

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS FRANCISCO BELTRÃO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

EVANDRO LUIZ LOPES

**EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO DE
NABO FORRAGEIRO E SUA AÇÃO COMO DESCOMPACTADOR
BIOLÓGICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2017

EVANDRO LUIZ LOPES

**EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO DE
NABO FORRAGEIRO E SUA AÇÃO COMO DESCOMPACTADOR
BIOLÓGICO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Hernan Vielmo

FRANCISCO BELTRÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Francisco Beltrão
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO DE NABO FORRAGEIRO E SUA AÇÃO COMO DESCOMPACTADOR BIOLÓGICO

por

Evandro Luiz Lopes

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 13 horas e 30 min., do dia 1 de fevereiro de 2017, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Banca Avaliadora:

Marcelo Bortoli

Coordenador do Curso de
Engenharia Ambiental

Hernan Vielmo

Professor Orientador

Michelle França Milanez

Membro da Banca

Naimara Vieira do Prado

Professora Coorientadora

Denise Andréia Szymczak

Professora do TCC2

“A Termo de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

AGRADECIMENTOS

Agradeço o Professor Orientador Doutor Hernan Vielmo pela paciência, ter aceito, dedicado e auxiliado durante todo o processo da elaboração deste trabalho. Da mesma forma agradeço a Professora Msc. Naimara Vieira do Prado por ter se disposto a me co-orientar, e a Professora Doutora Michelle Milanez França por ter aceitado participar da banca das duas etapas da defesa do trabalho.

Agradeço à minha família, especialmente minha mãe Mara Ribeiro por todo apoio durante a graduação.

Agradeço os professores do curso de bacharelado em Engenharia Ambiental e aos demais funcionários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por contribuírem para a minha formação acadêmica.

Agradeço os funcionários do viveiro municipal de Francisco Beltrão, por terem disponibilizado o espaço para a realização do experimento deste trabalho.

Agradeço de modo geral a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, bem como na minha formação acadêmica, sejam professores, colegas, amigos, família.

RESUMO

LOPES, E. L. **Efeito da compactação do solo no desenvolvimento de nabo forrageiro e sua ação como descompactador biológico**. 46 p. Trabalho de conclusão de curso (TCC). Bacharelado em Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2017.

Algumas técnicas de manejo do solo aliados à sua má execução, juntamente com o uso intensivo de maquinário agrícola, promovem alterações na estrutura física do solo, por consequente a degradação dos solos agricultáveis e efeitos negativos no desenvolvimento das culturas. O uso de espécies forrageiras e leguminosas, de sistema radicular resistente, que conseguem ultrapassar camadas compactadas de solo, torna-se uma alternativa e/ou complemento para as atuais técnicas de preparo do solo, ocasionando menos degradação. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da compactação do solo no desenvolvimento do nabo forrageiro – *Raphanus sativus* - bem como, seu efeito de descompactação biológica. O experimento foi realizado em casa de vegetação, no viveiro municipal de Francisco Beltrão – Paraná. Foi utilizado o solo da região, caracterizado como Latossolo Roxo Distrófico. Os tratamentos foram quatro níveis de densidade do solo: 1,3; 1,5; 1,7; 2,0 g.cm⁻³, com quatro repetições, em um delineamento inteiramente casualizado. O experimento teve duração de 66 dias. Os parâmetros vegetativos analisados foram a produção de matéria verde e matéria seca do nabo forrageiro e, com relação ao solo, a análise da densidade pós-experimento para verificar se o nabo forrageiro promoveu um efeito descompactador no mesmo. Os resultados demonstraram, que não houve efeito da compactação sobre o desenvolvimento do nabo forrageiro, na produção de massa seca da parte aérea, e ao efeito descompactador, demonstraram que o nabo forrageiro se mostrou como uma espécie promotora de descompactação do solo.

Palavras-chave: descompactação, densidade do solo, preparo do solo.

ABSTRACT

LOPES, E. L. **Effect of soil compaction on the development of forage turnip and its action as a biological decompressor.** 46 p. Trabalho de conclusão de curso (TCC). Bachelor in Environmental Engineering - Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, 2017.

Some of the soil management techniques, together with poorly managed management and the intensive use of agricultural machinery, promote changes in the physical structure of the soil, consequently the degradation of arable soils and negative effects on crop development. The use of forage and legume species of resistant root system, which can overcome compacted layers of soil, becomes an alternative and / or complement to the current techniques of soil preparation, causing less degradation. The objective of this work was to evaluate the influence of soil compaction on the development of oilseed radish - *Raphanus sativus* - as well as its biological decompression effect. The experiment was carried out in a greenhouse, in the municipal nursery of Francisco Beltrão – Paraná. Was used the soil of the region, characterized as Purple Distrophic Latosol. The treatments were four compaction levels (soil density: 1.3, 1.5, 1.7, 2.0 g.cm⁻³), with four replications, in a 4x4 factorial scheme. The experiment lasted 66 days. The vegetative parameters analyzed were the green matter and dry matter production of the oilseed radish and, with respect to the soil, the analysis of the density after the experiment to verify if the turnip forage promoted a decomposing effect in the same. The results showed that there was no effect of compaction on the growth of oilseed radish and, in relation to the decomposing effect, showed that oilseed radish showed to be a promoter of soil decompression.

Key words: decompression, soil density, soil preparation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de estrutura: (a) laminar; (bb) prismática; (ba) colunar; (ca) blocos angulares; (cb) blocos sub angulares; (d) granular.	16
Figura 2 – Vista da casa de vegetação do Viveiro Municipal de Francisco Beltrão/PR.	23
Figura 3 - Ilustração representativa da montagem dos anéis.....	25
Figura 4 - Vista frontal da prensa manual utilizada.....	26
Figura 5 - Cilindro metálico utilizado para amostrar as densidades.	26
Figura 6 - Anéis de PVC de 5 cm e 10 cm.	27
Figura 7 - Anel metálico inserido no anel de PVC.	27
Figura 8 - Anéis de 10 e 15 cm dentro do balde preenchidos com terra.	27
Figura 9 - Chapa metálica utilizada no processo.	28
Figura 10 - Vaso de PVC sendo prensado.	28
Figura 11 - Anéis de PVC após a prensagem.....	28
Figura 12 - Anel metálico com o solo compactado.	29
Figura 13 - Configuração dos vasos dentro da casa de vegetação.....	31
Figura 14 - corte das plantas.....	32
Figura 15 - acondicionamento dos sacos.....	32
Figura 16 - pesagem dos sacos com a massa verde.	32
Figura 17 - estufa de secagem para obter a massa seca.....	32
Figura 18 - crescimento das plantas ao longo do experimento. (1) com 12 dias (2) com 26 dias (3) com 37 dias (4) com 61 dias.....	34
Figura 19 - Crescimento radicular, no anel intermediário, do nabo forrageiro, submetido a diferentes densidades aparentes do solo, no município de Francisco Beltrão/PR, em 2015.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ilustração do delineamento experimental; T = tratamento (densidade); R = repetição.....	24
Tabela 2 - características da prensa hidráulica utilizada no experimento.....	25
Tabela 3 - Resultado do teste de compressibilidade do solo.....	30
Tabela 4 - Pressão hidráulica necessária para a obtenção das densidades aparentes do solo desejadas, conforme equação polinomial de melhor ajuste, em experimento de descompactação com nabo forrageiro, na região de Francisco Beltrão/PR, em 2015.	31
Tabela 5 - Densidades Aparentes do solo, antes e depois, do cultivo de nabo forrageiro, na região de Francisco Beltrão/PR, no ano de 2015.....	35
Tabela 6 - Produção de matéria verde e matéria seca de nabo forrageiro submetidos a diferentes densidades de solo, na região de Francisco Beltrão/PR, no ano de 2015.	38

