

CAROLINE BEAL MONTIEL

COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA CULTURA DO CÁRTAMO
(*CARTHAMUS TINCTORIUS* L.) EM LATOSSOLO ARGILOSO SOB
ESTADOS DE COMPACTAÇÃO

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MAIO – 2019

CAROLINE BEAL MONTIEL

**COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA CULTURA DO CÁRTAMO
(*CARTHAMUS TINCTORIUS* L.) EM LATOSSOLO ARGILOSO SOB
ESTADOS DE COMPACTAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco

Coorientadores: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Prof. Dr. Araceli Ciotti de Marins

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MAIO – 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Beal Montiel , Caroline

Componentes de produção da cultura do cártamo (*CARTHAMUS TINCTORIUS* L.) em latossolo argiloso sob estados de compactação / Caroline Beal Montiel ; orientador(a), Deonir Secco; coorientador(a), Reginaldo Ferreira Santos, coorientador(a)II, Araceli Ciotti de Marins, 2019.

64 f.

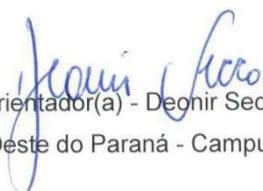
Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, , Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, 2019.

1. Física do solo . 2. Densidade do solo . 3. Compactação do solo . I. Secco, Deonir . II. Ferreira Santos, Reginaldo . III. Ciotti de Marins, Araceli . IV. Título.

CAROLINE BEAL MONTIEL

Componentes de produção da cultura do Cártamo (*Carthamus Tinctorius L.*) em um Latossolo argiloso sob estados de compactação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Orientador(a) - Deonir Secco

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Douglas Bassegio

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Alcir José Modolo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Pato Branco (UTFPR)

Cascavel, 22 de março de 2019

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós – Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura e à CAPES por ter possibilitado a realização do curso de pós-graduação.

Aos meus pais Nelson Montiel e Lucilene Beal, por sempre me incentivarem e me apoiarem nos momentos em que houve dificuldades, sendo meu alicerce.

Ao orientador professor Dr. Deonir Secco, por estar ao meu lado me incentivando, ensinando, auxiliando todo o meu período do mestrado.

A todos os amigos que estiveram colaborando da melhor maneira possível, me auxiliando nos trabalhos para a realização deste projeto, o meu reconhecimento e meus sinceros muito obrigado.

LISTA DE SÍMBOLOS

CV - Coeficiente de variação;

Ds - Densidade do solo em (Mg m^{-3});

Dms - Diferença mínima significativa;

ETo - Evapotranspiração da cultura;

IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná;

IVE - índice de velocidade de emergência;

Kc - Coeficiente da cultura;

NEEA - Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola;

PAD - Polietileno de Alta Densidade;

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo utilizado.....	16
Tabela 2. Requerimento de água nas fases da cultura do algodão.....	20
Tabela 3. Valores médios de densidade, porosidade total, macro e microporosidade do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade.....	36
Tabela 4. Valores médios de altura e diâmetro do caule de plantas cártamo aos 7, 15, 30 e 45 dias após o plantio a campo (Valores médios de 5 plantas).....	38
Tabela 5. Valores médios de altura, diâmetro, massa fresca e seca na fase vegetativa de plantas de cártamo cultivadas à campo (Valores médios de 5 plantas).....	39
Tabela 6. Comprimento de raiz, massa fresca e seca de raiz, massa fresca e seca de plantas na fase de colheita de cártamo cultivadas à campo (Valores médios de 5 plantas).....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Corte dos tubos de PVC.....	17
Figura 2. Montagem dos vasos com diferentes níveis de compactação.....	18
Figura 3. Passagem do trator na área experimental.....	21
Figura 4. Retirada das plantas com raízes.....	22
Figura 5. Altura e diâmetro de planta aos 7 dias após o plantio em estufa.....	23
Figura 6. Altura e diâmetro de planta aos 15 dias após o plantio em estufa.....	24
Figura 7. Altura e diâmetro de planta aos 30 dias após o plantio em estufa.....	25
Figura 8. Altura e diâmetro de planta aos 45 dias após o plantio em estufa.....	26
Figura 9. Índice de velocidade de emergência (IVE) após emergência das plantas em estufa.....	27
Figura 10. Altura e diâmetro da planta durante a fase vegetativa no cultivo em estufa.....	28
Figura 11. Massa fresca e seca da planta durante a fase vegetativa no cultivo em estufa.....	29
Figura 12. Altura, diâmetro da planta durante a fase de floração no cultivo em estufa.....	30
Figura 13. Massa seca e fresca da planta durante a fase de floração no cultivo em estufa.....	31
Figura 14. Altura e diâmetro, da planta na fase de colheita do cártamo cultivado em estufa.....	32
Figura 15. Massa fresca e seca da planta na fase de colheita do cártamo cultivado em estufa.....	33
Figura 16. Comprimento, massa fresca e massa seca de raiz na fase de colheita do cártamo cultivado em estufa.....	34
Figura 17. Comprimento das raízes das plantas em suas respectivas densidades..	41

MONTIEL, Caroline Beal. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, maio de 2019. Componentes de produção da cultura do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) em Latossolo argiloso sob estados de compactação. Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco. Coorientadores: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos e Prof. Dra. Araceli Ciotti de Marins.

RESUMO

O cártamo vem sendo estudado como uma alternativa para a produção de biocombustível devido ao seu elevado potencial na produção de óleo e também pela busca de produção sustentável. Com isso, este trabalho teve o objetivo de avaliar o crescimento radicular e o desenvolvimento da cultura do cártamo ao ser submetida a 5 níveis de compactação do solo em um Latossolo argiloso na região Oeste do Paraná. O experimento foi conduzido em duas etapas: a primeira etapa em casa de vegetação e a segunda etapa à campo, em área localizada na Universidade Estadual do Oeste do Paraná campus de Cascavel - PR. Os tratamentos foram constituídos por 5 densidades do solo, sendo elas 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 Mg m⁻³ e 4 repetições, com delineamento inteiramente casualizado em casa de vegetação. No cultivo à campo, obteve-se 4 tratamentos sendo eles T0= 0 passadas, T1= uma passada, T3= três passadas e T5= cinco passadas, com delineamento experimental cultivo em faixas. As variáveis analisadas foram: altura de planta, diâmetro do caule, peso de massa seca e fresca de planta e raiz e o comprimento do sistema radicular. A análise estatística foi realizada através da análise de variância (ANOVA), e as médias de tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Valores de densidade do solo de 1,2 Mg m⁻³ ou superior são restritivos ao crescimento radicular do cártamo. No cultivo em campo ocorreu redução da altura, do diâmetro do caule e da massa fresca e seca de plantas do cártamo à medida que aumentou o estado de compactação do solo.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001"

PALAVRAS-CHAVE: densidade do solo; espaço poroso; desenvolvimento radicular

MONTIEL, Caroline Beal. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, May, 2019. Production components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in clay latosol under compaction conditions. Advisor: Prof. Dr. Deonir Secco. Co-Advisors: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos and Prof. Dra. Araceli Ciotti de Marins.

ABSTRACT

Safflower has been studied as an alternative for the production of biofuel because of its high potential in oil production and also the search for sustainable production. The objective of this work was to evaluate the root growth and development of the safflower culture when submitted to 5 levels of soil compaction in a clayey Oxisol in the western region of Paraná. The experiment was conducted in two stages: the first stage in a greenhouse and the second stage in the field, in an area located at the State University of the West Paraná campus of Cascavel - PR. The treatments consisted of 5 densities, being 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 and 1,5 Mg m⁻³ and 4 replications, with a completely randomized design in greenhouse. In the field cultivation, four treatments were obtained, P0 = 0 past, P1 = one pass, P3 = three passes and P5 = five passes, with experimental design in strips. The variables analyzed were: plant height, stem diameter, dry and fresh mass weight of plant and root and root system length. Statistical analysis was performed through analysis of variance (ANOVA), and the means of treatments were compared by the Tukey test at 5% significance. Soil density values of 1,2 Mg m⁻³ or higher are restrictive to safflower root growth. The measurement of the weight gain and the drying of plants of the soil to the growth and the state of compaction of the soil.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

KEY WORDS: soil density; porous space; root development

ÍNDICE

LISTA DE SÍMBOLOS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Uso do solo.....	3
2.2 Atributos Físicos do solo	4
2.3 Estrutura do solo.....	5
2.3.1 Densidade do solo.....	6
2.3.2 Resistência do solo.....	7
2.4 Compactação do solo em áreas manejadas sob sistema plantio direto	8
2.5 Descompactação mecânica x Cultural	10
2.6 Energia e meio ambiente	12
2.7 Cultura do cártamo	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Local de condução do experimento	16
3.2 Caracterização do solo e dados climáticos	16
3.3 Implantação e condução do experimento	17
3.3.1 Cultivo do cártamo em estufa.....	17
3.3.2 Cultivo do cártamo à campo.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Resultados obtidos no cultivo de cártamo em casa de vegetação.....	22
4.2 Resultados obtidos no cultivo de cártamo à campo.....	35
5. CONCLUSÃO.....	42
6. REFERÊNCIABIBLIOGRÁFICAS.....	43

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a demanda pela produção de biocombustíveis tem aumentado devido à elevação do preço do petróleo, pelo possível esgotamento de suas fontes e pelas consequências que os combustíveis fósseis trazem ao meio ambiente, principalmente com a emissão de gases poluentes que ocasionam o chamado efeito estufa.

O crescimento acelerado da população mundial, sua necessidade por alimento e a redução da disponibilidade de combustíveis fósseis fizeram com que cientistas e governantes buscassem alternativas de energias renováveis, viáveis e sustentáveis com o intuito de amenizar os efeitos severos causados pelo aquecimento global nas variações do clima (NELSON et al., 2009; SANTOS; SOUZA; SECCO, 2012).

Nesse sentido, o biodiesel é um biocombustível derivado de fontes renováveis, que trazem benefícios e ganhos ao meio ambiente e podem ser obtidos através de óleos extraídos de plantas oleaginosas cultivadas ou de gorduras animais. No que se refere às plantas oleaginosas, as mais utilizadas para a produção de biodiesel são algodão, soja, dendê, mamona e pinhão-manso (ANDRADE; GALVÃO, 2013; SILVA; GALVÃO, 2013).

O Brasil apresenta condições favoráveis para o cultivo de diversos tipos de oleaginosas devido a sua diversidade de solos, clima e de adaptação das culturas nas diferentes regiões para a produção do biocombustível (QUINTELLA et al., 2009).

Dentre esses cultivos, encontra-se a cultura do cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), que se caracteriza como uma planta oleaginosa pertencente à família *Asteraceae*, e, mesmo sendo pouco conhecida e pesquisada no país, é muito cultivada mundialmente em países como Índia, México e Argentina, representando uma das culturas mais importantes na produção de óleo (MOVAHHEDY-DEHNAVY, SANAVY, BIDGOLI, 2009).

As plantas necessitam de condições físicas favoráveis do solo para obterem um desenvolvimento satisfatório, e os atributos físicos do solo como aeração, manutenção da temperatura e absorção e retenção de água podem ser prejudicados quando estes sofrem compactação. Ao se ter uma alteração negativa

da estrutura do solo por compactação, de acordo com o manejo utilizado, pode-se obter prejuízos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das raízes, resultando em menor produtividade final das culturas.

Atualmente, o sistema utilizado na agricultura brasileira é o sistema plantio direto, que cada vez mais traz problemas referentes à compactação dos solos, devido às constantes pressões exercidas na superfície do terreno por máquinas e implementos utilizados no manejo e, também, devido à falta de rotação de culturas, dificultando assim, que as plantas expressem seu máximo potencial de produtividade.

Busca-se, então, por meio da rotação de culturas, estratégia que pode alterar favoravelmente as características físicas do solo, com a utilização de espécies de cobertura do solo de aporte grande quantidade de massa para a proteção do solo, a reciclagem de nutrientes, além de propiciarem bioporos estáveis que podem favorecer o desenvolvimento das culturas posteriores.

Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar os componentes de produção da cultura do cártamo em um Latossolo argiloso sob estados de compactação do solo na região Oeste do Paraná.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uso do solo

O solo é a base para a produção de alimentos, a qual apresenta crescente aumento da demanda devido ao crescimento populacional. Ele é um substrato físico e nutritivo que fornece água, ar e nutrientes, fatores indispensáveis para o crescimento e sobrevivência de vegetais e animais (MAZOYER; ROUDART, 2010). Com isso, de acordo com o manejo de solo utilizado, tem-se influência direta sobre as condições físicas, químicas e biológicas, sendo ela positiva ou negativa, impactando a produção final das culturas.

Os sistemas de preparo de solo mais utilizados são o cultivo mínimo, convencional e o plantio direto. No preparo convencional, há uma grande mobilização da camada arável, possibilitando, assim, aumento de translocação de argila no perfil do solo, da compactação, erosão e oxidação da matéria orgânica (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009; CUNHA et al., 2011). Esse sistema tem como principal característica o revolvimento das camadas superficiais para a incorporação de fertilizantes e corretivos, aumentando a porosidade permitindo então maior infiltração de água e ar, facilitando o crescimento das raízes. O revolvimento é feito com a utilização de aração e gradagem, porém essa prática pode causar sérios problemas nos anos seguintes se não realizada com critério (GABRIEL FILHO et al., 2000).

Esses problemas estão relacionados a efeitos como desagregação da estrutura do solo, que, juntamente com a falta de resíduos na superfície, amplia a susceptibilidade do solo à erosão através do impacto de gotas de chuva. Em caso de solos arenosos, principalmente, há alta susceptibilidade à erosão, onde tem sido estimulado o preparo conservacionista para a manutenção da cobertura e redução da erosão (TORMENA et al., 2002).

Durante o desenvolvimento de sistema de manejo dos solos menos agressivos, houve o surgimento o sistema de plantio direto o qual, embora nem sempre favorável às características físicas do solo, apresenta melhorias nas características biológicas e químicas. Nesse sistema de plantio, observa-se menor decomposição da cobertura vegetal, havendo conseqüentemente maior acúmulo

de matéria orgânica e aumento no teor de carbono (C) orgânico total, que propicia uma estabilização da estrutura do solo através do seu efeito cimentante na formação dos agregados (BARRETO et al., 2009).

Apesar dos benefícios que esse sistema oferece, tem-se observado no plantio direto problemas relacionados à compactação do solo, principalmente na camada superficial, e, com isso, o aumento da resistência à penetração e a redução da macroporosidade (BERTOL et al., 2004; GOZUBUYUK et al., 2014). Devido a essa observação, faz-se importante compreender e quantificar o impacto causado pelos sistemas de preparo do solo sobre a qualidade física, a fim de se obter sustentabilidade e alta produtividade nos ecossistemas naturais e nos agroecossistemas (FERREIRA DA SILVA et al., 2008).

2.2 Atributos Físicos do solo

A assistência ofertada aos produtores rurais está intensamente ligada aos avanços tecnológicos, tendo em vista a venda de insumos e maquinários agrícolas. Entretanto, tais insumos e maquinários podem não ser apropriados para o solo em que serão aplicados, em relação ao tamanho e peso, visto que, quando utilizados em determinadas condições de umidade, podem afetar diretamente os atributos físicos, elevando o risco de compactação do solo e, conseqüentemente, prejudicando as condições de temperatura, aeração, disponibilidade de água e nutrientes, bem como a resistência à penetração (SANTOS et al., 2014).

A compactação decorre do intenso tráfego de maquinários agrícolas e também pelo pastejo excessivo, que resulta em aumento da densidade do solo e redução da macroporosidade e porosidade total. Quanto mais intensa for a compactação de um solo, maior também se torna sua resistência à penetração, fator que atua diretamente no desenvolvimento do sistema radicular da cultura implantada (BERGAMIN et al., 2010; PARENTE; MAIA, 2011; VALADÃO et al., 2015). Ao se ter limitado o volume de superfície a ser explorado devido ao sistema radicular superficial, tem-se então problemas com a absorção de água e nutrientes pela planta, com grande destaque para aqueles que necessitam da difusão como fósforo, potássio e zinco (MALAVOLTA, 2006; VALADÃO et al., 2015).

Scapinelli et al. (2016) mostram que a compactação causada pelo tráfego de máquinas provoca redução no índice de área radicular da cultura do girassol,

fazendo com que ocorra limitação na exploração do perfil do solo, provocando alterações físicas nas raízes e redução do desenvolvimento e produtividade dessa cultura.

