

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE AGRONOMIA E ZOOTECNIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical**

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL  
NA CULTURA DO CÁRTAMO EM SOLO DO CERRADO MATO-  
GROSSENSE**

**TULIO MARTINEZ SANTOS**

**CUIABÁ-MT**

**2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE AGRONOMIA E ZOOTECNIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical**

**COMPACTAÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL  
NA CULTURA DO CÁRTAMO EM SOLO DO CERRADO MATO-  
GROSSENSE**

**TULIO MARTINEZ SANTOS**

Eng<sup>o</sup> Agrônomo

ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dra. Edna Maria Bonfim da Silva

CO-ORIENTADOR: Prof<sup>o</sup> Dr. Tonny José Araújo da Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

CUIABÁ-MT

2018

## Ficha catalográfica

### Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M385c MARTINEZ SANTOS, TULIO.  
COMPACTAÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL NA  
CULTURA DO CÁRTAMO EM SOLO DO CERRADO MATO-GROSSENSE /  
TULIO MARTINEZ SANTOS. -- 2018  
82 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: EDNA MARIA BONFIM DA SILVA.  
Co-orientador: TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de  
Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Agricultura  
Tropical, Cuiabá, 2018.  
Inclui bibliografia.

1. Carthamus tinctorius L.. 2. Densidade do solo. 3. Resíduo agroindustrial. I.  
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL  
Av. Fernando C. da Costa, nº 2367 – Cidade Universitária- 78060-900 –  
Cuiabá – MT. Telefone/Fax (65) 3615.8618. E-mail: [agritrop@ufmt.br](mailto:agritrop@ufmt.br)

---

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**Título: COMPACTAÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL  
NA CULTURA DO CÂRTAMO EM SOLO DO CERRADO MATO-  
GROSSENSE**

**Autor:** Tulio Martinez Santos

**Orientadora:** Edna Maria Bonfim da Silva

Aprovado em 10 de julho de 2018.

Comissão Examinadora:

Edna Maria Bonfim da Silva  
Doutora  
(Orientadora - UFMT)

Thiago Franco Duarte  
Doutor  
(Examinador Interno - UFMT)

Marconi Batista Teixeira  
Doutor  
(Examinador Externo – IF Goiano)

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades concedidas, pela força e perseverança para alcançar minhas metas.

Agradeço imensamente a minha mãe, Rosani Sansão Martinez, minha irmã, Rubia Martinez Santos e toda minha família, pelo apoio e companheirismo desde meus primeiros dias de vida, amo vocês.

À professora Edna Maria Bonfim-Silva e ao professor Tonny José Araújo da Silva pela orientação, paciência, macetes científicos dados desde o início, que me proporcionaram o crescimento, tanto profissional como quanto pessoa.

A todos os membros do GPAS (Grupo de Práticas em água e solo), em especial Luana, Camila, Denise, Juliane, Paula, Carolina, Júlio, José Roberto, Willian, Thiago Wily, Laura, Horácio, e, aos professores, Thiago Duarte, Hellon e Jéferson, pois sem vocês, esse trabalho teria sido muito mais dispendioso e difícil de ser executado.

Ao programa de pós-graduação em Agricultura Tropical, pela oportunidade de ter realizado essa pós-graduação, assim como, ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola.

Ao IMA (Instituto Matogrossense de algodão) pela disponibilidade de material vegetal para a execução do experimento.

## COMPACTAÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO COM CINZA VEGETAL NA CULTURA DO CÁRTAMO EM SOLO DO CERRADO MATO-GROSSENSE

### RESUMO

O aumento da mecanização favorece a compactação do solo em subsuperfície, nesse sentido, a adição de resíduos agroindustriais pode melhorar suas características químicas e físicas. Desse modo, objetivou-se, avaliar o efeito de densidades do solo, associadas a doses de cinza vegetal no desempenho da cultura do cártamo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação sob delineamento experimental em blocos casualizados com cinco níveis de compactação (densidades do solo: 1,0; 1,2; 1,4; 1,6 e 1,8  $\text{mg m}^{-3}$ ) e adubados com cinco doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24, 32  $\text{g dm}^{-3}$ ). As aplicações das doses de cinza vegetal ocorreram imediatamente após a coleta do solo de acordo com os respectivos tratamentos. Cada unidade experimental foi formada de um vaso de PVC (policloreto de vinila) com três anéis isométricos. Os vasos tinham 200 mm de diâmetro interno e 300 mm de altura totalizando 9,4  $\text{dm}^3$  de solo. A camada 0,1-0,2 m foi compactada com o auxílio da prensa hidráulica (P15ST, BOVENAU), conforme os tratamentos, enquanto as camadas superiores e inferiores foram completadas com solo equivalente a densidade 1,0  $\text{mg m}^{-3}$ . Para suprir as necessidades nutricionais da planta realizou-se em todos os vasos adubação nitrogenada com 150  $\text{mg dm}^{-3}$  de nitrogênio, dividida em três aplicações quinzenais, a partir do 15º dia após a emergência, nas proporções de 26, 37 e 37 %. As avaliações foram realizadas aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência, as avaliações vegetativas com o tratamento na dose de 0  $\text{g dm}^{-3}$ , foram realizadas somente aos 15 dias após a emergência, visto que a partir dessa data, as plantas morreram devido à baixa saturação por bases do solo. Os resultados foram submetidos à análise de variância e verificada a significância à análise de regressão utilizando o software SISVAR com significância de 5%. Para a maioria das variáveis vegetativas, houve interação significativa isolada para as doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo, sendo doses próximas a 24  $\text{g dm}^{-3}$  do resíduo as que proporcionaram desenvolvimento vegetativo mais vigoroso. Quanto aos níveis de densidade do solo, essas apresentaram resposta linear decrescente, exceto para o índice SPAD, que apresentou resultado inverso. No entanto, para o desenvolvimento de raízes, a dose de cinza vegetal onde foi observada as maiores produções de massa seca e volume de raízes na adubação, com cinza vegetal, foi próxima a 24  $\text{g dm}^{-3}$ . Para os níveis de densidade do solo, foi observado que as raízes das plantas se ajustaram na sua maioria ao modelo linear de regressão apresentando decréscimo com o aumento da densidade do solo, exceto nas camadas superiores, que apresentaram ajustes ao modelo quadrático de regressão. Desse modo, conclui-se que a adição de cinza vegetal é positiva para o desenvolvimento da cultura do cártamo até uma dose de 24  $\text{g dm}^{-3}$ . O aumento dos níveis de densidade do solo, prejudica o desenvolvimento vegetativo e radicular do cártamo.

Palavras chave: *Carthamus tinctorius* L., Densidade do solo, Resíduo agroindustrial

## COMPACTION OF SOIL AND FERTILIZATION WITH WOOD ASH IN THE SAFFLOWER CROP IN CERRADO MATO-GROSSENSE

### ABSTRACT

The increase of mechanized areas favors the soil compaction in subsurface, in this sense, the addition of agricultural residues to the soil with the purpose of improving the chemical and physical qualities of the soil. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of soil bulk density levels associated with wood ash doses on safflower crop performance. The experiment was conducted in a greenhouse under a randomized block design with five levels of soil compaction (bulk densities: 1.0, 1.2, 1.4, 1.6 and 1.8 Mg m<sup>-3</sup>) and fertilized with five doses of wood ash (0, 8, 16, 24, 32 g dm<sup>-3</sup>). The applications of the doses of wood ash occurred immediately after the collection of the soil according to the respective treatments. Each experimental unit was formed from a PVC (polyvinyl chloride) vessel with three isometric rings attached by silver tape. The vessels had 200 mm of internal diameter and 300 mm of height, totaling 9.4 dm<sup>3</sup> of soil. The layer 0,1-0,2m was compacted using the hydraulic press (P15ST, BOVENAU) according to the treatments, while the upper and lower layers were filled with soil equivalent to 1.0 Mg m<sup>-3</sup> density. To meet the nutritional needs of the plant nitrogen fertilization with 150 mg dm<sup>-3</sup> nitrogen was divided in three biweekly applications from the 15th day after emergence 40, 55 and 55 mg dm<sup>-3</sup> at 15, 30 and 45 days after emergence respectively. The evaluations were performed at 15, 30, 45, 60, 75 days after the emergency. The vegetative evaluations with the 0 g dm<sup>-3</sup> treatment were performed only 15 days after emergence, since from that date, the plants died due to the low base saturation of the soil. The results were submitted to analysis of variance and significance was verified to the regression analysis using SISVAR software with significance of 5%. For the majority of the vegetative variables, there was a significant interaction isolated for the doses of wood ash and levels of bulk density, being, doses close to 24 g dm<sup>-3</sup> of the residue provided a more vigorous vegetative development, as far as the levels of bulk density, these showed a linear decreasing response, except for the SPAD index, which presented an inverse result. However, for root development, the dose of plant ash was observed as higher yields of dry mass and root volume at fertilization close to 24g dm<sup>-3</sup>. To the levels of soil density, it was observed that the plants adapted to the majority of the linear model of regression decreasing with the increase of soil density, with the advantage in the superior qualifications, that are adjusted to the quadratic model of regression. The levels of density of soil and compositions of culture may be evaluated. The addition of vegetable ash is positive for the development of safflower culture at a dose of 24 g dm<sup>-3</sup>. Increased levels of soil density, detrimental to the vegetative and root development of safflower

Key-words: *Carthamus tinctorius* L., Bulk density, Agroindustrial waste

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
2.1 A cultura do cártamo.....	11
2.3 Cinza vegetal .....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
3.1 Localização do experimento .....	17
3.2 Instalação do experimento.....	17
3.2.1 Delineamento experimental.....	17
3.2.2 Correção da acidez do solo.....	17
3.2.3 Instalação dos vasos .....	19
3.2.4 Unidade Experimental.....	20
3.3 Condução do experimento.....	21
3.3.1 Semeadura e Adubação.....	21
3.3.2 Manejo Fitossanitário .....	21
3.3.3 Manejo da irrigação.....	22
3.4 Variáveis analisadas .....	23
3.4.1 Variáveis vegetativas .....	23
3.4.2 Variáveis Reprodutivas .....	24
3.4.3 Variáveis pós-colheita .....	25
3.5 Análise estatística.....	26
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
4.1 pH do solo.....	28
4.2 Teor de nutrientes no solo .....	29
4.4 Altura de planta.....	30
4.3 Diâmetro de caule.....	34
4.5 Número de folhas .....	38
4.6 Índice SPAD .....	43
4.7 Ramos primários, secundários e totais.....	47
4.8 Dias para o florescimento .....	49
4.9 Diâmetro de capítulos .....	52

4.10 Número de capítulos.....	52
4.11 Massa seca de capítulos .....	54
4.12 Massa seca da Parte Aérea (Caule + Folhas) .....	55
4.13 Massa seca total da parte aérea.....	57
4.14 Volume de raiz.....	59
4.15 Massa seca de raiz.....	62
4.16 Relação massa seca de parte aérea/raiz.....	66
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>67</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda de alimentos pela produção cresce exponencialmente em concomitância com a população mundial, pressionando sistemas produtivos a aumentarem sua rentabilidade, na mesma área que já produzem, devido fato da limitação de abertura de novas áreas, visando atender as legislações ambientais (FAO, 2014; ALMEIDA et al., 2016). Nesse contexto, pode-se relatar alguns fatores que interferem em sistemas produtivos, como clima, ataque de pragas e doenças, plantas invasoras e o manejo físico e químico do solo (STERNBERG & THOMAS, 2018).

As limitações físicas do solo podem ocorrer devido a características pedogenéticas do solo ou mesmo por processos antrópicos. Assim, em cultivos cada vez mais mecanizados, o fluxo contínuo de máquinas acarreta alguns problemas, dentre eles o aumento da densidade do solo causado pela compactação, interferindo diretamente no desenvolvimento das plantas. Dentre as limitações físicas, a compactação é mais comum em sistemas de cultivos convencionais, baseados na desagregação excessiva da camada arável, podendo acarretar a compactação em subsuperfície, de difícil diagnóstico (FREDDI et al., 2009).

A compactação do solo diminui o crescimento de raízes e o movimento da água no solo, o que condiciona o agricultor a revolve-lo, desestruturando-o física e conseqüentemente na parte biológica. Normalmente a principal estratégia para a recuperação física dos solos, está baseada na rotação de culturas que apresentem sistema radicular vigoroso e agressivo, promovendo a longo prazo melhorias na qualidade física principalmente na porosidade total, condutividade hidráulica e macro porosidade do solo (REINERT et al., 2008; EMBRAPA, 2013).

No que diz respeito às limitações químicas, a maioria dos solos do Cerrado brasileiro, são caracterizados pela elevada acidez e baixa saturação por bases. Devido ao baixo pH, vários nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, encontram-se indisponíveis no solo, necessitando a correção da acidez. Fontes finitas, são utilizadas para o fornecimento de nutrientes e correção do solo, como rochas de origem cálcica e fosfatadas, podendo a longo prazo limitar a produção em sistemas agrícolas (PANTANO et al., 2016).

Almejando métodos para a manutenção física e química dos solos, resíduos de agroindústrias vêm sendo adicionados ao solo, dentre eles a cinza vegetal, que

além de sua capacidade de corrigir o pH do solo e fornecer nutrientes, vem demonstrando a capacidade de influenciar nas características físico-hídricas, melhorando suas condições para o cultivo. Entretanto, como qualquer outro resíduo, são necessários estudos para avaliar as melhores doses e as respostas de plantas, quanto ao uso desses (SMOL et al., 2015; ISLABÃO et al., 2016).

Além da adubação com cinza vegetal, a rotação de culturas é uma outra técnica de manejo químico e físico, que além de realizar a ciclagem de nutrientes com o uso de plantas com o sistema radicular vigoroso podem a médio/longo prazo, melhorar as características físicas do solo, como movimento da água e estoque de carbono. Atualmente, as plantas mais utilizadas para realizar esse manejo são gramíneas e leguminosas, entretanto algumas asteráceas vem ganhando cada vez mais importância nesse contexto, devido a sua versatilidade e elevados teores de proteína e óleo (SEDDAIU et al., 2015).

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) já vem sendo utilizado em sistemas de cultivo em vários países do Oriente Médio, América no Norte e do Sul, entretanto, no Brasil, os cultivos ainda são ínfimos e pesquisas com a cultura são escassas. A cultura é extremamente versátil sendo adaptada a várias condições de cultivo, quando em sistemas com manejo adequado, apresenta elevado desempenho de matéria seca, produção de grãos e teor de óleo (LEHNHOFF, et al., 2017). Desse modo, parte-se do pressuposto que, a adição de cinza vegetal possa vir a minimizar os efeitos da compactação do solo e adubação no cultivo da cultura do cártamo.

Com base no exposto, objetivou-se avaliar o efeito de densidades do solo associadas a doses de cinza vegetal no desempenho da cultura do cártamo em Latossolo Vermelho, coletado no Cerrado mato-grossense.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do cártamo

Com dois prováveis centros de origem, um na Ásia (Índia e Afeganistão) e outro na África em região correspondente hoje a Etiópia, o cártamo *Carthamus tinctorius*, também conhecido como “açafraão”, “açafraão bastardo”, era utilizado desde 2000 a.C. como corante, extraído de suas flores a *carthamine*, substância capaz de colorir roupas e alimentos (CHAPMAN et al., 2010). No entanto, somente por volta do século XX, essa cultura foi introduzida no continente americano, inicialmente nos E.U.A., demonstrando boa adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas (ASHRI & KNOWLES, 1960; HUSSAIN et al., 2015).

A adaptabilidade a ambientes de -7 a 40°C, altitudes de até 2.000 m e precipitações de 300 a 600 mm, facilitaram a disseminação do cártamo pelo mundo. Atualmente, é cultivado em mais de 60 países tendo o Cazaquistão a maior área plantada, com 251 mil hectares, seguidos por Índia, Rússia, México e E.U.A., com 211.000, 115.000, 114.000 e 68.000 hectares de área semeada respectivamente. Deste ranking, os solos norte-americanos detêm as maiores produtividades, em média 1,37 tha<sup>-1</sup> (FAOESAT, 2014).

Filogeneticamente a planta tem por gênero *Carthamus*, a espécie (*Carthamus tinctorius* L.) é anual, herbácea de porte ereto e pertence à família *Asteraceae* (WANG et al., 2010; CHAPMAN et al., 2010).

Com flores globulares denominadas capítulos, tem várias inflorescências que unidas dão origem aos aquênios (CHAPMAN et al., 2010), os capítulos podem ter de 14 a 25 cm de diâmetro, plantas de 30 a 150 cm de altura, ramos primários, secundários e terciários (PALUDO et al., 2017). As raízes são pivotantes de crescimento vigoroso, podendo atingir 300 cm de profundidade (CORONADO, 2010).

Normalmente, as plantas são cultivadas para a produção do óleo, com até 50% desse nos aquênios (ÇAMAS et al., 2007). Similar ao óleo de girassol em suas características organolépticas, o óleo de cártamo tem em sua composição várias substâncias dentre elas ácidos linoleico (70 a 87%) (KAFFKA; KEARNEY, 1998; HAN et al., 2009), fonte minerais (Fe, Zn Cu, Mn), vitaminas (tiamina “B1”, β-caroteno e tocoferol α, β e γ) (VELASCO et al., 2005; LU et al., 2004).

Os aquênios têm elevados teores de óleo e ótima qualidade tanto para consumo humano, animais e até mesmo para a indústria, utilizado para compor o biodiesel, de forte apelo ambiental, por exemplo (DORDAS & SIOULAS, 2008).

O cártamo é uma excelente alternativa para a suplementação de animais, visto que apresenta de 15 a 20% de proteína, podendo ser armazenado como feno ou silagem (RAHAMATALLA et al., 2001; SMITH, 1996), além de serem fornecidos os grãos inteiros para alimentação de aves de estimação. No máximo acúmulo de biomassa, a planta pode atingir produção de 7 t ha<sup>-1</sup>, 16 a 20 % de matéria seca e 9 % de proteína bruta quando ensilada (CORLETO et al., 2005; POSSENTI et al., 2016).

O sistema radicular vigoroso pode garantir a planta características importantes como a adaptação à escassez hídrica moderada a leve, além de explorar volume considerável de solo (HOJATI et al., 2011). Quando submetido a condições de altas tensões do solo, nota-se um aumento da relação raiz parte aérea, podendo se justificar pela elevada alocação de carbono nas raízes (LAWLOR & UPRETY, 1993; MONTOYA, 2010; HOJATI et al., 2011).

Considerando Mato Grosso um Estado biodiverso, com distribuições hídricas distintas, com um período chuvoso e seco bem definidos em seus três biomas (FIETZ et al, 2011), é habitual realizar-se além do cultivo de verão (set-jan) também a segunda safra, aproveitando assim, todo do período das chuvas. De março a junho, no qual as precipitações tornam-se menos volumosas e por muitas vezes escassas (KOLLING et al., 2012).

Neste sentido, nos cultivos de safrinha são normalmente adotadas culturas de ciclos curtos e ou com tolerância a déficits hídricos como milho, sorgo e girassol. Partindo do pressuposto que a maioria das áreas agrícolas são conduzidas sob sistemas de semeadura direta, é necessário a realização de rotação de culturas (ALVARENGA et al., 2001). Desse modo, a cultura do cártamo torna-se uma alternativa viável a ser adotada em sistemas de safrinha, pois além de tolerância a déficit hídrico, o seu vigoroso sistema radicular é capaz de criar microcanais auxiliando na infiltração de água no solo até mesmo melhorando seus atributos físicos.

## 2.2 Compactação do solo

Em detrimento do crescimento populacional, as necessidades de produção de bens para fins de produção energética e alimentos aumentam em escala exponencial. Concomitante a isso, nota-se uma crescente pressão do uso dos meios naturais, sobretudo o solo. Para aperfeiçoar a produção agrícola, empreendimentos com graus de tecnificação mais elevados, optam pela utilização de máquinas de grande porte, para facilitar a pulverização, preparo do solo e a colheita, principalmente na produção de grãos e outras “*commodities*” (ANSORGE & GODWIN, 2008; HEMMAT & ADAMCHUK, 2008).

Dissertando-se a cerca de processos físicos do solo, dois termos são muito empregados, adensamento e a compactação. O adensamento é um processo natural pedogenético de redução do espaço poroso por seguinte, aumento da densidade dos perfis do solo. Já a compactação, é um processo antrópico, no qual existe uma compressão, ocasionando a diminuição do volume do solo, gerando um arranjo mais denso das partículas deste, por fim, a redução da porosidade (CURI et al, 1993; HAMZA & ANDERSON, 2005).

A compactação é um sério problema em cultivos agrícolas, visto que, diminui a infiltração e movimentação da água ao longo do perfil do solo, a aeração e absorção de nutrientes também são comprometidas, sobretudo, a penetração das raízes devido a elevada resistência mecânica (FREDDI et al., 2009).

Servadio et al. (2005) comprovaram que o tráfego de máquinas altera a geometria dos espaços porosos, pela diminuição da relação dos poros alongados (de maior tamanho e mais efetivos na translocação da água) em relação aos irregulares e arredondados. Após o tráfego de máquinas, os poros orientam-se paralelamente ao solo, em sentido descontínuo, ou seja, em lâminas, diminuindo a eficiência do crescimento radicular e infiltração da água ao longo do perfil do solo. Via de regra, o tráfego de máquinas também aumenta a densidade do solo e diminui a porosidade total (SERVADIO et al., 2005; BOTTA et al., 2006; REINERT et al., 2008; LIMA et al., 2010).

Nunes et al. (2016) avaliando parâmetros físicos como macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração em Latossolo Vermelho, verificaram diminuição de 59% da porosidade total, 26% da microporosidade, 96% da macroporosidade e aumento de 97% da resistência à penetração, quando

compararam o solo da uma densidade de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$  em relação ao solo com  $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Assumindo o homem como principal agente causador da compactação do solo, os sistemas de manejo de preparo adotados por ele, influenciam diretamente na qualidade física do solo. No Brasil, o principal método de cultivo de plantas é o de semeadura direta, o qual baseia-se no mínimo revolvimento ou até mesmo, a nulidade, mantendo o solo sempre coberto e, conseqüentemente, evita processos erosivos e exposição da matéria orgânica aos intempéries, sendo considerada assim uma prática edáfica conservacionista (BERTOL et al., 2004; MAPA, 2011).

No Cerrado central brasileiro, normalmente de topografia plana, solos com perfil profundo, favorecem sistemas mecanizados de produção, sobretudo a práticas de manejo de cultivos mínimos como o plantio direto (GOEDERT et al., 2002; EMBRAPA, 2013). O sistema supracitado em sua essência, colabora para conservação das propriedades químicas físicas e biológicas do solo (LOSS et al., 2017; DALCHIAVON et al., 2017; ALMEIDA et al., 2017). Entretanto contrasta-se com certa frequência a compactação subsuperficial das camadas do solo, concentrando-se de 0,05 até 0,15 cm de profundidade (ARGENTON, et al., 2005, REICHERT et al., 2007).

A compactação em subsuperfície é de difícil diagnóstico, além de ser mais persistente. Os agentes naturais de descompactação do solo como a atividade da macro e a mesofauna e acúmulo de matéria orgânica, são suavizados de acordo com o aumento da profundidade, dificultando o diagnóstico (ALAKUKU et al., 2003; HAMZA & ANDERSON, 2005).

Para a realizar a descompactação em subsuperfície, podem ser utilizadas algumas práticas mecânicas e edáficas. As mecânicas seriam a subsolagem, economicamente dispendiosa pelo gasto com combustível, desgaste de maquinário, desestruturação do solo, além de poder deixar este mais suscetível à novas compactações em camadas ainda mais profundas, à escarificação, menos agressiva, porém demanda custos operacionais, assim como à subsolagem (ALAKUKU et al., 2003, BOTTA et al., 2006).