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Equação polinomial que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida.	30
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 O SOLO E SUA IMPORTÂNCIA.....	14
3.2 ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO.....	15
3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO	16
3.4 EFEITOS DA COMPACTAÇÃO NO SOLO	18
3.5 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO.....	18
3.5.1 DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA	20
3.5.2 DESCOMPACTAÇÃO BIOLÓGICA	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	23
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	24
4.3 TRATAMENTOS.....	24
4.4 OBTENÇÃO DAS DENSIDADES	25
4.5 CRESCIMENTO DAS PLANTAS	31
4.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA VERDE E MASSA SECA	31
4.7 DETERMINAÇÃO DAS DENSIDADES DOS ANÉIS APÓS O EXPERIMENTO.	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 DENSIDADE DO SOLO.....	34
5.2 MASSA VERDE E SECA	38
6. CONCLUSÃO.....	40
7. REFERENCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

A humanidade necessita de ar, água e solos de boa qualidade para continuar a viver, bem como todos os seres vivos. O solo pela importância que exerce na subsistência humana, além de abrigar e sustentar os ecossistemas terrestres, deve estar em foco nos estudos de conservação dos elementos naturais. Também serve como o principal suporte na produção agrícola e é, basicamente, constituído pela parte sólida (material mineral e orgânico), líquida e gasosa, onde sem qualquer alteração, ambas as partes interagem entre si em um equilíbrio.

A compactação do solo, devido às atividades de pecuária e agricultura, esta última, principalmente quando é executada sem preparo e conhecimento técnico (como os sistemas de plantios convencionais) e com o uso de maquinário cada vez maiores e mais pesados, danifica o solo causando perda de produtividade e conseqüentemente levando à sua degradação. Segundo Primavesi (2009) o uso intensivo de máquinas agrícolas no manejo do solo, nas atividades de destocar o terreno, terracear ladeiras, arar, gradear, destorroar, capinar, aplicar herbicidas, entre outros benefícios proporcionados pela agricultura moderna, também está incluso um grande problema destas práticas, que é a compactação do solo, sendo mais grave em solos com teores de umidade altos.

Por conseqüência, geram um problema para quem exerce tais atividades de subsistência ou para fins comerciais, pois assim com a agricultura, a pecuária também sofre com a compactação do solo, pelo pisoteio dos animais, onde há a redução severa da macroporosidade aumentando a densidade do solo e diminuindo a infiltração de água. Almeida (2009) verificou que as modificações na estrutura do solo acarretam em alterações em outras características, como a densidade do solo, porosidade, resistência do solo à penetração das raízes e conseqüentemente, na aeração do solo, infiltração, drenagem, condutividade hidráulica, entre outras.

A modificação da estrutura no solo, causada pela compactação deste, interfere no desenvolvimento de plantas. A resistência mecânica do solo (em solos compactados, com densidades maiores) causa aumento do diâmetro das raízes nas camadas compactadas, assim, provocando modificações específicas em cada espécie, nas estruturas físicas e morfológicas. As raízes tendem a diminuir de diâmetro para penetrar nos pequenos poros que foram modificados pelas forças

mecânicas exercidas no solo, assim, a resistência mecânica do solo estimula o desenvolvimento de raízes laterais, as quais são mais finas, existindo uma relação entre a porosidade do solo e crescimento das raízes.

No sistema de manejo conservacionista, os escarificadores são equipamentos preferencialmente indicados para a descompactação mecânica, devido à formação de fissuras com mínima mobilização do solo. Isso mantém grande parte da cobertura morta e tem pequeno impacto nos teores de matéria orgânica (Torres et al., 1998). Porém, segundo Håkansson et al. (1998, apud ABREU et al, 2004), no sistema convencional de preparo do solo, pela escarificação mecânica buscando aliviar a compactação do solo, esta prática ocasiona a compactação subsuperficial quando mal executada sendo este efeito cumulativo ao longo dos anos em áreas agricultáveis, promovendo a degradação física do solo. Sendo as práticas mecânicas, temporárias na solução de descompactação, juntamente com o uso de químicos para melhorar a qualidade do solo.

Além do método mecânico, existe a alternativa do uso de plantas de cobertura, estas que possuem sistema radicular pivotante e bem desenvolvido, que possuem a característica de se desenvolver em camadas compactadas melhorando os atributos físicos do solo (Cubilla et al, 2002).

Algumas espécies de plantas podem ser utilizadas para a descompactação biológica do solo, sendo uma possível alternativa ao uso de equipamentos mecânicos para a ação do manejo dos solos agrícolas, onde proporcionam, dentre algumas vantagens, a fixação de nutrientes que as plantas proporcionam, métodos fáceis e menos onerosos, ambientalmente mais aceitáveis, pois não são usados veículos que utilizam combustíveis, conseqüentemente geram poluentes atmosféricos, e também não utilizam a adubação química intensiva. Assim, este trabalho discutirá a influência que a compactação exerce sobre o desenvolvimento de nabo forrageiro – *Raphanus sativus* - e se esta espécie exerce o poder de descompactação do solo, observado pelos indicadores da qualidade física do solo e das plantas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito da compactação do solo sobre o desenvolvimento do nabo forrageiro e a capacidade desta espécie em promover a descompactação do solo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o desenvolvimento do nabo forrageiro cultivado em solo com diferentes densidades.
- Avaliar o efeito descompactador do nabo forrageiro após seu cultivo.
- Verificar se a espécie é indicada para descompactação biológica natural.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O SOLO E SUA IMPORTÂNCIA

O solo é um dos mais importantes recursos naturais do nosso planeta, pois grande parte do alimento que consumimos vem direta ou indiretamente de cultivos e pastagens. Além de receber a água da chuva que emerge em nascentes, rios, lagos. Enfim, sustenta a biodiversidade terrestre.

O homem primitivo, percebia o solo como nada além de algo indiferente, limitado à locomoção, crescimento de vegetais, frutos, barro para produzir utensílios diversos. Segundo Lepsch (2010) após a primeira era glacial, a cerca de 10.000 anos atrás, os homens começaram a fixar-se em determinados territórios, deixando de serem nômades e defendendo tais territórios, iniciando atividades de cultivo de plantas para sua subsistência.

Deste modo, havendo um maior uso do solo pelo ser humano, surge também a busca, mesmo que inicial, pelo conhecimento do solo. As primeiras civilizações agrícolas não deixaram vestígios históricos para saber como eram seus feitos. De acordo com Lepsch (2010), pelas evidências arqueológicas pode-se entender que o homem aprendeu a diferença dos solos, em que alguns demasiadamente úmidos, duros, arenosos eram diferentes em sua produtividade. Além da preocupação com o solo, no início, por muito tempo antes do conceito da agricultura, o homem esqueceu-se do solo e da raiz na influência do desenvolvimento das plantas. A parte escondida não era considerada. Não há dúvida que a planta vive em parte no solo e em parte no ar, sendo o bem-estar da parte aérea tão importante quanto o bem-estar da parte terrestre. A raiz retira do solo nutrientes, água e parte do oxigênio e as folhas captam do ar gás carbônico e energia. Tais conhecimentos foram obtidos e desenvolvidos ao longo dos anos de experiência do ser humano com o solo e seus cultivos.

No mesmo segmento histórico, segundo Veiga (2007) a agricultura moderna nasceu entre os séculos XVIII e XIX, na Europa, onde ocorreu a Revolução agrícola, que consistiu em mudanças tecnológicas e socioeconômicas, proporcionando a aproximação da agricultura e da pecuária, em que a criação de animais junto com a

atividade agrícola tornaram-se complementares, formando fortes alicerces da sociedade contemporânea. Com uma busca insaciável pelo aumento da produção agropastoril, e junto às técnicas convencionais e novas surgem tecnologias, os problemas em consequência, no qual destaca-se a compactação do solo, onde de acordo com Lima (2004), esta ação é causada pelas pressões externas exercidas sobre o solo, como o tráfego de animais e máquinas utilizadas nas áreas agrícolas.