Porém, Cardoso et al. (2006) argumentam que, mesmo com o aumento da densidade do solo gerada pelo tráfego de maquinários, não significa, necessariamente, que haverá diminuição na produtividade das culturas implantadas, pois existe dependência de outros fatores diversos à densidade, principalmente quando não há restrição hídrica no solo. Além disso, mostram que as camadas compactadas não interferiram no rendimento final de grãos e na massa seca da cultura da soja, quando às condições de clima não limitarem a disponibilidade de água a cultura.

A agricultura é cultivada em sua grande parte pelo sistema de plantio direto, o qual, mesmo demonstrando ser um cultivo sustentável, acaba se tornando ao longo do tempo grande condicionante do processo de compactação do solo, acarretando em diversas alterações negativas nos atributos físicos do solo (SECCO, 2003).

2.3 Estrutura do solo

O agrupamento e organização das partículas para a formação de agregados, relacionados com sua distribuição define o que é a estrutura do solo. O tipo do agregado é responsável pela determinação do tipo da estrutura de solo (REINERT; REICHERT, 2006).

O arranjo das partículas sólidas resulta em sua estrutura e agregação, sendo de extrema importância para a agricultura, pois esses estão diretamente relacionados com o fornecimento de água e de ar para as raízes, bem como o fornecimento de nutrientes (VIERIA et al., 2009). Mudanças na estrutura do solo e rompimento dos agregados decorrentes do uso agrícola indevido normalmente acarretam em limitações ao crescimento radicular das culturas, diminuindo a exploração por nutrientes e água (ALBUQUERQUE et al., 2003).

O tamanho dos agregados e a sua proporção são utilizados como índices de estabilidade (REINERT; REICHERT, 2006), tendo-se que os microagregados se apresentam mais estáveis e os macroagregados menos, sendo então mais suscetíveis a mudanças durante o uso de práticas de manejo agrícola

(PAGLIARINI; MENDONCA; ALVES, 2012). Ao se adotar práticas de manejo que propiciam acréscimo de grande quantidade de resíduos, torna-se favorável aumento de fluxo de energia e matéria, causando a formação de agregados maiores, e, por conseguinte, contribuindo para o aumento da qualidade do solo (DE ALMEIDA et al., 2009). Quantificar e entender os impactos causados pelos diferentes sistemas de manejo do solo na qualidade física é essencial para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (TORMENA et al., 2004).

2.3.1 Densidade do solo

A compactação promove alteração estrutural e uma reorganização das partículas e seus agregados, aumentando os valores de microporosidade, fazendo com que seja afetada negativamente a infiltração de água no solo, absorção de nutrientes, trocas gasosas, crescimento radicular e, conseqüentemente, produtividade das culturas (DALCHIAVON et al., 2011).

Com isso, a propriedade física mais estudada e analisada é a densidade, em que a variação nesses valores, em grande parte, é devido à diferença no volume de macro e microporos, pois a densidade e a porosidade são expostas de forma conjunta (FERREIRA; FILHO; FERREIRA, 2010; OLIVEIRA et al., 2012).

A densidade não apresenta consenso de valor crítico, tendo sua variação de acordo com as características físicas do solo, sendo que terrenos argilosos com uma densidade acima $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos de textura argilosa pode apresentar restrições de crescimento radicular em culturas anuais (REICHERT et al., 2009).

Em Latossolos Vermelho do Cerrado o aumento da densidade do solo em variados genótipos de cártamo tem influência negativa no seu crescimento e desenvolvimento (PALUDO et al., 2017). Assim como na avaliação realizada por Silva, Maia, Bianchini (2006), onde ao submeterem à cultura do algodoeiro a aumento da densidade em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, nota-se que o algodão é suscetível para todas as variáveis que foram analisadas.

Jorge et al. (2012), ao realizarem avaliação da densidade e distribuição de poros em Latossolos, os quais foram submetidos a diferentes práticas de manejo na região de cerrado do Triângulo Mineiro, observaram variação na densidade quando de períodos chuvosos ou secos, observando que, em períodos de chuva, tem-se maior densidade devido às operações agrícolas serem realizadas nessa

época e haver facilidade de maiores compressões com elevados teores de umidade do solo.

O uso de implementos agrícolas em áreas onde se apresenta nenhuma ou pouca cobertura vegetal tem influência direta sobre os atributos físicos, gerando redução na porosidade, e modificações na densidade e resistência do solo à penetração de raízes (ROSSETTI et al., 2012).

2.3.2 Resistência do solo

A resistência à penetração tem sido um dos atributos frequentemente utilizados para quantificar a qualidade estrutural adequada ao crescimento das plantas (PRINGLE; LARK, 2007; SUZUKI et al., 2007) em solos sob semeadura direta e convencional (VITA et al., 2007), no qual o efeito de máquinas sobre a compactação tem sido positivamente caracterizado pela resistência à penetração (STRECK et al., 2004).

Essa resistência está diretamente ligada ao potencial de água e aeração do solo, sendo que a resistência à penetração tem vantagem de estar relacionada ao crescimento das plantas, em razão do efeito que tem sobre os processos metabólicos e funções vitais (LEÃO et al., 2006).

A resistência à penetração é dependente da textura, densidade e, sobretudo, do teor de água do solo (OLIVEIRA; SEVERIANO; MELLO, 2007; BLAINSKI et al., 2008), exigindo maiores cuidados na sua interpretação (SILVA et al., 2009). Os valores da resistência à penetração estão ligados ao teor de água no solo no momento da avaliação, pois existem incrementos exponenciais nos valores devido à redução desse teor (VAZ et al., 2011; MORAES et al., 2012).

Quando se tem valores de resistência à penetração maiores que 2,0 MPa, em condição de umidade do solo conhecido como capacidade de campo, o desenvolvimento das culturas é prejudicado, porém, Dalchiavon et al. (2011) observaram que valores acima de 2,0 MPa não restringem seriamente o desenvolvimento e a produtividade da soja. Girardello et al. (2011) observam que o valor crítico de um Latossolo Vermelho é de 3,0 MPa, trazendo redução de 10% na produtividade da cultura da soja, e, ao se ter mínimos incrementos no valor crítico da resistência, a penetração apresenta atenuante decréscimo da produtividade da oleaginosa.

Em oposto aos valores citados acima outro estudo realizado com a cultivar guar (*Cyamopsis tetragonolobus*), índices maiores que 1MPa a 80% da capacidade de campo, afetaram o crescimento de raízes e brotos. Também houve aumento no diâmetro da raiz quando esta encontrava a camada compactada devido ao aumento da resistência a penetração (BASSEGIO et al., 2018).

Diferenças em valores de resistência à penetração entre espécies podem ocorrer devido ao mecanismo de lubrificação da zona radicular que é exercido pelas raízes. Observou-se que plantas de tremoço tendem a suportar maior impedimento mecânico no crescimento das raízes, comparado ao crescimento de raízes do milho, situação ocorrente devido ao fato de o sistema radicular do tremoço ter lubrificação de mucilagem e das células ligadas à borda de toda a região do alongamento radicular, diferente do sistema radicular do milho, o qual lubrifica principalmente a coifa (SCHIMIDT et al., 2013).

2.4 Compactação do solo em áreas manejadas sob sistema plantio direto

O plantio direto é um sistema de manejo do solo, o qual visa sustentabilidade dos agroecossistemas (DERPSCH et al., 2010). Mais de 31,8 milhões de hectares são cultivados sob este sistema no Brasil (FEBRAPDP, 2018), e mais de 154 milhões de hectares são manejados sob plantio direto em todo o mundo (FAO, 2018). Porém, o excesso do tráfego, associado à falta de rotação de culturas, resultou na formação de camadas compactadas no solo (FRANCHINI et al., 2012).

O sistema plantio direto é praticado por grande parte dos agricultores brasileiros, tendo como principal característica o revolvimento do solo somente na linha de semeadura, mantendo os restos culturais da cultura anterior sobre a superfície, reduzindo a susceptibilidade a erosão (LLANILLO et al., 2006). O plantio sobre a palha evita a degradação do solo e o manejo excessivo, e também diminui a lixiviação e o carregamento de nutrientes. O material que permanece no solo é favorável ao processo biológico, infiltração de água e nutrientes, tornando-se um ambiente mais úmido e com temperaturas reduzidas (MACEDO; PASQUALETTO, 2007).

No sistema plantio direto tem-se menor decomposição da cobertura vegetal, acumulando matéria orgânica e aumentando o carbono orgânico total, que,

através de seu efeito cimentante, contribui na manutenção e formação dos agregados, estabilizando a estrutura do solo (BARRETO et al., 2009). Até mesmo em sistemas plantio direto irrigado em locais semiáridos, devido à decomposição dos resíduos e sua mineralização, ocorrem aumento do carbono orgânico do solo (GIUBERGIA; MARTELLOTTO; LAVADO, 2013).

O plantio direto retém resíduos culturais que promovem o acúmulo de carbono, o que torna favorável a infiltração e absorção de água, elevando a sortividade, porosidade total e macroagregação do solo (SÁ et al., 2014). Esses benefícios do plantio direto podem se tornar mais efetivos juntamente com a rotação ou sucessão de culturas, que, através da síntese radicular de material orgânico, juntamente com a configuração e proporção de raízes laterais, melhoram a estrutura do solo e diminuem a compactação por gerarem bioporos estáveis (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009).

Porém, esse sistema utiliza muitas vezes intenso tráfego de maquinários agrícolas, que favorece alterações estruturais no solo que resultam em aumento da compactação (COLLARES et al., 2006), originando, então, a necessidade de avaliação dessa estrutura do solo com o objetivo de se evitar produtividades reduzidas causadas pelo efeito da compactação (CARDOSO; LANCAS; SILVA, 2008).

Segundo Crispim (2010), a compactação se define como uma redução no índice de vazios do solo causado por uma força mecânica, fazendo com que se tenha reajuste das fases sólidas e gasosas, não demonstrando perdas na fase líquida.

A compactação é um dos fatores que afetam as taxas de infiltração de água no solo e, em consequência, torna suscetível a erosão e o escoamento superficial (SANTOS et al., 2014). Ela também pode afetar o desenvolvimento de plantas, reduzir a velocidade de emergência das sementes, raízes superficiais e provocar má formação (PIFFER; BENEZ, 2005).

Além da influência no desenvolvimento das plantas, a compactação também interfere nos atributos físicos do solo, afetando negativamente sua estrutura com o aumento da densidade, redução da macroporosidade e porosidade total e aumento da resistência à penetração do solo (SILVA; ALBUQUERQUE; COSTA, 2014; TOIGO et al., 2015).

2.5 Descompactação mecânica x Cultural

A compactação do solo pode condicionar negativamente o solo reduzindo a produtividade dos cultivos agrícolas em decorrência das modificações físicas que são causadas no ambiente radicular. Essas alterações estão relacionadas à redução da disponibilidade de água e oxigênio e também ao aumento da resistência à penetração de raízes no solo (DEBIASE et al., 2010).

Para se ter um bom desenvolvimento dos cultivos agrícolas sob diferentes sistemas de manejo, observa-se a qualidade física do solo. Condições físicas de um solo consideradas ótimas para o crescimento radicular estão extremamente ligadas à resistência à penetração desse solo, fornecimento de água e aeração (LAPEN et al., 2004). Ao se ter condições de solo iguais e espécies diferentes, pode se obter diferentes resultados, sendo que espécies mais sensíveis e exigentes se tornam mais suscetíveis a estresses, e espécies mais rústicas tendem a não ser tão suscetíveis e não encontrar limitações ao seu desenvolvimento (WILLIAMS; WEIL, 2004; OLIBONE; ENCIDE-OLIBONE; ROSOLEM, 2010).

A escarificação tem sido utilizada para diminuir a compactação de solos manejados sob plantio direto (CAMARA; KLEIN, 2005; COLLARES et al., 2008). A sua adoção de forma esporádica para mobilização do solo em áreas cultivadas sob plantio direto é frequentemente chamada de plantio direto escarificado, o que proporciona aumento nos valores de retenção de água na superfície, principalmente pelo aumento da porosidade, com maior capacidade de aeração e infiltração de água nesse sistema (CASTRO; VIEIRA; SIQUEIRA, 2010). Porém, a escarificação é uma operação de elevada demanda de potência, combustível e tempo, tornando-se indicado somente onde há efeitos severos de compactação (CADURO GIRARDELLO et al., 2014).

A escarificação mecânica em um Latossolo argiloso não demonstra melhorias nas condições físicas em longo prazo, e as alterações físicas provocadas por esse manejo (porosidade total, macroporosidade e densidade) têm duração temporária (NICOLOSSO et al., 2008; DRESCHER et al., 2016). Porém, a realização dessa prática, juntamente com cultivo de diferentes espécies vegetais, se mostra mais eficiente no processo de descompactação, para que se tenham os benefícios desse processo por maior período (JUNIOR et al., 2012; VALICHESKI et al., 2012).

Modificações nas propriedades físicas do solo fazem com que seja essencial utilizar plantas de cobertura que são capazes de realizarem o rompimento de camadas compactadas (GONÇALVES et al., 2006). O cultivo de plantas de cobertura fornece proteção superficial do solo contra o impacto das gotas da chuva e gera o acúmulo de carbono no solo devido à matéria orgânica, a qual é responsável por beneficiar propriedades físico-químicas do solo (SEIDEL et al., 2015). As plantas de cobertura que apresentam sistema radicular agressivo e volumoso contribuem para se ter um solo mais poroso, elevando a infiltração de água até as camadas mais profundas, além de benefícios de reciclagem de nutrientes, elevação de matéria orgânica e controle de plantas daninhas (SEIDEL et al., 2017).

Segundo Santos et al. (2014), a utilização de práticas mecânicas como a escarificação para descompactação do solo é eficiente, porém tem-se maior perspectiva de sucesso na recuperação dos solos quando estes são submetidos a processos conservacionistas como plantio direto e rotação de culturas utilizando plantas denominadas “recuperadoras” de estrutura.

A utilização de plantas de cobertura juntamente com o sistema plantio direto proporciona ao longo dos anos modificações positivas nos atributos físicos do solo em sua camada superficial (TORRES, 2015). Plantas de cobertura são denominadas descompactadoras do solo, pois realizam o rompimento das camadas compactadas devido à uniformidade em que suas raízes são distribuídas ao longo do perfil do solo, proporcionando aumento do volume de bioporos, além da produção de fitomassa da parte aérea e cobertura do solo (GUIMARÃES et al., 2013).

Em relação aos atributos físicos do solo, como densidade, volume total de poros, macro e microporos, estes não são influenciados após o cultivo de plantas de cobertura; porém, a condutividade hidráulica do solo saturado se mostra influenciada, aumentando a infiltração de água e a capacidade de redução da resistência à penetração do solo para valores que não restrinjam o desenvolvimento de raízes (CARDOSO, 2013).

Gramíneas realizam influência maior na agregação superficial do solo devido à quantidade de restos vegetais sobre a superfície ao longo dos anos e também ao crescimento radicular, que promove aproximação das partículas em razão do avanço pelo espaço poroso. Realizar o cultivo de plantas de cobertura na

primavera antes do plantio de soja promove melhor agregação do solo do que comparado ao período de outono-inverno (GARCIA; ROSSOLEM, 2011).

Debiase et al. (2010) observaram que a utilização de plantas de cobertura durante o inverno tem efeito significativo na redução do efeito da compactação em áreas com sistema plantio direto. Entretanto, é necessária a análise de espécies de cobertura, para se conseguir plantas descompactadoras com melhor desempenho em seu crescimento radicular em um ambiente compactado, a fim de melhorar seus efeitos nos sistemas agrícolas (BONFIM-SILVA et al., 2012).

2.6 Energia e meio ambiente

As fontes de energias renováveis representam 44,1% de participação na matriz energética brasileira (BRASIL, 2012), as quais são advindas de biomassas ou energia hidrelétrica. As fontes de energia não renováveis (diesel e gasolina) podem ter redução em seu uso, devido ao incremento que as energias renováveis podem sofrer com a maior utilização dos biocombustíveis (SILVA et al., 2013).

