. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu. 2010.

MARTINS, C. A. S. et al. Avaliação da compactação de um Latossolo vermelho amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 79-83. 2010.

MEDEIROS, R. B. et al. Pesquisa sem adubação verde e Conservação do solo no centro de treinamento da COTRIJUÍ. In: ADUBAÇÃO VERDE NO BRASIL, 1983 Rio de Janeiro. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 292-309.

PEREIRA, J. O. et al. Pressão de pré-compressão e comportamento hídrico de um Nitossolo Vermelho distroférico em função do tamanho de agregados. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 513-519, 2005.

PEREIRA, J. O.; DÉFOSSEZ, 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**, Oxford, v. 58, n. 1, p. 34-44, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, 5:49-134, 2007. ISSN 1519-3934.

REINERT, D. J.; REICHERT, R. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria, UFSM, 18 p., 2006.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

ROSA, D. P. et al. Métodos de obtenção da capacidade de suporte de carga de um Argissolo cultivado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1561-1568, 2011.

SANTANA, S. C. **Indicadores físicos da qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas na região sul do Tocantins**. 2009. 76 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Do Tocantins, Tocantins. 2009.

SCHROEDER, N. et al. Produção de matéria seca da palhada em diferentes sistemas de preparo de solo e sucessão de culturas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29., 2010, Guarapari. **Anais...** Guarapari, 2010. p. 1-4.

SILVA FILHO, R. A. **Compactação do solo devido à mecanização**. 2015. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/compactacao-do-solo-devido-a-mecanizacao-agricola/135347>>. Acesso em: 20 de julho de 2019.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 30, núm. 6, p. 921-930, 2006.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo coeso sob sistema de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, maio 2005.

SILVA, A. R. B. **Diferentes sistemas de manejo do solo e espaçamentos na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 2004. 167 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Programa de Pós-graduação Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu. 2004.

SILVA, J. C. et al. Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: aspectos técnicos e econômicos. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 2011.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo vermelho-escuro e de um Podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:239-249, 2000.

SOUZA, M. **Caracterização do sistema de plantio direto de hortaliças e produção de mudas de cebola no alto vale do Itajaí**. 2009. 83 p. Relatório de estágio (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. 2005. 151 p. Dissertação (Mestrado em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2005.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, núm. 3, p. 963-973, 2008.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.

VARELLA, C. A. A. **Efeitos dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo**. 1999. 47 p. Tese (Magister Scientiae em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1999.

VEIGA, M.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Compactação: Das causas às soluções. **Revista A Granja**. v. 1, n. 722, p. 41-43, 2009.

WENDLING, B. et al. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, maio 2005.