3.2 ESTRUTURA FÍSICA DO SOLO

O solo em condições naturais apresentam as partículas primárias aglomeradas de areia, silte e argila que juntamente com a atuação de microrganismos pela rugosidade da superfície são denominadas como agregados ou unidades estruturais, junto com outros componentes minerais e orgânicos como o calcário, sais, matéria orgânica, entre outros. Lepsch (2010) refere-se ao termo “estrutura” usado para solos que diz respeito ao tamanho, forma e aspecto do conjunto de agregados que aparecem naturalmente no solo, constituídos de formatos e tamanhos variados. A forma da estrutura do solo é definida pela sua geometria que resulta da intensidade das forças de coesão entre as partículas minerais e orgânicas, onde existem classificações entre tal arranjo (Figura 1).

Descreve Azambuja (1996), que a importância da estrutura do solo refere-se principalmente à absorção e movimento da água no solo, aeração, penetração de raízes, facilidade de cultivo e erosão. Solos bem estruturados permitem um fácil manuseio e uma boa infiltração de água, assim, sendo, um bom suporte para o desenvolvimento das plantas, por facilitar a circulação de ar e o avanço das raízes. A porosidade do solo, é um parâmetro relacionado com a ocupação da água e do ar no solo, depende basicamente da textura, do grau de compactação e do teor de matéria orgânica presente no solo, comprovam Taylor e Brar (1991) em estudo feito sobre o efeito da compactação no desenvolvimento sobre as raízes das plantas, que estas são afetadas pelos parâmetros estruturais do solo sobre a compactação deste.

Azambuja (1996) também afirma que os “latossolos” se apresentam como um dos melhores solos do ponto de vista das propriedades físicas, pois apresenta

cerca de 60% de porosidade total, sendo divididos 50% em microporos e 50% em macroporos.

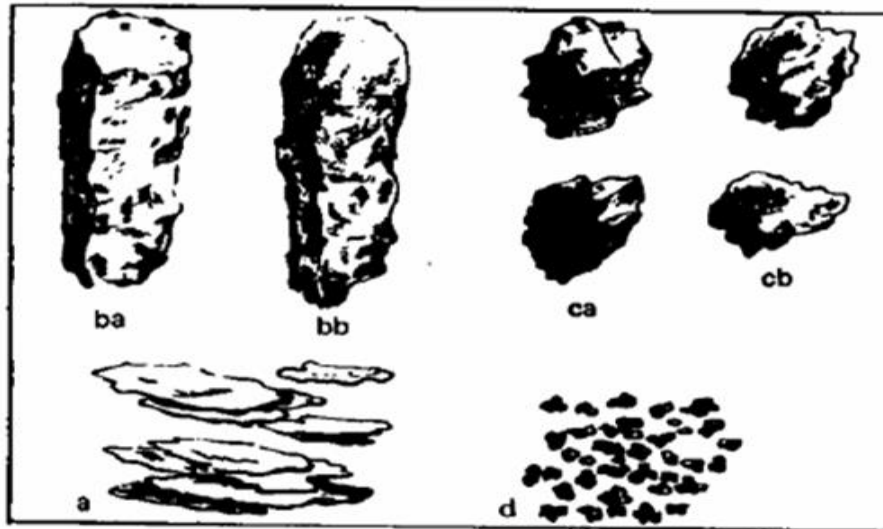


Figura 1 - Tipos de estrutura: (a) laminar; (bb) prismática; (ba) colunar; (ca) blocos angulares; (cb) blocos sub angulares; (d) granular.

Fonte: Figura adaptada de EMBRAPA (2006).

Capeche (2008) relata que existe uma relação estrutural com a dinâmica da água no solo e o crescimento vegetal, onde tal combinação resulta em melhor infiltração e armazenamento da água no solo, maior espaço poroso para as trocas gasosas do sistema radicular, maior atividade biológica, maior resistência à compactação e à erosão, e uma maior decomposição da matéria orgânica. Para manter um solo agrícola bem estruturado é necessário realizar o manejo adequado utilizando práticas conservacionistas como terraceamento, plantio em nível, sistema de irrigação eficiente, plantio direto, rotação de culturas, cultivares adaptados para a região, entre outros.

3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A necessidade da sociedade moderna, de intensificar a produção agrícola de maneira comercial, competitiva e pela demanda que é necessária em função do crescimento populacional, tem-se investido em pesquisas e tecnologias cada vez mais desenvolvidas, com isso, tem-se resultado na utilização dos maquinários

agrícolas cada vez maiores e mais pesados, com isso surge o problema da compactação.

Segundo Lepsch (2010), a compactação do solo é um processo no qual há um aumento da resistência à penetração no solo e redução da porosidade total, da macroporosidade, permeabilidade e infiltração de água, resultantes de cargas aplicadas na superfície do solo. O preparo do solo e o pisoteio animal influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo afetar o sistema radicular e a produção das culturas (SILVA et al, 2000). Tanto o tráfego animais quanto da circulação de veículos agrícolas, exercem cargas sobre o solo. Porém por exemplo, a prática da aração do solo, que consiste em cortar o solo para revolvê-lo, mas a parte logo abaixo da camada revolvida é comprimida pela força do disco do arado e pela carga exercida do veículo que o puxa, sendo assim, algumas espécies vegetativas cultivadas, possuem raízes profundas, alcançando níveis mais profundos do solo, onde o arado não consegue exercer sua ação, não sendo eficiente esta prática de preparo do solo.

Fisicamente, o processo de compactação resulta da ação de forças mecânicas, oriundas do tráfego de máquinas e/ou do pisoteio de animais sobre o solo, e da ação da água de percolação no perfil do solo, transportando partículas dispersas, enquanto, quimicamente, o condicionamento do solo para o processo de compactação origina-se a partir da calagem que promove a substituição do elemento Al + H que tem ação de acidez do solo, bem noutra adição para a ação estabilizante da estrutura do solo, pelos elementos Ca e/ou Mg, que na faixa de pH abaixo de 7,0 têm ação dispersante.

No processo biológico de compactação, o condicionamento do solo para o processo de compactação decorre da decomposição da matéria orgânica que está atuando ativamente na estabilização dos agregados do solo, onde nas operações de preparo de solo, ao incorporarem restos culturais na camada arável, oxigenam o solo, acelerando a atividade biológica, que passa a decompor ou mineralizar rapidamente o material orgânico incorporado ao solo e, em consequência, a própria matéria orgânica residente no solo, onde sob contínuas operações de preparo de solo, são fracionados, culminando com a dispersão do solo (EMBRAPA, 2000).

3.4 EFEITOS DA COMPACTAÇÃO NO SOLO

A compactação altera uma série de fatores que afetam o crescimento de plantas, como aeração, retenção de água, resistência à penetração das raízes, podendo, inclusive, aumentar a susceptibilidade à erosão do solo (SÁ, 2005), neste contexto, quando a compactação atinge níveis críticos, esta assume relevância nas relações físicas, químicas e biológicas do solo, que afetam o crescimento vegetativo e conseqüentemente, diminui a produção agrícola com a degradação do solo.

Dentre os problemas causados na estrutura física do solo pela agricultura, destaca-se o problema da perda da macroporosidade do solo. Primavesi (2009) aponta que esta característica física influencia diretamente na infiltração de água no solo e também na dinâmica da drenagem deste, também promove a oxigenação das raízes e serve como caminho para sua expansão. Segundo a autora no momento em que se inicia um cultivo em um solo, a estrutura física do solo é comprometida, tanto pela decomposição da matéria orgânica quanto pelo empobrecimento em cátions e ânions e pela exposição do solo ao impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, comprometendo uma produção agrícola estável, pelas diversas razões do cultivo. Dentre elas destacam-se a aração profunda, monocultura, deficiência de nutrientes, retorno deficiente da matéria orgânica ou sua adição excessiva, exposição da superfície do solo, dentre outras.