O Brasil apresenta ótimas condições climáticas e territoriais para agroenergia, tendo grandes chances de se tornar líder em produção de biocombustíveis, otimizando áreas que são significativas na agricultura, promovendo um manejo sustentável e a utilização de áreas degradadas, sem apresentar problemas em relação à segurança alimentar; além disso, os impactos ambientais causados são aceitáveis (BRASIL, 2006).

A utilização de biocombustíveis é considerada como uma alternativa de energia renovável. Fatores como elevação de preço do petróleo, modificações climáticas e poluições ambientais têm sido os estimuladores da produção de biocombustíveis, sendo essa uma forma de promover o desenvolvimento de regiões agrícolas pobres e haver uma produção sustentável (SALLET; ALVIM, 2011). Além disso, os biocombustíveis são uma alternativa para o setor de transportes, o qual apresenta maior consumo de energia (GARCILASSO, 2014).

Os benefícios da utilização do biodiesel comparado aos combustíveis convencionais são redução nos impactos ambientais, beneficiamento do setor socioeconômico, segurança energética e reaproveitamento de resíduos (SOUZA, 2013).

O biodiesel é considerado um combustível biodegradável, é advindo de origem vegetal ou animal com a finalidade de uso em motores de combustão interna com ignição por compressão, sem que haja a modificação dos motores do ciclo diesel (BIODIESEL, 2011).

No cenário atual, o biodiesel pode ser advindo de diversos óleos vegetais, tais como soja, girassol, canola, mamona, algodão, dendê, pinhão-manso etc. No entanto, a cultura da soja não deve permanecer como a principal matéria-prima, haja vista sua baixa produtividade de óleo, preço elevado e a influência nos preços dos alimentos (MENDES; COSTA, 2010).

Dentre todas essas culturas, a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima em produção de biocombustíveis atualmente. O etanol advindo da cana-de-açúcar apresenta balanço energético positivo, e também possui o apoio do governo em diversos países, bem como no Brasil, o qual compreende 40% do combustível para transporte em veículos de passageiros (GOLDEMBERG, 2007; 2008).

Para que o biodiesel tenha importância significativa na matriz energética, é necessário que a produção seja realizada através de matéria-prima com alta produtividade e inovação, para que seus custos de produção sejam reduzidos (MENDES; COSTA, 2010). O consumo e a eficiência energética são importantes pontos para encontrar problemas que estão ligados à sustentabilidade dos sistemas produtivos agrícolas (CHECHETTO; SIQUEIRA; GAMERO, 2010).

Segundo Santos e Almeida (2015), devido à necessidade de plantas com alto rendimento de produção que possam atender a demanda por óleo vegetal, tem-se a cultura do cártamo, que pode ser incluída em regiões onde há taxas reduzidas de fertilidade, auxiliando no fornecimento de óleo tanto para a alimentação humana como para alimentação animal, cosméticos, fármacos, tintas e biodiesel.

2.7 Cultura do cártamo

A cultura do cártamo tem sido utilizada em pesquisas voltadas para a produção de biodiesel devido ao seu grande potencial. Seu cultivo é amplamente realizado para essa finalidade em vários países, porém pesquisas estão sendo realizadas com a intenção de elevar a produção da cultura e também o rendimento de seu óleo (ULLAH; BANO, 2011; EL-LATTIEF, 2012). O cártamo é uma cultura

não convencional que se apresenta como alternativa na produção de óleo, assim como já acontece em países como Irã, Turquia e Índia (NABIPOUR; MESKARBASHEE; YOUSEFPOUR, 2007).

Caracteriza-se como uma planta típica do mediterrâneo, que demonstra ser uma opção de cultivo para regiões e períodos de clima menos favoráveis para cultivos convencionais, tornando-se uma alternativa sustentável e econômica, podendo alterar o paradigma do cultivo de soja/milho (CORLETO et al., 2008).

O cártamo é considerado uma espécie oleaginosa anual, pertencente à família *Asteraceae*, possui uma altura que pode variar de 30 a 150 cm e um alto índice de ramificações secundárias e terciárias. Suas folhas são geralmente no formato oval, as flores são globulares chamadas de capítulos e as suas sementes se encontram dentro dos mesmos. Essa cultura apresenta tolerância ao déficit hídrico por possuir um sistema radicular pivotante que facilita a sua sobrevivência em condições desfavoráveis (LI; MÜNDEL 1996; FEIZI; HAJABBASI; MOSTAFAZADEH-FARD, 2010; SAMPAIO, 2016).

O cártamo tem a capacidade de se adaptar a diferentes condições de clima e solo, sendo essencial se ter de 300 a 600 mm de precipitações durante seu ciclo vegetativo (EMONGOR, 2010). Além disso, apresenta elevada tolerância a ventos fortes, baixa umidade relativa do ar e temperaturas extremas. Com isso, o cártamo possui alta capacidade de adaptação às diversas condições ecológicas predominantes nas áreas de clima semiárido (KIZIL et al., 2008; BAGHERI; SAMDAILIRI, 2011).

A disseminação do cártamo ocorre pelas sementes (ABUD et al., 2010), as quais apresentam um elevado teor de óleo, cerca de 44%, com quantidades elevadas dos ácidos graxos insaturados (oleicos e linoleicos), que são de ótima qualidade para a nutrição humana (NOSHEEN et al., 2011; AMBREEN et al., 2015). É considerada uma planta medicinal importante, pois seu óleo é utilizado atualmente como composto termogênico e também no tratamento de problemas cardiovasculares (TOMA et al., 2014; SOLEYMANI, 2017). Houve aumento da produção de óleo nos últimos 30 anos, de acordo com a demanda do uso deste para o consumo humano (PAHLAVANI; SAEIDI; MIRLOHI, 2004).

Além da sua utilidade como óleo comestível, o cártamo também é cultivado para fins energéticos na produção de biodiesel, destacando-se como uma

alternativa de combustível economicamente viável, pela vantagem de ser biodegradável e com baixa emissão de poluentes (BRÁS et al., 2014).

Com a implantação da cultura do cártamo, depois de realizada a colheita, obtêm-se somente os restos culturais no local, ou seja, a matéria seca, esta que por sua vez favorece diretamente a manutenção do sistema plantio direto, caso seja utilizado, propiciando efeito positivo na diminuição da erosão e também no fornecimento de elementos químicos na ciclagem natural de nutrientes para as plantas (ZOZ et al., 2012).

Sarto et al. (2018) ao realizarem estudo sobre o efeito da compactação em diferentes genótipos de cártamo observaram que não ocorreu diferença entre os genótipos utilizados e por mais que ocorresse alterações na densidade do comprimento radicular e na sua distribuição pelo perfil do solo nas camadas compactadas, não houve impedimento do crescimento das raízes por essas camadas, fazendo com que elas se desenvolvessem em profundidade, concluindo-se que o cártamo é tolerante a compactação.

Entretanto foram analisados outros genótipos de cártamo onde alguns deles apresentaram alta sensibilidade ao crescimento em solos compactados evidenciados em resultados morfológicos da planta, que foram afetados a partir da densidade média de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ (BONFIM-SILVA et al., 2018, PALUDO et al. 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido em duas etapas: a primeira em casa de vegetação, com cobertura de polietileno transparente, e a segunda à campo, em área anexa à casa de vegetação, localizada na Universidade Estadual do Oeste do Paraná campus de Cascavel-PR, latitude 24°53'47''S e longitude 53°32'09''W.

3.2 Caracterização do solo e dados climáticos

O solo utilizado é caracterizado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa (600g kg⁻¹ de argila; 320g kg⁻¹ de silte e 80g kg⁻¹ de areia) (EMBRAPA, 2006), relevo suave ondulado, substrato basalto (EMBRAPA, 2018). O clima da região é classificado como temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa (koeppen), com precipitação média anual de 1800 a 2000 mm e temperatura média de 20 °C (IAPAR, 2010).

As características químicas do solo a partir de amostras coletadas do solo a campo em uma profundidade 0 – 20 cm estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo utilizado

Ca (Cmol _{c.} dm ⁻³)	5,23
Mg (Cmol _{c.} dm ⁻³)	2,95
K (Cmol _{c.} dm ⁻³)	0,33
P (Cmol _{c.} dm ⁻³)	9,45
Al (Cmol _{c.} dm ⁻³)	0
H + Al (Cmol _{c.} dm ⁻³)	6,21
Soma de Bases (Cmol _{c.} dm ⁻³)	8,51
CTC (Cmol _{c.} dm ⁻³)	14,72
Mo (g. dm ⁻³)	32,47
pH CaCl ₂	5
Saturação de Bases (%)	57,81

3.3 Implantação e condução do experimento

3.3.1 – Cultivo do cártamo em estufa

O delineamento experimental do experimento conduzido em casa de vegetação foi caracterizado como inteiramente casualizado, com cinco níveis de compactação e quatro repetições. O experimento foi composto por 20 vasos tipo PAD (Polietileno de Alta Densidade) de 20 cm de diâmetro, com altura de 40 cm cada. O solo para o preenchimento dos vasos e configuração dos níveis de compactação foi coletado em um Latossolo oriundo da área agrícola do Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), da camada de 0-10 cm, em separado, para criar a primeira camada dentro dos tubos de PVC e possibilitar a boa germinação das sementes de cártamo em solo solto, isento de compactação. Coletou-se também solo das camadas abaixo de 10 cm para configurar as diferentes densidades previstas nos tratamentos. As densidades estabelecidas, configuradas como sendo os tratamentos, foram de: 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 Mg m⁻³. Para que as densidades fossem estabelecidas, foram realizados cálculos da massa total de solo a ser compactada para completar o volume de até 5 cm das porções de tubo cortados denominadas “bolachões”.



Figura 1: Corte dos tubos de PVC.

Para a montagem dos vasos, os tubos de PVC foram cortados em quatro partes com o auxílio de uma maquina (Figura 1), sendo a primeira parte com 20 cm, completada com solo coletados abaixo da camada de 20 cm (Figura 2 A); logo acima, colocou-se a camada compactada com 5 cm (Figura 2 B), com diferentes

densidades e acima destas colocou-se a outra parte de 10 cm, que foi preenchida com solo solto para não comprometer o desenvolvimento inicial do cártamo (Figura 2 C), e, em seguida, alocou-se um sobre anel de 5 cm para comportar a lâmina d'água para fins de irrigação (Figura 2 D). Cada parte do tubo de PVC foi fixada com fita adesiva durex transparente.

O procedimento para a montagem das colunas foi progressivo e homogêneo, de acordo com as densidades. Nas densidades de 1,1 e 1,2 Mg m^{-3} , o solo foi disposto no bolachão com o auxílio de uma circunferência de madeira e martelo, sem a necessidade de muita intensidade nas batidas para ser prensado. Por outro lado, no caso das densidades maiores, 1,3; 1,4 e 1,5 Mg m^{-3} , foram necessárias batidas manuais com maiores intensidades no corpo da circunferência de madeira para que fosse completado o volume do solo na altura de 5 cm. Nas maiores densidades, foi realizado o umedecimento do solo para facilitar a prensagem do mesmo dentro dos bolachões.

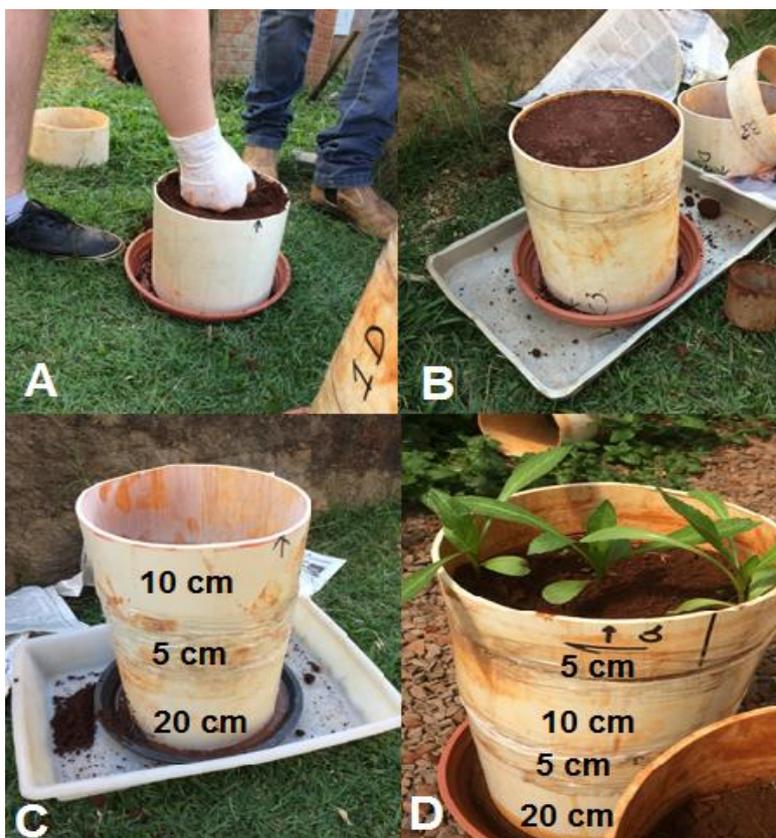


Figura 2. Montagem dos vasos com diferentes níveis de compactação do solo.

O cultivo do cártamo nos vasos ocorreu em estufa nos meses de setembro a dezembro de 2017. Foram semeadas 7 sementes por vaso a uma profundidade

de 3 cm, com emergência após 4 dias da semeadura, e, com isso, realizou-se a contagem das mesmas para o cálculo do índice de velocidade de emergência através da fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = E1/N1 + E2/N2 + \dots En/Nn$$

Onde:

IVE = índice de velocidade de emergência. E1, E2,...

En = número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem e na última contagem. N1, N2,...

Nn = número de dias da semeadura à primeira, segunda e última contagem.

Cada unidade experimental (vaso) recebeu irrigação de acordo com a evapotranspiração realizada pelo método proposto por Hargreaves-Samani (1985):

$$ET_o = 0,0023. (Ra. 0,408). (T_{max} - T_{min})^{0,5} (T_{med} + 17,8)$$

Esses valores são resultados obtidos multiplicando-se o K_c (coeficiente de evapotranspiração) da cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), tendo em vista a inexistência desta informação para o cártamo, que é a razão entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o). Tal valor mostra-se variável de acordo com o estágio fenológico da cultura, podendo atingir, por exemplo, valor superior à unidade na fase reprodutiva de muitas culturas; $K_c = ET_c / ET_o$.

Como ainda não se tem essa informação para o cártamo foi utilizado o K_c do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), pertencente da família *malvaceae*, o qual apresenta necessidades hídricas semelhantes. O K_c utilizado pode ser visualizado na Tabela 2. A evapotranspiração foi calculada todos os dias multiplicando-se pelo K_c da cultura de acordo com a fase em que a planta se encontra, após o cálculo obteve-se o volume de água para irrigação de cada unidade experimental, a qual foi irrigada pelo método de gotejamento.

Tabela 2. Requerimento de água nas fases da cultura do algodão

Requerimento de água	Dias após a semeadura
K _c 0,45	20
K _c 0,75	40
K _c 1,15	80
K _c 0,85	100

FONTE: BARRETO, BEZERRA, SILVA, (2003).

Após a estabilização das plantas realizou-se então o desbaste, permanecendo somente 3 plantas por vaso, com irrigação inicial de 200 ml de água a cada dois dias. Aos 7, 15, 30 e 45 dias, as medidas de altura de planta (cm) e diâmetro do caule (mm) foram tomadas. Retirou-se também uma planta de cada vaso nas fases vegetativas e de floração, nas quais foram realizadas as seguintes avaliações: altura de planta (cm), diâmetro de caule (mm), massa fresca (g) e massa seca (g) da planta. A colheita foi realizada 113 dias após a semeadura, quando foram realizadas as extrações das plantas juntamente com as raízes, seguida de lavagem das mesmas com água para preservar toda extensão do sistema radicular. Os dados finais analisados foram: altura de planta (cm), diâmetro de caule (mm), comprimento da raiz (cm), massa fresca da raiz (g), massa seca da raiz (g), massa fresca de planta (g), massa seca de planta (g).

3.2.2 – Cultivo do cártamo à campo.