Quanto às práticas edáficas de caráter vegetativo, em sistemas de plantio direto, utilizam-se plantas com sistema radicular agressivo, capazes de explorar camadas mais profundas do solo. Resultados apontam que, principalmente leguminosas e algumas gramíneas como plantas de cobertura, ajudam a recuperar a

estrutura do solo, sendo as crotalárias e gramíneas as mais estudadas (CALONEGO, 2011; BONFIM-SILVA et al., 2012; PACHECO et al., 2015; HERRADA et al., 2017).

### **2.3 Cinza vegetal**

O uso da cinza está presente nos sistemas de produção desde as primeiras formações de grupos humanos nos trópicos americanos (ADAMS, 2000). A roça-de-toco, pousio ou coivara é baseada na abertura e queima da vegetação, ocorrendo a disponibilização de nutrientes, seguindo-se um período de cultivo. Quando a produtividade começa a diminuir devido à queda na fertilidade, a área passa por pousio, para que o terreno se reestabeleça depois de alguns anos (SIMINSKI & FANTINI, 2007). Práticas até hoje adotadas por comunidades ribeirinhas e diversas sociedades indígenas (OLIVEIRA, 2002)

A cinza vegetal, produto da queima de material de origem vegetal sem quaisquer controles de temperatura e oxigênio, tem cor acinzentada e consistência sólida (JENKINS et al., 1998; COELHO & COSTA, 2007). Quando o material orgânico é consumido em sua totalidade, a cinza terá em sua composição elementos minerais não suscetíveis ao processo de volatilização durante a queima, além de perdas significativas de água, nitrogênio e carbono (JENKINS et al., 1998).

As leis brasileiras não determinaram uma norma específica quanto ao uso das cinzas, sendo classificadas como “resíduo classe II- A- não inerte”, tendo características como combustibilidade, além de ser biodegradável e ou solúvel em água (NBR10004).

A cinza vegetal tem em sua composição teores variados principalmente de Fósforo, Potássio e Cálcio (OSAKI & DAROLT, 1991; DAROLT et al., 1993). Dentre as principais substâncias solúveis, os teores mais elevados são os de Carbonatos de Potássio, Sódio, Cálcio e Magnésio (CHIRENJE&MA, 2002). Devido à presença desses e outros compostos capazes de corrigir a acidez do solo a cinza também tem capacidade de ser fonte de nutrientes (SANTOS, 1995).

Conforme o estudo de Bezerra et al. (2016) avaliando o uso de cinza vegetal como fertilizante no cultivo de capim-marandú em solos típicos do Cerrado, verificaram maior produção de matéria seca e crescimento do capim, tanto em Latossolo como em Argissolo, quando comparado ao tratamento controle.

Nesse mesmo contexto, Bonfim-Silva et al. (2017b) observaram o desenvolvimento de (*Canavalia ensiformis*) submetido a doses de cinza vegetal,

observaram ajustes ao modelo quadrático para as variáveis altura de planta, massa seca da parte aérea, diâmetro de caule, massa seca de raízes e número de nódulos, sendo as doses de cinza vegetal entre 9 e 12 g dm<sup>-3</sup>, as que apresentaram os melhores resultados para as variáveis analisadas.

Pereira et al. (2016) estudando doses de cinza vegetal e teor água em Latossolo cultivando com *Gladiolus spp.* em ambiente protegido, verificaram uma faixa ótima para o desenvolvimento da cultura de doses de cinza vegetal entre 14 e 17 g dm<sup>-3</sup> e em um teor água do solo de 28%. Desse modo, no que se refere à fertilidade do solo, as doses de cinza vegetal, assim como fertilizantes minerais, são diferentes para as culturas, variando principalmente com o nível de requerimento das culturas e a concentração de nutrientes presentes.

Islabão et al. (2016) utilizando cinza de casca de arroz na alteração dos atributos físico-químicos do solo, observaram que a adição de cinza vegetal teve um efeito linear até 140 t ha<sup>-1</sup> reagindo mais rápido no solo do que o calcário Dolomítico convencional, mesmo sendo menos reativa a ordem de 300%. Do ponto de vista físico, verificaram uma diminuição da densidade do solo, aumento da macroporosidade na camada de 0-0,1m sobretudo, melhorias no espaço poroso de um Argissolo Vermelho Amarelo, em condições de campo.

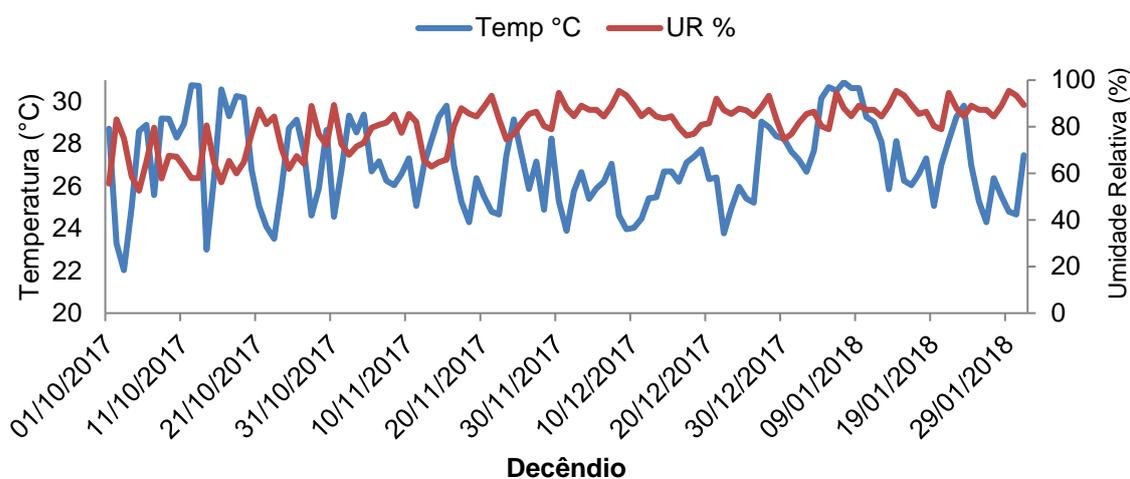
QU et al. (2014), estudando as propriedades mecânicas do solo como limite de liquidez e de plasticidade do solo, verificaram que quando se aplicou mais do que 30% de cinza de casca de arroz em relação ao volume de solo, foi observado aumento da resistência mecânica do solo devido a alteração tanto o limite de liquidez como de plasticidade.

A adição de cinza de casca de arroz, proporcionou incrementos significativos em características produtivas de arroz em Cambissolo ácido tanto em combinação com resíduos industriais como quando aplicado sozinho, além de alterar características físicas do solo como a diminuição da densidade do solo e aumento da porosidade total (KARMAKAR et al., 2009). Reafirmando assim a capacidade da cinza vegetal de alterar características físicas e químicas do solo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis, com as coordenadas geográficas: -16°28'15" S e -50°38'08" O e altitude de 284 m. A umidade relativa do ar e temperatura média no período experimental foi de 81% e 27°C respectivamente (Figura 1).



**FIGURA 1:** Média por decêndio de temperatura e umidade (°C; UR%) no período experimental (10/2017 a 01/2018) em casa de Vegetação. Rondonópolis-MT.

#### 3.2 Instalação do experimento

##### 3.2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em fatorial 5x5 correspondentes a cinco densidades do solo (1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m<sup>-3</sup>) e cinco doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24, 32 gdm<sup>-3</sup>), com quatro repetições, totalizando 100 unidades experimentais.

##### 3.2.2 Correção da acidez do solo

O solo utilizado foi coletado na camada de 0-0,20 m de profundidade em área sob vegetação de Cerrado, e passado em peneira de malha de 4 mm para composição do solo das unidades experimentais e em peneira de malha de 2 mm para caracterização química e granulométrica (Tabela 1).

**TABELA 1-** Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho distrófico na camada 0-0,2m (Rondonópolis-MT, 2017).

pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	SB	CTC	M.O	V	m	Areia	Silte	Argila
CaCl <sub>2</sub>	mgdm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				g kg <sup>-1</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>				
4,0	1	43	8	0,5	0,3	1,2	0,9	8,3	29	11	57	507	116	377

O solo foi acondicionado em sacos plásticos contendo 12 dm<sup>3</sup> de solo e foram incubadas as respectivas doses de cinza vegetal (0, 8, 16, 24, 32 gdm<sup>-3</sup>). A umidade do solo foi mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água no solo para reação do material. Após 30 dias da incubação solo com cinza vegetal, os sacos plásticos foram abertos e deu-se início a montagem dos vasos com os respectivos tratamentos com densidades do solo.

A cinza vegetal, foi adquirida de indústria alimentícia do município de Rondonópolis, MT proveniente da queima de fornalhas utilizadas durante a secagem e beneficiamento de produtos agrícolas. Durante o processo de combustão, a temperatura das fornalhas ficou entre 800 até 850°C com combustão a partir de 250° C. A cinza vegetal foi caracterizada como fertilizante e corretivo como preconiza Darolt et al. 1993 (Tabela 2) e, a análise físico-hídricas (Tabela 3) como recomenda MAPA, 2007 e Embrapa, 2013.

Para a realização da densidade da cinza vegetal, foi adaptada a metodologia da Embrapa, 2013, utilizando a relação massa volume na qual, a cinza vegetal foi acondicionada em latas de 0,5 dm<sup>3</sup>, dos quais adicionou-se o 1/5 do material e dada uma batida a aproximadamente 5 cm de altura, até o volume da lata ser completada.

Já para a determinação da capacidade de retenção de água, utilizou-se a metodologia preconizada pelo MAPA, 2007, do qual utilizou-se anéis volumétricos de 0,1 dm<sup>3</sup>, preenchidos com cinza vegetal seca, presas na parte superior e inferior do anel com tecido tipo TNT (Tecido não tecido), levadas para saturar durante 24 horas, posteriormente passaram para mesa de tensão sob 10 cm de coluna d'água, até a estabilização. O peso das amostras saturadas foi aferido, posteriormente levou-se as amostras para estufa a 65°C, durante 24 horas ou até atingirem peso constante, e aferido o peso das amostras secas. Por diferença entre os pesos, obtido a capacidade de retenção de água.

**TABELA 2-** Caracterização química da Cinza Vegetal (Rondonópolis-MT, 2017).

pH	PN	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	Si	Mn	B	Fe	Cr	As	Hg
CaCl <sub>2</sub> -----%----- g kg <sup>-1</sup> ----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -														
10,7	28,0	0,3	0,9	3,5	3,3	2,1	0,2	27,4	0,4	0,1	1,0	8,0	2,1	0,1

**TABELA 3.** Características físico-hídricas Cinza Vegetal e do solo incubado

Densidade da cinza vegetal	Densidade de partículas da cinza	Capacidade de retenção de água da cinza	Densidade de partículas (solo+cinza)
(Mg m <sup>-3</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	(Mg m <sup>-3</sup> )
0,45	1,65	0,71	2,61

### 3.2.3 Instalação dos vasos

Com o solo já incubado com cinza vegetal, determinou-se a massa de solo seco a ser adicionada para alcançar as densidades do solo de 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 Mg m<sup>-3</sup>. Para isso, fez-se a relação massa sobre volume de acordo com a (Equação 1). Por meio desta fração, pode-se determinar a massa de solo seco a ser utilizada (Equação 2).

$$D_s = \frac{MSS}{V_a} \quad (1)$$

$$MSS = V_a \cdot D_s \quad (2)$$

Onde:

MSS= Massa de solo seco (kg)

V<sub>a</sub>= Volume do anel (3,14 dm<sup>3</sup>)

z= Densidade do Solo (Mgm<sup>-3</sup>).

Conhecido o volume de solo seco para cada nível de densidade, foi estimada a massa de solo úmido a ser alocada em cada anel. Para a determinação da umidade ideal do solo em cada nível de densidade foram realizados ensaios de Proctor normal (BRAIDA et al., 2006; ABNT, 2016). Ensaios prévios realizados por Fagundes et al. (2014), com o solo coletado no mesmo local, indicaram umidade ideal de 16 %. A massa de solo úmido a ser adicionada em cada anel, foi determinada com base na Equação 3.

$$MSU = MSS (1 + \theta_m) \quad (3)$$

Em que:

MSU= Massa de solo Úmido

MSS=Massa de solo Seco

$\theta_m$ = Umidade a base de massa

### 3.2.4 Unidade Experimental

Cada unidade experimental, foi composta por um vaso confeccionado com três anéis cilíndricos e simétricos de Policloreto de Vanila (PVC) sobrepostos, com 200mm de diâmetro e 300mm de altura, totalizando 9,4 dm<sup>3</sup>. Cada anel, representou uma camada de solo de 0,1 m, essas, unidas por fita adesiva tipo 'silver tape', e na parte inferior do vaso, foi fixada uma tela com malha de 1 mm recobrimdo toda sua base com auxílio de uma borracha, oriunda da secção transversal da câmara de pneus usados, para drenar a água e apreender o conteúdo do vaso dentro do mesmo. Para o fundo do recipiente, foram colocados sob cada vaso, pratos plásticos de 300 mm de diâmetro e 50 mm de altura.

A compactação foi realizada no solo já incubado, visando avaliar o efeito da adição do resíduo em relação as densidades do solo. Com o auxílio de uma prensa hidráulica modelo P15ST da marca BOVENAU®, a camada intermediária (camada 0,1-0,2 m), foi preenchida com solo suficiente para alcançar as densidades almejadas, sendo compactados por meio do aumento da densidade a níveis de 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m<sup>-3</sup>. A escolha da camada de 0,1-0,2m para a compactação, foi escolhida a fim de se assemelhar a condição de campo com compactações em subsuperfície. Os anéis superiores (camada 0-0,1 m) e inferiores (0,2-0,3 m), foram preenchidos com 3,14 dm<sup>-3</sup> de solo, equivalente ao solo com densidade de 1,0 Mg m<sup>-3</sup> (Figura 2).



**FIGURA 2.:** Montagem das unidades experimentais Prensa da camada compactada (A); Unidade experimental montada B C).

### 3.3 Condução do experimento

#### 3.3.1 Semeadura e Adubação

Montados os vasos, foram semeadas por unidade experimental 10 sementes de cártamo acesso IMA 336 a uma profundidade de dois centímetros. Quatro dias após a semeadura, as plantas iniciaram o processo de emergência. Sete dias após a emergência, foi realizado o primeiro desbaste, deixando uma população de seis plântulas por vaso. Aos dez dias após a emergência das plantas, foi realizado um novo desbaste, estabelecendo-se a população final de três plantas por vaso (Figura3).



**FIGURA 3.:** Semeadura e desenvolvimento inicial de plantas de cártamo. Semeadura (A), Primeiro desbaste aos 7 dias após a emergência(B), Último desbaste e população final aos 10 dias após a emergência das plantas (C).

A cinza vegetal foi utilizada como corretivo e fertilizante, não sendo realizadas quaisquer adubações durante o desenvolvimento da cultura, exceto de nitrogênio que se perde desse resíduo no processo de combustão. O nitrogênio foi fornecido na dose de  $150 \text{ Mg dm}^{-3}$  utilizando a Ureia como fonte. A adubação nitrogenada foi dividida em três aplicações, aos 15, 30 e 45 dias após a emergência das plantas, nas proporções de (26 ,37 e 37 % respectivamente), diluídos em solução aquosa, para suprir as necessidades da cultura (Bonfim-Silva et al.,2015a).

#### 3.3.2 Manejo Fitossanitário

Visto a alta suscetibilidade da cultura do cártamo a doenças fúngicas, foi realizado de maneira preventiva, a aplicação de três grupos químicos de fungicidas distintos, com o propósito de controlar principalmente a mancha de alternaria (*Alternaria helianthi*). Foram aplicados (Azoxistrobina+ Ciproconazol;  $200$  e  $80 \text{ gL}^{-1}$ ), (Azoxistrobina+ Difenconazol  $200$  e  $125 \text{ gL}^{-1}$ ). Até o florescimento, as aplicações eram realizadas a cada 15 dias, e após esse, as aplicações foram a cada sete dias.

Quanto ao manejo para controle de pragas, realizaram-se duas aplicações para o controle de pulgão (*Aphis gossypii*), com a utilização de suspensão concentrada a base de Diafentiurom  $545 \text{ g L}^{-1}$  aos 30 e 45 dias após a emergência, uma aplicação

de Malationa 1 g L<sup>-1</sup> para o controle de tripes (*Thysanoptera sp.*) aos 50 dias após a emergência ambos seguindo as recomendações do fabricante quanto a dosagem e intervalo de aplicações.

### 3.3.3 Manejo da irrigação

Para o auxílio da manutenção da umidade do solo, 15 dias após o estabelecimento das plantas foram instalados em cada vaso, um IRRIGAS<sup>®</sup>, a 5 cm de profundidade do solo. O sistema é composto por uma cápsula porosa, tubo flexível e o êmbolo de uma seringa. Em uma das extremidades a cápsula porosa é unida ao tubo, e o outro lado do microtubo, está colado com o êmbolo (MAROUELLI et al., 2005; MAROUELLI & CALBO, 2009) (Figura 4).



**FIGURA 4.:** Sinalizador IRRIGAS<sup>®</sup>.

Para aferir o funcionamento das cápsulas, as mesmas foram testadas sob pressão de 2 kgf cm<sup>-2</sup> (20 kPa), por meio de injeção de ar comprimido e as cápsulas imersas em água (Figura 5). Quando com alguma fissura, as mesmas borbulhavam no ponto da ruptura da cápsula, identificadas, eram então descartadas.



**FIGURA 5.** Teste para verificar o correto funcionamento do Irrigas sob pressão de 2 kgf cm<sup>2</sup> (A). Identificação de capsula com mal funcionamento (B).

O sinalizador IRRIGAS<sup>®</sup> apontava o momento para irrigação, que em situações de solos com tensões inferiores a 20 kPa, a passagem da água na cápsula porosa

ficava bloqueada, impedindo assim que a água suba pelo sinalizador em direção ao êmbolo. Já quando o solo está sob tensões de água superiores a 20 kPa a passagem dos poros fica aberta, possibilitando assim a entrada da água, indicando o momento da irrigação. Desse modo, as tensões de água no solo foram mantidas superiores a 20 kPa ( $\theta_v$  23%) (FONTENELLI, 2014).

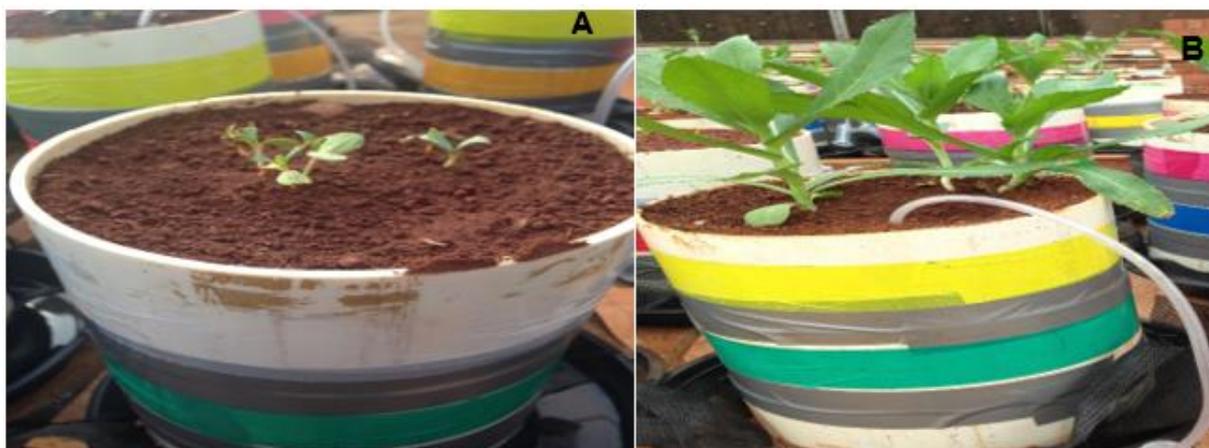
As aferições foram realizadas uma vez ao dia, e quando verificada a necessidade da irrigação a mesma era realizada. Durante o desenvolvimento inicial das plantas, a irrigação foi feita pela parte superior dos vasos, para garantir o estabelecimento das plantas, tendo em vista que o desenvolvimento das raízes estava em estágio iniciais.

A partir dos 15 dias após a emergência das plantas, a irrigação foi realizada pela parte inferior dos vasos, depositada nos pratos, cuja água subia por capilaridade, forçando as raízes a romperem a camada compactada no anel intermediário segundo metodologia de Silva et al. (2006).

### 3.4 Variáveis analisadas

#### 3.4.1 Variáveis vegetativas

As variáveis vegetativas foram avaliadas a partir dos 15 dias após a emergência das plantas. Por essa ocasião, observou-se que as plantas dos tratamentos sem adubação com cinza vegetal ( $0\text{ g dm}^{-3}$ ) em todos os níveis de densidade do solo, iniciaram processo de severa clorose e posterior necrose das plantas (Figura6). Desse modo, não foi possível realizar as avaliações vegetativas subsecutivas nesses tratamentos.



**FIGURA 6.** Plantas de cártamo aos 15 dias após a emergência com  $0\text{ g dm}^{-3}$  de cinza vegetal (A) e  $24\text{ g dm}^{-3}$  de cinza vegetal (B).

As variáveis foram aferidas em intervalo de cada 15 dias contados a partir da emergência das plântulas (15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência). As variáveis analisadas foram:

- **Número de folhas:** Contagem do número de folhas fotossinteticamente ativas de cada unidade experimental e calculada a média por planta.
- **Altura de planta:** Medida em centímetros com o auxílio de régua graduada do colo ao ápice da planta em (cm) e calculada a média por planta.
- **Diâmetro de Caule:** Medida transversal do caule da planta a 2 cm do solo, aferido por meio de paquímetro digital em (mm) e calculada a média por planta.
- **Índice de Clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Development):** Determinação indireta do teor de clorofila de seis folhas do terço médio das plantas de cada unidade experimental, com o auxílio do aparelho Minolta SPAD-502 que ocorreram aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência por tratamento. Não foi possível realizar a aferição do índice SPAD das plantas aos 75 dias após a emergência, visto que, apresentavam severa desfolha, impossibilitando a escolha aleatória das folhas e local onde as mesmas foram realizadas nas aferições anteriores.
- **Número de Ramos primários, secundários e total:** Contagem dos ramos aos 75 dias após a emergência, que descendem da haste principal (primários), ramos de origem dos ramos primários (secundários), somatória dos ramos primários e secundários (ramos totais), os valores calculados e obtida a média por planta.

#### 3.4.2 Variáveis Reprodutivas

- **Dias para o florescimento:** considerado o dia da emergência das plântulas até o florescimento de duas plantas de cada vaso.
- **Número de capítulos:** avaliado por meio de contagem dos capítulos aos 75 dias após a emergência, sendo obtido o valor de capítulos por vaso.
- **Diâmetro externo de capítulos:** medido o diâmetro longitudinal da corola de seis capítulos completamente abertos, média por tratamento (Figura7)



**FIGURA 7.:** Aferição do diâmetro externo de capítulos do cártamo em função dos níveis de densidade dos solo e doses de cinza vegetal.