Tavares Filho et al. (2001) comprova que, em estudo sobre resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho, sob diferentes sistemas de manejo, em um latossolo roxo, os dois sistemas de manejo de solo estudados, que foram em plantio direto e convencional, causaram modificações na estrutura do solo, provocando camadas com diferentes graus de compactação, definidas pelo perfil cultural e pela resistência do solo à penetração.

3.5 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO

O principal motivo para a compactação de terrenos é o tráfego intenso, o que inclui o movimento acentuado de veículos, pessoas, gado, animais com cascos ou máquinas agrícolas. Por outro lado, práticas inadequadas de cultivo, como ausência de rotação de culturas e excesso de fertilizantes, também podem ser responsáveis.

De acordo com Kochhann et al. (2000), a descompactação de um solo é entendida como a promoção da redução de sua densidade e conseqüentemente o aumento do volume, por meio da interação de processos mecânicos e biológicos para promover a separação dos agregados do solo. A descompactação mecânica do solo está fundamentado no princípio da subsolagem, onde busca-se romper camadas compactadas através de instrumentos (escarificadores com hastes, subsoladores, entre outros) que operam em profundidades pouco maiores do que as normalmente feitas com implementos de preparo de solo.

Além do método mecânico, o processo biológico de descompactação de um solo está associado à adição de material orgânico ao mesmo, através do sistema radicular das plantas que, enquanto vivas, preenchem a macroporosidade do solo, conferindo estabilidade aos agregados do solo, e que, quando em decomposição, gera compostos orgânicos, com liberação de substâncias cimentantes dos macroagregados do solo. A descompactação biológica existe como alternativa onde pode-se usar plantas de cobertura com sistema radicular pivotante e bem desenvolvido, como o nabo forrageiro, que tem capacidade de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar os atributos físicos do solo (Cubilla et al., 2002).

Além dos processos mecânicos e biológicos, existem práticas alternativas para conduzir o processo de descompactação do solo, como exemplo:

- Redirecionar o percurso de animais, máquinas e veículos para longe da área compactada, oferecendo rotas alternativas e bloqueando o acesso à essas áreas, com cercas, placas de avisos ou qualquer outra forma visual que impeça o acesso, promovendo um “descanso” à área compactada.
- Reduzir, ou se possível mudar a área de cultivo que contém solos compactados para que este possa exercer seu poder de resiliência. Além de evitar o cultivo nos solos excessivamente úmidos, onde sua estrutura se fragmenta facilmente quando exercidas as pressões mecânicas sobre.

3.5.1 DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA

As operações de preparo do solo são realizadas para criar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das culturas. Entretanto, as condições de umidade durante o preparo, o teor de argila e de matéria orgânica do solo, a profundidade de mobilização e o tipo de implemento utilizado podem levar a modificações da estrutura do solo, acarretando restrições ao crescimento das raízes (DE MARIA, et al. 1999).

A escolha e utilização dos equipamentos agrícolas, nos diferentes sistemas de manejo do solo, são dependentes do tratamento que se quer dar ao solo para exploração agrícola. Além disso, os requerimentos de energia nos sistemas de manejo do solo poderão definir a viabilidade econômica dos referidos sistemas (EMBRAPA, 2009).

Basicamente, os equipamentos mecânicos para o preparo do solo relacionados à descompactação, são constituídos em arado de disco, arado de aiveca e arado escarificador, e também uma prática chamada de subsolagem, que é usada quando há presença de camadas compactadas em profundidades não atingidas por outros equipamentos, recomendada para o rompimento destas sem, entretanto, causar inversão do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997)

A mecanização tem sido utilizada intensamente nas práticas agrícolas, mas surge um problema com esse uso, muitas vezes a produtividade é comprometida pelo excesso ou pela inadequação de práticas a que o solo é submetido, desde seu preparo até a colheita, nas modificações físicas do solo, onde compreendem basicamente o intenso revolvimento, tipo de equipamento, manejo de resíduos vegetais e condições de umidade do solo, segundo Vieira e Muzilli (1984).

Em estudo feito por Seki et al. (2015), avaliando a influência da subsolagem, da escarificação e da utilização de mecanismos sulcadores tipo haste na operação de semeadura sobre a manutenção da cobertura do solo, o conteúdo de água e a densidade do solo, assim como os efeitos sobre a produtividade do milho em um Nitossolo Vermelho distroférico, concluíram que a subsolagem e a escarificação influenciaram a manutenção de cobertura, a densidade e o conteúdo de água no solo logo após a semeadura, porém não interferiram no desenvolvimento das plantas e na produtividade de grãos, na cultura do milho, sendo que, os efeitos da

subsolagem e da escarificação persistiram após a colheita da cultura, mantendo os valores de densidade do solo abaixo dos obtidos anteriormente à instalação do experimento.

3.5.2 DESCOMPACTAÇÃO BIOLÓGICA

O uso de práticas inadequadas ou com pouco conhecimento técnico nas práticas agrícolas, como queima, plantio em áreas descobertas, excesso de preparo do solo sem o devido cuidado ao longo dos anos, causaram degradação física, química e biológica dos solos, reduzindo a produtividade e rendimento das culturas.

Uma das alternativas para reduzir a erosão, aumentar a matéria orgânica e recuperar a vida, estrutura e fertilidade dos solos é o uso de plantas recuperadoras ou adubos verdes de inverno e verão. As plantas recuperadoras de inverno são utilizadas antes do plantio dos cultivos de verão em plantio direto ou cultivo mínimo enquanto que os adubos verdes de verão, que são muito rústicos são recomendados para a recuperação de áreas degradadas, pobres com baixos teores de matéria orgânica. (PAULUS et al., 2008).

O feijão guandu mandarim, de acordo com Godoy (2008), é uma leguminosa, e também caracterizada como forrageira de verão, que tem como características a capacidade de fixar nitrogênio da atmosfera no solo, raízes profundas, produtividade de forragem alta, sendo assim, usado para uso em cultivo consorciado, recuperação de áreas degradadas (pela compactação), ganho na produção pecuária, e também é fácil a sua implantação e manejo.

Em uma avaliação feita por Oliveira et al. (2009) a respeito da capacidade de fixação biológica de nitrogênio do guandu cv. BRS Mandarim inoculada, e um isolado na presença ou ausência de tratamento com o fungicida Captan, concluiu-se que as plantas que tiveram as sementes inoculadas apresentaram boa nodulação e fixação biológica de nitrogênio em relação às não inoculadas, e o fungicida captan não afetou a nodulação e teor de N na maioria das combinações.

Bonelli et al. (2011), estudaram os efeitos da compactação no solo sobre as características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça, que são duas gramíneas forrageiras. Em duas análises feitas: o primeiro corte aos 42 dias, e

o segundo aos 88 dias após a emergência das plantas. Em diferentes níveis de densidade (1,0;1,2;1,4;1,6 Mg m⁻³), concluíram que o capin-mombaça apresentou redução no maior nível de densidade no segundo crescimento (88 dias), já o capin-piatã não sofreu influência em seu desenvolvimento, nos dois crescimentos analisados.

Para Cubilla et al. (2002) em estudo com plantas de cobertura para aliviar a compactação do solo em sistema de plantio direto, verificaram que as plantas de cobertura de solo usadas, nabo forrageiro e as leguminosas de verão, em mais de 85 % das parcelas foram capazes de ultrapassar a camada de maior estado de compactação. As raízes principais do nabo forrageiro, em condição de densidade do solo menor do que 1,75 Mg m⁻³, abaixo de 7 a 10 cm, demonstraram se desenvolver bem, alcançando seu limite nas densidades superiores à 1,85 Mg m⁻³. Em contrapartida, Kubota et al. (2005), em estudo semelhante com nabo forrageiro, não observaram efeito da cultura em melhorar as condições físicas de um Argissolo de textura média, pelo contrário, verificaram aumento da densidade do solo na camada de 0–0,05 m. Justificam que este efeito foi causado por conta da pressão exercida no solo pelas raízes da planta, devido ao grande diâmetro de sua raiz pivotante principal.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido no município de Francisco Beltrão – Paraná (26°02'46.3"S de latitude e 53°02'22.1"W de longitude), no Viveiro Municipal, em casa de vegetação (Figura 2), no período de 20 de abril a 24 de junho de 2016. O clima da região caracteriza-se como subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e com temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C (mesotérmico), com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (IAPAR, 2000).