Realizou-se também o plantio do cártamo à campo sob diferentes estados de compactação induzidos pelo número de passadas de um trator no qual estava acoplado um pulverizador de 600 litros cheio (Figura 3). Os tratamentos foram estabelecidos através da passagem de um trator Ford série 30 7630, com peso de 4.000 kg e pulverizador com capacidade de 600 litros cheio de água. Os tratamentos foram: 0P= sem passada com o trator; 1P= uma passada com o trator; 3P= 3 passadas com o trator; 5P= 5 passadas com o trator (Figura 3). A faixa compactada para configurar os tratamentos foi de 5 x 3 m nas quais semeou-se duas fileiras de cártamo com espaçamento de 0,6 m entre linhas. O plantio à campo foi realizado no mês de março de 2018.



Figura 3: Passagem do trator na área experimental

No plantio, foram semeadas 33 sementes/metro linear e após sua emergência foram realizadas aos 7, 15, 30 e 45 dias, as medidas de altura de planta (cm) e diâmetro do caule (mm).

Durante o desenvolvimento da cultura realizou-se a adubação orgânica de 1,5 kg por metro linear, para melhor crescimento e estabelecimento da cultura. No período da fase vegetativa foram coletadas 5 plantas de cada tratamento e realizado as análises de altura de planta (cm), diâmetro de caule (mm), número de folhas, número de galhos, massa fresca (g) e massa seca (g) da planta. E no período de floração realizou-se a coleta de 5 plantas de cada tratamento para as análises de comprimento da raiz (cm), massa fresca da raiz (g), massa seca da raiz (g), massa fresca de planta (g), massa seca de planta (g).

Para a coleta das plantas juntamente com as raízes foram utilizados pás e picão, para cavar ao redor das plantas formando um bloco de terra, a retirada do bloco de terra era realizada com cuidado e após isso realizou-se a lavagem desses blocos para a retirada da terra afim de não comprometer as raízes (Figura 4).



Figura 4: Retirada das plantas com raízes.

Realizou-se também a coleta de amostras de solo 2 amostras para cada profundidade (0-10, 10-20, 20-30), com 5 repetições para cada tratamento, totalizando 120 amostras coletadas. Com essa coleta foi determinado a densidade do solo (Mg m^{-3}), porosidade total, macro e micro porosidade.

O delineamento experimental do cultivo à campo foi considerado o cultivo em faixas, em que os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e análise de regressão considerando nível de significância a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Para isso, utilizou-se o programa estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Resultados obtidos no cultivo de cártamo em casa de vegetação

Nas Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 encontram-se os valores de altura e diâmetro de planta aos 7, 15, 30 e 45 dias e o índice de velocidade de emergência (IVE) após o plantio no cultivo em estufa.

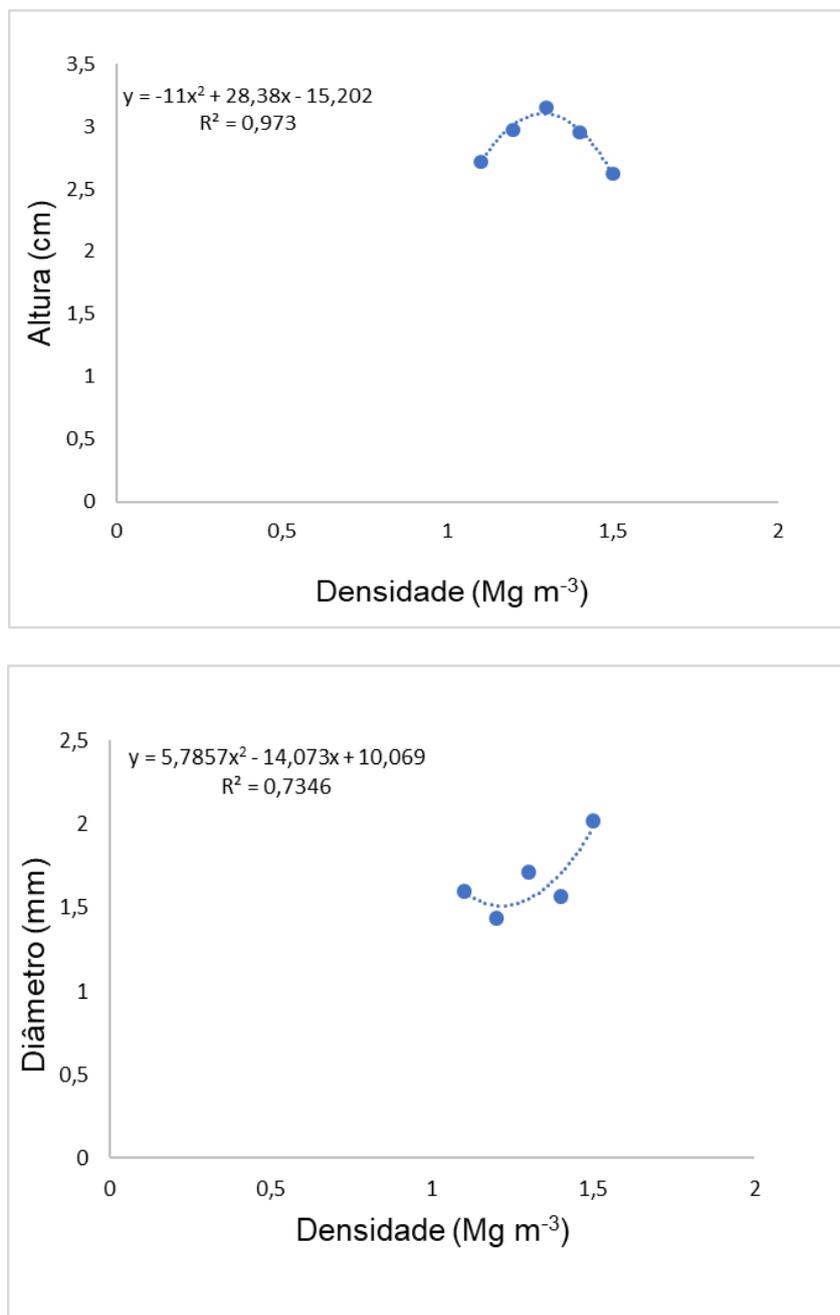


Figura 5. Altura e diâmetro de planta aos 7 dias após o plantio em estufa.

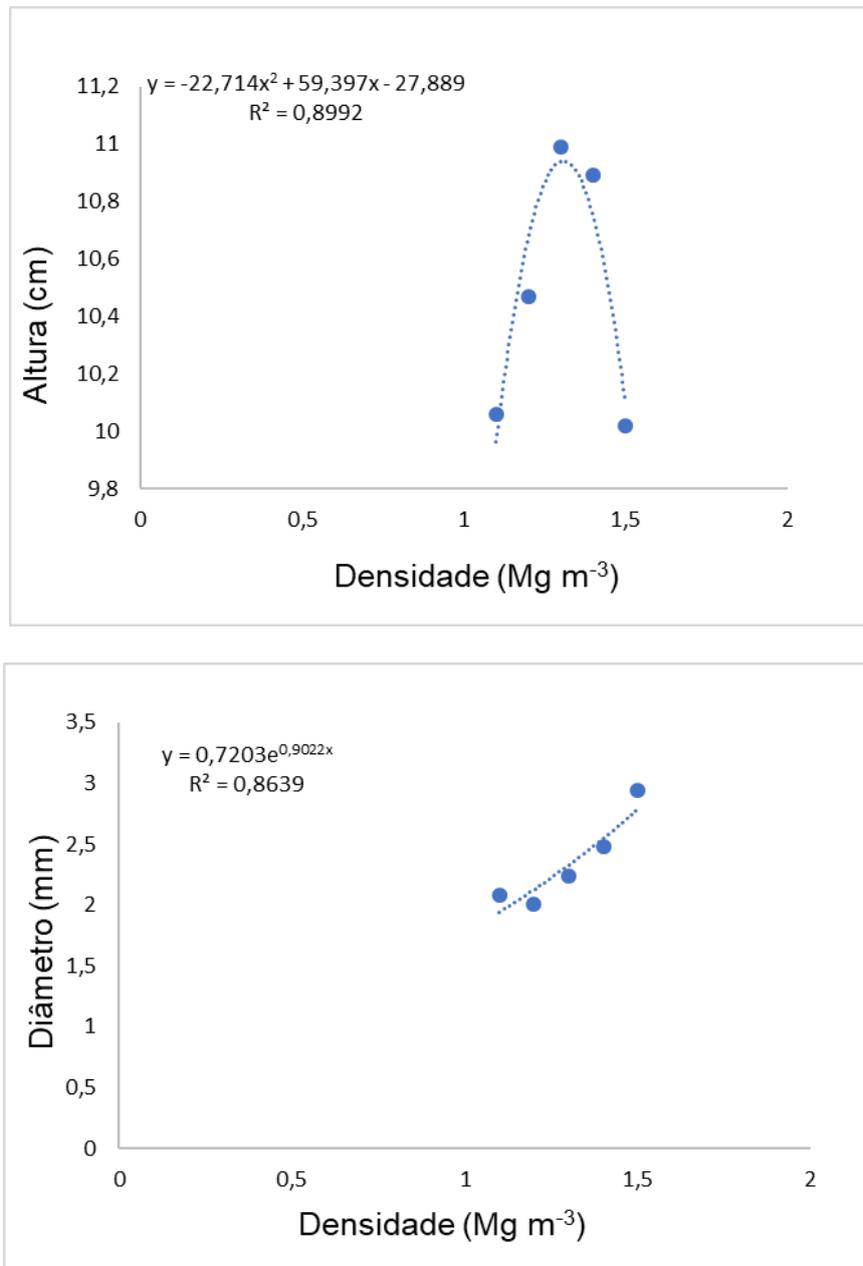


Figura 6. Altura e diâmetro de planta aos 15 dias após o plantio em estufa.

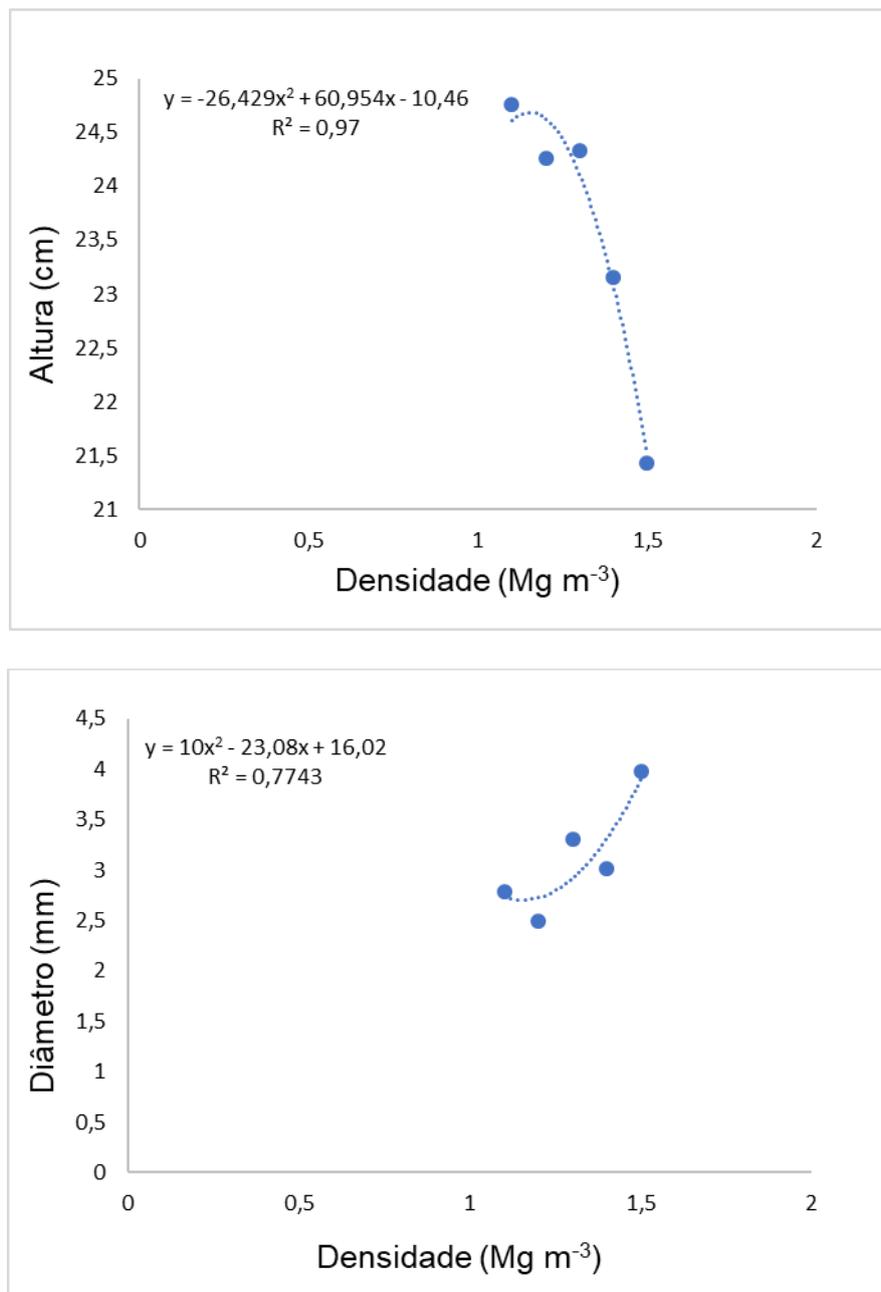


Figura 7. Altura e diâmetro de planta aos 30 dias após o plantio em estufa.

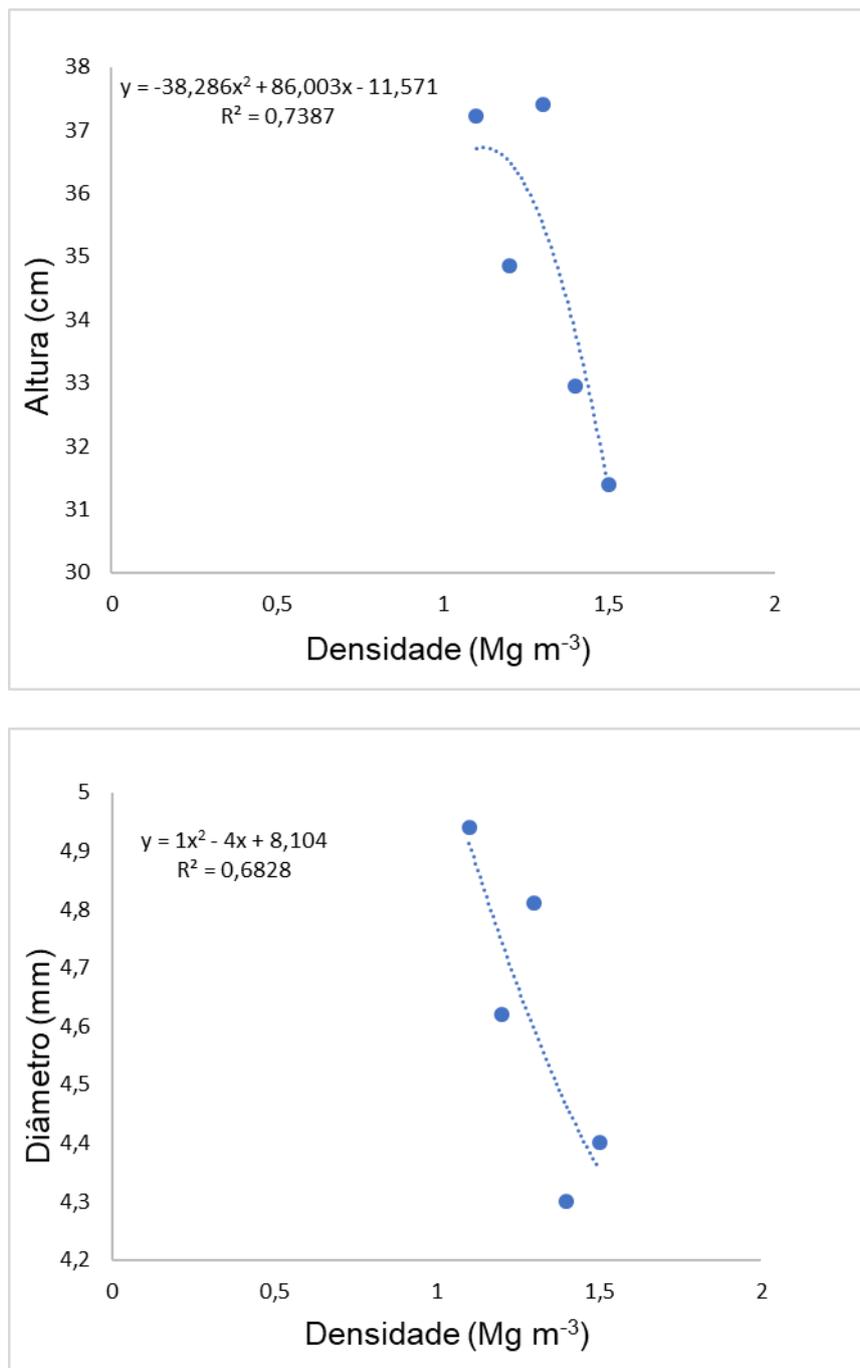


Figura 8. Altura e diâmetro de planta aos 45 dias após o plantio em estufa.