### 3.4.3 Variáveis pós-colheita

- **Massa seca de capítulos:** Separados do restante da parte aérea, os capítulos também foram secos em estufa, pesados obtendo-se unidade em  $\text{g vaso}^{-1}$
- **Massa seca da parte aérea (Caule+Folhas):** Massa seca da parte aérea de caule e folhas, ou seja, sem os capítulos, valores em  $\text{g vaso}^{-1}$ .
- **Massa seca total parte área total:** Somatório da massa seca de capítulos e da parte aérea, valores obtidos em  $\text{g vaso}^{-1}$ .
- **Volume de raiz camada superior (0-0,1m), camada compactada (0,1-0,2m), camada inferior (0-2-0,3m) e total (Somatório das camadas superior inferior e compactada):** Depois de lavadas, as raízes foram colocadas em uma proveta com volume conhecido e por diferença foi determinado o volume de raízes em cada uma das camadas, e o volume total de raízes, obtido pela soma de todas as camadas, obtidas em  $\text{cm}^3$ .
- **Massa seca raiz camada superior (0-0,1m), camada compactada (0,1-0,2m), camada inferior (0-2-0,3m):** Os anéis foram separados um dos outros, lavados em água corrente para a retirada do solo, posteriormente colocados para secar em estufa, pesados e obtidos em  $\text{g vaso}^{-1}$  o peso de cada uma das camadas.
- **Massa seca total de raiz:** Somatório da massa seca de raiz na camada 0-0,1 m, camada 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m, obtidos em  $\text{g vaso}^{-1}$

- **Massa seca total da planta:** Somatório massa seca total de raiz e massa seca total da parte aérea.
- **Relação massa seca parte aérea/raiz:** Razão da massa seca da parte aérea total, pela massa seca total de raiz.

#### 3.4.4 Análises químicas do solo

Após 45 dias da incubação do solo, foram coletadas 3 amostras de 0,5 kg de solo já incubado com as doses de 0, 8, 16, 24 e 32 g dm<sup>-3</sup>, e enviadas para laboratório particular de análises de solo. Foram realizadas as análises de;

- **pH:** aferido utilizando solução de CaCl<sub>2</sub> a 0,01 mol, com auxílio de pHmetro.
- **Teor de Ca, Mg e Al:** Leituras em Absorção atômica para Ca e Mg e titulação ácido base para Al.
- **P, K:** Leitura do P por espectrofotometria e K fotometria de chama, ambos utilizando o método de Melich<sup>-1</sup>
- **M.O:** Titulação pelo método de Walkley Black.

#### 3.5 Análise estatística

Os dados experimentais foram analisados por meio da ANOVA (Tabela 4) quando considerado o tratamento controle (dose 0g dm<sup>-3</sup>) de cinza vegetal, posteriormente foram submetidos à análise de variância pelo teste de Fisher ( $p > 0,05$ ) e teste de regressão ao nível de significância de 1, 5 e 10% utilizando o Software SISVAR® (FERREIRA, 2010).

Quando identificada interação significativa entre os tratamentos, os dados foram submetidos a análise estatística no software SAS® “Statistical Analysis System” (SAS INSTITUTE, 2002), para a geração de uma possível equação de superfície de respostas. Se os parâmetros da equação fossem significativos até o nível de 10% de significância, se verificou que qualquer um dos parâmetros da equação não fosse significativos a esse nível, optou-se por descartar a equação de superfície. As equações com parâmetros significativos, foram plotadas com uso da ferramenta computacional, EXCEL®. Para o teor de nutrientes no solo, os resultados foram submetidos a análise de variância e teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

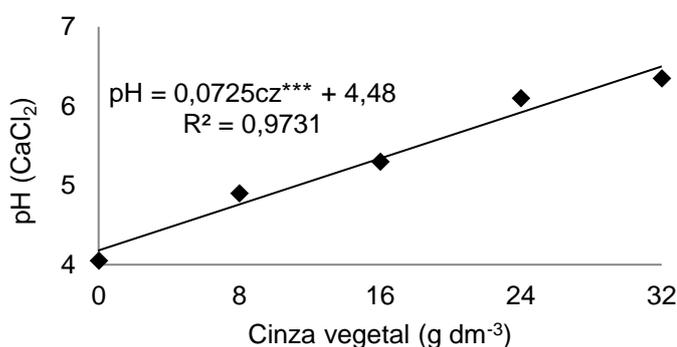
**TABELA4:** Esquema estatístico de análise de variância inicial.

Fonte de Variação	Graus de liberdade
Bloco	3
Dose de cinza vegetal (cz)	4
Densidade do solo (ds)	4
czxds	16
Resíduo	72
Total	99

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 pH do solo

As análises químicas do solo realizadas aos 45 dias após a incubação do solo com cinza vegetal demonstraram diferença significativa para o pH do solo em função das doses de cinza vegetal (Figura 8). Pode-se observar um aumento significativo do pH do solo na ordem de 33% quando se comparou o tratamento de 32 g dm<sup>-3</sup> com o tratamento controle.



**FIGURA 8.** pH (CaCl<sub>2</sub>) do solo aos 45 dias após a incubação quando submetido a diferentes doses cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*\* Significativo a 0,1% de probabilidade, respectivamente. (cz= dose de cinza vegetal).

Maeda et al. (2008), estudando o efeito das doses de cinza vegetal e a resposta a sua aplicação em um Cambissolo Húmico, observaram um incremento do pH de até 20%., Estudo realizado com girassol ornamental, submetidos a doses de cinza vegetal na ordem de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 g dm, cultivado também em Latossolo Vermelho, apresentou incremento linear para o pH do solo conforme aumentaram as doses de cinza, de 16 %, quando aplicado ao solo 20 g dm<sup>-3</sup> do resíduo, quando comparado com o tratamento controle, sem a adição de cinza vegetal (Bonfim-Silva et al., 2015a).

O incremento em pH do solo com o aumento das doses de cinza vegetal ocorre, devido a presença de carbonatos em sua composição, em especial os de cálcio e potássio, sendo este último responsável por mais da metade do conteúdo solúvel da cinza (RIGAU, 1960; DAROLT et al., 1993). A presença de carbonatos atua diretamente na neutralização do alumínio trocável e formação de compostos juntamente com o hidrogênio, principais componentes da acidez do solo (RUMPF, LUDWIG, MINDRUDF, 2001).

## 4.2 Teor de nutrientes no solo

Após 45 dias a aplicação da cinza vegetal (incubação), os sacos onde os estavam acondicionados o solo foram abertos e retirados uma amostrada de aproximadamente 0,2 kg e submetidos análises químicas (Tabela5), conforme Embrapa (1997).

**TABELA 5:** Caracterização química de Latossolo Vermelho distrófico, submetido a doses de cinza vegetal.

Dose de cinza	P	K	Ca	Mg	H+Al	MO	CTC	V	m
g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		cmolc dm <sup>-3</sup>			g dm <sup>-3</sup>		%	
0	1,13c	0,43e	0,48c	0,30c	7,43e	22,20	8,53a	12,83d	24,71b
8	19,15c	0,63d	1,33b	1,03b	4,18d	22,40	7,15b	41,58c	2,08a
16	24,00c	0,99c	1,48b	1,30b	3,38c	22,05	7,14b	52,66b	0,71a
24	74,43a	2,19a	2,45a	2,48a	1,50b	22,15	8,61a	82,63a	0,00a
32	63,65b	1,84b	2,53a	2,58a	2,18b	21,24	9,12a	76,15a	0,00a
Sig	***	***	***	***	***	ns	***	***	**
CV%	27,8	9,9	18,5	18,75	5,75	9,82	4,8	5,35	175

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade. \*\*\*, \*\*, ns, significativo a 0,1 e 1 e não significativo, respectivamente.

De acordo com a análise de solo, foi observada diferença significativa entre as doses de cinza vegetal. No entanto, para a matéria orgânica do solo, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos

Os resultados do presente estudo demonstram que a cinza vegetal pode ser utilizada tanto para a correção da acidez, como para a fertilização do solo. A diminuição dos teores de H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>, é um resultado a ser almejado visto que que o Al<sup>3+</sup>, quando presente no solo, interferem diretamente absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, afetando o seu desenvolvimento. Os teores desses elementos, estão correlacionados diretamente com o pH do solo, sendo que, quanto mais ácido, maior a disponibilidade de H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>(SALVADOR et al., 2000).

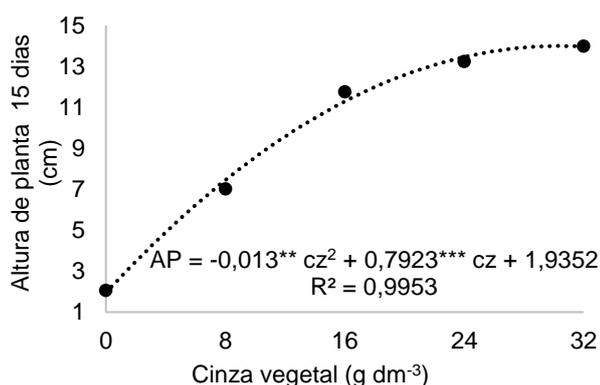
#### 4.4 Altura de planta

Em todos os períodos de avaliação da altura das plantas, foi verificada interação de forma isolada entre as densidades do solo e as doses de cinza vegetal, exceto para a primeira avaliação aos 15 dias após a emergência das plantas, em que foi observada significância somente para as doses de cinza vegetal (Tabela 6), com ajuste ao modelo quadrático de regressão, em que se obteve uma altura máxima de 14,00 cm quando as plantas foram adubadas com 30,47 g dm<sup>-3</sup> de cinza vegetal (Figura 9).

**TABELA 6.** Resumo da análise de variância para a variável Altura de Planta.

FV	G.L.1	G.L.2	AP15	AP 30	AP 45	AP 60	AP75
			QM	QM	QM	QM	QM
Bloco	3	3	17,37 <sup>0</sup>	114,22*	484,90*	77,94	74,53
(cz)	4	3	503,02***	980,60***	559,78***	131,53*	205,78**
(ds)	4	4	2,07	478,86***	1948,22	1181,81***	13000,83***
czxDs	16	12	7,52	142,62***	250,01**	150,71***	150,650***
Resíduo	77	57	7,61	43,79	271,44	41,77	35,60
Média			9,6	37,09	49,63	48,35	48,53
CV (%)			28,7	17,84	33,2	13,37	12,3

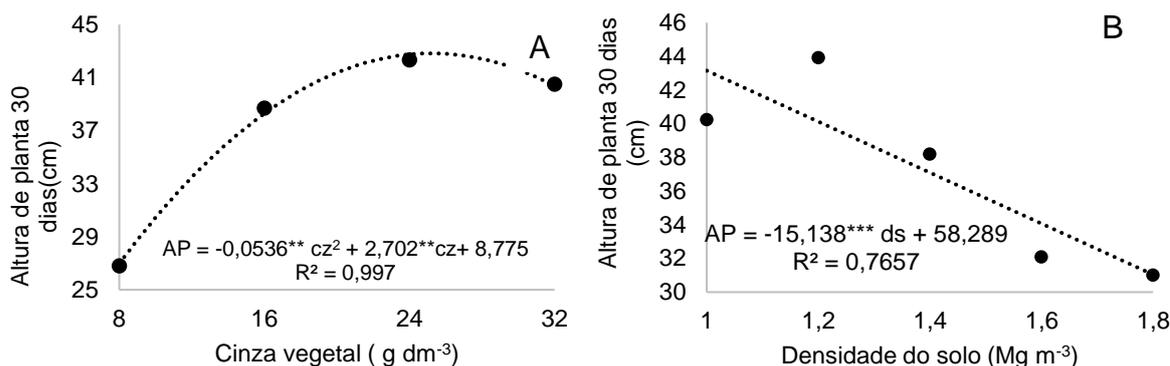
Legenda: AP15, 30, 45, 60, 75: Altura de planta aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência. FV (Fonte de Variação) G.L. 1 e 2 (graus de liberdade para os 15 dias após a emergência e demais avaliações, respectivamente). Q.M. (Quadrado Médio): cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação) <sup>0</sup>\*, \*\*, \*\*\*Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade.



**FIGURA9.** Altura de plantas de cártamo aos 15 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente (cz=dose de cinza vegetal).

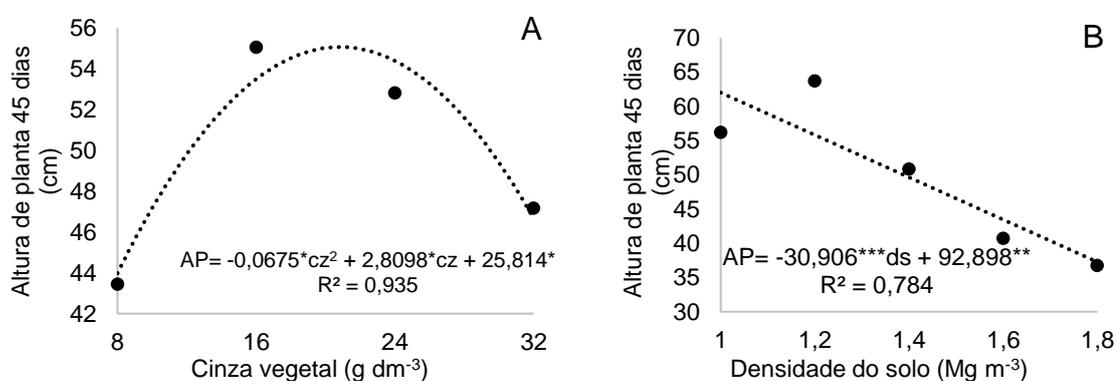
A não significância dos níveis de densidades do solo no desenvolvimento das plantas aos 15 dias após a emergência justifica-se pelo estágio inicial de desenvolvimento, podendo as raízes ainda não terem entrado em contato com a camada compactada do solo. Assim, ainda sem interferência do tratamento com os níveis de densidades do solo.

Para a altura das plantas aos 30 dias após a emergência, foi observada interação significativa entre os tratamentos de forma isolada. Desse modo a altura máxima das plantas foi atingida quando as mesmas foram submetidas a uma dose de cinza vegetal a  $25,18 \text{ g dm}^{-3}$ , apresentando uma altura  $42,80 \text{ cm}$ , já os níveis de densidade do solo, influenciaram de maneira linear decrescente a altura das plantas (Figura 10).



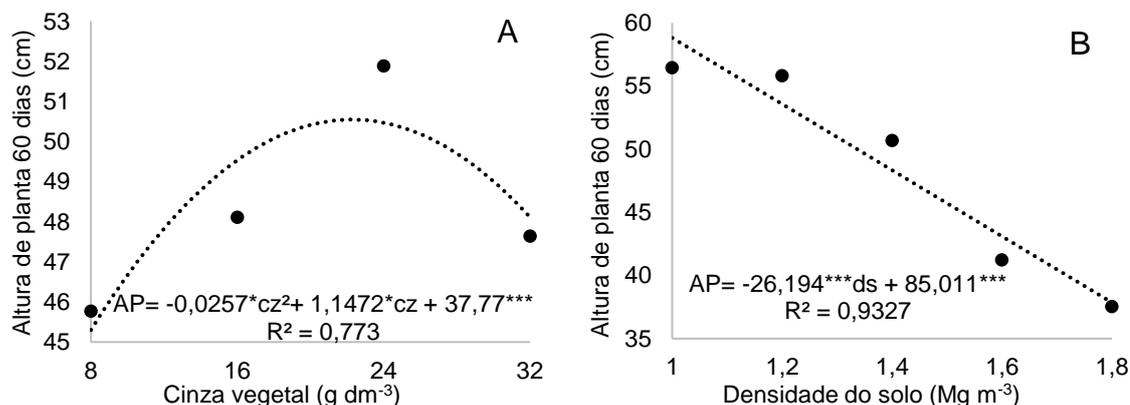
**FIGURA 10.** Altura de plantas de cártamo aos 30 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. \* \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. (cz=dose de cinza vegetal, ds=densidade do solo)

A altura de plantas aos 45 dias após a emergência foi influenciada significativamente de maneira isolada para as doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo. Para as doses de cinza vegetal, foi observado ajuste a modelo quadrático de regressão, com altura máxima de  $55,2 \text{ cm}$  quando se aplicou cinza vegetal na dose de  $20,82 \text{ g dm}^{-3}$  (Figura 11A). No entanto, o aumento da densidade do solo, ajustou-se ao modelo linear de regressão em que se observou redução da altura das plantas com a compactação do solo (Figura 11B).



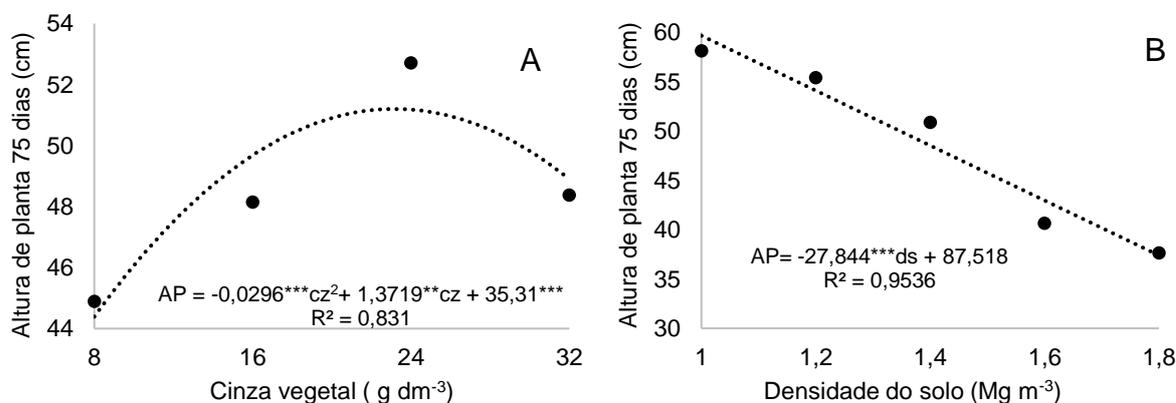
**FIGURA 11.** Altura de plantas de cártamo aos 45 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. \* \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. (cz=dose de cinza vegetal, ds=densidade do solo)

Aos 60 dias após a emergência, a altura das plantas ajustou ao modelo quadrático de regressão em função das doses de cinza vegetal com altura máxima de 50,55 cm, quando submetidas a dose de cinza vegetal de 22,33 g dm<sup>-3</sup> (Figura 12A). Para os níveis de densidades do solo, as plantas diminuíram sua altura, conforme se aumentou a compactação do solo (Figura 12B)



**FIGURA 12.** Altura de plantas de cártamo aos 60 dias após a emergência, função de doses de cinza vegetal (A) e diferentes níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,01% de probabilidade, respectivamente (cz= Dose de cinza vegetal, ds= Densidade do solo).

Observou-se efeito isolado para as doses de cinza vegetal e níveis de densidades do solo para plantas de cártamo aos 75 dias após a emergência das plantas em que, apresentaram altura de 51,20 cm, quando se adubou o solo com dose de cinza vegetal de 23,17g dm<sup>-3</sup> (Figura 13A). Para os níveis de densidades do solo, as alturas ajustaram-se ao linear de regressão com decréscimo em função da compactação do solo (Figura 13B).

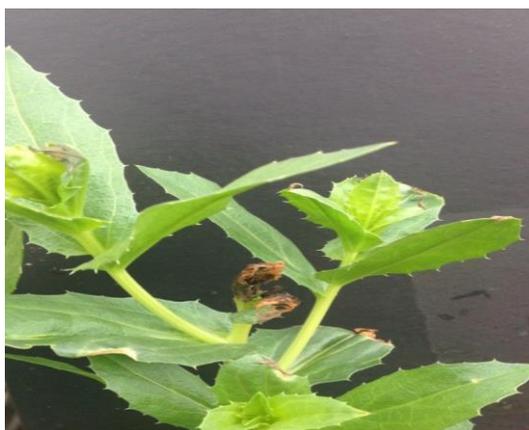


**FIGURA 13.** Altura de plantas de cártamo aos 75 dias após a emergência, em função de doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,01% de probabilidade, respectivamente (cz= Dose de cinza vegetal, ds= Densidade do solo).

O ajuste ao modelo quadrático para as alturas de plantas, corroboram com os resultados observados por Bonfim-Silva et al. (2015a) e Bezerra et al. (2016), que avaliando o desenvolvimento de girassóis (*Helianthus annuus*) e capim-marandú (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) em condições controladas sob doses de cinza vegetal também em Latossolo Vermelho coletado na mesma área do presente estudo, observaram que na dose de cinza vegetal de 9 g dm<sup>-3</sup>, proporcionaram a máxima altura das plantas.

Conforme abordado anteriormente no presente estudo, a cinza vegetal atua tanto na correção da acidez do solo, assim como, fertilizando o mesmo, principalmente no fornecimento de Ca, Mg, K e Si, importantes nutrientes no processo de crescimento, formação de paredes celular e na manutenção de processos metabólicos (OSAKI & DAROLT, 1991; SOUSA & LOBATTO, 2004). Quando esses nutrientes estão em quantidades inadequadas, ou até mesmo indisponíveis podem causar um desequilíbrio nutricional, como a perda da dominância apical, estimulando o crescimento de ramos laterais e conseqüentemente interferindo na altura das plantas (Figura 14). Essa perda da dominância, pode ser causada por uma deficiência de boro, induzida pelo aumento do pH do solo (SOUSA & LOBATTO, 2004).

Bonfim-Silva et al., 2016, estudando sintomas de deficiência nutricional do cártamo em solução nutritiva, observaram superbrotamento e perda de dominância apical das plantas quando se desenvolveram na ausência do Boro na solução.



**FIGURA 14.:** Sintomas visuais de deficiência de boro em cártamo, induzida pelo aumento do pH do solo a 6,5. Fonte: Autor

No presente estudo pode-se observar que o aumento dos níveis de densidade do solo influenciou de maneira negativa à altura de plantas em todas as épocas de avaliação, exceto aos 15 dias após a emergência (que não foi observada diferença significativa entre os tratamentos). Aumentos de densidades de solo influenciando

negativamente na altura de plantas, também foi observado por Boneli et al. (2011) e Paludo et al. (2017) avaliando, capins (*Urochloa brizantha* cv. Piatã e *Panicum maximum* cv. Mombaça) e cártamo respectivamente, cultivados em Latossolo compactado, demonstrando desse modo, a sensibilidade das culturas ao aumento da densidade do solo e a necessidade de estudo para determinação do nível crítico para cada planta.

### 4.3 Diâmetro de caule

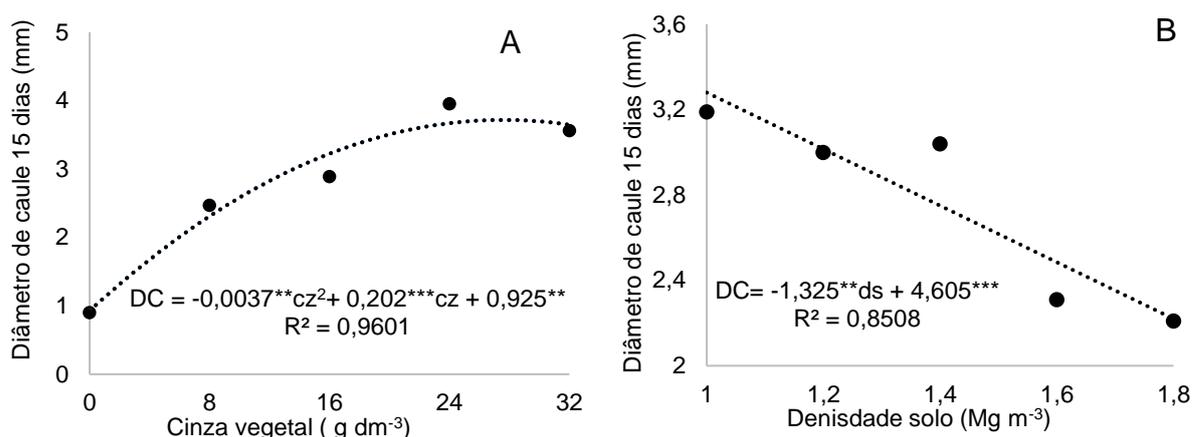
Foi observada interação significativa entre os níveis de densidade do solo e as doses de cinza vegetal, para o diâmetro do caule em todas as épocas de avaliação (Tabela7). Na maioria das situações, os tratamentos se comportaram de maneira linear decrescente para a os níveis de densidade do solo e quadrático para as doses de cinza vegetal.