O município de Francisco Beltrão, encontra-se na unidade morfoestrutural do terceiro planalto paranaense, com forma de relevo em dissecação média, topos alongados, vertentes convexas e vales em V abertos; com altitude variando entre 340 m e 1020 m, tendo um gradiente de 680 m (MINEROPAR, 2013).



Figura 2 – Vista da casa de vegetação do Viveiro Municipal de Francisco Beltrão/PR.

O solo utilizado no o experimento foi coletado no local (viveiro municipal), sendo caracterizado como Latossolo roxo distrófico de textura argilosa.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em casa de vegetação em um delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (níveis de densidade do solo) e 4 repetições. Com a sua distribuição aleatória ilustrada pela figura 2.

Tabela 1 - Ilustração do delineamento experimental; T = tratamento (densidade); R = repetição.

T1R2	T2R1	T4R4	T3R2
T4R3	T3R4	T2R2	T1R4
T2R3	T1R3	T3R3	T4R2
T3R1	T4R1	T1R1	T2R4

4.3 TRATAMENTOS

Os tratamentos foram compostos por 4 níveis de densidade de solo: 1,3; 1,5; 1,7; 2,0 g.cm⁻³. As referidas densidades foram obtidas por compressão hidráulica do solo experimental em anéis de PVC de 5 cm de altura por 20 cm de diâmetro, identificados neste trabalho pelo termo “anel intermediário”.

Para compor as unidades experimentais, os anéis intermediários foram inseridos entre outros dois vasos de PVC (anel superior e anel inferior), de mesmo diâmetro (20 cm), porém com 10 cm de altura, formando uma coluna única de 25 cm de altura, (Figura 3). Foi usado fita adesiva para fixar o encaixe dos anéis, e na base dos anéis intermediários e inferiores foi fixado uma rede de polietileno para facilitar a locomoção dos vasos e evitar perdas de solo.

Os anéis superiores e inferiores foram preenchidos com solo na sua densidade natural, onde não havia qualquer indício de compactação e não havia uso antrópico desse solo. Esta metodologia, com o uso de ensaios com vasos de PVC sobrepostos, foi também utilizada em estudos semelhantes realizados por Farias et al. (2013), Silva et al. (2006), Foloni et al. (2003), Frizon & Castro (2004) e Müller et al. (2001), os quais estudaram o efeito da compactação do solo no crescimento de espécies vegetativas.

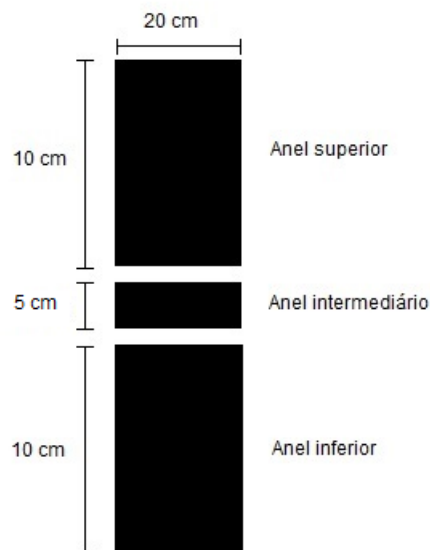


Figura 3 - Ilustração representativa da montagem dos anéis.

4.4 OBTENÇÃO DAS DENSIDADES

Para obter as compressibilidades de solo desejadas, realizou-se um ensaio utilizando uma prensa hidráulica acionada manualmente (Figura 4), do modelo RIBEIRO-P15T, com as seguintes características:

Tabela 2 - Características da prensa hidráulica utilizada no experimento.

Capacidade	15 toneladas
Altura total	1380mm
Largura	600mm
Largura entre colunas	470mm
Curso do pistão	125mm
Distância mínima	60mm

Para a realização do teste, seguimos as metodologias propostas pela norma MB-3336 da ABNT (1990) – ensaio de adensamento unidimensional – bem como, as

orientações previstas no comunicado técnico 111 da EMBRAPA – uso de prensa manual como alternativa para determinação da compressibilidade de solos agrícolas.



Figura 4 - Vista frontal da prensa manual utilizada

Para a determinação da densidade do solo, inseriu-se dentro do cilindro teste de PVC, antes de inserir a terra e antes da compressão, um cilindro metálico menor e de volume conhecido. Este procedimento permite a redução do tamanho da amostra a ser utilizada na estufa de ar forçado, visando a determinação da densidade aparente do solo (Figura 5).



Figura 5 - Cilindro metálico utilizado para amostrar as densidades.

O anel intermediário de PVC de 5cm de altura foi inserido em um balde de plástico (para evitar perdas de solo) e dentro deste foi posto o anel metálico. Sobre o anel intermediário foi encaixado outro anel de PVC, com de 10cm de altura (Figura 6), totalizando uma coluna de 15 cm de altura. A referida coluna foi preenchida com

solo experimental até sua totalidade, sendo esta utilizada para a compressão hidráulica.



Figura 6 - Anéis de PVC de 5 cm e 10 cm.

Para a compressão, sobre a superfície do solo, foi colocada uma chapa metálica de 2 cm de espessura e de diâmetro pouco inferior a 20 cm, objetivando comprimir homogeneamente o solo experimental. O conjunto assim formado foi submetido a compressão hidráulica conforme as pressões pré-determinadas.



Figura 7 - Anel metálico inserido no anel de PVC.



Figura 8 - Anéis de 10 e 15 cm dentro do balde preenchidos com terra.



Figura 9 - Chapa metálica utilizada no processo.



Figura 10 - Vaso de PVC sendo prensado.



Figura 11 - Anéis de PVC após a prensagem.

Após este procedimento, o anel metálico contido dentro no anel intermediário foi retirado e levado para o laboratório (figura 12), onde foi pesado em balança de precisão e encaminhado para secagem em estufa de ar forçado a uma temperatura de 105°C , durante 24h. Após o período de estufa o anel metálico foi novamente pesado para a obtenção do peso seco.



Figura 12 - Anel metálico com o solo compactado.

Por diferença (peso úmido menos peso seco) determinou-se a massa de solo. Como o volume do anel metálico era conhecido, a determinação da densidade aparente do solo foi feita pela seguinte equação matemática:

$$Densidade = \frac{Massa}{Volume} \quad [g/cm^3] \quad (1)$$

Para o teste de compressibilidade e por consequência a obtenção das densidades de solo, foram utilizadas as seguintes compressões hidráulicas: 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 7,0 toneladas.

Este procedimento foi repetido por 3 vezes para cada valor de compressibilidade. Com estes três dados foi determinada a média de cada valor de compressão, sendo esta média utilizada para compor a tabela de resultados (Tabela 3).

Tomando por base a referida tabela, foi possível obter os anéis experimentais com suas respectivas densidades. Foram montados 16 anéis experimentais, sendo 4 de cada densidade.

Tabela 3 - Resultado do teste de compressibilidade do solo.

Pressão exercida na prensa hidráulica (Toneladas)	Densidade aparente do solo obtida (g.cm^{-3})
1,5	1,27
2,0	1,37
2,5	1,55
3,0	1,61
3,5	1,69
7,0	2,00

Com os dados da tabela acima, foi gerada a equação matemática, do tipo polinomial, que melhor representou a relação entre a pressão hidráulica exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente do solo obtida. Com o uso desta equação, determinou-se as pressões necessárias para a obtenção das densidades aparentes do solo desejadas para o experimento.