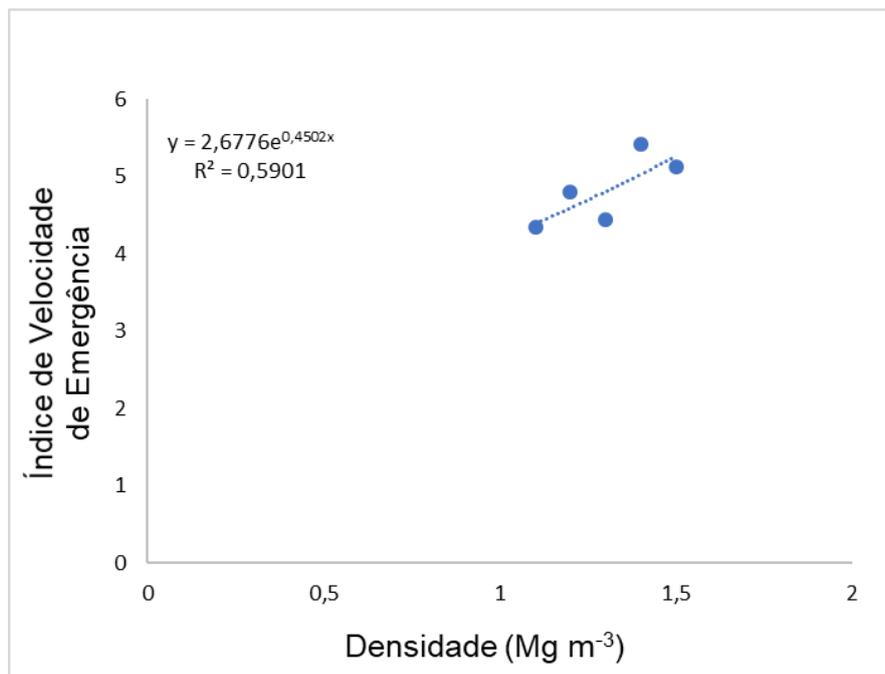


Figura 9. Índice de velocidade de emergência (IVE) após emergência das plantas em estufa.

As plantas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos nos períodos de 7, 15 e 45 dias após o plantio tanto relacionado à altura como ao diâmetro. Já no período de 30 dias elas apresentaram diferença significativa entre os tratamentos de densidade onde a tendência é a redução de altura conforme tem-se o incremento na densidade, sendo mais expressivo esses valores na densidade de 1,5 Mg m⁻³.

Estes resultados corroboram em parte aos resultados encontrados por Bonfim-Silva et al. (2018), ao avaliarem diferentes genótipos de cártamo obtiveram valores de decrescentes na altura e diâmetro das plantas conforme ocorria o acréscimo nos valores de densidade, a partir do índice de 1,2 Mg m⁻³ a, sendo esse efeito mais significativo aos 30 dias, como também pode ser observado na Figura 7.

O índice de velocidade de emergência não foi afetado, possivelmente devido ao fato de que os primeiros 10 cm do vaso, o solo disponível para o estabelecimento da cultura estava solto, isento de compactação, propiciando condições homogêneas de germinação em todos os tratamentos.

Nas Figuras 10 e 11, encontram-se os valores médios de altura, diâmetro, massa fresca e seca da planta durante a fase vegetativa no cultivo em estufa.

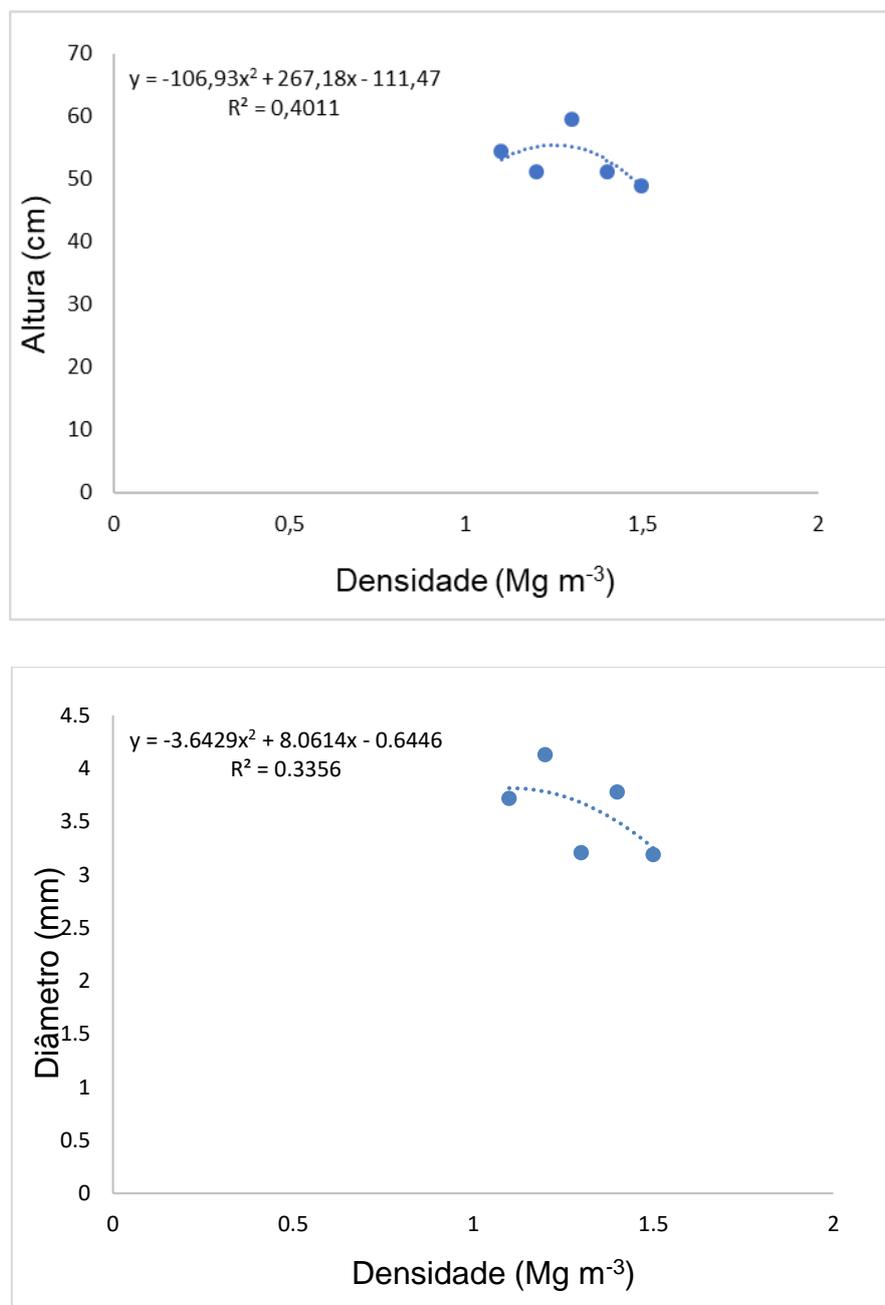


Figura 10. Altura e diâmetro da planta durante a fase vegetativa no cultivo em estufa.

Pode-se observar que não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos tanto na fase vegetativa como na de floração nos componentes de produção da cultura do cártamo (Figura 10). Uma possível explicação para este fato, pode estar associado às boas condições de fertilidade do solo e ao fato que durante o ciclo de cultivo não houve estress hídrico, haja visto que a irrigação ocorreu de forma ininterrupta, não faltando água ao longo do ciclo de crescimento do cártamo.

Difere dos resultados encontrados por Silva, Maia, Bianchini (2006), onde ao submeter o algodoeiro a diferentes níveis de densidade do solo, obtiveram que a densidade de $1,5 \text{ Mg mm}^{-3}$ comprometeu o desenvolvimento da parte aérea da cultura.

Scapinelli et al. (2016) observaram alterações significativas através da compactação do solo, ocasionando diminuição no desenvolvimento vegetativo da cultura do girassol, diminuindo a altura das plantas e o diâmetro do caule. Oliveira et al. (2012) também puderam observar redução na altura de plantas da cultura da soja, ao ser submetida a níveis de compactação, fazendo com que seu desenvolvimento fosse afetado.

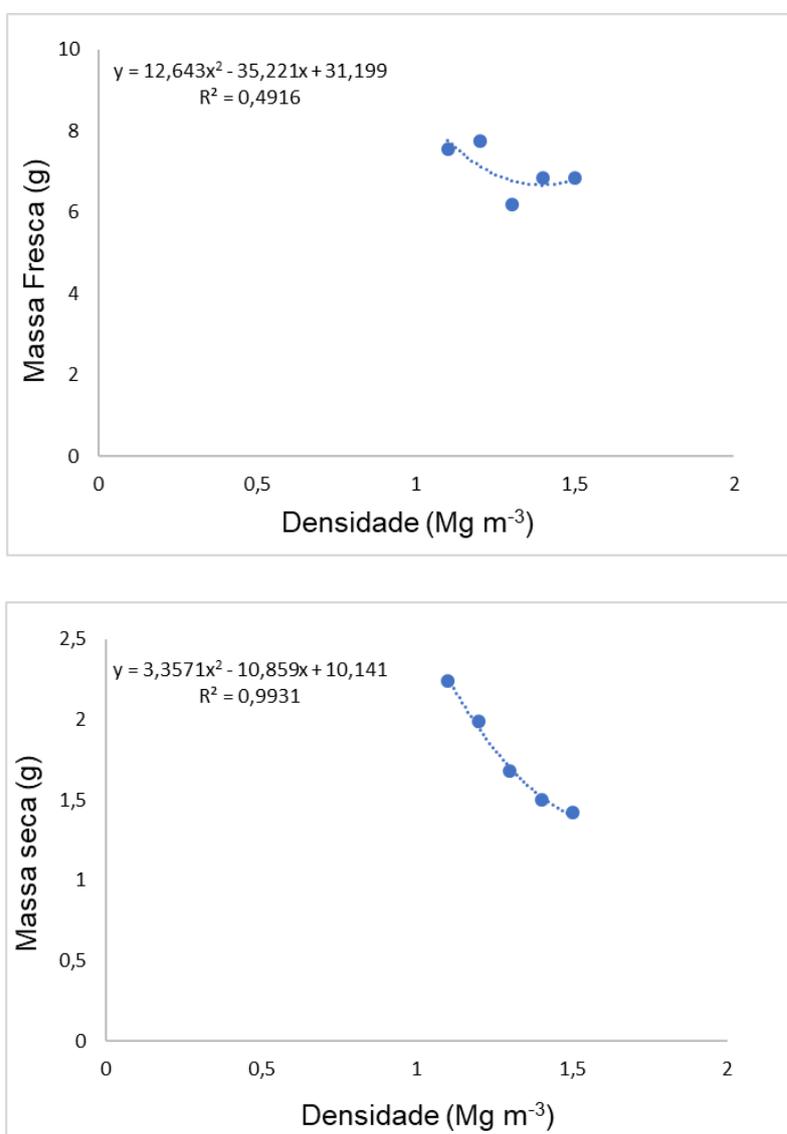


Figura 11. Massa fresca e seca da planta durante a fase vegetativa no cultivo em estufa.

Nas Figuras 12 e 13 encontram-se os valores médios de altura, diâmetro, massa fresca e seca da planta durante a fase de floração no cultivo em estufa.

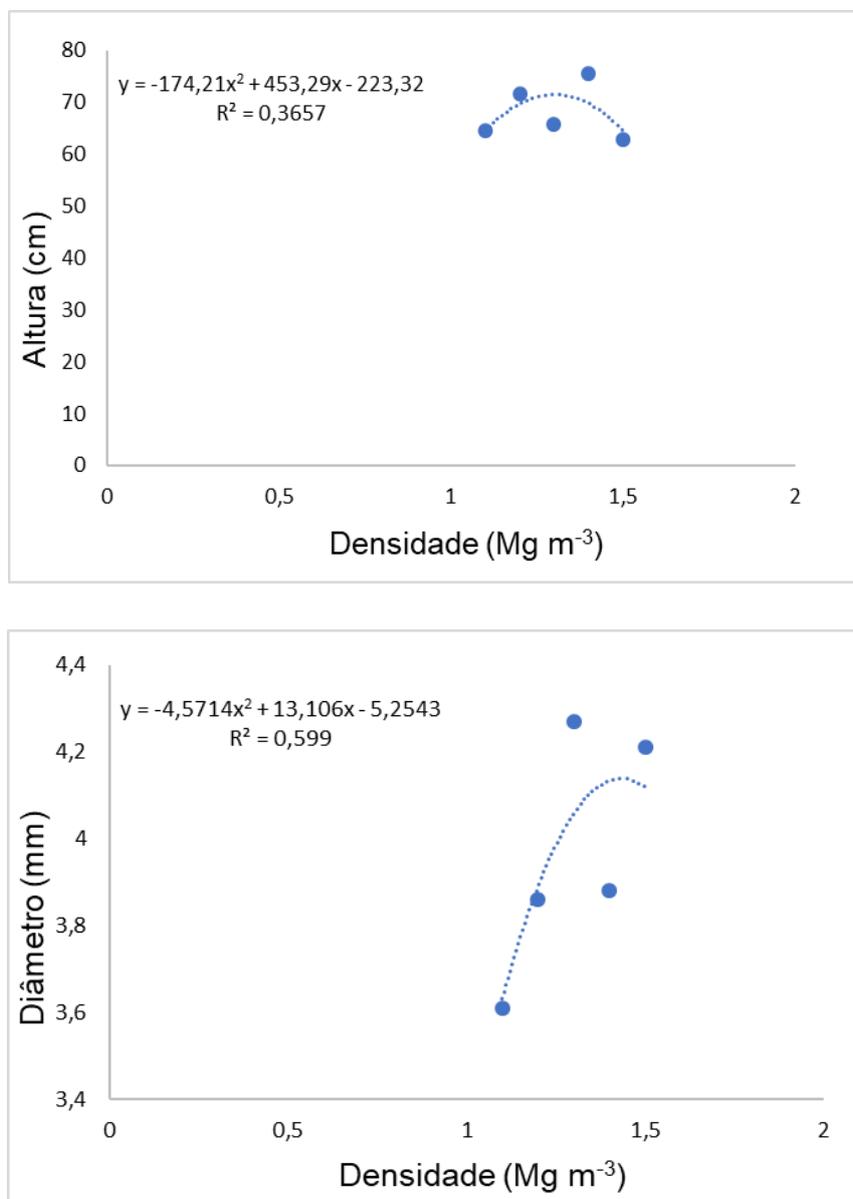


Figura 12. Altura, diâmetro da planta durante a fase de floração no cultivo em estufa.