**TABELA 7:** Resumo da análise de variância para a variável diâmetro de caule.

FV	G.L.1	G.L.2	DC15	DC30	DC45	DC60	DC75
			QM	QM	QM	QM	QM
Bloco	3	3	0,29	0,18	0,66	0,43	0,13
(cz)	4	3	28,06***	5,90***	4,78***	5,68***	6,05***
(ds)	4	4	4,10***	13,87***	15,17***	17,31***	15,94***
czxds	16	12	1,40***	2,02**	2,07**	1,49**	1,70**
Resíduo	77	57	0,433	0,69	0,77	0,55	0,67
CV (%)			23,88	18,9	18,9	16,9	19,1
Média			2,75	4,39	4,64	4,39	4,27

Legenda: DC15, 30, 45, 60, 75: Diâmetro do caule aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência. FV (Fonte de Variação) G.L 1 e 2 (graus de liberdade para os 15 dias após a emergência e demais avaliações, respectivamente). Q.M. (Quadrado Médio) cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação) <sup>θ</sup>, \*\*, \*\*\*Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

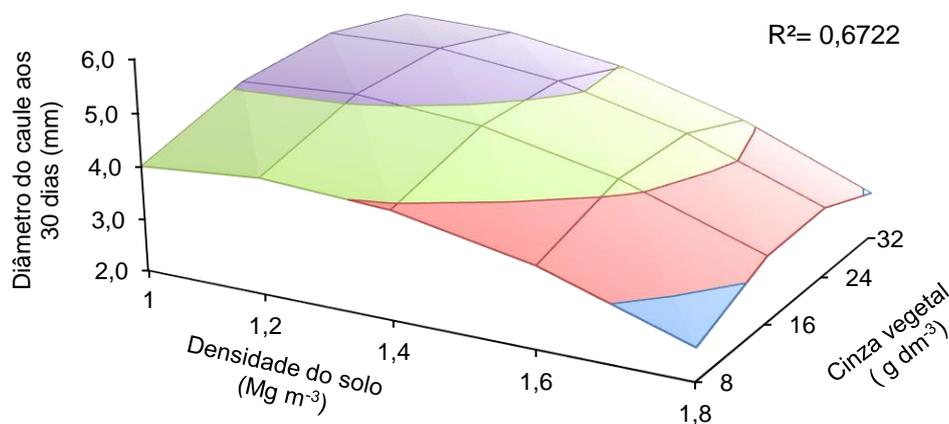
Aos 15 dias após a emergência das plantas, foi verificado efeito isolado entre os tratamentos, com significância para o modelo de regressão quadrática e linear, para as doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo respectivamente, sendo a dose de cinza vegetal de 27,31 g dm<sup>-3</sup> proporcionou um máximo diâmetro de 3,80 mm (Figura15A).Assim, quando se aumentou os níveis de densidades do solo, as plantas apresentaram respostas linear decrescente de diâmetro dos caules (Figura 15B).



**FIGURA 15.** Diâmetro de caule do cártamo aos 15 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 1 e 0,01% de probabilidade, respectivamente. (cz=dose de cinza vegetal, ds=densidade do solo).

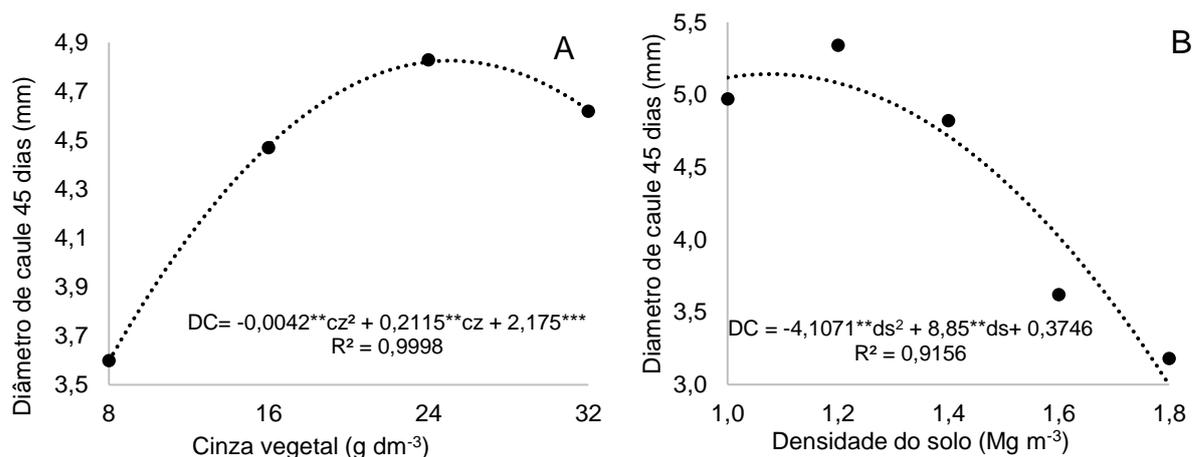
Aos 30 dias após a emergência das plantas foi observado interação significativa entre as doses de cinza vegetal e as densidades do solo (Figura 16). Por meio do estudo em superfície de resposta, observou-se que o máximo diâmetro de plantas (5,78 mm) foi alcançado na dose de cinza vegetal de  $28,67 \text{ g dm}^{-3}$  e densidade do solo de  $1,01 \text{ Mg m}^{-3}$ .

$$DC_{30} = -3,72919^{\theta} + 0,30522^{**}cz + 10,2125^{*}ds - 0,0041^{***}cz^2 - 0,06984^{\theta}cz \cdot ds - 4,0959^{*}ds^2$$



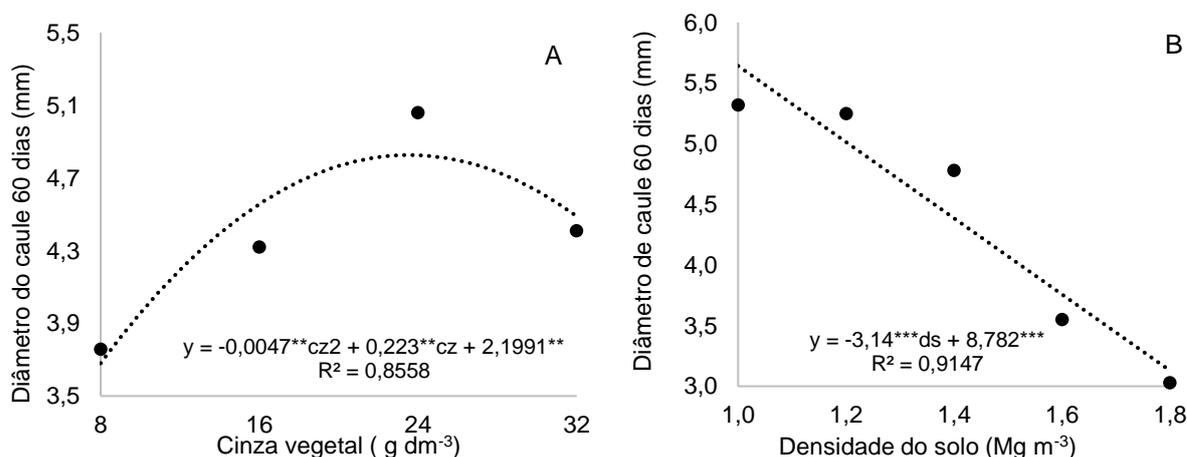
**FIGURA 16.** Diâmetro de caule do cártamo aos 30 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo em Latossolo Vermelho distrófico.  $\theta$ , \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,01% de probabilidade, respectivamente. (cz=dose de cinza vegetal, ds=densidade do solo)

Aos 45 dias após a emergência, os níveis de densidade do solo e doses de cinza vegetal, influenciaram de maneira isolada o diâmetro dos caules, com ajuste ao modelo quadrático de regressão para ambos os tratamentos. O ponto crítico para as doses de cinza vegetal foi de  $25,17 \text{ g dm}^{-3}$  (Figura 17A), no entanto, a densidade do solo foi de  $1,07 \text{ Mg m}^{-3}$  (Figura 17B).



**FIGURA 17.** Diâmetro de caule do cártamo aos 45 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. (cz=dose de cinza vegetal, ds=densidade do solo)

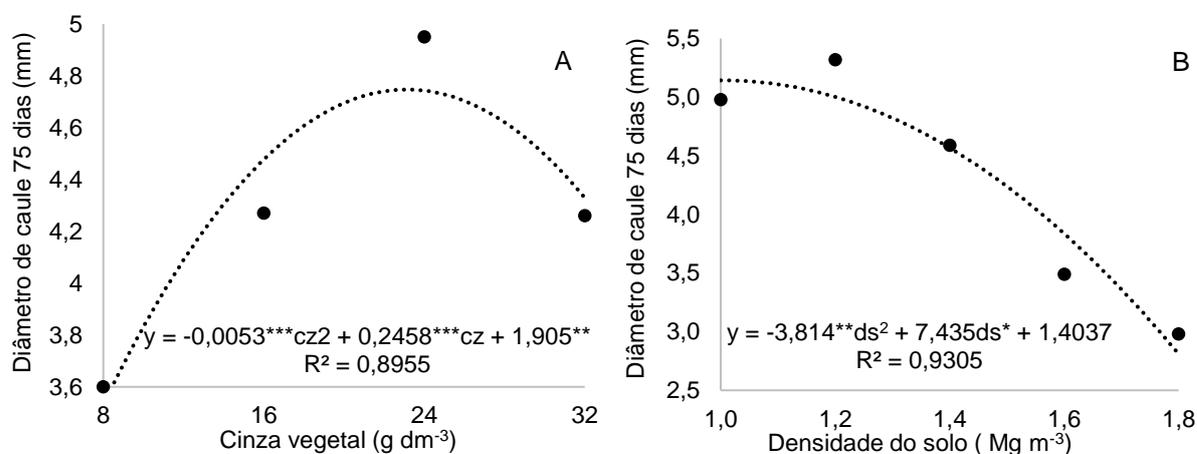
Na quarta avaliação, aos 60 dias após a emergência quando as plantas já estavam em sua totalidade florescidas, verificou-se significância de maneira isolada para as doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo (Figura 18 A e B). Quando aplicado ao solo 23,72g dm<sup>-3</sup> de cinza vegetal, as plantas atingiram o máximo diâmetro dos caules de 4,84 mm (Figura 18A), quando analisados quanto aos níveis de densidades do solo, o modelo que melhor descreveu os dados, foi o linear decrescente (Figura 18B).



**FIGURA 18.** Diâmetro de caule do cártamo aos 60 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza e níveis de compactação do solo em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,01% de probabilidade, respectivamente. (cz=dose de cinza vegetal, ds=densidade do solo).

Na avaliação aos 75 dias após a emergência das plantas, o diâmetro de caule aumentou com ajuste ao modelo quadrático de regressão em função das doses de cinza vegetal (Figura 19A), com ponto de máxima de 23,18 g dm<sup>-3</sup> em que se observou o máximo diâmetro de 4,7 mm. Já quando a camada de 0,1 a 0,2 m fora compactada

com  $1,02 \text{ Mg m}^{-3}$ , as plantas apresentaram máximo diâmetro de caule de 5,3 mm (Figura 19B).



**FIGURA 19.** Diâmetro de caule do cártamo aos 75 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza e níveis de densidade do solo em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 1 e 0,01% de probabilidade, respectivamente. (cz=dose de cinza vegetal, ds=densidade do solo).

Paneque et al. (2016) avaliando o desenvolvimento de *Helianthus annuus* sob doses de biocarvão (biochar) em comparativo com cinza de casca de videiras, em Cambisoló cálcico espanhol, verificaram que, o diâmetro de caules das plantas não foi alterado significativamente quando aplicados o biocarvão ou a cinza de podas de videiras em relação ao tratamento controle. Porém, esses autores salientam que o uso de cinza de podas, proporcionam incrementos significativos no crescimento vegetativo e produção de sementes do girassol, devido o menor diâmetro de partículas e maior superfície específica do material adicionado, garantindo possivelmente maior retenção de água no sistema.

A resposta quadrática do diâmetro dos caules na maioria das avaliações, corroboram com os resultados alcançados por Bonfim-Silva et al. (2015b), que avaliando o desenvolvimento vegetativo de *Canavalia ensiformis* L. sob doses de cinza vegetal, verificaram que as plantas atingiram um diâmetro máximo quando aplicados a dose de cinza vegetal de  $11,94 \text{ gdm}^{-3}$ .

O uso da cinza vegetal, além de corrigir o pH do solo, proporciona a disponibilização de nutrientes como Ca, Mg, P e S presentes, além de partes reprodutivas, também são constituintes de elementos estruturais das plantas principalmente nos caules.

Observando os níveis de densidade do solo sobre o desenvolvimento do caule das plantas, em todas as épocas de avaliação, os mesmos se comportaram de maneira decrescente, sendo observados os maiores diâmetros foram cultivados a

uma densidade de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$  na camada de 0,1 a 0,2m. Esses resultados estão de acordo com os estudos de Bonfim-Silva et al. (2015b) e Nunes et al. (2016), que avaliaram o desenvolvimento de *Canavalia ensiformis* e *Zea mays* nos mesmos níveis de densidade do solo também em Latossolo Vermelho, verificaram o decréscimo do diâmetro do caule das plantas conforme aumentou-se a densidade do solo.

Mesmo na maioria das épocas de avaliação, o melhor modelo estatístico para representar o comportamento dos dados ser o linear, foi possível observar como por exemplo na avaliação aos 30 dias após a emergência, mínima diferença entre os níveis de densidade do solo quando este foi adubado com  $24 \text{ g dm}^{-3}$  de cinza vegetal, indicando que, a adição de cinza vegetal proporcionou uma maior tolerância das plantas quando cultivadas em solo com densidade do solo de até  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$  na camada de 0,1 a 0,2 m aos 30 dias.

A maior tolerância a compactação pelas plantas de cártamo, pode ser justificada pelas características da cinza vegetal que, tem origem orgânica, está relacionada também pela capacidade do material em aumentar espaços porosos, além das doses mais elevadas poderem elevar os teores de matéria orgânica, promovendo melhorias em características físicas do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005; ISLABÃO et al., 2016).

#### 4.5 Número de folhas

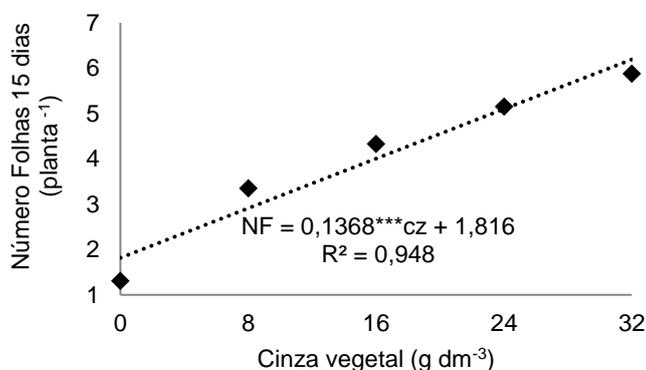
Em todas as épocas de avaliação, foi relatada diferença significativa para as doses de cinza vegetal, assim como para os níveis de densidade do solo, exceto na avaliação aos 15 dias após a emergência (Tabela8)

**TABELA 8:** Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF).

FV			NF15	NF30	NF45	NF60	NF75
	G.L.1	G.L.2	QM	QM	QM	QM	QM
Bloco	3	3	19,84***	230,51*	455,08*	2185,78***	2026,20***
(cz)	4	3	63,19***	1182,23***	2693,0***	4437,26***	2042,56***
(ds)	4	4	2,21	157,82*	2561,3***	4577,64***	2224,49***
CDBs	16	12	0,79	177,21**	471,67***	638,58*	403,90**
Resíduo	77	57	1,54	64,61	143,01	336,65	163,04
CV (%)			31,0	36,3	27,37	34,2	30,7
Média			4,00	22,09	43,68	53,52	41,54

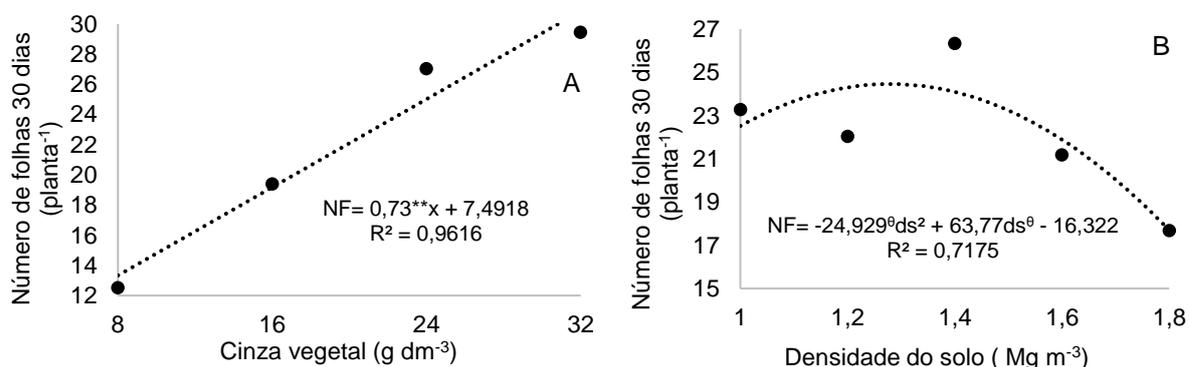
Legenda: NF15, 30, 45, 60, 75: Número de folhas aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a emergência. FV (Fonte de Variação) G.L 1 e 2 (graus de liberdade para os 15 dias após a emergência e demais avaliações, respectivamente). Q.M. (Quadrado Médio), cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação) \*, \*\*, \*\*\*Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

Aos 15 dias após a emergência das plantas, foi observada diferença significativa apenas para as doses de cinza vegetal, com número de folhas ajustada ao modelo linear de regressão (Figura 20).



**FIGURA 20.** Número de folhas de cártamo, aos 15 dias após a emergência, cultivado sob doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*\* Significativo a 0,01% de probabilidade, respectivamente;(cz=Dose de cinza vegetal).

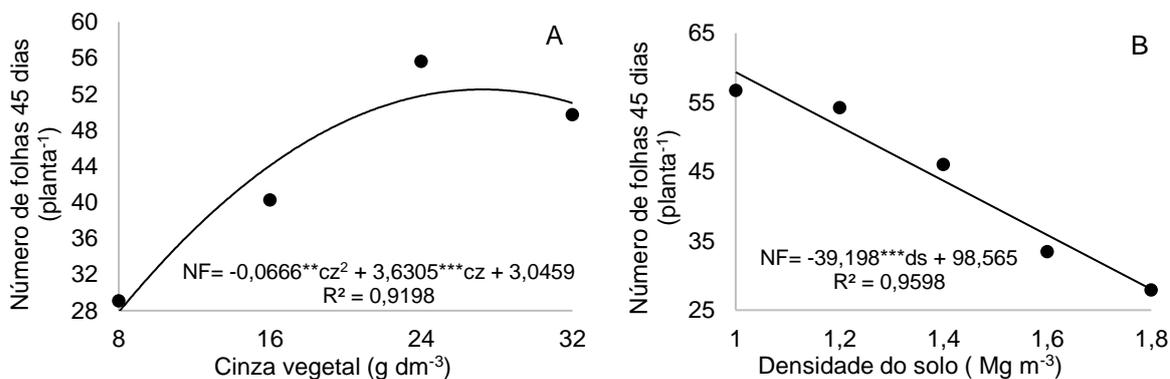
Aos 30 dias após a emergência das plantas, foi observada diferença significativa isolada para o número de folhas nas doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo (Figura 21 AB). As doses de cinza vegetal influenciaram de maneira linear o número de folhas das plantas de cártamo assim como na primeira avaliação (Figura 21A). Já os níveis de densidade do solo, o número de folhas apresentou um comportamento quadrático, com máximo número de folhas (20 folhas planta<sup>-1</sup>), quando essas se desenvolviam em uma compactação do solo de 1,27 Mg m<sup>-3</sup>(Figura 21B).



**FIGURA 21.** Número de folhas de plantas de cártamo aos 30 dias após a emergência, cultivado com doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, <sup>θ</sup> significativo a 5, 1, 10% de probabilidade, respectivamente (cz= Dose de cinza vegetal, ds= Densidade do solo).

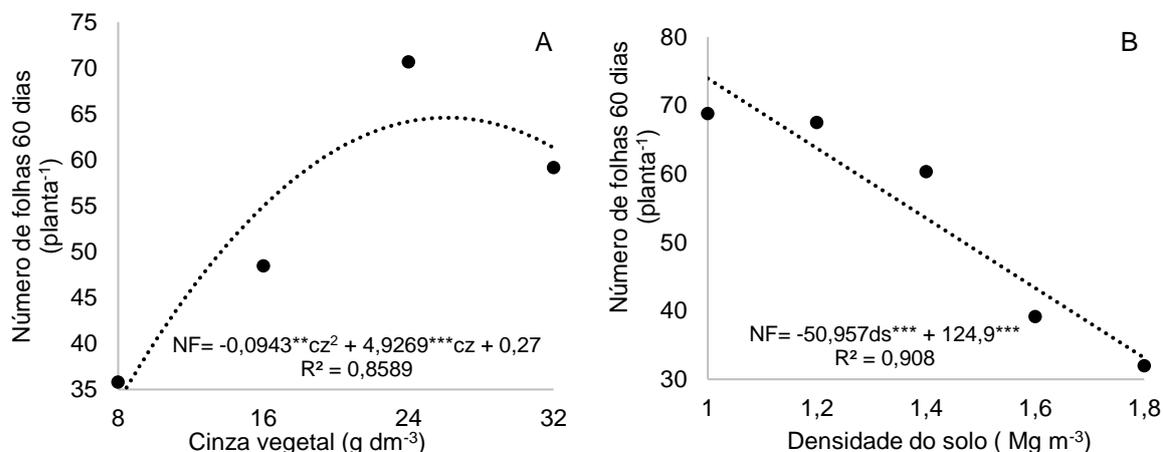
Na avaliação realizada aos 45 dias após a emergência das plantas, foi possível observar que houve significância de maneira isolada entre os tratamentos. O

comportamento do número de folhas por planta em doses de cinza vegetal, ajustaram-se a um ponto de máxima na dose de 27,5 g dm<sup>-3</sup>, sendo estimado o número máximo de 52,51 folhasplanta<sup>-1</sup>(Figura 22A). No entanto, quando analisada em relação aos níveis de densidade do solo o número de folhas diminuiu com o aumento das densidades do solo (Figura 22B).