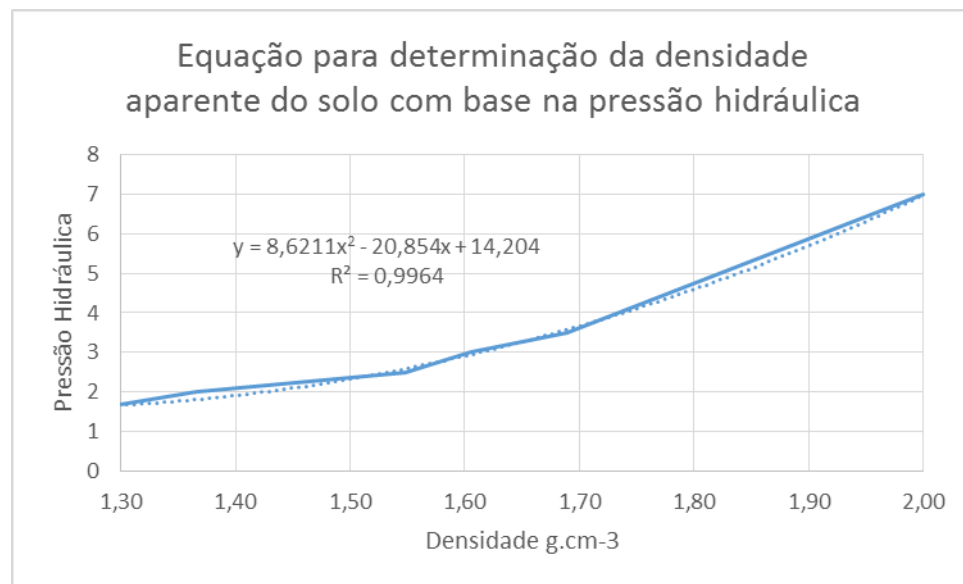


Gráfico 1 - Equação polinomial que melhor representa a relação entre a compressão exercida na prensa hidráulica e a densidade aparente obtida.

Tabela 4 - Pressão hidráulica necessária para a obtenção das densidades aparentes do solo desejadas, conforme equação polinomial de melhor ajuste, em experimento de descompactação com nabo forrageiro, na região de Francisco Beltrão/PR, em 2015.

Densidade Aparente do Solo desejada (g.cm ⁻³)	Pressão hidráulica necessária (Toneladas)
1,3	1,66
1,5	2,32
1,7	3,66
2	6,98

4.5 CRESCIMENTO DAS PLANTAS

Após montados os vasos, foram feitos 5 furos no solo de cada vaso, no limite do anel superior, com aproximadamente 2 cm cada orifício para receber as sementes. Em cada orifício foi semeado entre 4 sementes e cobertas com substrato (Figura 13). Do total de 20 plantas por vaso, após o sétimo dia de emergência das plantas, realizou-se o desbaste, deixando-se somente 5 plantas por vaso. O crescimento das plantas foi monitorado durante os 66 dias do experimento.



Figura 13 - Configuração dos vasos dentro da casa de vegetação.

4.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA VERDE E MASSA SECA

Após os 66 dias de crescimento das plantas, foi executado o corte da parte aérea das mesmas, a partir da região de transição entre a raiz e o caule (Figura 14).

As partes aéreas das plantas foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados e posteriormente postas em caixas de papelão (Figura 15), visando facilitar o transporte ao laboratório de solos da UTFPR – FB. No laboratório foi realizada a pesagem do material em balança de precisão, obtendo, com isto, a massa verde (Figura 16). Os sacos contendo o material verde foram colocados em estufa de ar forçado à 105^o C, por 24h, para desidratar, objetivando obter a massa seca da parte aérea das plantas (Figura 17).



Figura 14 - corte das plantas.



Figura 15 - acondicionamento dos sacos.



Figura 16 - pesagem dos sacos com a massa verde.



Figura 17 - estufa de secagem para obter a massa seca.

4.7 DETERMINAÇÃO DAS DENSIDADES DOS ANÉIS APÓS O EXPERIMENTO.

Após o término dos 66 dias do experimento, paralelo ao processo da obtenção da massa verde e massa seca da parte aérea das plantas, foram determinados os valores da densidade de partículas do solo contido nos anéis intermediários dos vasos de PVC.

Os anéis intermediários foram pesados com o solo úmido e, posteriormente, colocados em estufa à 105° C por 24h, para a obtenção do peso do solo seco.

A densidade aparente dos anéis intermediários foi determinada pela fórmula da densidade aparente do solo (1) descrita anteriormente.

Para a comparação dos níveis de compactação e produção de massa verde e seca, foi utilizada a técnica estatística da ANOVA e teste de Tukey ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas serão realizadas com auxílio do software Microsoft Excel e Action 2.9 (Estatcamp, 2014).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi monitorado durante os 66 dias de crescimento das plantas. Foi possível observar que a parte aérea das plantas se desenvolveram satisfatoriamente ao longo do experimento (Figura 18). As primeiras análises foram as de massa verde e seca das plantas, onde ocorreu um comportamento semelhantes para as duas variáveis.

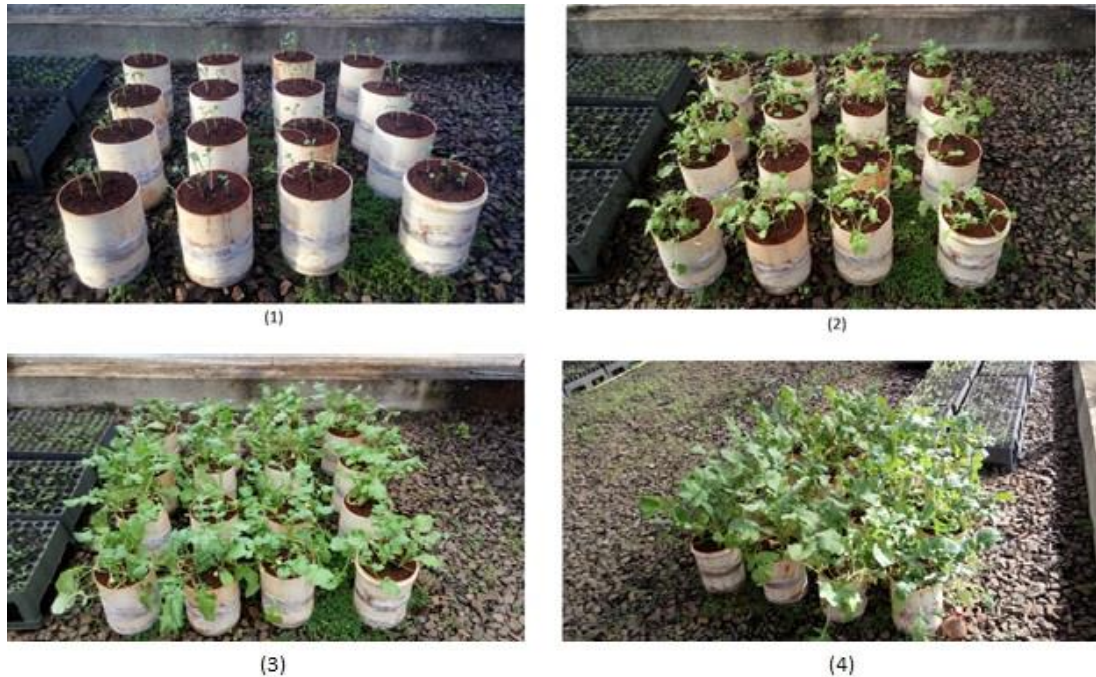


Figura 18 - crescimento das plantas ao longo do experimento. (1) com 12 dias (2) com 26 dias (3) com 37 dias (4) com 61 dias.

5.1 DENSIDADE DO SOLO

Os resultados estatísticos revelaram a existência de diferença significativa entre a densidade inicial e a densidade final em todas as densidades, sendo que em todas elas a densidade final foi menor que a inicial, evidenciando a capacidade de descompactação do solo do nabo forrageiro, conforme pode ser visto na tabela 2.