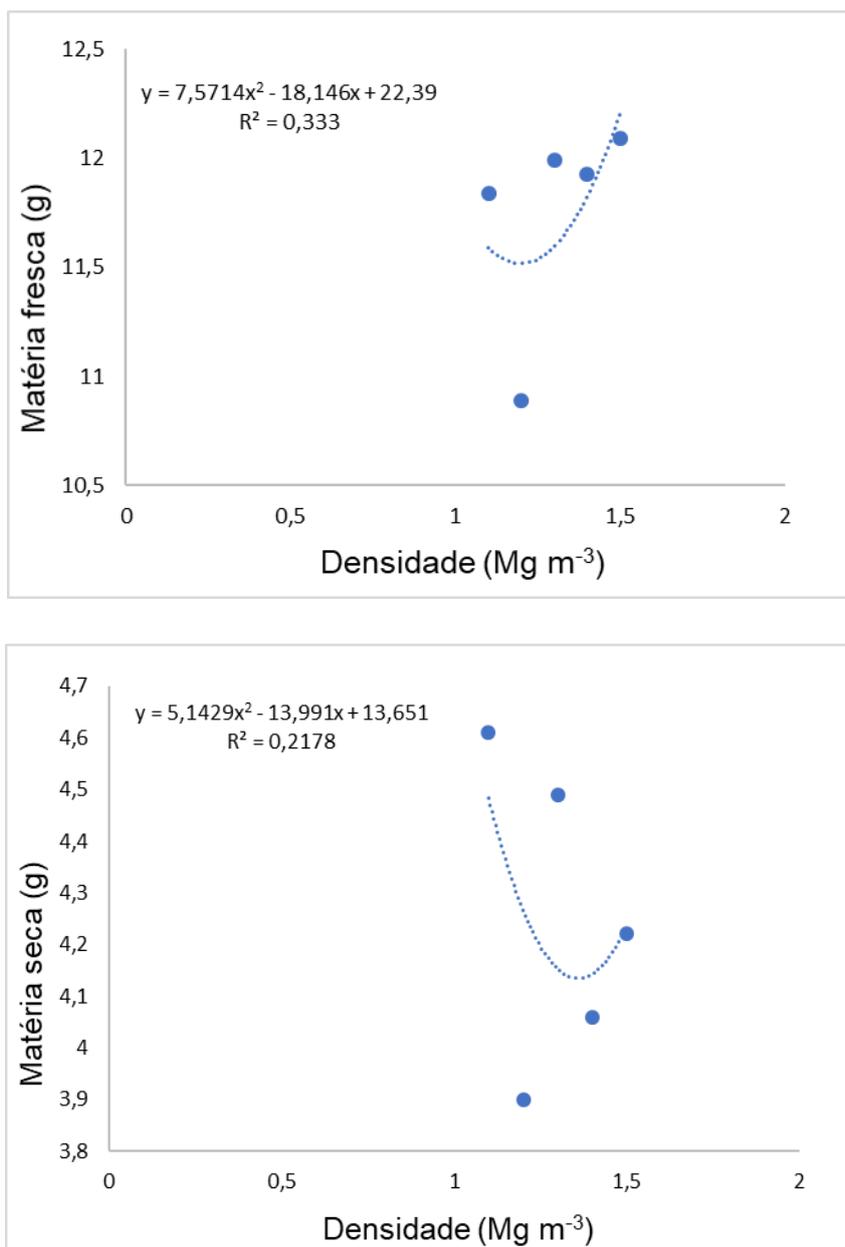


Figura 13. Massa seca e fresca da planta durante a fase de floração no cultivo em estufa.

Na Figura 12, verifica-se que não houve variações de altura, diâmetro, massa fresca e seca da planta. Esses resultados eram esperados visto que a partir da fase de floração não se tem mais acréscimos nesses componentes de produção.

Na Figura 13, encontram-se os valores médios de comprimento, massa fresca e seca de raiz na fase de colheita do cártamo cultivado em estufa.

Nas Figuras 14, 15 e 16 encontram-se os valores médios de altura, diâmetro, massa fresca e seca da planta e comprimento de raiz, massa fresca e seca de raiz na fase de colheita do cártamo cultivado em estufa.

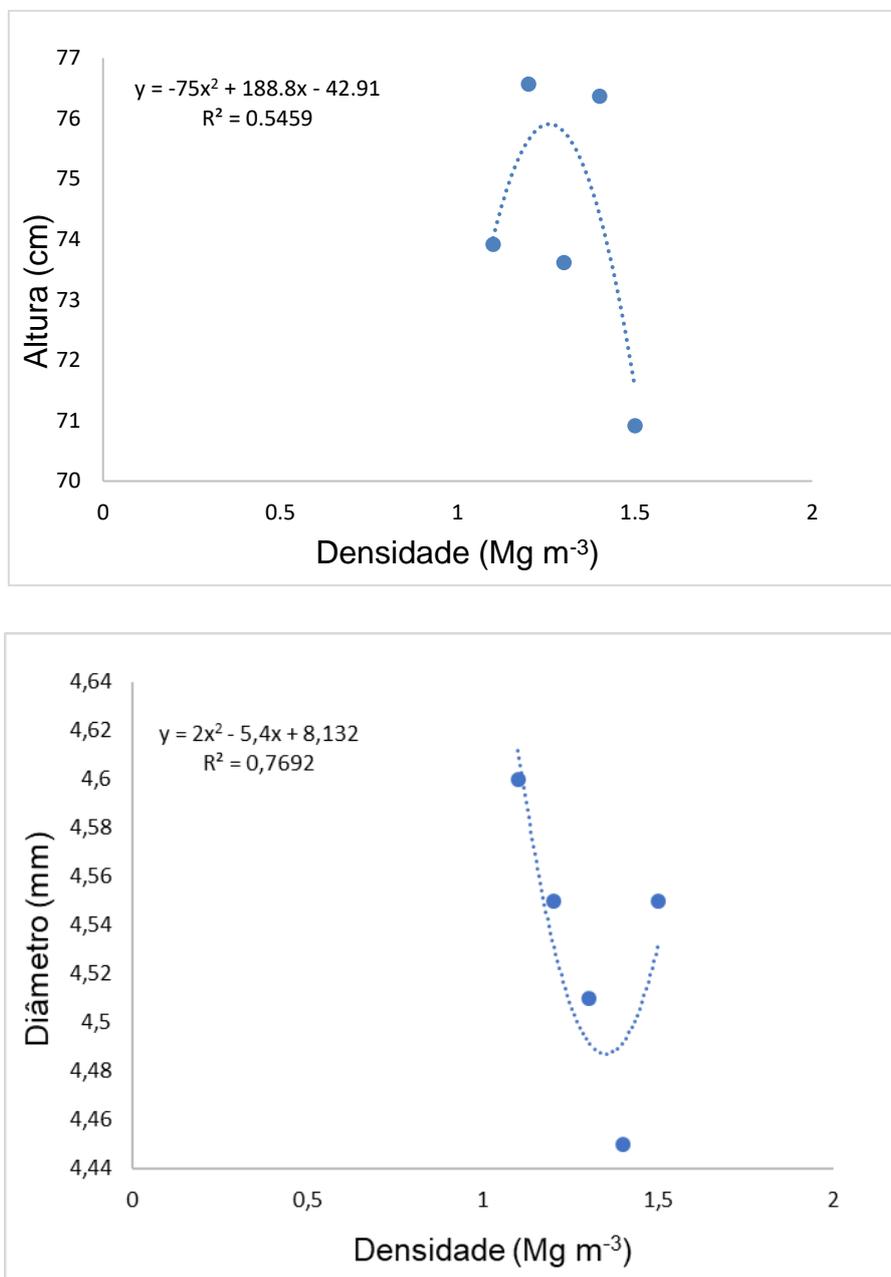


Figura 14. Altura e diâmetro da planta na fase de colheita do cártamo cultivado em estufa.

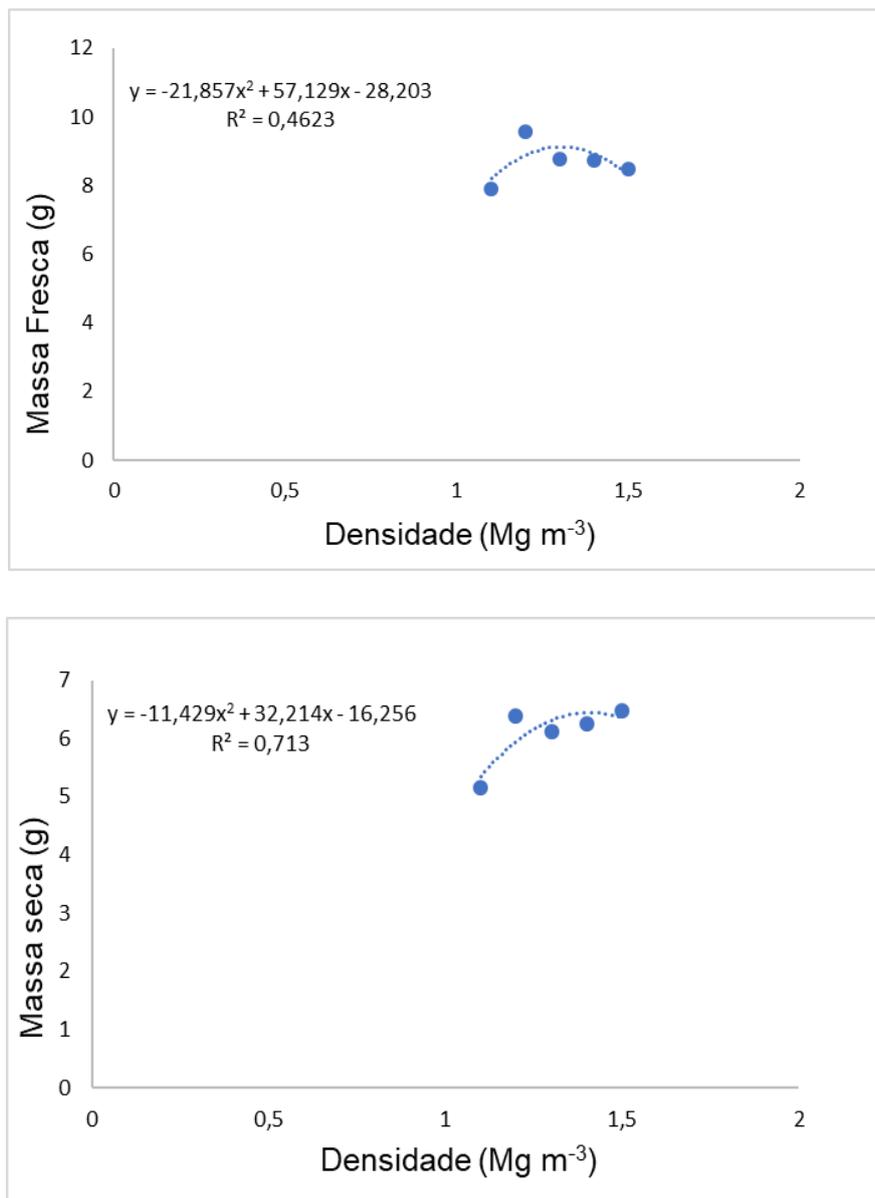


Figura 15. Massa fresca e seca da planta na fase de colheita do cártamo cultivado em estufa.

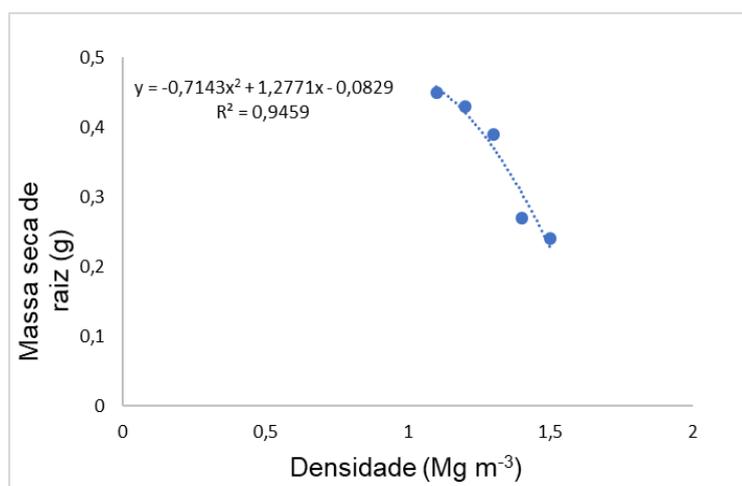
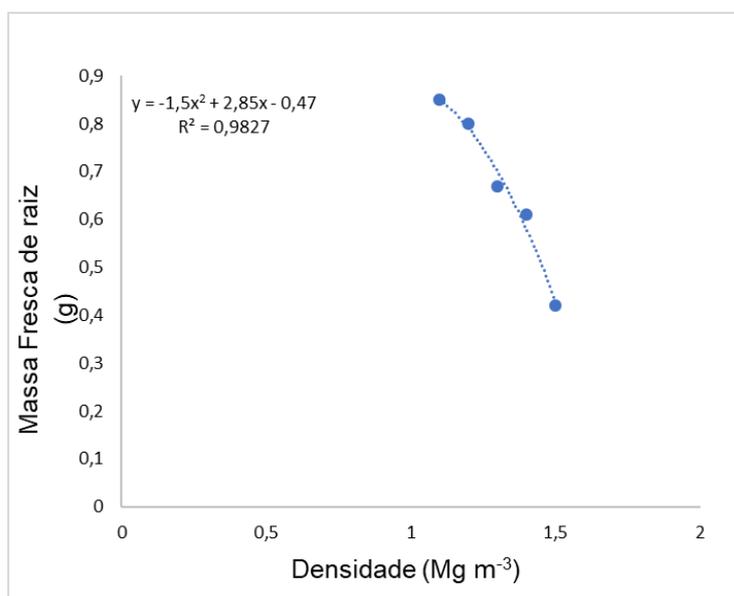
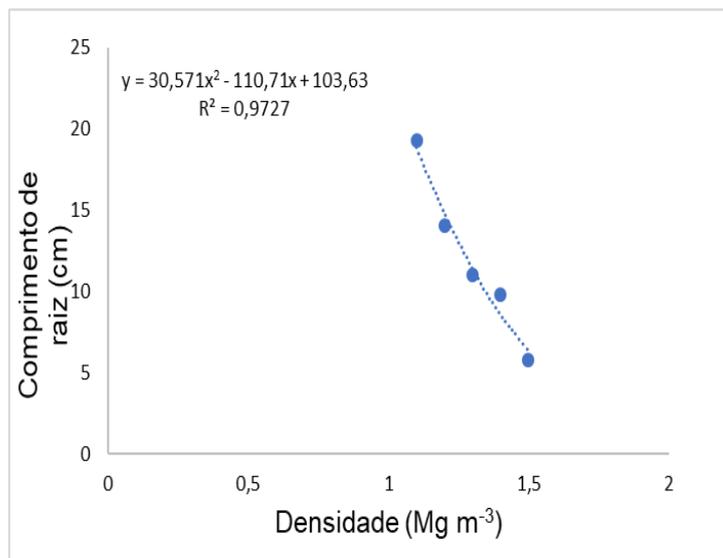


Figura 16. Comprimento, massa fresca e massa seca de raiz na fase de colheita do cártamo cultivado em estufa.

Avaliando o crescimento de raiz na fase de colheita (Figura 16), verifica-se que os valores obtidos acima de $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$ apresentaram decréscimo, considerando então que a densidade de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ é considerada crítica para o desenvolvimento radicular. Este valor, corrobora com resultados de pesquisas propostos por Reichert et al. (2009), os quais afirmam que valores de densidade do solo superiores a $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos de textura argilosa podem ser restritivos ao crescimento radicular de cultivos agrícolas.

Em outro estudo com cártamo, Paludo et al. (2017), ao submeterem genótipos de cártamo sob diferentes valores de densidade do solo, afirmam que o nível crítico de densidade do solo para o desenvolvimento da cultura foi em média de $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$. Evidenciando que podem ocorrer diferenças entre os tipos de genótipos utilizados, visto nesse trabalho que os valores de densidade foram um pouco mais elevados.

Também se verifica diferenças nas variáveis massa fresca e seca de raiz a partir do valor de densidade de $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 16), onde observa-se valores inferiores a partir deste valor, em especial no tratamento de maior compactação. Estes resultados corroboram aos resultados encontrados por Sarto et al. (2018) onde genótipos de cártamo foram submetidos a diferentes densidades e conforme houve acréscimo na densidade, obteve-se redução dos valores de matéria seca de raiz, sendo essa redução mais expressiva quando a densidade do solo foi de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$.

4.2 – Resultados obtidos no cultivo de cártamo à campo

Na Tabela 3 encontram-se os valores médios da densidade do solo, porosidade total, macroporos e microporos, do cultivo a campo nas respectivas camadas (0-10, 10-20 e 20-30 cm), onde observa-se que não ocorreu diferença significativa para nenhum dos parâmetros avaliados na camada de 0-10 cm, porém obteve-se uma variação no volume de macroporos para os tratamentos onde os maiores valores são para o tratamento de OP. Junior et al. (2012), ao submeterem um Latossolo Vermelho eutrófico a quatro níveis de compactação, observaram elevação dos níveis de densidade do solo a medida em que é incrementado o

tráfego com o trator, também se tem a redução da macroporosidade na camada de 0-10 cm.