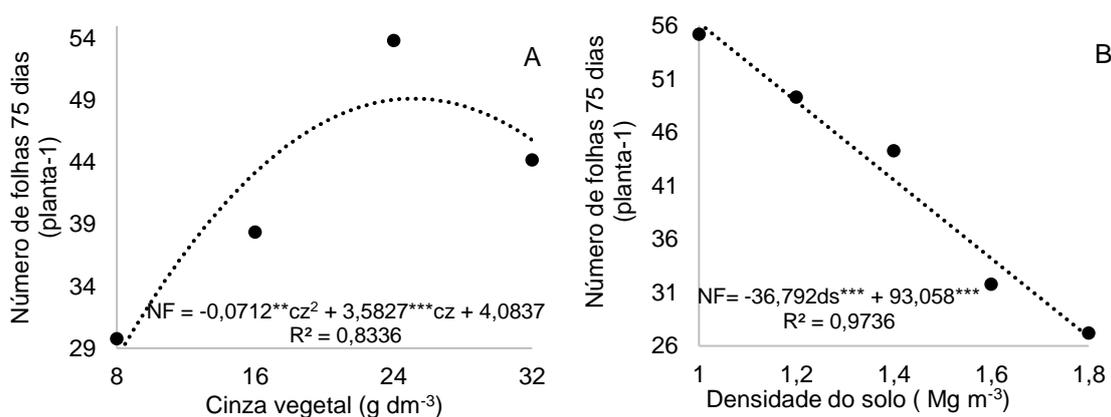
**FIGURA 22.** Número de folhas de plantas de cártamo aos 45 dias após a emergência, cultivado em doses de cinza vegetal (A) e diferentes níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1 % de probabilidade, respectivamente (cz= Dose de cinza vegetal, ds= Densidade do solo).

Na avaliação realizada aos 60 dias após a emergência das plantas, foi observada significância de forma isolada entre as doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo. As doses de cinza vegetal impuseram sobre o número de folhas um comportamento quadrático, com ponto máximo de folhas de 65, quando adubados com 26,12 g dm<sup>-3</sup> do resíduo (Figura 23A). Já quanto aos níveis de compactação do solo, observou-se um comportamento linear decrescente no número de folhas das plantas (Figura 23B).



**FIGURA 23.** Número de folhas do cártamo aos 60 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente (cz= Dose de cinza vegetal, ds= Densidade do solo).

Aos 75 dias após a emergência, foi verificada diferença significativa entre os tratamentos porem de maneira isolada para doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo. O ponto crítico para máximo número de folhas, foi observado quando o solo foi adubado com  $25,16 \text{ g dm}^{-3}$  do resíduo proporcionando um máximo número de folhas de 49,15 folhas por planta (Figura 24A). Já os níveis de densidade do solo, ajustaram-se ao modelo linear de regressão com redução da emissão de folhas com o aumento da densidade do solo (Figura 24B).



**FIGURA 24.** Número de folhas do cártamo aos 75 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico. <sup>0</sup>, \* \*\*, \*\*\* Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente (cz= Dose de cinza vegetal, ds= Densidade do solo).

Em todas as avaliações, o número de folhas do cártamo apresentaram uma resposta linear decrescente em função dos níveis de densidades do solo, exceto aos 30 dias após a emergência das plantas. Resultados semelhantes, foram encontrados por Ferreira et al. (2017) que avaliando o desenvolvimento do cártamo submetido a níveis de densidade do solo e doses de nitrogênio, observaram influência significativa de todas as características vegetativas avaliadas, assim como a massa da parte aérea, diretamente relacionada com o número de folhas, sendo que, quanto maior o nível de densidade do solo analisado, menor foi o desenvolvimento da parte aérea da planta.

Nesse contexto, resultados relatados por Pacheco et al. (2015), avaliando o desenvolvimento de *Crotalaria juncea*, *C. spectabilis* e *C. ochroleuca* em níveis de densidade do solo, verificaram que quando cultivadas em solo com densidade de até  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ , foi relatado máximo número de folhas quando as plantas estavam com 45 dias, sendo válido ressaltar que para *C. juncea*, foi observado máximo desenvolvimento quando a planta foi cultivada em solo com compactação de  $1,4 \text{ Mg}$

$\text{m}^{-3}$ . Assim é importante observar que esses resultados coincidem com a avaliação aos 30 dias após a emergência, período semelhante ao avaliado por Pacheco et al. (2015). Desse modo, pode-se inferir que culturas podem apresentar diferentes comportamentos quando submetidas a diferentes níveis de densidades do solo em diferentes períodos.

O desenvolvimento vegetativo inferior quando cultivado em níveis de densidade do solo elevados, se deve principalmente pela barreira física na compactação subsuperficial, que em densidades do solo mais elevadas, dificultam o crescimento radicular (Figura 25) e consequentemente absorção de nutrientes, água e o crescimento da planta (LIMA et al., 2010).



**FIGURA 25.:** Comportamento de raízes de cártamo quando submetido a densidade do solo de  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ .

De acordo com as equações, o ponto de máximo número de folhas, foi observado quando o solo foi adubado com doses aproximadas de  $24 \text{ g dm}^{-3}$  de cinza vegetal, em todas as avaliações com ajuste a modelo quadrático de regressão. Assim como ocorreu para altura de plantas, doses superiores a  $24 \text{ g dm}^{-3}$ , influenciaram o pH do solo ao ponto de poder prejudicar a absorção dos nutrientes ou a indisponibilidade. Por outro lado, doses suficientes (até  $24 \text{ g dm}^{-3}$ ), deixam o pH próximo a 6, faixa considerada ótima para a disponibilidade de nutrientes, além de neutralizar o alumínio, considerado tóxico para o desenvolvimento das plantas (SOUSA & LOBATTO, 2002).

Bonfim-Silva et al. (2011), avaliando o desenvolvimento de crotatária adubada com cinza vegetal, verificaram incrementos de até 60% no número final de folhas das plantas, sendo justificado principalmente pelo fornecimento de fósforo, nutriente

essencial presente em quantidades consideráveis na cinza vegetal, visto a baixa disponibilidade natural desse no tratamento sem correção da acidez.

#### 4.6 Índice SPAD

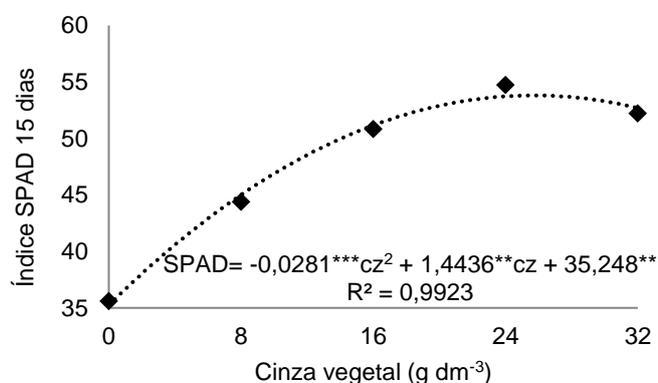
O índice SPAD, é uma importante ferramenta para aferir os teores relativos de clorofila presente nas plantas. Nesse sentido, foi relatada diferença significativa para o índice SPAD em todas as épocas de avaliação para pelo menos uma das fontes de variação (Tabela 9).

**TABELA 9:** Resumo da análise de variância para o índice SPAD.

FV	G.L.1	G.L.2	SPAD15	SPAD30	SPAD45	SPAD60
			QM	QM	QM	QM
Bloco	3	3	326,34***	145,72*	25,37	62,70*
(cz)	4	3	1186,6****	687,63***	421,50**	156,60**
(ds)	4	4	44,89	25,46	20,03	59,58*
czxds	16	12	39,78	41,75	109,10***	37,80*
Resíduo	77	57	34,91	58,56	20,23	18,51*
CV (%)			12,4	15,4	8,13	8,06
Média			47,56	49,44	55,47	53,37

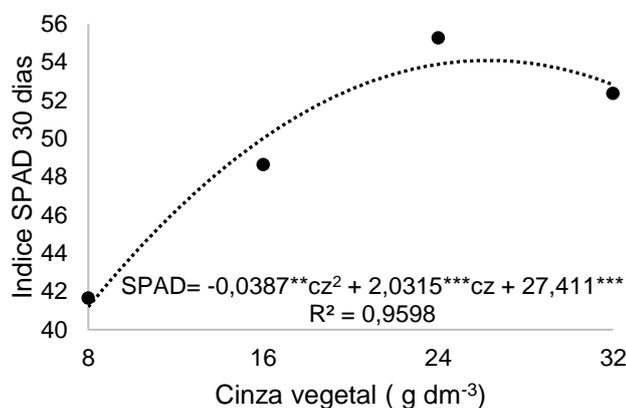
Legenda: SPAD15, 30, 45, 60: Índice relativo de clorofila SPAD aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência. FV (Fonte de Variação) G.L. 1 e 2 (graus de liberdade para os 15 dias após a emergência e demais avaliações, respectivamente). Q.M. (Quadrado Médio), cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação) <sup>0\*</sup>, \*\*, \*\*\*Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

Na primeira avaliação do índice SPAD, foi observada significância apenas a para as doses de cinza vegetal, com ajuste ao modelo quadrático de regressão em que a maior leitura foi observada na dose 25,68 g dm<sup>-3</sup>, obtendo um índice de 53,79 (Figura 26).



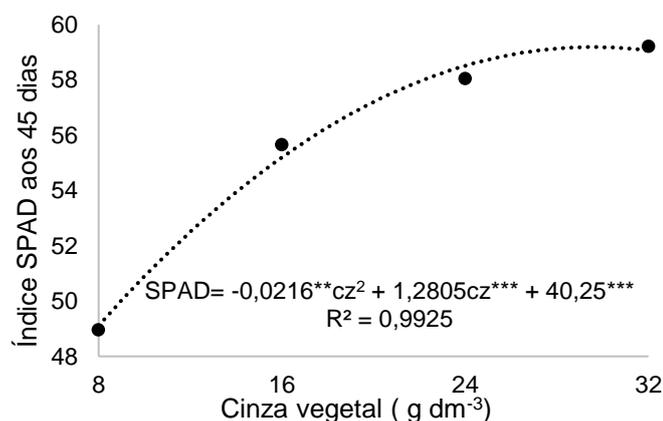
**FIGURA 26.** Índice SPAD do cártamo aos 15 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente (cz= Dose de cinza vegetal).

Aos 30 dias após a emergência das plantas de cártamo, somente as doses de cinza vegetal exerceram influência significativa no índice SPAD (Figura 27), ajustando-se ao quadrático de regressão com índice SPAD máximo de 54,05 quando as plantas estavam se desenvolvendo em dose de cinza vegetal de 26,24 g dm<sup>-3</sup>.



**FIGURA 27.** Índice SPAD do cártamo aos 30 dias após a emergência, em função das doses de cinza, em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

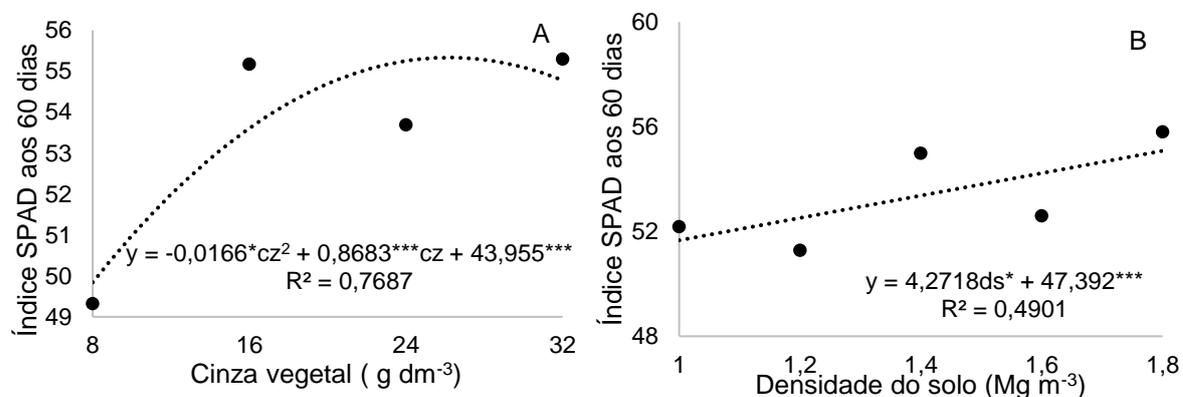
Aos 45 dias após a emergência das plantas, foi possível detectar a significância na leitura SPAD apenas para as doses de cinza vegetal com ajuste a modelo quadrático de regressão (Figura 28). A dose de cinza vegetal para a maior leitura SPAD foi 29,64 g dm<sup>-3</sup>, apresentando um índice SPAD de 59,22.



**FIGURA 28.** Índice SPAD do cártamo aos 45 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza e níveis de compactação do solo, em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

A avaliação aos 60 dias após a emergência coincidiu com o momento do florescimento da maioria dos tratamentos, desse modo houve uma diminuição dos valores do índice de clorofila nas folhas devido a relação fonte dreno com as flores. Nessa avaliação, foi observada diferença significativa isolada entre as doses de cinza

vegetal (Figura 29A) e os níveis de densidade do solo (Figura 29B), comportando-se de maneira quadrática para as doses de cinza vegetal com ponto de máximo índice quando as plantas foram adubadas com  $26,15 \text{ g dm}^{-3}$  do resíduo e linear crescente para os níveis de densidade do solo.



**FIGURA 29.** Índice SPAD do cártamo aos 60 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B) em Latossolo Vermelho distrófico \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

O índice SPAD é uma importante ferramenta para se aferir a atividade fotossintética da planta, pois, mede a concentração de clorofila presente indicando possivelmente o estado nutricional, além de processos metabólicos relacionados à clorofila (MARKWELL et al., 1995; GUIMARÃES et al., 1999). Quanto maior o índice, mais fotossinteticamente ativa a planta é, conseqüentemente, produz mais fotoassimilados e possivelmente desenvolvimento vegetativo e reprodutivo superiores (TAIZ & ZIEGER, 2004).

Em todas as avaliações, o índice de clorofila SPAD demonstrou valores mais elevados quando se aplicaram doses de cinza vegetal próxima à  $24 \text{ g dm}^{-3}$ . Dordas & Sioulas (2008) verificando o desenvolvimento do cártamo submetidos a doses de nitrogênio, verificaram que a concentração de nitrogênio nas folhas foi afetada significativamente quando se aplicou doses do nutriente e conseqüentemente, as plantas com maiores concentrações do elemento, apresentaram maiores teores de proteína nos grãos e produtividades superiores.

Os índices SPAD observados em todas as avaliações, estão de acordo com os resultados por Ferreira et al. (2017) que avaliando o desenvolvimento do cártamo submetido a níveis de densidade do solo e doses de nitrogênio, verificaram valores de 60 e 65 de índice aos 90 e 65 dias após a emergência respectivamente, quando as plantas foram fertilizadas com  $150 \text{ g dm}^{-3}$ , mesma dose aplicada no presente experimento

As plantas submetidas aos níveis de densidade do solo mais elevados, apresentaram significância com ajuste ao modelo linear de regressão quanto ao índice de clorofila aos 60 dias após a emergência (Figura 29B). Esses resultados divergem dos encontrados por Ferreira et al. (2017) e Paludo et al. (2017) estudando o desempenho de cártamo cultivado sob níveis de densidade do solo, observaram diminuição do índice quando se aumentou a densidade do solo.

A diminuição da área foliar, é uma estratégia que a planta adota, quando passa por algum tipo de estresse, para diminuir a perda principalmente de água para o ambiente (TAIZ & ZIEGER, 2013). O aumento do índice SPAD em níveis de densidade mais elevados, se deve principalmente a diminuição do tamanho das folhas das plantas, caso visualizado nas plantas que se desenvolveram em densidades do solo de 1,6 e 1,8 Mg m<sup>-3</sup>, fazendo com que a clorofila se concentre em uma menor área elevando o índice. Anicésio et al. (2015), avaliando adubação potássica e nitrogenada no cultivo do cártamo, verificaram que as doses de potássio, promovem um acúmulo de nitrogênio nos tecidos vegetais avaliados, necessitando o equilíbrio de aplicação entre os nutrientes.

McGrath e Henry (2016), avaliando o desenvolvimento de árvores para corte no noroeste canadense, verificaram que quando incorporado ao solo 25 ou 50% do volume de solo sob a copa das árvores com substrato orgânico, a densidade do solo tendeu a diminuir em contrapartida, o índice SPAD tendeu a ser maior quando comparado à área de referência, sem incorporação de composto orgânico. Esse resultado, é justificado pela adição de material orgânico que favorece o aumento da matéria orgânica.

#### 4.7 Ramos primários, secundários e totais

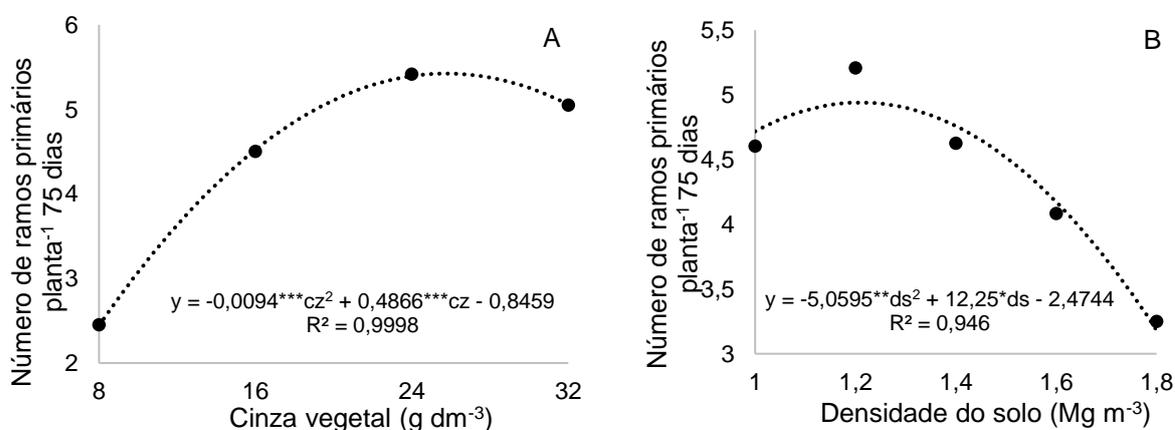
Para o número de ramos das plantas de cártamo pode-se observar que houve interferência no número de ramos final das plantas tanto para os níveis de densidade do solo, como para as doses de cinza vegetal (Tabela10).

**TABELA10:** Resumo da análise de variância para as variáveis número de ramos primários, secundários e totais.

FV	G.L.	RAMP	RAMS	RAMT
		QM	QM	QM
Bloco	3	1,47	6,38	7,94
(cz)	3	35,06***	225,22***	4,16***
(ds)	4	8,63**	124,10 <sup>θ</sup>	195,41 <sup>θ</sup>
czxds	12	1,65	26,47**	29,68 <sup>θ</sup>
Resíduo	57	1,12	12,07	16,63
CV (%)		24,35	63,94	41,68
Média		4,35	5,43	9,78

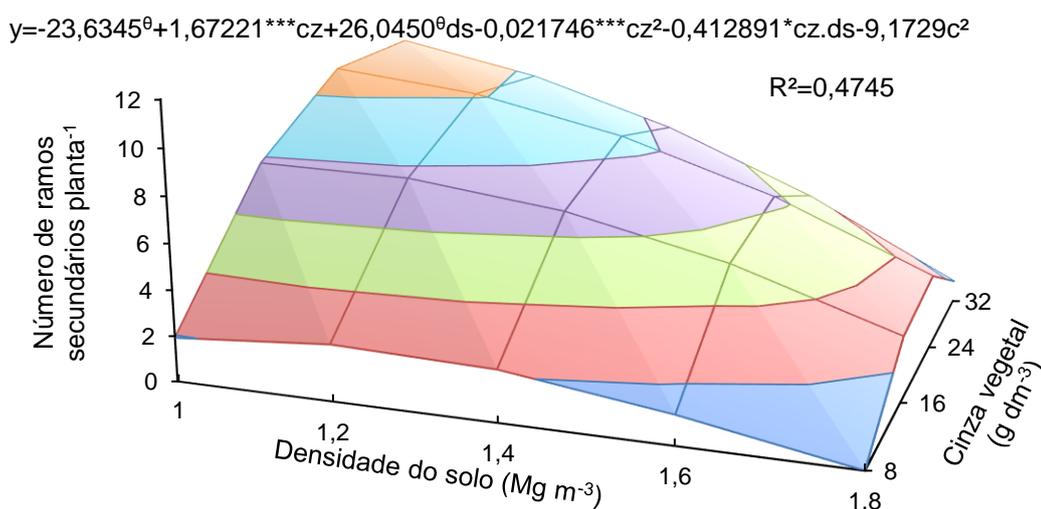
Legenda: RAMP, RAMS, RAMT; Ramos primários, secundários e totais, respectivamente. FV (Fonte de Variação) G.L grau de liberdade. Q.M. (Quadrado Médio), cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação) <sup>θ</sup>, \*\*, \*\*\*Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

O número final de ramos primários do cartamos na ocasião da colheita, foi influenciado de maneira isolada para as doses de cinza e para os níveis de densidade do solo, com máximo de ramos de 5,45 ramosplanta<sup>-1</sup> quando se desenvolveram numa dose de 25,88 g dm<sup>-3</sup> (Figura 30A). No entanto, o nível de compactação de 1,22 Mg m<sup>-3</sup>, obteve-se um máximo de 4,9 ramos primários por planta (Figura 30B).



**FIGURA 30.** Ramos primários do cártamo aos 75 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

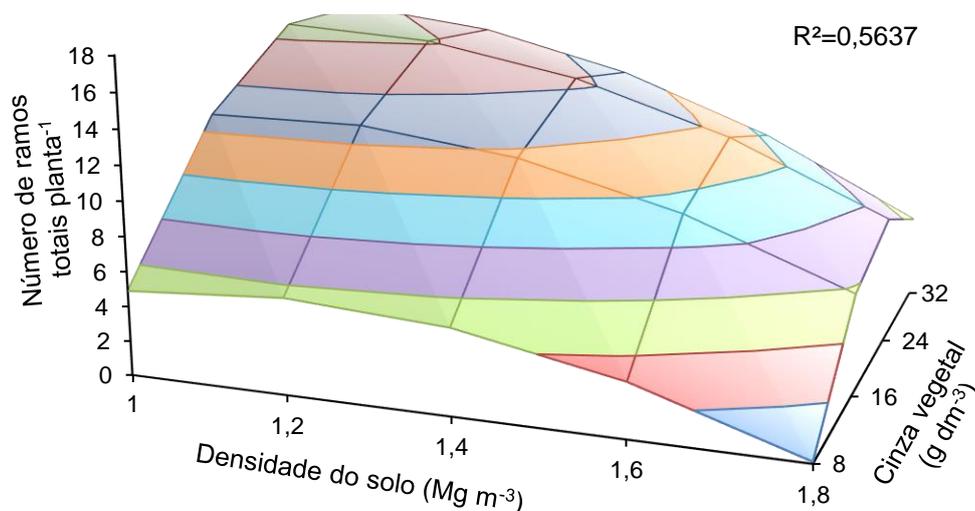
O número final de ramos secundários foi influenciado significativamente com interação entre as doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo. Segundo a equação de superfície de resposta, o maior número de ramos secundários, foi observado quando as plantas foram submetidas a uma adubação de 31,75 g dm<sup>-3</sup> de cinza vegetal, e densidade do solo de 0,71 Mg m<sup>-3</sup> (Figura 31).