O efeito do crescimento radicular e sua ação sobre a descompactação do solo podem ser verificados na figura 19, onde se observa que as raízes ultrapassaram o anel intermediário, local onde a densidade de partículas do solo encontrava-se alterada.

Tabela 2 - Densidades de partículas do solo, inicial e final, do cultivo de nabo forrageiro, na região de Francisco Beltrão/PR, no ano de 2016.

Tratamentos	Densidade Inicial (g/cm ³)	Densidade Final (g/cm ³)
T1	1,3 a	1,17 ± 0,04 b
T2	1,5 a	1,36 ± 0,08 b
T3	1,7 a	1,37 ± 0,01 b
T4	2,0 a	1,45 ± 0,11 b

Letras diferentes na linha indicam médias estatisticamente menores pelo teste T unilateral ao nível de 5% de significância.



Figura 19 - Crescimento radicular, no anel intermediário, do nabo forrageiro, submetido a diferentes densidades aparentes do solo, no município de Francisco Beltrão/PR, em 2015.

Os resultados encontrados nesse trabalho corroboram com os encontrados em estudo feito por Seben et al. (2016), na avaliação da qualidade física de um Latossolo Vermelho eutrófico, sob plantio de soja e milho em rotação, usando entre a

rotação a cultura de nabo forrageiro para melhorar a qualidade do solo, verificaram que houve uma redução e manutenção da densidade do solo. Mesmos resultados encontrados por Sequinato et al. (2014) em um Argissolo submetido à prática de manejo onde usaram espécies recuperadoras da estrutura do solo, em que verificaram que após o cultivo de milho e soja, seguido da cultivare de nabo forrageiro na qual conseguiu diminuir a densidade do solo. Do mesmo modo, Lopes et al. (2009), em estudo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de manejo na sucessão de soja-milho, onde utilizaram a cultura de inverno nabo forrageiro para avaliar a eficiência da melhoria da qualidade do solo, obtendo resultados satisfatórios na diminuição da densidade do mesmo.

Magalhães et al. (2009), com o uso de Capim Tifton-85 na recuperação estrutural em um argissolo vermelho-amarelo compactado (com nível de densidade de 1,00, 1,30, 1,38, 1,43 e 1,54 g/cm³), observaram que a compactação do solo aumentou a disponibilidade de água às plantas, favorecendo maior desenvolvimento de raízes, conseqüentemente contribuindo para a descompactação do solo pelas mesmas, bem como à medida que a forrageira faz a recuperação estrutural do solo, a massa seca também vai sofrendo um incremento, nas primeiras densidades aferidas, salientam os autores que os valores de densidade após o cultivo do capim Tifton-85 em qualquer tratamento situaram-se entre 1,10 e 1,20 g/cm³.

Também em trabalho realizado por Guimarães et al. (2002), em solo do tipo Latossolo Vermelho perférico, onde utilizaram feijoeiro BAT 477 observando a influência do solo compactado no desenvolvimento desta, observaram que embora a planta não tenha sistema radicular muito desenvolvido, esta é vigorosa o suficiente para romper camadas de impedimentos físicos, tais como observadas nas áreas de plantio direto, na região do cerrado.

No trabalho realizado por Frizon & Castro (2004), onde utilizaram um Latossolo Vermelho distroférico, no desenvolvimento de feijão guandu em diferentes densidades, verificaram que a planta é indicada para a descompactação do solo, pela comprovação de que consegue vencer as camadas compactadas de até 1,6 mg m⁻³, bem como relatam Nicoloso et al. (2008), usando feijão guandu para a descompactação biológica em um mesmo Latossolo Vermelho distroférico típico onde concluíram que a planta é indicada para a escarificação biológica.

Silva & Rosolem (2001) em estudo semelhante, que o milho é uma espécie indicada como planta de cobertura de solos compactados, considerando a produção de matéria seca da parte aérea, sensibilidade a compactação e a densidade do sistema radicular da planta.

Müller et al. (2001), em estudo de influência da compactação em vasos, da mesma forma comprovaram pelo maior acúmulo de matéria seca de raízes na camada compactada e na inferior, que as espécies de nabo forrageiro, aveia preta e branca, mostraram maior potencial para aumentar a aeração e diminuir a compactação de um solo do tipo Latossolo Vermelho-Escuro álico textura média.

Avarenga et al. (1996) do mesmo modo, em estudo semelhante, verificaram que a espécie mata-pasto tem um potencial para penetrar suas raízes em solo compactado para um Latossolo Vermelh-amarelo álico, realizando assim, a descompactação biológica do mesmo. Assim como para Jimenez et al. (2008), concluíram em estudo que o milho ADR 300, pode ser recomendado como planta descompactadora em um Latossolo-Vermelho.

Em contrapartida, em trabalho realizado por Silveira et al. (2012) verificando a qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto, usando a descompactação biológica promovida por planta de cobertura de inverno, o nabo forrageiro, concluíram que os atributos físicos, como a densidade do solo, não foram alterados pelo uso da planta. Bem como, do mesmo modo para Balbinot et al. (2009) em que realizaram estudo sobre o desempenho da cultura de feijão após o uso de culturas de inverno, onde o nabo forrageiro não afetou expressivamente a densidade do solo após seu cultivo, não sendo eficaz na descompactação biológica.

Farias et al. (2013) observando as características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão, em experimento com vasos, evidenciaram que a planta exerce pouca eficiência como planta descompactadora em Latossolo Vermelho, assim como para FOLONI et al. (2003) com as variedades de milho híbrido AG-5011 e Sol da Manhã em Latossolo Vermelho distroférico.

Os resultados desses trabalhos são contraditórios, no entanto, tudo indica que o estágio de desenvolvimento das plantas, por ocasião da avaliação, e a condição de cultivo, seja em experimentos controlados ou em campo, influenciaram a resposta do crescimento vegetativo aéreo e radicular e o seu desenvolvimento em solos

compactados, o que reforça os relatos de Rosolem et al. (2001), sobre a dificuldade de se generalizar conclusões quanto ao desenvolvimento das plantas em solos com impedimentos mecânicos.

5.2 MASSA VERDE E SECA

A análise estatística revelou não haver diferenças significativas na produção de massa verde e seca das plantas de nabo forrageiro, nas diferentes densidades, conforme Tabela 6.

Tabela 5 - Produção de matéria verde e matéria seca de nabo forrageiro submetidos a diferentes densidades de solo, na região de Francisco Beltrão/PR, no ano de 2015.

Densidade inicial (g.cm-3)	Matéria Verde (g)	Matéria Seca (g)
1,30	151,20 ± 65,39 a	20,50 ± 5,56 a
1,50	154,32 ± 68,24 a	17,35 ± 6,12 a
1,70	143,65 ± 24,58 a	17,70 ± 3,59 a
2,00	140,05 ± 30,96 a	20,50 ± 9,05 a

Letras iguais nas colunas indicam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Valores médios ± Desvio Padrão

Tais dados confirmam os resultados encontrados por Rosolem et al. (1994) onde realizaram estudos semelhantes comprovando que a compactação do solo não causou alteração da parte aérea do milho submetido a 2 MPa. Bem como resultados encontrados por Silva et al. (2006) onde a soja não teve sua altura e massa seca influenciada pelo aumento da compactação submetida a 1,5 Mg m³ de densidade, em Latossolo. Também para FOLONI et al. (2006), em seu trabalho verificaram que a produção de matéria seca da parte aérea dos adubos verdes: feijão guandu, guandu anão e crotalaria juncea não foi prejudicada pela compactação do solo em subsuperfície. Por outro lado, Guimarães et al. (2002) relatam o aumento da densidade do solo, decresceram a produção da parte aérea de duas espécies de feijoeiro. Bem como no trabalho desenvolvido por Valicheski et al. (2012) onde utilizaram-se rodado de trator para aferir densidades do solo, verificaram que a produção de massa seca da parte aérea de nabo forrageiro,

decreceu com o aumento da densidade do solo, pois restringindo o desenvolvimento das raízes, resultou em menor volume de solo explorado por estas, consequentemente diminuindo a quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas.