Diferindo dos valores encontrados por Bergamin et al. (2010), onde a densidade teve seu maior índice nas camadas de 10-20 cm, sendo eles relacionados à ocorrência de um provável “pé-de-grade” nessa camada de solo. Isso faz com que o solo se torne bem estruturado e proporcione maior capacidade de carga, não sendo alterado com o tráfego de trator em até seis passadas.

Nota-se de acordo com as análises da camada de 10-20 cm aumento da densidade, redução da porosidade total e dos microporos em relação ao tratamento de 0P e 5P. Para os valores de macroporosidade e microporosidade não se tem diferença significativa entre os tratamentos. Resultado que difere aos valores de microporos que foram encontrados por Scapinelli et al. (2016), onde não se teve diferença estatística na camada de 10-15 cm.

Tabela 3. Valores médios de densidade, porosidade total, macro e microporosidade do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade

Tratamentos	Ds	PT	Macro	Micro
Camada 0-10 cm				
0 P	1,23 a	49,12 a	13,19 a	35,94 a
1 P	1,30 a	46,02 a	10,04 b	35,98 a
3 P	1,34 a	44,57 a	9,52 b	35,05 a
5 P	1,32 a	45,56 a	9,71 b	35,85 a
CV (%)	7,82	9,13	16,58	10,30
DMS	0,12	5,08	2,12	4,43
Camada 10-20 cm				
0 P	1,17 a	54,46 a	9,39 a	45,07 a
1 P	1,20 a b	53,24 a b	9,96 a	43,28 a
3 P	1,22 a b	52,34 a b	9,97 a	42,37 a b
5 P	1,28 b	50,03 b	11,12 a	38,91 b
CV (%)	6,49	6,19	14,34	8,35
DMS	0,09	3,91	1,75	4,26
Camada 20-30 cm				
0 P	1,13 a	58,42 a	11,17 a	47,25 a
1 P	1,18 a b	56,59 a b	10,09 a	46,49 a
3 P	1,24 b	54,50 b	13,26 a	41,24 b
5 P	1,25 b	53,55 b	10,24 a	43,50 a b
CV (%)	6,64	5,21	24,32	7,52
DMS	0,1	3,50	3,28	4,04

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns= não significativo à 5% *= significativo à 5%. CV (%) = coeficiente de variação, DMS= diferença mínima estatística. 0P; 1P; 3P e 5P: respectivamente número de passagens do conjunto trator-pulverizador: zero, uma, três e cinco passadas.

Mesmo não ocorrendo diferença significativa entre os macros da camada de 10-20 cm, ao compará-los com a camada de 0-10 cm observa-se redução nos valores dos tratamentos. Quanto à área sem tráfego do trator, a macroporosidade reduziu com a profundidade, provavelmente devido à maior mobilização na camada superior. Com o aumento do número de passadas do trator sobre o solo preparado, houve redução da macroporosidade na camada superior, e o inverso ocorreu para a microporosidade (JUNIOR et al., 2012).

De acordo com as análises obtidas dos atributos físicos avaliados, observa-se que o tratamento de 0P na camada de 20-30 cm apresentou menores valores de densidade em relação aos tratamentos de 3P e 5P. Ocorreu também redução nos valores de porosidade total e dos microporos.

Corroborar-se com Reinert et al. (2008), os quais mostram que o plantio direto no Argissolo Vermelho típico distrófico elevou a densidade em níveis que foram limitantes para as culturas estudadas.

Llanillo et al. (2006), mostram que a densidade do solo, macroporos e microporos, porosidade total são indicadores necessários para a avaliação da qualidade física do solo. A compactação adicional no sistema de plantio direto afeta negativamente essas propriedades físicas do solo na sua camada superficial, observando incrementos na densidade, redução da macroporosidade e porosidade total (TOIGO et al., 2015).

Na Tabela 4, encontram-se os valores médios de altura e diâmetro do caule de plantas cártamo aos 7, 15, 30 e 45 dias após o plantio à campo.

Nota-se na Tabela 4, variações nos valores de altura de plantas de cártamo aos 15 dias após o plantio, em que o tratamento de 5 passadas do conjunto trator-pulverizador é o que apresentou maiores valores comparado ao tratamento de 0 passadas. Isso pode ser explicado em virtude do tratamento com 5 passadas ter propiciado maior volume de microporos a medida que o solo sofreu deformações mais intensas comparadas ao tratamento sem compactação, favorecendo maior ascensão capilar de água e em consequência disponibilizando mais água para a fase inicial de germinação das sementes de cártamo em relação aos demais

tratamentos. A partir dos 30 dias as plantas apresentam valores semelhantes de altura, diferindo significativamente aos 45 dias em que o menor valor foi para o tratamento de 3P, comparado ao de 0P.

Tabela 4. Valores médios de altura e diâmetro do caule de plantas cártamo aos 7, 15, 30 e 45 dias após o plantio a campo (Valores médios de 5 plantas)

Tratamentos	ALT 7 DIAS	DIAM 7 DIAS	ALT 15 DIAS	DIAM 15 DIAS
0P	1,81 b	1,66 a	2,84 a	1,88 a
1P	2,89 a	1,71 a	3,67 a b	1,55 a
3P	2,28 a b	1,60 a	3,77 a b	1,50 a
5P	2,64 a	1,22 b	4,06 b	1,62 a
CV (%)	18,35	9,45	17,17	13,59
DMS	0,79	0,28	1,11	0,40
Tratamentos	ALT 30 DIAS	DIAM 30 DIAS	ALT 45 DIAS	DIAM 45 DIAS
0P	8,98 a	2,34 a	14,98 a	3,71 a
1P	8,80 a	1,76 b	12,50 a b	2,91 b
3P	6,64 b	1,86 b	9,76 b	2,70 b
5P	7,82 a b	1,50 c	14,50 a	2,81 b
CV (%)	14,10	12,51	12,03	11,59
DMS	2,05	0,44	2,82	0,64

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns= não significativo à 5% *= significativo à 5%. CV (%) = coeficiente de variação, DMS= diferença mínima significativa. 0P; 1P; 3P e 5P: respectivamente número de passagens do conjunto trator-pulverizador: zero, uma, três e cinco passadas.

Em relação ao diâmetro do caule das plantas de cártamo, obteve-se menores valores para o tratamento 5P aos 7 dias e a partir de 30 dias após a semeadura fica evidente a redução do diâmetro das plantas conforme aumentou-se o número de passadas aplicadas. Esse efeito da redução do diâmetro do caule à medida que o solo sofreu um número maior de passadas do conjunto trator-pulverizador pode ser explicado pelo fato de plantas quando submetidas a uma condição de stress (aqui no caso por compactação), tendem a acelerar o seu ciclo de desenvolvimento para perpetuação da espécie, reduzindo o diâmetro do caule. Nesse contexto, Duarte e Peil (2010), observaram que a matéria seca tem sua distribuição entre os órgãos da planta como consequência de um conjunto de processos metabólicos e de transporte, que conduzem o fluxo de assimilados

através de um sistema fonte:dreno. E em resposta as alterações no balanço fonte:dreno acontecem mudanças nos padrões de distribuição que levam a compensação ou prejuízos para a cultura (SOUZA et al., 2013).

Em corroboração a esta afirmação temos o trabalho desenvolvido por Queiroz-Voltan, Nogueira, Miranda, (2000), que ao avaliar plantas de soja que submetidas a diferentes densidades do solo as quais propiciaram restrições no seu crescimento, apresentaram redução de altura das plantas, para acelerar seu ciclo de desenvolvimento.

Na Tabela 5, encontram-se os valores médios de altura, diâmetro, massa fresca e seca na fase vegetativa de plantas de cártamo cultivadas à campo.

Tabela 5. Valores médios de altura, diâmetro, massa fresca e seca na fase vegetativa de plantas de cártamo cultivadas à campo (Valores médios de 5 plantas)

Tratamentos	Altura (cm)	Diâmetro de caule (mm)	Massa Fresca (g)	Massa Seca (g)
0P	60,64 a	5,32 a	12,26 a	2,41 a
1P	43,60 b	4,37 b	9,48 b	2,02 a b
3P	26,36 d	2,94 c	5,91 c	1,20 b
5P	34,00 c	3,89 b	7,75 c	1,92 a b
CV (%)	10	12,39	16,29	27,45
DMS	7,45	0,93	2,61	0,94

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns= não significativo à 5% *= significativo à 5%. CV (%) = coeficiente de variação, DMS= diferença mínima significativa. 0P; 1P; 3P e 5P: respectivamente número de passagens do conjunto trator-pulverizador: zero, uma, três e cinco passadas.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 5, o tratamento testemunha (0P) apresentou melhor desenvolvimento em todos os componentes de produção, com exceção para a variável matéria seca. Observa-se como um solo mais denso e compactado interfere significativamente no desenvolvimento da cultura. A partir do tratamento de 1 passada, já é possível notar a diferença e perceber valores reduzidos.

Silva, Albuquerque e Costa, (2014) ao avaliarem o desenvolvimento inicial da soja sob diferentes níveis de densidade, obtiveram que ao aumentar a densidade de 0,90 para 1,27 Mg mm⁻³ ocorreu a redução do crescimento de plantas e conseqüente redução da produção de matéria seca e fresca, conseqüência da

modificação dos atributos físicos do solo como o aumento da densidade e da microporosidade, e redução da macroporosidade, esses resultados são semelhantes aos encontrados na Tabela 3.

Segundo Collares et al. (2008), ao realizarem o plantio direto com compactação adicional, notou restrição do crescimento das plantas de trigo e feijão devido a restrição do crescimento das raízes, o qual diminui o acesso a água e nutrientes, fazendo com que as plantas tenham baixo crescimento e desenvolvimento da sua parte aérea.

Na Tabela 6, encontram-se os valores médios de comprimento de raiz, massa fresca e seca de raiz, massa fresca e seca de plantas na fase de colheita de cártamo cultivadas à campo.

Tabela 6. Comprimento de raiz, massa fresca e seca de raiz, massa fresca e seca de plantas na fase de colheita de cártamo cultivadas à campo (Valores médios de 5 plantas)

Tratamentos	Comprimento de raiz (cm)	Massa Fresca de raiz (g)	Massa Seca de raiz (g)
0P	11,60 a	3,06 a	1,40 a
1P	5,76 b	2,56 a	1,23 a b
3P	3,54 c	3,17 a	1,32 a
5P	2,92 c	2,32 a	0,87 b
CV (%)	19,51	24,98	19,13
DMS	2,14	1,25	0,44
Tratamentos	Massa fresca de planta (g)	Massa seca de planta (g)	
0P	34,69 a	10,53 a	
1P	33,36 a	10,22 a	
3P	22,11 b	6,45 b	
5P	20,24 b	5,76 b	
CV (%)	11,30	14,55	
DMS	5,58	2,17	

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de significância. ns= não significativo à 5% *= significativo à 5%. CV (%)= coeficiente de variação, DMS= diferença mínima estatística. 0P; 1P; 3P e 5P: respectivamente número de passagens do conjunto trator-pulverizador: zero, uma, três e cinco passadas.

Nessa última análise realizada à campo observa-se que nem sempre a testemunha difere entre os tratamentos, porém relacionando com o tratamento de

5P, nota-se diferença significativa em algumas variáveis. A de maior destaque é para o comprimento de raiz onde se torna bem evidente que a partir do tratamento onde se tem acréscimo na densidade do solo já começa a ocorrer dificuldades no desenvolvimento e crescimento das raízes (Figura 17).



Figura 17. Comprimento das raízes das plantas em suas respectivas densidades.

Segundo Paludo et al. (2018), ao realizarem experimento com genótipos de cártamo obtiveram que o limite para a massa seca de raiz é de $1,04 \text{ Mg m}^{-3}$, e

conforme ocorreu o aumento da densidade do solo reduziu-se em até 71,11% da massa seca total das raízes, o que fica evidenciado na Tabela 4.

Corroborar-se com os resultados das análises de Bergamin et al. (2010), ao realizar tráfegos de 0, 1, 2, 4 e 6 passadas, obteve-se redução significativa no crescimento das raízes de milho, conforme ocorreu o aumento dos níveis de passadas do trator no solo. Valadão et al. (2015), também obtiveram resultados em que os maiores níveis de tráfego (P8) influenciaram negativamente no desenvolvimento radicular da soja, bem como sua distribuição no perfil do solo, devido os níveis de compactação influenciarem o aumento da resistência a penetração do solo e dos microporos e conseqüente redução da macroporosidade e porosidade total.

Silva, Albuquerque e Costa, (2014) ao analisarem o aumento da densidade do solo e seu efeito na cultura da soja, observaram que a densidade de $1,14 \text{ Mg m}^{-3}$ teve efeito negativo sobre o crescimento e desenvolvimento das raízes, fazendo com que as mesmas mantivessem seu crescimento em profundidade reduzido, se desenvolvendo apenas nas camadas superficiais.

Scapinelli et al. (2016) também observaram na cultura do girassol que as alterações físicas do solo provocadas pelo tráfego do trator resultaram em alterações anatômicas nas raízes, fazendo com que as raízes que se encontravam nas faixas com 3P, já apresentassem restrições no seu desenvolvimento em profundidade e sua distribuição ao longo do perfil do solo.

5. CONCLUSÃO

1. Valores de densidade do solo de $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ ou superior são restritivos ao crescimento radicular do cártamo;
2. No cultivo em campo ocorreu redução da altura, do diâmetro do caule e da massa fresca e seca de plantas do cártamo à medida que aumentou o estado de compactação do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUD, H. F.; GONÇALVES, N. R.; REIS, R. G. E.; GALLÃO, M. I.; INNECCO, R. Morfologia de sementes e plântulas de cártamos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 259-265, 2010.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 799-806, 2003.

ALMEIDA, C. X; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; ANDRIOLI, I.; VIDAL, A. D. A.; SERAFIM, R. S. Índice de floculação e agregação de um Latossolo Vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, p. 123-129, 2009.

AMBREEN, H.; KUMAR, S.; VARIATH, M. T.; JOSHI, G.; BALI, S., AGARWAL, M., KUMAR, A.; JUGANNATH, A.; GOEL, S. Development of genomic microsatellite markers in *Carthamus tinctorius* L.(Safflower) using next generation sequencing and assessment of their cross-species transferability and utility for diversity analysis. **PloS one**, Índia, v. 10, n. 8, p. e0135443, 2015.

ANDRADE, I. L.; GALVÃO, V. Biocombustível: Importância Econômica, Inclusão Social e Redução dos Impactos Ambientais. In: Rodolfo Bello Exler; Lorene Paixão Sampaio; Luis Polybio Brasil Teixeira. (Org.). **Bioenergia: um Diálogo Renovável** – v. 2, ed. Vento Leste, p. 85-95, 2013.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

BAGHERI, B.; SAM-DAILIRI, M. Effect of water stress on agronomic traits of safflower spring (*Carthamus tinctorius*). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Paquistão, v. 5, n. 12, p. 2621-2624, 2011.

BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E.; MACHADO, P. L.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 132, n. 3-4, p. 243-251, 2009.

BARRETO, A. N.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, A. A. G. da. Cálculo da necessidade hídrica do algodoeiro com base na evapotranspiração de referência (ET_o) e no coeficiente da cultura (k_c) para Barreiras – BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 4., Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: Embrapa Algodão. CD-ROM, 2003.

BASSEGIO, D.; SARTO, M. V. M.; ROSOLEM, C. A.; SARTO, J. R. W. Guar root and shoot growth as affected by soil compaction. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 2, p. 163-169, 2018.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência à penetração. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p. 975-983, 2008.

BONFIM-SILVA, E. M.; PALUDO, J. T. S.; DA SILVA, T. J. A.; FENNER, W.; ZANOTTO, M. D. Safflower genotypes submitted to soil density levels. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 9, n. 2, p. 142-153, 2018.

BONFIM-SILVA, E. M.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; DOS REIS, R. H.; CAMPOS, J. J.; SCARAMUZZA, W. L. Establishment of Xaraés and Marandu grasses under levels of soil compaction. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 727-735, 2012.

BRÁS, P.; POSSENTI, R. A.; BUENO, M. S.; CANOVA, E. B.; SCHAMMAS, E. A. Avaliação nutricional de coprodutos da extração de óleos vegetais em dieta de ovinos. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 71, n. 2, p. 160-175, 2014.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2012**. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Plano Nacional de Agroenergia 2006–2011. 2. ed. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2006. 110 p.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. 34, p. 681-91, 2010.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.1, 2004.