**FIGURA 31.** Ramos secundários do cártamo aos 75 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza e níveis de compactação do solo, em Latossolo Vermelho distrófico.\* \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

O número de ramos é uma característica vegetativa diretamente ligada a aspectos reprodutivos em plantas de cártamo, pois, são dos ramos que irão descender novos capítulos e conseqüentemente mais aquênios. No presente estudo, pode-se observar que houve interação significativa entre as doses de cinza vegetal e os níveis de densidade do solo. Assim, o estudo de superfície de resposta indica que o maior número de ramos totais de 17,1 foi observado quando o solo foi adubado com dose de cinza vegetal de 27,67 g dm<sup>-3</sup> em um nível de densidade do solo de 0,98 Mg m<sup>-3</sup> (Figura 32).

$$y = -30,8554 + 2,1092^{***}cz + 38,690^{\theta}ds - 0,031967^{***}cz^2 - 0,351109^{\theta}cz \cdot ds - 9,1729^{*}c^2$$



**FIGURA 32.** Ramos totais do cartamo aos 75 dias após a emergência, em função das combinações de doses de cinza e níveis de densidade do solo, em Latossolo Vermelho distrófico,  $\theta$ , \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Secco et al. (2009), avaliando o desempenho da soja (*Glycine max*), trigo e milho (*Zea mays*) em Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho distroférico no sul do Brasil, observaram que, níveis de densidade do solo de até  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ , não diminuíram significativamente o rendimento da soja em condições à campo. Indicando assim que as culturas têm diferentes níveis de resistência aos níveis de compactação do solo.

#### 4.8 Dias para o florescimento

Os componentes reprodutivos das plantas de cartamo, foram influenciados significativamente por pelo menos uma das fontes de variação analisadas (Tabela 11).

**TABELA 11:** Resumo da análise de variância dos componentes da parte aérea e reprodutivos do cartamo.

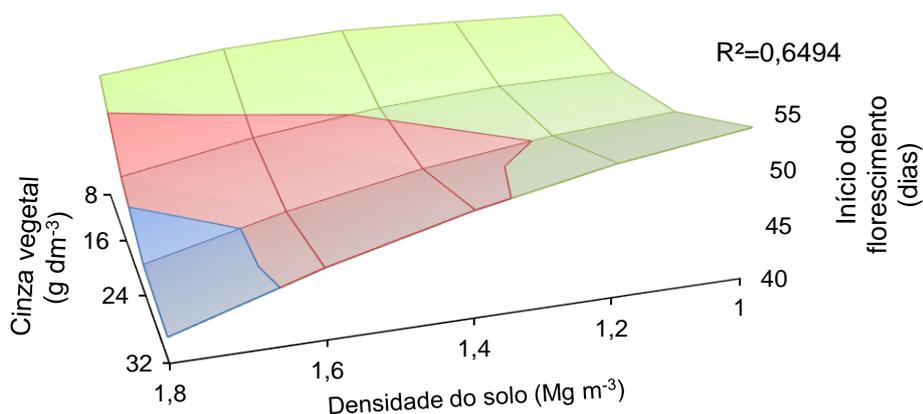
FV	G. L1	DFLOR	DIAMICAP	DIAMECAP	NCAP
		QM	QM	QM	QM
Bloco	3	5,78	2,99	19,25	165,08
(cz)	3	178,85***	18,98***	73,44	3236,8***
(ds)	4	130,00***	19,48***	79,85	1388,3***
czxds	12	13,93 $\theta$	4,92	29,53	360,62**
Resíduo	57	9,01	3,93	46,77	168,16
CV (%)		5,9	13,05	20,41	40,18
Média		50,12	15,19	33,50	32,27

Legenda: DFLOR, DIAMICAP, DIAMECAP, NCAP (Dias para o florescimento, Diâmetro interno de capítulos, Diâmetro externo de capítulos e Número de capítulos); FV (Fonte de Variação) G.L grau de liberdade. Q.M. (Quadrado Médio), cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação)  $\theta$ , \*, \*\*, \*\*\*Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

A época de florescimento está diretamente relacionada com o ciclo da cultura. Assim, quando em condições de estresse, as plantas podem adiantar seu ciclo reprodutivo, ou até mesmo não florescer, esperando condições apropriadas para que ocorra (KERBAUY, 2004).

As doses de cinza vegetal e os níveis de densidade do solo influenciaram em conjunto a época de florescimento das plantas. As doses de cinza vegetal proporcionaram um modelo quadrático para o número de dias para o florescimento, com um período mais curto quando submetida a uma dose de cinza vegetal de 23 g dm<sup>-3</sup> (Figura 33). Entretanto, para os níveis de densidade do solo, foi observado comportamento linear decrescente com o aumento do nível de densidade do solo, adiantando o ciclo em quase 10 dias quando as plantas foram cultivadas em densidades do solo mais elevadas.

$$DFLOR=44,06428^{***}-0,439375^0cz+25,625ds^*+0,21484cz^2^{***}-0,46875cz.ds^{***}-8,928571ds^2$$



**FIGURA 33.** Dias para o florescimento (DFLOR) do cártamo em função das doses de cinza e níveis de compactação do solo; cz–Cinza vegetal, ds – Densidade do solo. \*, \*\* Significativo a 5 e 1% de probabilidade respectivamente.

Os tratamentos sem a adição de cinza vegetal, não chegaram a florescer, pois a maioria das plantas morreram logo no início do seu desenvolvimento, visto a baixa saturação por bases e pH do solo. Desse modo, plantas submetidas a dose de cinza vegetal de 8 g dm<sup>-3</sup>, tiveram seu florescimento cerca de dez dias atrasados do que as submetidas a doses superiores (Figura 34).

O resultados do presente estudo, corroboram com os encontrados por Elfadl et al. (2009), que verificando o desenvolvimento do cártamo em diferentes áreas de cultivo, notaram que quando cultivado no sudoeste da Alemanha, normalmente caracterizada por solos ricos em matéria orgânica na camada superior, comparado com o cultivado no noroeste suíço característico por Chernossolo Rêndicos, tiveram uma diferença de época de florescimento em até 50 dias, justificados além da

condição climática diferente, também por característica físico-químicas de solo distintas.



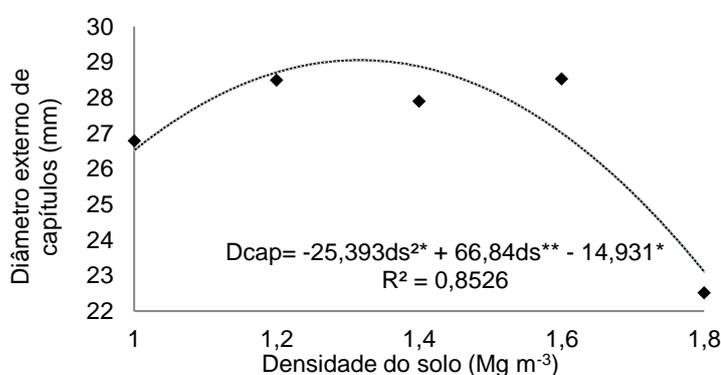
**FIGURA 34.** Plantas de cártamo aos 60 dias após a emergência, em função das doses de cinza vegetal 8, 16, 24, e 32 g dm<sup>-3</sup> (A, B, C e D) respectivamente em função dos níveis de densidade do solo 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 Mg m<sup>-3</sup> (da esquerda para a direita de cada imagem)

A cinza vegetal além de adubar o solo atua diretamente no pH funcionando como corretivo e conseqüentemente, na disponibilização de nutrientes para as plantas (BONFIM-SILVA et al., 2012). Estudo realizado Prado et al. (2001), reafirmam a

interferência da correção da acidez do solo no florescimento de plantas cultivadas, os autores avaliaram o desempenho de diferentes cultivares de milho em duas condições de saturação por bases (65 e 45%), verificaram que a mesma cultivar conduzida em Latossolo Vermelho distrófico, chegaram a ter uma diferença de época de florescimento de até oito dias.

#### 4.9 Diâmetro de capítulos

O diâmetro externo dos capítulos foi influenciado significativamente somente pelos níveis de densidade do solo (Figura 35). O máximo diâmetro externo dos capítulos, foi observado quando as plantas foram submetidas à compactação de  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ , segundo o modelo de regressão do segundo grau.



**FIGURA 35.** Diâmetro de flores do cártamo, em diferentes níveis de compactação do solo em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente. (ds= densidade do solo).

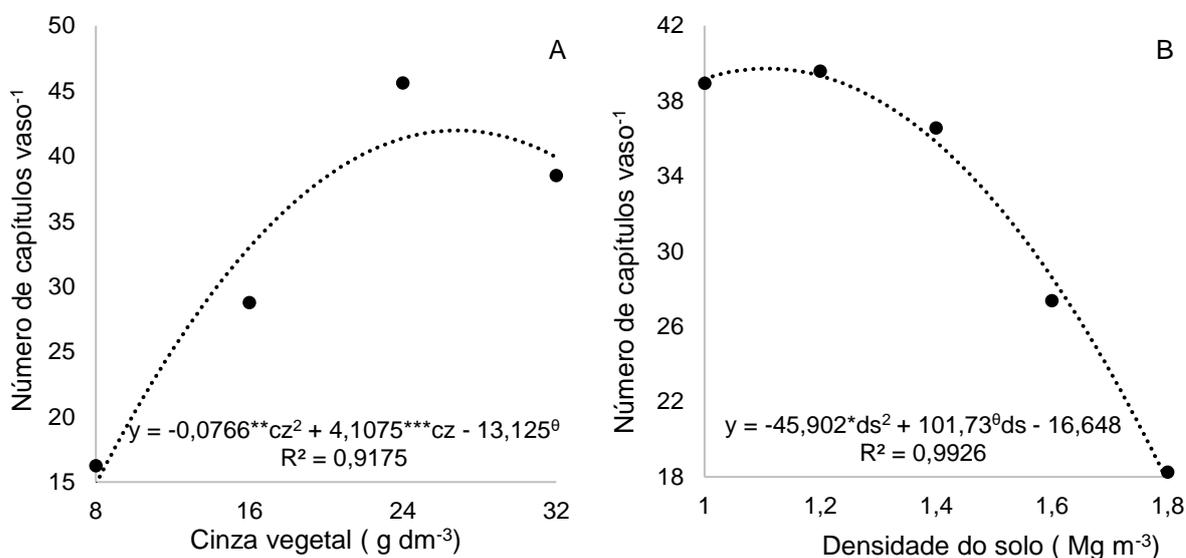
Os resultados dos diâmetros dos capítulos, estão de acordo com os encontrados por Paludo et al. (2017), que avaliando genótipos de cártamo nos mesmos níveis de densidade do solo, encontraram máximo diâmetro de capítulos quando os mesmos foram cultivados em compactação com densidades de 1,2 e  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ , em dois acessos de plantas distintos.

Além de néctar, maiores discos florais, estão diretamente ligados a aspectos produtivos, a qual quanto maior o tamanho do disco floral, mais flores compõe a inflorescência, e possivelmente maior será a quantidade de aquênios (ROCHA, 2005).

#### 4.10 Número de capítulos

Para a variável número de capítulos, foi possível verificar interação significativa de forma isolada para nos níveis de densidade do solo e doses de cinza vegetal. Ambos os tratamentos tenderam a influenciar de maneira quadrática o número de capítulos sendo que, quando cultivados com dose de  $26,81 \text{ g dm}^{-3}$  de cinza obtiveram

um máximo de 41,93 capítulosvaso<sup>-1</sup>, já em níveis de compactação de 1,11 Mg m<sup>-3</sup>, foi observado um número máximo de capítulos de 39,7 capítulos/vaso (Figura 36).



**FIGURA 36.** Número de capítulos vaso<sup>-1</sup>, em função das combinações de doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

O número de capítulos está diretamente relacionado ao rendimento da cultura, conseqüentemente a produção das plantas. O número de capítulos por vaso, indicam que as plantas conseguiram suportar compactações na densidade de solo até 1,1 Mg m<sup>-3</sup>, com perdas pouco significativas em relação ao solo sem compactação.

Os resultados do presente estudo, estão de acordo com os observados por Paludo et al. (2017), que estudando genótipos de cártamo, cultivado em mesmo solo e níveis de densidades, verificaram diminuição do número de capítulos, quando as plantas foram submetidas a compactações superiores à 1,4 Mg m<sup>-3</sup>.

Bonfim-Silva et al. (2017a) verificando a resposta do cártamo à adubação fosfatada, verificaram uma tendência linear positiva quanto ao número de capítulos em doses de fósforo, com um incremento de 54% no número de capítulos, indicando a necessidade da adubação, para o cultivo em solos do Cerrado. Desse modo, a adição de cinza vegetal mesmo quando cultivado em solo com aumento de sua densidade, proporcionam além de uma alternativa para a destinação do resíduo, também uma fonte de nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, visando a produção de capítulos do cártamo.

Os resultados observados, estão de acordo com o estudo realizado por (2014), avaliando componentes reprodutivos do trigo no mesmo solo e níveis de

compactação, verificaram que o número de espigas de plantas de trigo, não foram significativamente alteradas até a compactação do solo a  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Algumas características da cinza vegetal, garantem, que quando cultivados em solos sujeitos a compactação melhorias em sua composição física, como a macroporosidade e retenção de água do solo, facilitando o desenvolvimento das plantas devido o material possuir baixa densidade e grânulos, que melhoram a aeração e a manutenção de água no solo (PEREIRA et al., 2016; ISLABÃO et al., 2016).

#### 4.11 Massa seca de capítulos

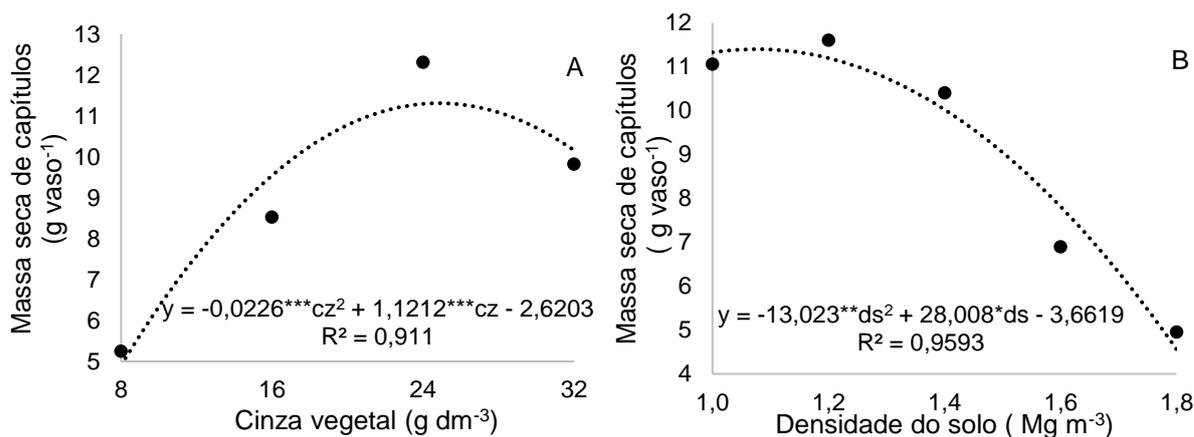
A massa seca dos componentes da parte aérea das plantas, foram influenciados de maneira isolada para as doses de cinza vegetal e para os níveis de densidade do solo (Tabela 12).

**TABELA 12:** Resumo da análise de variância para componentes de massa seca.

FV	GL.1	GL.2	MASCAP	MSPA	MSPATOT
			QM	QM	QM
Bloco	4	3	9,91	19,11*	51,22 <sup>θ</sup>
(cz)	4	3	173,22***	412,25***	1667,40***
(ds)	4	4	136,06***	171,69***	565,77***
czxds	16	12	18,26*	26,31***	84,93***
Resíduo	72	57	8,60	7,41	23,46
CV (%)			32,6	36,23	32,76
Média			8,97	7,15	14,78

Legenda: MASCAP, MSPA, MSPATOT: Massa seca de capítulos, Massa seca da parte aérea, Massa seca da parte aérea total. FV (Fonte de Variação) G.L 1 e 2 (graus de liberdade para MSPA e MSPATOT e MASCAP, respectivamente). Q.M. (Quadrado Médio), cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação) <sup>θ</sup>\*, \*\*, \*\*\*Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

A massa seca dos capítulos de cartamo, foi influenciada significativamente de maneira isolada para as doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo. Ambos os tratamentos ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão com ponto de máxima de  $11,28 \text{ g vaso}$  quando aplicada dose de cinza vegetal de  $24,80 \text{ g dm}^{-3}$  e  $11,39 \text{ g vaso}$  quando as plantas se desenvolveram na densidade do solo de  $1,07 \text{ Mg m}^{-3}$ , observando-se a máxima produção de massa seca de capítulos de  $11,28 \text{ g vaso}^{-1}$  (Figura 37A) e  $11,39 \text{ g vaso}^{-1}$  (Figura 37B), respectivamente.



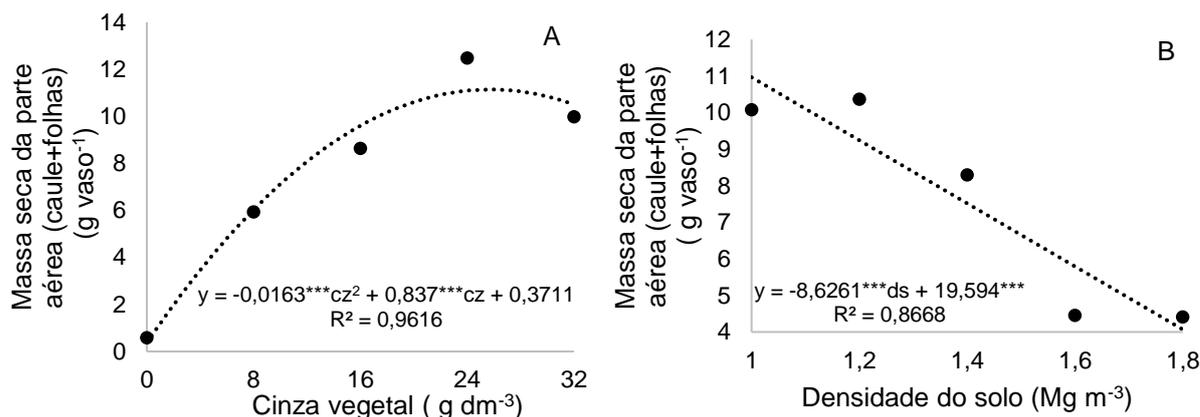
**FIGURA 37.** Massa seca de capítulos de plantas de cártamo, em função das doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Pode-se observar que houve aumentos de até 41,66% da massa seca de capítulos com as doses de cinza vegetal quando se comparou a dose de 8 g dm<sup>-3</sup>, com a de 24 g dm<sup>-3</sup>, e de 35% nas densidades do solo comparando a densidade do solo de 1,2 a de 1,8 Mg m<sup>-3</sup>. Associa-se dessa forma que o gasto metabólico para o rompimento das camadas compactadas é elevado, interferindo diretamente na translocação de fotoassimilados para as partes produtivas, cosequentemente menor número de capítulos e até mesmo capítulos mais leves (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

GOLZARFAR et al. (2012), estudando a resposta do cártamo a doses de nitrogênio e fósforo, observaram correlação linear positiva para as doses de fósforo aplicadas ao solo quanto ao número e massa seca de capítulos, obtendo um número de estruturas máximo na dose de fósforo de 100 kg ha<sup>-1</sup>, combinada a uma dose de nitrogênio de 75 kg ha<sup>-1</sup>, sendo observado um número médio de 24 capítulos planta<sup>-1</sup>.

#### 4.12 Massa seca da Parte Aérea (Caule + Folhas)

A massa seca da parte aérea apresentou diferenças isolada para os tratamentos. A produção de massa seca da parte aérea (Caule+folhas) ajustou-se ao modelo quadrático de regressão em função das adubações com cinza vegetal apresentando um ponto máximo de 11,1 g vaso<sup>-1</sup>, quando o solo foi adubado com cinza vegetal na dose de 25,67 g dm<sup>-3</sup>(Figura 38A). Entretanto, os níveis de densidade do solo, exerceram uma influência na produção de massa com ajuste ao modelo linear decrescente sobre a massa seca das plantas conforme se aumentou os níveis de densidade do solo (Figura 38B).



**FIGURA 38.** Massa seca da parte aérea g vaso<sup>-1</sup>, em função das doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \* \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

O aumento da produção da parte aérea em função das doses de cinza vegetal, foi constatado por , Bonfim-Silva et al. (2015); Bonfim-Silva et al. (2017a) e Bonfim-Silva et al. (2017b), avaliando, girassol ornamental (*Helianthus annuus*), feijão caupi (*Vigna unguiculata*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) respectivamente, verificaram um incremento na massa seca da parte aérea das culturas de 50% para o girassol, 93% para o *Vigna unguiculata* e 66% para o *Canavalia ensiformis*. Os incrementos são justificados principalmente pela regulação do pH do solo favorecendo a disponibilização de nutrientes como Ca, Mg e K. As maiores médias de massa seca dos trabalhos supracitados foram observadas quando o solo foi adubado com doses próximas de cinza vegetal 20 g dm<sup>-3</sup>.

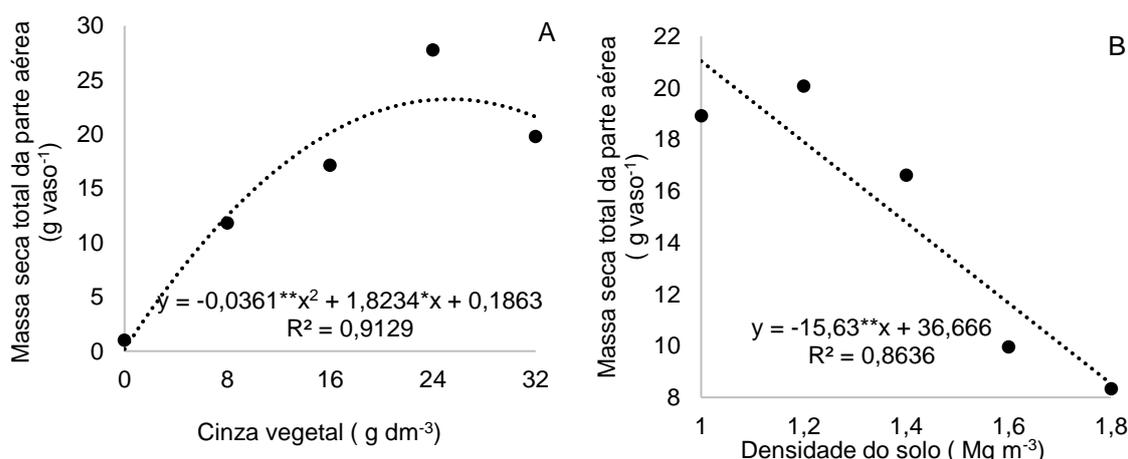
Resultados relatados por Farias et al. (2013) demonstraram comportamento linear decrescente da massa seca da parte aérea do *Cajanus cajan*, no mesmo solo submetido aos mesmos níveis de compactação. Entretanto, Fagundes et al. (2014) estudando níveis de compactação também no mesmo solo do presente estudo, verificaram comportamentos lineares e quadráticos da massa seca da parte aérea de diferentes cultivares de cana-de-açúcar, tolerando níveis de compactação de até 1,4 Mg m<sup>-3</sup>, quando a resposta das cultivares à compactação foi quadrática.

Karmakar et al. (2009), estudando resíduos industriais, no cultivo de arroz, verificaram que quando cultivado com cinza de casca de arroz, obteve-se um decréscimo de 10% da densidade do solo, quando comparado ao tratamento controle. O autor justifica a diminuição da densidade do solo devido principalmente as características da cinza vegetal, que tem densidade próxima a 0,45 Mg m<sup>-3</sup>.

Desse modo, pode-se destacar que as espécies se comportam de distintas maneiras quando submetidas à compactação, com diferentes níveis de tolerância. Além disso, a adição da cinza pode atuar de maneira benéfica, pois atua na fertilização do solo e cria espaços por onde as raízes podem penetrar e romper a camada compactada (0,1-0,2m) (FARIAS et al., 2013; FAGUNDES et al., 2014).