De acordo com Rosolem et al. (2001), o efeito da compactação do solo sobre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas é controverso, pois essa influência está ligada à deficiência de água e nutrientes disponíveis no solo. Na condição de vasos, com água e nutrientes suficientes, não seria esperado o efeito da compactação na variável de massa seca da parte aérea produzida. Por outro lado, estudos feitos por Masle & Farquhar *apud* (ROSOLEM, 2001), relatam que em solos compactados, as raízes necessitam de mais carbono fixado do que a parte aérea das plantas, quando a raiz encontra maior resistência ao crescimento, que é o caso do solo compactado.

6. CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível verificar a capacidade e a eficiência da leguminosa cultura de inverno nabo forrageiro, na sua ação de melhoria da qualidade física do solo, na densidade, ou seja, a capacidade de descompactação biológica da planta.

O nabo forrageiro conseguiu se desenvolver no solo com diferentes densidades, até nas mais altas.

O nabo forrageiro conseguiu diminuir a densidade dos solos com diferentes densidades.

A espécie nabo forrageiro pode ser indicada como planta descompactadora de solo, observadas pelo indicador da qualidade física do solo para solos derivados do basalto.

7. REFERENCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, M. J.; REINERT, J. D. **Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto**. Revista Brasileira Ciência do Solo. Santa Maria, RS. 28:519-531, 2004.

ALMEIDA, A. B. **Propriedades físicas de um latossolo vermelho manejado com material orgânico e submetido à compactação**. 2009. 111p. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REAGAZZI, A. J. **Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente**. Revista Brasileira Ciência do Solo, Campinas-SP, 20:319-326, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12007**: Solo – ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro. 1990.

AZAMBUJA, J. M., **O solo e o clima na produtividade agrícola**. Guaíba: Agropecuária, 1996. 164p.

BALBINOT, A. A. J.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J.; CARVALHO, P. C. F. **Desempenho da cultura do feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno**. Ciência Rural. v. 39. n. 8. p. 2340-2346. Santa Maria. RS. 2009.

BONELLI, E. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; CAMPOS, J. J.; SCARAMUZZA, W. L. M. P; POLIZEL, A. C.; **Compactação do solo: Efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.3, p.264-269, 2011.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: **IAPAR**, 2000.

CAMARGO de, O. A.; Alleoni, L.R.F. **Conceitos Gerais de Compactação do solo**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível

em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/Comp1.htm>>. Acesso em: 24/10/2015

CUBILLA, M.; REINERT, D.J.; AITA, C. & REICHERT, J.M. **Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto.** Revista Plantio Direto, 71:29-32, 2002.

DE MARIA, I. C., CASTRO, O. M., DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista brasileira ciência dos solos.** 23:703-709, 1999.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

EMBRAPA MILHO E SORGO. Sistemas de Produção. 5^a ed. 2009. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/ferequip.htm>. Acesso em: 24/10/2015

Estatcamp (2014). **Software Action. Estatcamp** - Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. Disponível em <<http://www.portalaction.com.br/>>. Acesso em: 01/11/2015.

FARIAS, L. N.; SILVA, E. M.; SOUZA, W. P.; VILARINHO, M. K. C.; SILVA, T. J. A.; GUIMARAES, S. L. **Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. vol.17 no.5 p.497-503, 2013.

FOLONI, J. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. **Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, DF. v. 38, n. 8, p. 947-953, ago. 2003.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BÜLL, L. T. **Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.49-57, 2006.

FRIZON, D.; CASTRO, A. M. C. **Desenvolvimento do feijão-guando (guandu) em diferentes densidades de solo argiloso**. Revista. Varia Scientia v. 04, n. 08, p. 91-101, 2004.

GODOY, R; SANTOS, P. M. **Guandu Mandarin**. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, 2008. Folder.

GUIMARAES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. **Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. v.6, n.2, p.213-218, 2002.

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

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; SER TON, A.L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20p. (Embrapa Trigo. Documentos, 19).

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 216p.

LOPES, R. A. P.; NOBREGA, L. H. P.; URIBE-OPAZO, M. A.; PRIOR, M.; PEREIRA, J. **Propriedades físicas de Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistemas de manejo na sucessão soja-milho no período de três anos**. Acta Sci. Agron. v. 9. p. 721-727. Maringá, PR. 2007.

LIMA, C.L.R., SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T.P. **Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p. 945-951, 2004.

MAGALHÃES, E. N.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B. **Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um argissolo vermelho-amarelo compactado**. Ciência Animal Brasileira, v. 10, n. 1, p. 68-76, jan./mar. 2009.

MINEROPAR - Atlas geomorfológico do Estado do Paraná Escala 1:250.000 modelos reduzidos Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 63 p.

MULLER, M. M. L.; GECONNI, G. ROSELEM, C. A. **Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 25:531-538, 2001.

OLIVEIRA, P. P. A.; SCHAER, A. B.; ASCÊNCIO, F.; GODOY, R.; TSAI, S. M. **Fixação biológica de nitrogênio em guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp cv. BRS Mandarin) inoculada com estirpes de *Bradyrhizobium* spp. na presença ou ausência de tratamento com fungicida.** In: Reunião Nacional da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 46p. Maringá – Paraná, 2009.

PAULUS, G.; MULLER, A.M.; BARCELLOS, L.A.R. **Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica.** Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. p. 86

PACHECO, E. P. **Uso de prensa manual como alternativa para determinação da compressibilidade de solos agrícolas.** Aracajú, SE: Embrapa tabuleiros costeiros, 2010. 6p. (Embrapa tabuleiros costeiros. Comunicado técnico, 111).

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.** São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

REVISTA AGRICULTURAS: Experiências em Agroecologia: Rio de Janeiro – RJ. vol. 5 - no 3 - setembro de 2008. ISSN: 1807-491X

ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSE, H. F.; MORAES, M. H. **Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 18, p. 491-497, 1994.

SÁ, M. A. C., JUNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 24p.

SEBEN, F. J.; CORÁ, J. E.; LAL, R. **Physical quality of an Oxisol under no-tillage subjected to different cropping systems**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília. v. 51. n. 9. p. 1568-1574. 2016.

SEQUINATTO, L.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.; MULLER, J. **Qualidade de um Argissolo submetido a práticas de manejo recuperadoras de sua estrutura física**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. v. 18. n. 3. p. 344-350. 2014.

SILVA, V. R., REINERT, D. J., REICHERT, J. M.,. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira Ciência dos solos**. 24:191-199, 2000.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. **Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa – MG. v.25, n.6, p. 253-259, 2001.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. **Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.6, p.855-860, 2002.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. **Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um latossolo vermelho-escuro distrófico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Santa Maria, RS. 30:31-40, 2006.

SILVEIRA, S. D. J.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDOO G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. **Qualidade física de um latossolo vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica**. Revista Brasileira Ciência do Solo. v.36. p. 1854-1867. São Paulo. 2012.

SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van. **Soil compaction problems in world agriculture**. In: SOANE, B.D. & OUWERKERK, C. van., eds. Soil compaction in crop production. Amsterdam, Elsevier, 1994. p.1-21.

TAVARES FILHO, J. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (zea mays) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista brasileira ciência dos solos**. 25:725-730, 2001.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. **Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado**. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Agrícola. Campina Grande, PB. v.16, n.9, p.969–977, 2012.

VEIGA, J. E. **O desenvolvimento agrícola: uma visão histórica**. 2.ed. São Paulo: Edusp, 2007. 236p.

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. **Características físicas de um Latossolo Vermelho Escuro sob diferentes sistemas de manejo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.19, p.873-882, 1984.