BEUTLER, S. J.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; FERREIRA, E. P. SANTOS, L. L.; SILVA, E. M. R. Frações oxidáveis do carbono orgânico cultivado sob manejo orgânico. In: FERTBIO, 2008. **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental**. Londrina, 2008. **Anais...** Londrina, 2008. CD-ROM.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 146-151, 2007.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 581-588, 2004.

BIODIESEL. **Governo Federal. O biodiesel. 2011.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/matriz-energetica/biodiesel/>>. Acesso em: julho de 2018.

CADURO GIRARDELLO, V.; CARNEIRO AMADO, T.J.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; DE GREGORI TEIXEIRA, T. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 789-796, 2005.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L.; DE CARVALHO, G. J.; DE FREITAS, D. A.; AVANZI, J. C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 3, 2013.

CARDOSO, V. M. F.; LANCAS, K. P.; SILVA, R. B. Sustentabilidade estrutural de um solo na região do Alto Paranapanema/ SP, submetido a dois sistemas de cultivo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 23, n.3, p.108-142, 2008.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no 99 sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493- 501, 2006.

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho eutroférrico sob diferentes sistemas de manejo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 433-443, 2010.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. 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**, v. 32, p. 933-942, 2008.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 4, p. 1663-1674, 2006.

CORLETO, A.; CAZZATO, E.; TUFARELLI, V.; DARIO, M.; LAUDARIO V. The effect of harvest date on the yield and forage quality of ensiling safflower biomass. **Anais...** In: Proceedings of the 7th International Safflower Conference, Wagga Wagga, New South Wales, Australia, p. 1-6, 2008.

CRISPIM, F. A. **Influência de variáveis de compactação na estrutura dos solos: caracterizações geotécnica, química, mineralógica e microestrutural**. Tese Doutorado (UFV), Viçosa-MG, p. 125, 2010.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II-Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 589-602, 2011.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. D. P.; NOGUEIRA, D. C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F. L.; ASSIS, J. T. D.; OLIVEIRA, M. S. D. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, p. 08-19, 2011.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 603-612, 2010.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; HONGWEN, L. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, p.1-25, 2010.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p. 159-168, 2016.

DUARTE, T. S.; PEIL, R. M. Relações fonte: dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. **Horticultura brasileira**, v. 28, n.3, p. 271-276, 2010.

EL-LATTIEF, E. A. Evaluation of 25 safflower genotypes for seed and oil yields under arid environment in upper Egypt. **Asian Journal of Crop Science**, Pakistan, v. 4, p. 72-79, 2012.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2013. Acesso em: agosto de 2017. Disponível em: <<http://vendasliv.sct.embrapa.br/liv4/consultaProduto.do?metodo=detalhar&codigoProduto=00053080>>

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Brasília, 2006.

EMONGOR, V. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the under utilized and neglected crop: A review. **Asian Journal of Plant Science**, v. 9, n. 6, p. 299-306, 2010.

FAO. **AQUASTAT**. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/aquastat/>. Acesso em: Julho de 2018.

FEBRAPDP. Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. **Sistema plantio direto**. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>>. Acesso em: Julho de 2018.

FEIZI, M.; HAJABBASI, M. A.; MOSTAFAZADEH-FARD, B. Saline Irrigation Water Management Strategies for Better Yield of Safflower (*'Carthamus tinctorius'* L.) in An Arid Region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 6, p. 408, 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR - **Sistema de análise de variância**. Versão 5.6. Lavras-MG:UFLA, 2016.

FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo Effects of pasture system management on physical properties. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010

FERREIRA DA SILVA, R.; BORGES, C. D.; MARTINS GARIB, D.; MARTINS MERCANTE, F. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2435-2440, 2008.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A. A. B.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; DE OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

GABRIEL FILHO, A.; SANTOS PESSOA, A. C. D.; STROHHAECKER, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de

mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1489-1498, 2011.

GARCILASSO, V. P. **Análise entre processos e matérias-primas para a produção de biodiesel**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2014.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HORBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2115-2126, 2011.

GIUBERGIA, J. P.; MARTELLOTTI, E.; LAVADO, R. S. Complementary irrigation and direct drilling have little effect on soil organic carbon content in semiarid Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 147-152, 2013.

GOLDEMBERG, J. **Biotechnol Biofuels**, 1, 1, 2008.

GOLDEMBERG, J. **Science**, 315, 808, 2007.

GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 67-75, 2006.

GOZUBUYUK, Z.; SAHIN, U.; OZTURK, I.; CELIK, A.; ADIGUZEL, M. C. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. **Catena**, v. 118, p. 195-205, 2014.

GUIMARÃES, C. V.; DE ASSIS, R. L.; SIMON, G. A.; PIRES, F. R.; FERREIRA, R. L.; DOS SANTOS, D. C. Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido à compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 11, p. 1188-1194, 2013.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Cartas climáticas do Paraná, 2010. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: outubro de 2018.

JORGE, R. F.; DE ALMEIDA, C. X.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p.159-169, 2012.

JUNIOR, S. D. D. S.; SILVA, A. P. D.; FIGUEIREDO, 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 de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1854-1867, 2012.

KIZIL, S.; ÇAKMAK, Ö.; KIRICI, S.; INAN, M. A comprehensive study on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in semi-arid conditions. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 22, n. 4, p. 947-953, 2008.

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

LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil Tillage Research**, v. 78, p.151-170, 2004.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, A. P. B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil Tillage Research**, v. 88, p. 297-285, 2006.

LI, D.; MÜNDEL, H. H. **Safflower: *Carthamus tinctorius* L.** International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), 1996.

LIMA, L. B.; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, p. 1064-1071, 2015.

MACEDO, I. C. DA, S.; PASQUALETTO, A. **Sistema plantio direto: alternativa de proteção ambiental em propriedades rurais do cerrado.** Goiânia, 2007.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p.176-177, 1962.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea; [tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira].** – São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 568 p.: II, 2010.

MENDES, A. P. D. A.; COSTA, R. C. D. **Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras**, 2010.

MORAES SA, J. C.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; DOS SANTOS, J. Z.; DOS SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1704-1713, 2012.

MOVAHHEDY-DEHNAVY, M.; SANAVY, S. A. M. M.; BIDGOLI, A. M. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. **Industrial Crops and Product**, v. 30, n.1, p. 82-92, 2009.

NABIPOUR, M; MESKARBASHEE, M; YOUSEFPOUR, Y. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Pakistan Journal Biological Sciences**, v. 10, p. 421-426, 2007.

NELSON, G. C.; ROSEGRANT, M. W.; KOO, J.; ROBERTSON, R.; SULSER, T.; ZHU, T.; ... MAGALHAES, M. **Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation**. Intl Food Policy Res Inst. v. 21, 2009.

NICOLOSO, R. D. S.; CARNEIRO AMADO, T. J.; SCHNEIDER, S.; ENÍVAR LANZANOVA, M.; CAUDURO GIRARDELLO, V.; Bragagnolo, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, 2008.

NOSHEEN, A.; BANO, A.; ULLAH, F.; FAROOQ, U.; YASMIN, H.; HUSSAIN, I. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on root morphology of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) **African Journal of Biotechnology**. v. 10. n. 59, p. 12639-12649, 2011.

OGUT H., OGUZ H. Biodiesel: Third Millennium Fuel. **Nobel Publication** n. 745, p. 55-60, 2006.

OLIBONE, D.; ENCIDE-OLIBONE, A. P.; ROSOLEM, C. A. Least limiting water range and crop yields as affected by crop rotations and tillage. **Soil Use Manage**, v. 26, p. 485-493, 2010.

OLIVEIRA, P. R. D.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. D. C.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. D. S.; JÚNIOR, B.; ROSSETTI, K. D. V. Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 587-597, 2012.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração em Latossolo vermelho da microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 265-270, 2007.

PAGLIARINI, M. K.; MENDONÇA, V. Z.; ALVES, M. C. Distribuição de tamanhos de agregados estáveis em água em solos de Selvíria-MS e Ilha Solteira-SP, Brasil. **Tecnologia de Ciência Agropecuária**, v. 6, n. 1, p. 45-51, 2012.

PAHLAVANI, M. H.; SAEIDI, G; MIRLOHI, A. F. Inheritance of flower color and spininess in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Journal of Heredity**. v. 95, p. 265–267, 2004.

PALUDO, J. T. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; DA SILVA, T. J. A.; DE FREITAS SOUSA, H. H.; ZANOTTO, M. D.; FENNER, W. Agronomic performance of Safflower genotypes ('*Carthamus tinctorius*' L.) under different soil bulk density levels in the Oxisol of the Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 3, p. 407, 2018.

PALUDO, J. T. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; DA SILVA, T. J. A.; ZANOTTO, M. D., FENNER, W.; KOETZ, M. Reproductive components of safflower genotypes submitted of bulk density levels in the Brazilian Cerrado. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n. 9, p. 2069-2082, 2017.

PARENTE, H. N.; MAIA, M. D. O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido, **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas** v. 5, n. 3, p. 3-15, 2011.

PIFFER, C. R.; BENEZ, S. H. Desenvolvimento do sistema radicular de amaranto, milho e pé-de-galinha em diferentes níveis de compactação. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 50-52, 2005.

PRINGLE, M. J.; LARK, R. M. Scale- and location-dependent correlations of soil strength and the yield of wheat. **Soil and Tillage Research**, v. 95, p. 47-60, 2007.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. D. S.; MIRANDA, M. D. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 929-938, 2000.

QUINTELLA, C.; TEIXEIRA, L. S. G.; KORN, M. G. A.; NETO, P. R. C.; TORRES, E. A.; CASTRO, M. P.; JESUS, C. A. C. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Química Nova** v. 32 n. 3, p. 793-808, 2009.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805-1816, 2008.

REINERT D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Universidade Federal de Santa Maria, p. 18, 2006.

ROSSETTI, K. V.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F.; MATIAS, S. S.; NÓBREGA, J. C. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, p. 27-433, 2012.

SALLET, C. L.; ALVIM, A. M. Biocombustíveis: uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. **Revista Economia & Tecnologia**, v. 7, n. 2, 2011.

SAMPAIO, M. C. **Cultivo de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) sob variação de adubações, densidades e épocas de plantio**. (Dissertação), Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2016.

SANTOS, R. F.; DE ALMEIDA SILVA, M. *Carthamus tinctorius* L.: Uma alternativa de cultivo para o Brasil. **Revista Acta Iguazu**, Cascavel, v. 4, n. 1, p. 26-35, 2015.

SANTOS, F. S.; ZANAO JUNIOR, L. A.; SECCO, D.; DIAS, P. P.; TOMASSONI, F.; PEREIRA, N. A utilização de plantas de cobertura na recuperação de solos compactados. **Revista Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, p. 82-91, 2014.

SANTOS, R. F.; SOUZA, S. N. M.; SECCO, D. Uma abordagem introdutória sobre mudanças climáticas. In: Reginaldo Ferreira Santos; Jair Antonio Cruz Siqueira. (Org.). **Fontes Renováveis - Agroenergia**. 1ª. ed. Cascavel: EDUNIOESTE, v.1, p.115-130, 2012.

SARTO, M. V. M.; BASSEGIO, D.; ROSOLEM, C. A.; SARTO, J. R. W. Safflower root and shoot growth affected by soil compaction. *Bragantia*, v. 77, n. 2, 2018.

SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. A.; PEREIRA, L. B. Sistema radicular e componentes produtivos do girassol em solo compactado. *Bragantia*, v. 75, n. 4, p. 474-486, 2016.

SCHIMITD, S.; GREGORY, P. J.; GRINEV, D. V.; BENGOUGH, A. G. Root elongation rate is correlated with the length of the bare root apex of maize and lupin roots despite contrasting responses of root growth to compact and dry soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, n. 372, n. 1-2, p. 609-618, 2013.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 108f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SEIDEL, E. P.; DOS REIS, W.; MOTTIN, M. C.; FEY, E.; SCHNEIDER, A. P. R.; SUSTAKOWSKI, M. C. Evaluation of aggregate distribution and selected soil physical properties under maize jack bean intercropping and gypsum rates. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 14, p. 1209-1216, 2017.

SEIDEL, E. P.; MATTIAS, V.; MATTEI, E.; CORBARI, F. Produção de matéria seca e propriedades físicas do solo na consorciação milho e braquiária. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 1, p. 18-24, 2015.

SILVA, F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; DA COSTA, A. Crescimento inicial da cultura da soja em Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.6, p. 1731-1739, 2014.

SILVA, M. A. P. D.; BIAGGIONI, M. A. M.; SPEROTTO, F. C. S.; BEZERRA, P. H. S.; BRANDÃO, F. J. B. Qualidade do óleo bruto de grãos de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) sob diferentes métodos de secagem. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n.3, p. 193-199, 2013.

SILVA, Z. O. F.; GALVÃO, V. Biodiesel: uma Análise sobre os Principais Países Produtores. In: Rodolfo Bello Exler; Lorene Paixão Sampaio; Luis Polybio Brasil Teixeira. (Org.). **Bioenergia: um Diálogo Renovável** – v. 2, ed. Vento Leste, p. 85-95, 2013.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S.; FIDALSKI, J.; NEVES JUNIOR, A. F. Intervalo hídrico ótimo e sua importância para as plantas. In: RIBEIRO, M. R.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO FILHO, M. R.; CANTALICE, J. R. B., eds. Tópicos em ciência do solo Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 1-30, 2009.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. D. 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**, v. 30, n. 1, p. 31-40, 2006.

SOLEYMANI, A. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed vigor tests for the prediction of field emergence. **Industrial Crops and Products**, 2017.

SOUZA, M. P.; BJERK, T. R.; GRESSLER, P. D.; DE SOUZA SCHNEIDER, R. D. C.; CORBELLINI, V. A.; MORAES, M. S. A. As Microalgas Como Uma Alternativa Para a Produção De Biocombustíveis Parte I: Bioetanol. **Tecno-Lógica**, v. 16, n. 2, p. 108-116, 2013.

SOUZA, V. Q.; NARDINO, M.; BONATO, G. O.; BAHRY, C. A.; CARON, B. O.; ZIMMER, P. D.; SCHMIDT, D. Desfolha em diferentes estádios fenológicos sobre características agrônômicas em trigo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1905-1911, 2013.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 755-760, 2004.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1159-1167, 2007.

TOIGO, S.; BRAIDA, J. A.; POSSENTI, J. C.; BRANDELERO, E. M.; BAESSO, M. M. Atributos físicos de um Nitossolo Vermelho cultivado com trigo, em sistema plantio direto, submetido à compactação e escarificação. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 19-28, 2015.

TOMA, W.; GUIMARÃES, L. L.; BRITO, A. R.; SANTOS, A. R.; CORTEZ, F. S.; PUSCEDDU, F. H.; CESAR, A.; JÚNIOR, L. S.; PACHECO, M. T. T.; PEREIRA, C. D. Safflower oil: an integrated assessment of phytochemistry, antiulcerogenic activity, and rodent and environmental toxicity. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 24, n. 5, p. 538-544, 2014.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; LARA DE ASSIS, R.; MENEZES DE SOUZA, Z. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428-427, 2015.

TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n.1, p. 1023-1031, 2004.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. D.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, n.4, p. 795-801, 2002.

ULLAH, F.; BANO, A. Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tictorius* L.). **Brazilian Society of Plant Physiology**, Rio Claro, v. 21, p. 27- 31, 2011.

VALADÃO, F. C. A.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F. R.; BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 243-255, 2015.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 9, 2012.

VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; DE MARIA, I. C.; TULLER, M. **Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content.** *Geoderma*, Amsterdam, v.166, n.1, p.92-101, 2011.

VIEIRA, S. R.; FALCI DECHEN, S. C.; MACHADO SIQUEIRA, G.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, v. 70, n. 1, 2011.

VITA, P.; DI PAOLO, E.; FECONDO, G.; DI FONZO, N.; PISANTE, M. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. **Soil and Tillage Research**, v. 92, p. 69-78, 2007.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 1403-1409, 2004.

ZOZ, T. **Correlação e análise de trilha de produtividade de grãos e seus componentes e caracteres de planta em cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.).** Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura), Faculdades de Ciências Agronômicas de Botucatu – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.