#### 4.13 Massa seca total da parte aérea

A avaliação da massa seca total da parte aérea, demonstrou efeito significativo de maneira isolada para as doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo, sendo representada significativamente pelo modelo de regressão quadrático para doses do resíduo. A dose que proporcionou o maior valor observado de massa seca, foi quando as plantas se desenvolveram em solo adubado com cinza vegetal de 25,25 g dm<sup>-3</sup> (Figura 39A). Para os níveis de densidade do solo, houve ajuste ao modelo linear de regressão decrescente, conforme aumentou-se as densidades do solo (Figura 39B).



**FIGURA 39.** Massa seca total da parte aérea g vaso<sup>-1</sup>, em função das doses de cinza vegetal (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Os valores médios da massa seca da parte aérea no presente estudo, estão de acordo com os encontrados por Fontenelli et al. (2017) que avaliando o desenvolvimento do cártamo, utilizando diferentes métodos de irrigação, inclusive o Irrigas, verificaram uma produção média de 7,7 g planta<sup>-1</sup> de massa seca total da parte aérea, valor próximo ao encontrado no presente estudo quando o solo foi adubado com a dose ótima de cinza vegetal 25,25 g dm<sup>-3</sup> com 7,3 g de matéria seca planta<sup>-1</sup>. Desse modo pode-se sugerir a substituição ou o complemento da adubação da cultura com a utilização de cinza vegetal.

Conforme análise, a cinza vegetal, apresenta quantidades consideráveis de potássio. Nesse sentido, Anicésio et al. (2018) avaliando o desempenho agrônômico do cártamo em doses de nitrogênio e potássio, verificaram que a massa seca da parte aérea das plantas, aumentou linearmente conforme aumentaram-se as doses de potássio.

Bonfim-Silva et al. (2018) avaliando o desenvolvimento de Braquiária brizantha cv. piatã (*Urochloa brizantha* cv. Piatã) e Paiaguás (*Urochloa brizantha* cv. Paiaguás) em doses de cinza vegetal, verificaram que aos 30 dias após a emergência, as plantas apresentaram máximo acúmulo de massa seca quando adubadas com dose de cinza vegetal de 23,2 g dm<sup>-3</sup>, conforme foram realizados os cortes, as doses ótimas de cinza vegetal apresentaram ajuste aos modelos lineares de regressão.

Paludo et al. (2018) avaliando o desempenho de genótipos de cártamo submetidos aos mesmos níveis de densidade do solo, verificaram que as plantas que se desenvolveram em níveis de densidade do solo de 1,1 Mg m<sup>-3</sup>, apresentaram máximo desenvolvimento da parte aérea.

O aumento da densidade do solo, implica na diminuição direta dos espaços porosos do solo, conseqüentemente, o desenvolvimento radicular fica comprometido, interferindo diretamente na parte aérea das plantas, devido à restrição da absorção de nutrientes e água (FREDDI et al., 2009; NUNES et al., 2016).

#### 4.14 Volume de raiz

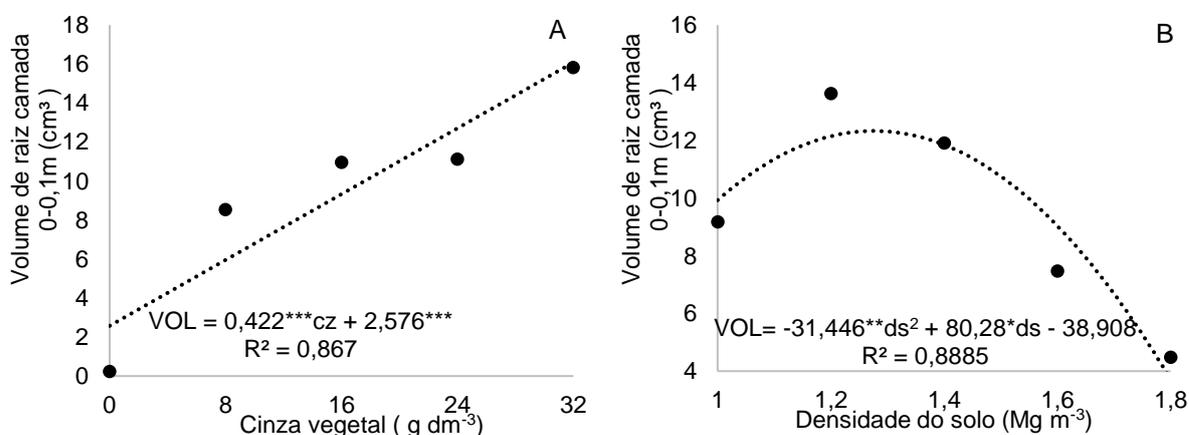
Realizada a aferição do volume das raízes, foi possível verificar que tanto as doses de cinza vegetal assim como os níveis de densidade do solo influenciaram o desenvolvimento radicular das plantas na camada de 0-0,1m, 0,2-0,3m e volume total de raízes (Tabela 13).

**TABELA 13:** Resumo da análise de variância do volume de raízes.

FV			VOL 0-0,1	VOL 0,1-0,2	VOL 0,2-0,3	VOLTOT
	G. L1	GL.2	QM	QM	QM	QM
Bloco	3	3	446,71***	144,10	842,16***	3289,23***
(cz)	4	3	656,72***	45,54	154,25	3940,42***
(ds)	4	4	260,55*	160,74	344,89*	1631,60**
czxds	16	12	47,51	69,26	226,82	482,15
Resíduo	72	57	102,93	85,32	144,72	394,84
CV (%)			108,7	123,12	111,997	83,03
Média			9,33	7,5	10,74	23,93

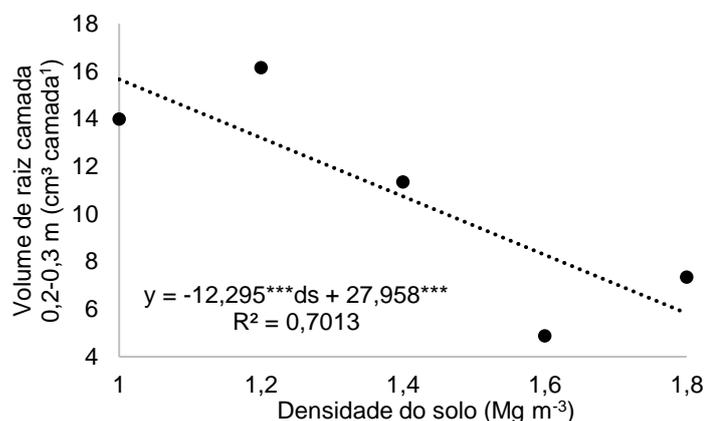
Legenda: VOL 0-0,1, VOL 0,1-0,2, VOL 0,2-0,3, VOLRTOT: (Volume de raiz na camada de 0-0,1m, 0,1-0,2m e 0,2-0,3m, respectivamente). FV (Fonte de Variação) G.L 1 (grau de liberdade para a camada superior); G.L. 2 (grau de liberdade para as camadas inferiores, compactadas e volume total) Q.M. (Quadrado Médio), cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação)\*, \*\*, \*\*\*Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

Com a avaliação do volume de raiz na camada 0,0-0,10m, foi possível observar diferença isolada entre os tratamentos. Desse modo, observou-se que, as doses de cinza vegetal tenderam a um modelo linear de regressão (Figura 40A). Já quanto aos níveis de densidade do solo, o volume das raízes foi representativo para o modelo quadrático de regressão (Figura 40B) com ponto de máxima quando o as plantas foram cultivadas a uma densidade de 1,27 Mg m<sup>-3</sup>.



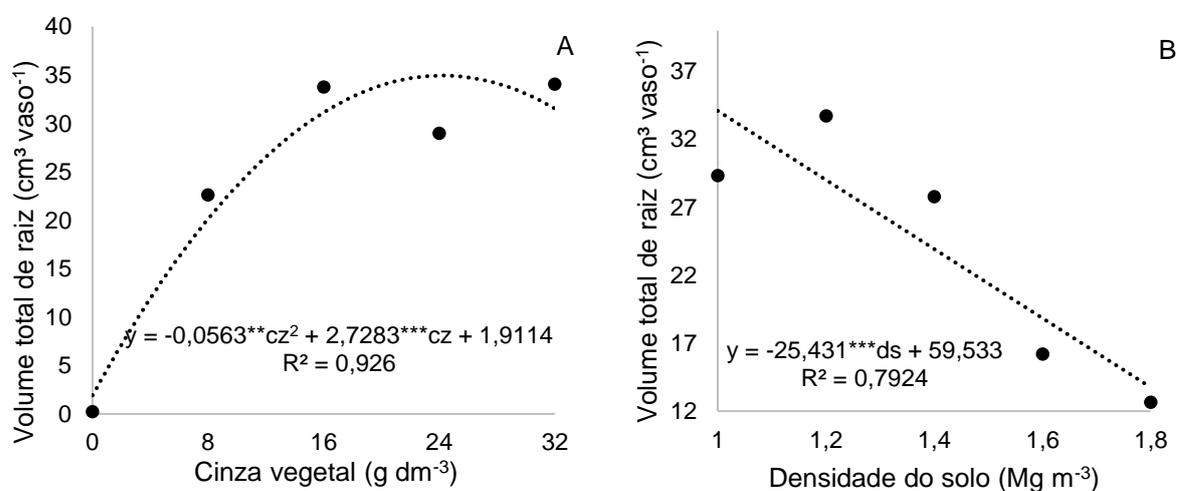
**FIGURA 40.** Volume de raiz camada 0-0,1 m (cm<sup>3</sup>camada<sup>-1</sup>), em função das combinações de doses de cinza (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \*, \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente

Como descrito na Tabela 13, não houve diferença significativa entre os tratamentos quando avaliado o volume de raízes na camada compactada. Já quando se aviou o volume de raízes na camada 0,2-0,3m, foi observada diferença significativa para os níveis e compactação do solo, tendendo a um comportamento linear decrescente (Figura41).



**FIGURA41.** Volume de raiz camada 0,2-0,3m(cm<sup>3</sup>camada<sup>-1</sup>), em função dos níveis de densidade do solo, em Latossolo Vermelho distrófico. \* \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Avaliando o volume total de raízes do cártamo, foi verificada diferença isolada entre os tratamentos. quando se analisou o volume total de raízes produzidos, foi possível verificar o ponto máximo de volume das raízes na dose de cinza vegetal de 24,23 g dm<sup>-3</sup>, obtendo um volume máximo de 34,97 cm<sup>3</sup>(Figura 42A). No entanto, as densidades do solo, influenciaram de maneira linear decrescente, conforme aumentou-se o nível de densidade do solo (Figura 42B).



**FIGURA 42.** Volume total de raiz cm<sup>3</sup> vaso<sup>-1</sup>, em função das combinações de doses de cinza (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \* \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente

Pode-se verificar que níveis de densidade do solo superiores a  $1,27 \text{ Mg m}^{-3}$ , influenciaram negativamente o volume das raízes em todas as camadas de solo avaliadas exceto na camada 0,1-0,2m onde não foi observada diferença significativa entre os tratamentos. Esse resultado, corrobora pelo encontrado por Barbosa et al. (2018) que avaliando o desempenho de cana de açúcar em diferentes manejos e classes de solo, identificaram que quando as plantas cultivadas em solo argiloso, foi observado um limite crítico da densidade do solo de  $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ , restringindo severamente o sistema radicular, já para solo arenoso, o nível crítico de densidade do solo, foi de  $1,7 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Jimenez et al. (2008) avaliando (*Cajanus cajan*), gergelim (*Sesamum indicum L.*), milho (*Pennisetum glaucum L.*) e quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*), sob quatro níveis de densidade do solo, verificaram que a presença de camada 0,15-0,20 m de profundidade, restringiu o desenvolvimento radicular das culturas avaliadas, concentrando-se na camada superior, devido a barreira física.

Cury et al. (2014), avaliando diferentes sistemas de cultivo, com e sem a aplicação de calcário em Latossolo Vermelho na região sudeste do Brasil, verificaram que adoção do plantio direto e a adição de calcário ao sistema, elevaram a fertilidade do solo, sobretudo, menor variação da massa seca das raízes de cana-de-açúcar durante os períodos de seca e estação chuvosa. Os autores, correlacionam essa variação da quantidade de raízes, principalmente aos períodos de escassez ou excedente hídrico. Desse modo, pode-se associar a manutenção da água no sistema pela matéria orgânica presente em sistema de plantio direto, superior ao convencional, onde há o revolvimento do solo, e exposição da matéria orgânica às intempéries.

Karakas et al. (2017), avaliando cultivo hidropônico de tomate em diferentes substratos com uso de biocarvão de oliveiras, de diferentes marchas de carbonização, verificaram melhores desenvolvimento de plantas quando cultivados com “biochar” produzidos a  $500^\circ\text{C}$ . Uma das possíveis justificativas para esse desempenho superior, seria devido a estrutura do material que além de nano e micro partículas, possui estruturas macroporos que favorecem o desenvolvimento de microrganismos, além de elevada resistência a degradação do material que proporciona o melhor desenvolvimento radicular.

#### 4.15 Massa seca de raiz

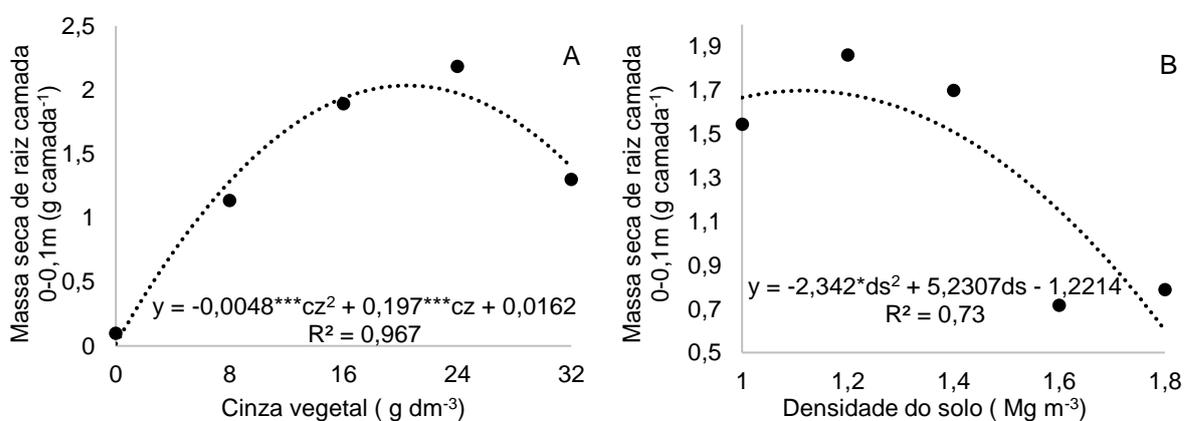
A massa seca de raízes das plantas de cártamo, foram influenciadas significativamente em todos as camadas do solo, pelas densidades aplicadas. (Tabela13).

**TABELA 14:** Resumo da análise de variância para a massa seca de raiz.

FV	G. L1	GL.2	MSR 0-0,1	MSR0,1-0,2	MSR0,2-0,3	MSRT
			QM	QM	QM	QM
Bloco	3	3	0,467	1,54	10,03*	20,43**
(cz)	4	3	13,01***	0,75	5,05	88,18***
(ds)	4	4	5,67***	6,02***	13,07**	53,15***
czxds	16	12	0,97	0,52	2,94	9,98
Resíduo	72	57	0,64	0,89	3,00	6,90
CV (%)			60,54	120,4	105	77,71
Média			1,32	0,92	1,65	3,38

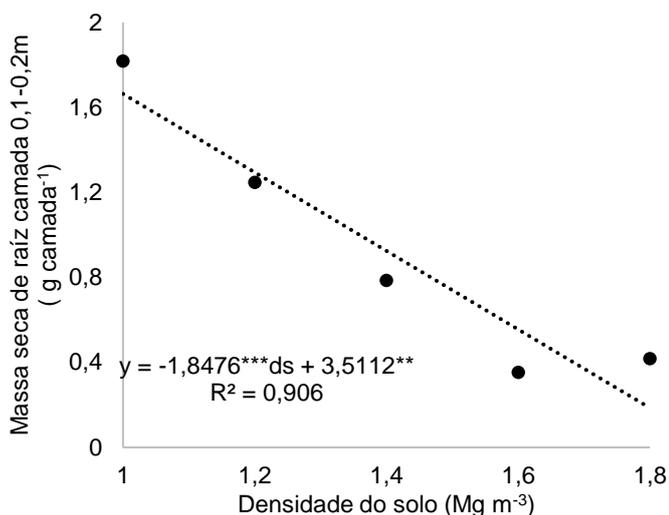
Legenda: MSR0-0,1, MSR0,1-0,2, MSR0,2-0,3, MSRT: Massa seca de raiz na camada 0-0,1;0,1-0,2;0,2-0,3m e massa seca total de raiz, respectivamente. FV (Fonte de Variação) G.L 1 e 2 (graus de liberdade para MSR0-0,1m e demais, respectivamente). Q.M. (Quadrado Médio), cz (cinza vegetal), ds (densidade do solo), CV (coeficiente de variação) <sup>θ</sup>\*, \*\*, \*\*\*Significativo a 10, 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

A massa seca de raízes na camada 0-0,1m, foi influenciada de maneira isolada para as doses de cinza e níveis de compactação do solo. As doses de cinza vegetal, impuseram a massa seca das raízes na camada 0-0,1m, um comportamento quadrático de regressão, com ponto de máxima na dose de cinza vegetal de 20,52 g dm<sup>-3</sup>, proporcionando 2,03 g vaso<sup>-1</sup> (Figura 43A).Do mesmo modo, a compactação do solo, proporcionaram máximo valor de massa seca de raiz na camada 0-0,1mde 1,7 g vaso<sup>-1</sup>, quando o solo estava a uma densidade 1,12 Mg m<sup>-3</sup> (Figura 43B).



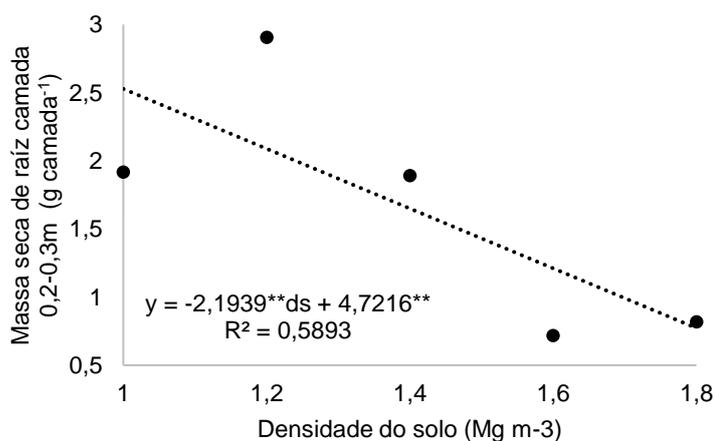
**FIGURA 43.** Massa seca de raiz camada 0-0,1m (g camada<sup>-1</sup>), em função das combinações de doses de cinza (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \* \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

O aumento da densidade do solo na camada 0,1-0,2m, impôs ao desenvolvimento das raízes do ponto de vista da matéria seca, um comportamento linear decrescente, conforme aumentou-se os níveis de densidade do solo. Não havendo diferença estatística entre as doses de cinza vegetal aplicadas, quanto a massa seca de raízes na camada compactada (Figura44).



**FIGURA 44.** Massa seca de raiz camada 0,1-0,2m g camada<sup>-1</sup>, em função dos níveis de densidade do solo, em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*, \*\*\* Significativo 1 e 0,1% de probabilidade.

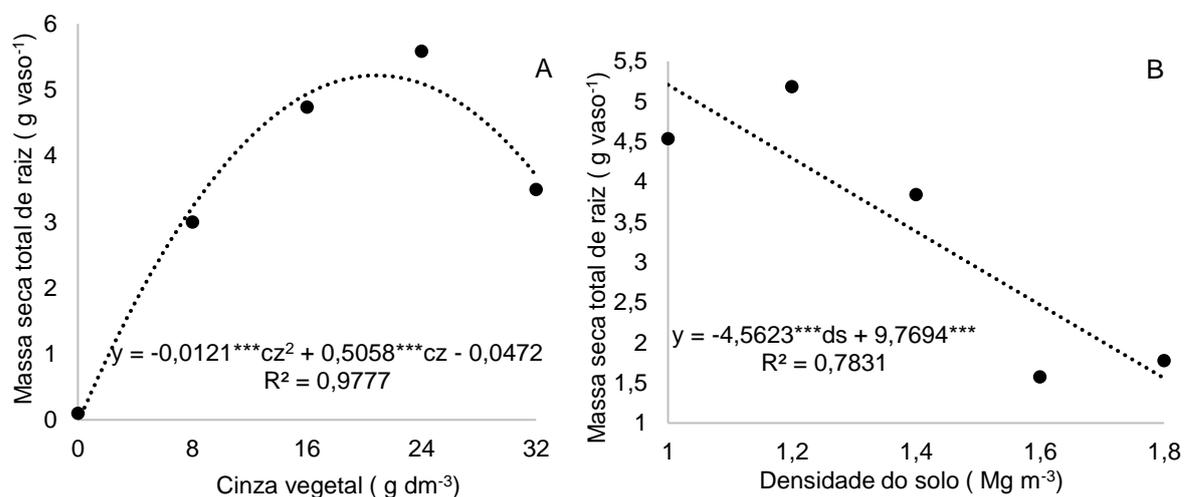
Assim como para a massa seca de raízes na camada 0,1-0,2m, não foi verificada diferença significativa entre as doses de cinza vegetal na camada inferior. Os níveis de densidade do solo, impuseram um comportamento linear decrescente na massa seca das raízes na camada avaliada (Figura 45).



**FIGURA 45.** Massa seca de raiz camada 0,2-0,3m (g vaso<sup>-1</sup>), em função dos níveis de densidade do solo, em Latossolo Vermelho distrófico. \*\*\* Significativo 0,1% de probabilidade.

A avaliação da massa seca total de raízes, demonstraram efeito isolado para doses de cinza vegetal e níveis de densidade do solo (Figura 46). Foi observada

máxima matéria seca nas raízes de 5,23 g vaso<sup>-1</sup>, quando o solo foi cultivado com uma dose estimada de 20,90 g dm<sup>-3</sup> (Figura 46A). Assim como nas camadas compactadas e inferiores, a massa seca total de raízes, tendeu a um comportamento linear decrescente (Figura 46B).



**FIGURA 46.** Massa seca total de raiz g vaso<sup>-1</sup>, em função das combinações de doses de cinza (A) e níveis de densidade do solo (B), em Latossolo Vermelho distrófico. \* \*\*, \*\*\* Significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

Conforme pode ser observado na (Figura 47), o desenvolvimento radicular total pode ser influenciado tanto pelas doses de cinza vegetal assim como, pelos níveis de densidade do solo.



**FIGURA 47:** Distribuição de raízes de cártamo, em função das doses de cinza vegetal (8, 16, 24, 32 g dm<sup>-3</sup>) e níveis de densidade do solo, da esquerda para a direita da imagem (1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 Mg m<sup>-3</sup>)

Os valores de massa seca de raízes encontradas nesse estudo, são inferiores aos encontrados no estudo realizado por Paludo et al. (2018) que avaliando genótipos de cártamo e níveis de densidade do solo, encontraram valor de 30 g vaso<sup>-1</sup>, quando as plantas se desenvolveram em solo com densidade de 1,0 Mg m<sup>-3</sup>. Entretanto, vale ressaltar que as plantas, não tiveram quaisquer restrições do ponto de vista nutricional durante seu desenvolvimento, sendo somente os níveis de densidade do solo e os genótipos como fontes de variação. Assim como no trabalho de Paludo et al. (2018), na camada 0,-0,1 e 0,2-0,3m, o volume das raízes responderam com ajustes quadrático e linear de regressão respectivamente.

Como pode-se observar no presente estudo, a massa seca das raízes em todas as camadas, ajustaram-se ao linear de regressão decrescente exceto na camada superior. Esses resultados estão de acordo com os observados por Bonfim-Silva et al. (2015b), que avaliando o desenvolvimento de *Canavalia ensiformis* nos mesmos níveis de densidade do solo. Os autores relataram que, com o aumento dos níveis de densidade do solo, o menor espaço poroso entre as partículas, dificultaram a absorção de água, nutrientes a diminuição do oxigênio, conseqüentemente o desenvolvimento inferior das raízes.

Pensando na adição de resíduos orgânicos, a incorporação de cinza vegetal, um resíduo orgânico carbonizado, pode cooperar para a resistência e resiliência do solo no momento da compactação, facilitando o desenvolvimento radicular. Nesse sentido Reichert, et al. (2018) avaliando a resistência a compactação e a capacidade de recuperação em três tipos de Latossolo em diferentes sistemas de rotação de culturas, verificaram que solos com maiores teores de matéria e material orgânico, são mais resistentes à compactação, podendo se recuperar mais rapidamente de uma condição compactada.

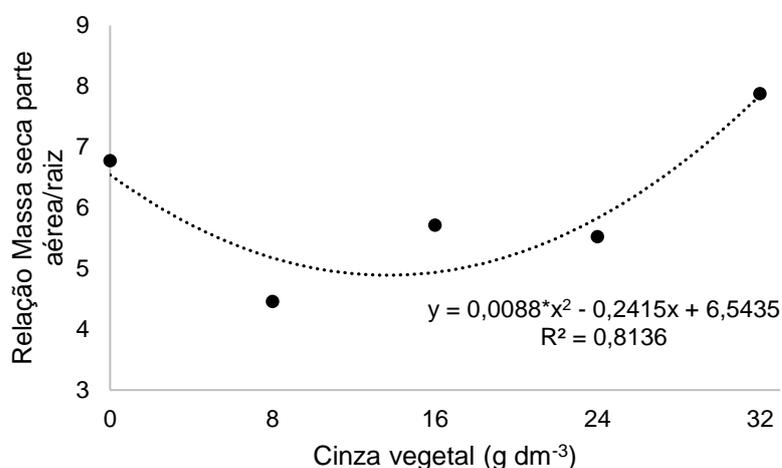
A matéria orgânica do solo aumenta a estabilidade do agregado do solo e a resistência mecânica do solo, entretanto, diminui a densidade do solo melhorando conseqüentemente a retenção de água, dessa forma, reduzindo a resistência a penetração do solo (EKWUE, 1990).

Braida et al. (2008), ressaltam que quanto maior a quantidade de água e poros no solo, aumentam a elasticidade, favorecendo a recuperação do solo ao processo de compactação. Quando adicionada cinza vegetal ao solo, mesmo compactado são criados pontos de aeração no solo, além de que o material tem baixa

densidade e expansividade (KARMAKAR et al., 2009), criando espaços vazios no sistema, possibilitando a oxigenação e desenvolvimento das raízes.

#### 4.16 Relação massa seca de parte aérea/raiz

A relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes, é um importante variável visto que, indica possível equilíbrio entre o desenvolvimento da parte aérea das plantas e o quantitativo de raízes. Foi observada diferença significativa entre os tratamentos somente para as doses de cinza vegetal, tendo um comportamento quadrático com ponto de mínima quando o solo foi adubado com  $13,72 \text{ g dm}^{-3}$  de cinza vegetal (Figura 48).



**FIGURA 48.** Relação massa seca da parte aérea/raiz  $\text{g vaso}^{-1}$ , em função de doses de cinza vegetal, em Latossolo Vermelho distrófico. \* Significativo 5% de probabilidade.

Hu et al. (2018), estimando o desenvolvimento radicular de plantas como trigo, cevada e vegetação espontânea, em sistemas de cultivo com base orgânica em comparação com sistema convencional num Argissolo orgânico no sudoeste dinamarquês, verificaram que quando cultivados em sistemas com base conservacionista, o quantitativo de raízes foi em média 36 % superior quando as plantas se desenvolveram em cultivos convencionais. Os autores justificam alterações da relação massa seca da parte aérea em função do resultado de mudanças nos padrões de alocação durante o período de crescimento, ou seja, períodos de algum tipo de estresse, como por exemplo a falta de algum nutriente, aumentando a alocação de fotoassimilados nas raízes (POORTER e NAGEL, 2000; LONHIENNE et al., 2014).

## 5. CONCLUSÕES

Interações significativas entre os níveis de densidade do solo e doses de cinza vegetal foram observadas para as variáveis, diâmetro de caule, número de ramos secundários e totais além de dias para o florescimento das plantas de cártamo.

A aplicação de cinza vegetal e os níveis de densidade do solo, influenciaram as características vegetativas, reprodutivas, de pós-colheita e radiculares do cártamo, cultivado em Latossolo Vermelho no Cerrado.

Os níveis de densidade do solo influenciaram de maneira linear decrescente as variáveis vegetativas das plantas, exceto, o índice SPAD aos 30 dias após a emergência, apresentando comportamento linear crescente. O índice SPAD para o mesmo período avaliado, o comportamento foi quadrático com ponto de máxima quando o solo foi adubado com  $26,24 \text{ g dm}^{-3}$ .

Densidades do solo entre  $1,07$  e  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ , demonstraram médias superiores para as variáveis número, massa seca e diâmetro de capítulos.

Doses de cinza vegetal com intervalo entre  $20$  e  $30 \text{ g dm}^{-3}$  proporcionaram desempenhos superiores das características vegetativas, reprodutivas e de pós-colheita das plantas de cártamo.

Os níveis de densidade do solo influenciaram de maneira linear decrescente o desenvolvimento radicular das plantas, concentrando as raízes nas camadas  $0-0,1\text{m}$  e  $0,2-0,3\text{m}$ .

O desenvolvimento radicular das plantas foi superior quando essas se desenvolveram em solos adubados com  $20$  a  $24 \text{ g dm}^{-3}$  de cinza vegetal.

A aplicação de  $24 \text{ g dm}^{-3}$  de cinza vegetal, proporcionou teores mais elevados de nutrientes ao solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, C. Caiçaras na Mata Atlântica: pesquisa científica versus planejamento e gestão ambiental. São Paulo: **Amablume/FAPESP**, 2000. 337p.

ALAKUKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; VAN DER LINDEN, J.P.; PIRES, S.; SOMMER, C. & SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 1. Machine/soil interactions. **Soil Tillage Research**, v. 73, n.2, p.145- 160, 2003.

ALMEIDA, D. O.; BAYER, C.; ALMEIDA, H. C. Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil, **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, 2017.

ALMEIDA, L. C, F.; BIM, O, J, B.; ANTUNIASSI, M. H, R.; SILVA, F. A. M.; 2016 Seriam as questões ambientais entraves ao desenvolvimento do Vale do Ribeira?. **CADERNOS CERU**, v. 27, n. 2, 2016.

ALVARENGA, R. C.; CABEZASW, A, L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P.; Plantas de cobertura de solo para sistemas de plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, n.208, p.25-36, 2001.

ANICÉSIO, E. C. A; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; KOETZ, M. Dry Mass, Nutrient Concentration and Accumulation in Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Influenced by Nitrogen and Potassium Fertilizations. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.6, p. 552-560; 2015.

ANICÉSIO, E. C. A; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; PACHECO, B, A; Nitrogen and potassium in safflower: chlorophyll index, biometric characteristics and water use efficiency. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 424 – 433, 2018.

ANSORGE, D.; GODWIN, R. J. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction - Part 2: Multi-axle machine studies. **Biosystems Engineering**, v. 99, n. 3, p. 33-47, 2008.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILD NER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.1, p. 425-535, 2005.

ASHRI, A.; KNOWLES, P. F. Cytogenetics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) species and their hybrids. **Agronomy Journal**, v. 52, n. 1, p. 11-17, 1960.

BARBOSA, L. C.; et al. Soil texture affects root penetration in Oxisols under sugarcane in Brazil. **Geoderma regional**, v.13, n.1, p. 15–25, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457:1986. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, p. 9, 2016.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.S.; LEITE, D.; AMARAL, A. & 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, p.155-163, 2004.

BEZERRA, M.D.L, BONFIM-SILVA, E.M., SILVA, T.J.A., SOUSA, H.H.F., DUARTE, T.F., SANTO, E.S.E. PACHECO, A.B. Wood Ash on the Fertilization of Marandu Grass in Brazilian Cerrado Soils. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n.17, p. 1504-1510. 2016.

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

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L.; POLIZEL, A. C. Desenvolvimento e produção de cortalária juncea, adubada com cinza vegetal. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v.7, n.13, 2011b.

BONFIM-SILVA, E. M, et al., Initial Development of Cowpea Submitted to Wood Ash Doses. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 17, n.1, p. 1-7, 2017a.

BONFIM-SILVA, E. M, MIRANDA, L. F. S, NEVES, L. C. R, SOUSA, H. H. F, VIEIRA-JOSÉ, F. Phytometric and Productive Characteristics of Safflower Submitted to Phosphate Fertilization in the Oxisol of the Brazilian Cerrado. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n.12, p. 2966-2976, 2017a.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Establishment of Xaraés and Marandu grasses under levels of soil compaction. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 727-735, 2012.

BONFIM-SILVA, E. M; FREITAS, D.C; BATISTA, E. R. LIMA, M. A. Wood ash as corrective of soil pH and as fertilizer in ornamental sunflower cultivation. **African Journal of Agricultural Research**. v. 10, n. 33, 2015a.

BONFIM-SILVA, E. M; PALUDO, J. T.; SILVA, T. J. A; GUIMARÃES, S. L. Bulk Density in Jack Bean's Development Grown in Cerrado Oxisol. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n.9, p. 1349-1360, 2015b.

BONFIM-SILVA, et al. Wood Ash in *Canavalia ensiformis* L. Cultivation on Highly Weathered Soil in Brazil. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 16, n.16, 2017.

BONFIM-SILVA, et al. Biometric characteristics and visual diagnosis of safflower plants under macro and micronutrient omission. **International Journal of Current Research**, v. 8, n.5, p.31071-31076, 2016.

BONFIM-SILVA, E.M., PALUDO, J.T.S, SOUSA, J.V.R., SOUSA, H.H.F., SILVA, T.J.R. Development of safflower subjected to nitrogen rates in cerrado soil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n.13, p. 2136-2143, 2015c.

BONFIM-SILVA, E. M. et al. Performance of Piatã and Paiaguás Grasses Fertilized with Wood Ash in Entisol Soil. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 21, n.5 p.1-10, 2018b.

BONFIM-SILVA, E. M.et al. Wood Ash as a Corrective and Fertilizer in the Cultivation of Mombaça and Massai Grass in Oxisol. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.21, n.5, p. 1-10, 2018a.

BONFIM-SILVA, E. M.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, T. J. A.; GUEDES-FILHO, O.; GUEDES, R. B.M; OLIVEIRA, J. R.; Wheat cultivars under bulk density levels in Cerrado Rhodic Hapludox, Central Brazil, **African journal of agricultural research** v.9, n. 21, p. 1641-1643, 2014.

BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; ROSATTO, H.; FERRERO, C. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. **Soiland Tillage Research**, v.86, n.1, p.9-14, 2006.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.4, p.605-614, 2006.

BRAIDA, J. A., J. M. REICHERT, D. J. REINERT, AND L. SEQUINATTO, Soil elasticity as affected by water and organic carbon content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.2, p. 477-485, 2008.

CALONEGO J. C. et al. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2011.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

ÇAMAS, N.; ESENDAL, E. Estimates of broad-sense heritability for seed yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.), **Hereditas**. v.143, n.1, p. 55 - 57. 2006.

CHAPMAN, M. A. et al. Population genetic analysis of safflower (*Carthamus tinctorius*; Asteraceae) reveals a near eastern origin and five centers of diversity. **American Journal of Botany**, v. 97, n. 5, p. 831–840, 2010.

CHIRENJE, T. MA L.Q. Impact of high volume wood-fired boiler ash amendment on soil properties and nutrient status Communications. **Soil Science and Plant Analysis**, v.33, n.1, 2002.

COELHO, P.; COSTA, M. **Combustão**. Edições Orion, Amadora, 2007. 714p.

CORLETO A, CAZZATO E, LAUDADIO V, PETRERA. Evolution of biomass and quality of safflower during the reproductive stage for hay and ensiling purposes. In: **Proceedings of the 6th International Safflower Conference**, Istanbul, Turkey, p. 69-73, 2005.

CORONADO, L. M. **El cultivo del cártamo (Carthamus tinctorius L.) en México**. Ciudad Obregon-México: SGI, 2010.

CURI, N.; LARAC H, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C. & FONTES, L. E. F. Vocabulário da ciência do solo, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1993. 90p.

DALCHIAVON, F. C. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto, **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.16, n.2, p.144-154, 2017.

DAROLT, M. R.; BIANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 11, n.1, p.38-40,1993.

DORDAS, C. A.; SIOULAS, C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. **Industrial Crops and Products**. v. 27, n. 1, p. 75-85. 2008.

CURY, T. N.; DI MARIA, I. C.; BOLONHEZI, D. Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.6, p.1929-1938, 2014.

CONCEIÇÃO P.C; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, 2005.

ELFADL, E., C. REINBRECHT, C. FRICK, W. CLAUPEIN. Optimization of nitrogen rate and seed density for safflower (*Carthamus tinctorius* L.) production under low-input

farming conditions in temperate climate. **Field Crops Research.**, v. 114, n.1, p. 2-13, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Manual de Métodos de Análise de Solo, ed. 2, Rio de Janeiro, 212p, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Sistema Brasileiro de classificação de solos**, 3 ed. Brasília, 353p. 2013.

EKWUE, E. L; Organic-matter effects on soil strength properties. **Soil Tillage Research**,v.16, n.3, p. 289- 297, 1990.

FAGUNDES, E.A.A., DA SILVA, T.J. AND BONFIM-SILVA, E.M. Initial Development of Varieties of Sugarcane in Oxisol Subjected to Levels of Soil Compaction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2, p.188-193, 2014.

FAOEST. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>> Acesso em: 20/02/2018.

FARIAS, L.N., BONFIM-SILVA, E.M., PIETRO-SOUSA, W., VILARINHO, M.K.C., SILVA, T.J.A., GUIMARÃES, S.L. Morphological and Productive Characteristics of the Dwarf Pigeonpea Cultivated in Compacted Soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.497-503, 2013.

FERREIRA, D.F. SISVAR - Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

FERREIRA, P.P., BONFIM-SILVA, E.M., SILVA, T.J.A., PACHECO, A.B., SOUSA, H.H.F. DUARTE, T.F. Density of Soil and Nitrogen in Production and Nutrition of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Australian Journal Crop Science**, v.11, n.5, p. 605-609. 2017.

FONTENELLI, J. V. Métodos de manutenção de umidade do solo no cultivo do girassol e cártamo em condições controladas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Instituto de Ciências Agrárias e tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso. Rondonópolis, p.87. 2014.

FONTENELLI, J. V. et al. Methods of soil moisture maintenance for production of sunflower under controlled conditions. **Australian Journal of crop of Science**, v.11, n.5, p. 580-584, 2017.

FIETZ, C. R. et al. **Estimativa da precipitação provável para o Estado de Mato Grosso**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; LEONEL, C. L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. I – Características de planta, solo e índices. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.4, p. 793-803, 2009.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. de. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p.223-227, 2002.

GOLZARFAR, M., SHIRANI RAD, A., H, ELKHOSH, B., BITARAFAN, Z. Safflower (*Carthamustinctorius* L.) response to different nitrogen and phosphorus fertilizer rates in two planting seasons. **Zemdirbyste Agriculture**, v. 99, n.2, p.159 -166, 2012.

GUIMARÃES. T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ V., V.H.; MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n.2, p. 121-145, 2005.

HAN, X. et al. Extraction of safflower seed oil by supercritical CO<sub>2</sub>. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 4, p. 70-76, 2009.

HEMMAT, A.; ADAMCHUK, V. I. Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 63, n. 2, p. 89-103, 2008.

HERRADA, M.R.; LEANDRO, W.M.; FERREIRA, E.P.B. Leguminosas isoladas e consorciadas com milho em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. **Terra latino-americana**, v.35, n.4, 2017.

HOJATI, M.; MODARRES-SANAVY, S. A. M.; KARIMI, M.; GHANATI, F. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n.1, p. 105-112, 2011.

HUSSAIN, M.I. et al. Salt and drought stresses in safflower: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n.1, p.11, 2015.

ISLABÃO, G. O. et al. Hydro-Physical Properties of a Typic Hapludult under the Effect of Rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, n.1, p. 1–13, 2016.

JENKINS, B. M., BAXTER, L.L., MILES JR, T.R., MILES, T. R., Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**. v 54, n.1-3, p.17-46, 1998.

JIMENEZ, R.L., GONÇALVES, W.G., ARAÚJO FILHO, J.V., ASSIS, R.L., PIRES, F.R. AND SILVA, G.P. Growth of Cover Crops under Different Levels of Soil Compaction of a Typic Red Latosol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.116-121, 2008.

KAFFKA, S.R. & KEARNEY, T.E. **Safflower Production in California**. University of California Agriculture and Natural Resources Publications, Oakland. (1998).

KARAKAS, C.; ÖZÇİMEN, D.; İNAN, B.; Potential use of olive stone biochar as a hydroponic growing medium. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.125, n.1, p. 17–23, 2017.

KARMAKAR, S., MITTRA, B. N., GHOSH, B. C. Enriched Coal Ash Utilization for Augmenting Production of Rice under Acid Lateritic Soil. **Coal Combustion and Gasification Products**, v. 2, p. 45-50, 2010.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Editora Guanabara Koogan, ed. 1, v. 1. 2005.

KOLLING, E.M.; TROGELLO, E.; MODOLO, A. J.; DALLACORT, R. Análises técnica e funcional de um sistema de beneficiamento de cereais operando com milho safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, (Impresso), v. 11, n.2, p. 202-208, 2012.

LAWLOR, D. W.; UPRETY, D. C. Effects of water stress on photosynthesis of crops and the biochemical mechanism. In: Abrol YP, Mohanty P, Govinjee, eds. Photosynthesis: photoreactions to plant productivity. Oxford and IBH Publishing Co. PVT. Ltda, v. 1, p. 419-449, 1993.

LEHNHOFF, E.; Miller, Z.; Miller, P.; Johnson, S.; Scott, T.; Hatfield, P.; Menalled, F. D. Organic Agriculture and the Quest for the Holy Grail in Water-Limited Ecosystems: Managing Weeds and Reducing Tillage Intensity. **Agriculture**, v. 7, n.4, 2017.

LIMA C.L.R; REINERT D.J.; REICHERT J.M; SUZUKI L.E.A.S. Yield of crops and soil resistance to penetration of the Alfisol under different management. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.1, p. 89-98. 2010.

LONHIENNET G., PAUNGFOO-LONHIENNE C., YEOH Y.K., WEBB R.I., LAKSHMANAN P., CHAN C.X., HUGENHOLTZ P. A new species of Burkholderia isolated from sugarcane roots promotes plant growth. **Microbial Biotech**, v.7, n.2, p.154, 2014.

LOSS, A., SANTOS JUNIOR, E.D., SCHEMITZ, D., VEIGA, M. D., KURTZ, C. Y COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciências Horticolas**, v.11 n.1, 105-113, 2017.

LU, S., ZHANG, F. Q., MENG, G. L., WANG, Y. L., Carthamus tinctorius L. oil and its using in food. **Food Research and Development**, v.25, n.1, p. 74, 2004.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, n.1, p.43- 52, 2008.

MAPA, (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO), Instrução normativa sda nº 17, Métodos para análise de substratos para plantas e condicionadores de solos, 2006.

MAPA. (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO) Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. **Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**. Brasília: MAPA / MDA, 2011.

MARKWELL, J.; OSTERMAN, J.C.; MITCHELL, J.L. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research**, v. 46, n.3, p. 467-472, 1995.

MARQUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de Irrigação em Hortaliças com Sistema Irrigas®**. 2009. Disponível em: <<http://bbeletronica.cnph.embrapa.br/2009/ct/ct.69.pdf>>.

MARQUELLI, W. A.; CALBO, A. G. CARRIJO, O. A. Avaliação de sensores do tipo irrigas® para o controle da irrigação em hortaliças cultivadas em substrato. **Irriga**, v. 10, n.1, 2005

MCGRATH, D.; HENRY, J. Organic amendments decrease bulk density and improve tree establishment and growth in roadside plantings. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.20, n.1, p. 120-127, 2016.

MONTOYA C., L. **El cultivo del cártamo (Cathamus tinctorius L.)** en México. 1. ed. Ciudad Obregón: Comité Editorial del CENEB, 96p, 2010.

NBR (Normas Brasileiras) 10004. Norma Brasileira. "Resíduos Sólidos Classificação". 2004. Disponível em <<http://www.unaerp.br/documentos/2234-abnt-nbr-10004/file>>. Acesso em: 20/02/2018.

NUNES J. A, BONFIM-SILVA E. M, SILVA T. J. Bulk density and water tensions in the soil on corn root production. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n.34, p. 357-363. 2016.

OLIVEIRA, R.R. Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. **Rodriguésia**, v.53, n.82, p.33-58, 2002.

OSAKI, F.; DAROLT, M. R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba. **Revista Setor Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, 1991.

PACHECO, L.P.; SÃO-MIGUEL, A.S.D.C.; BONFIM-SILVA, E.M.; SOUZA, E.D; SILVA, D.M. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 464-472, 2015.

PALUDO, J., BONFIM-SILVA, E., DA SILVA, T., ZANOTTO, M., FENNER, W. AND 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.

PALUDO, J., BONFIM-SILVA, E., DA SILVA, T.; SOUSA, H. H. F; 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, 2018.

PANEQUE M., DE LA ROSA J. M., FRANCO-NAVARRO J. D, COLMENERO-FLORES J. M, KNICKER, H. Effect of biochar amendment on morphology, productivity and water relations of sunflower plants under non-irrigation conditions. **Catena**, v.147, n. 1, 280–287, 2016.

PANTANO, G. GROSSELI, G. M. MOZETO, A. A. FADINI, P. Sustentabilidade do uso do fósforo: Uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**. v. 39, n.6, p. 732-740, 2016.

PEREIRA, M. T. J.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M. Soil water content and wood ash fertilization on the cultivation of gladiolus. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 50-56, 2016.

POORTER H & NAGEL O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO<sub>2</sub>, nutrients and water: A quantitative review. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.27, n.1, p.595–607, 2000.

PRADO, R. M. Base saturation and corn hybrids under no-tillage system. **Scientia Agrícola**, v.58, n.2, p.391-394, 2001.

QU J., LI, B., WEI, T., LI C, LIU B. Effects of rice-husk ash on soil consistency and compactibility. **Catena**. v.122, n.1, p. 54–60. 2014.

POSSENTI, R. A.; ARANTES, A. M.; BRÁS, P. ANDRADE, B.; FERRARI JR, E. Avaliação nutritiva da silagem de cártamo, produção de biomassa, grãos e óleo. **Boletim de Indústria Animal**, v.73, n.3, p.236-243, 2016.

RAHAMATALLA, A. B. et al. Changes in fatty acids composition during seed growth and physicochemical characteristics of oil extracted from four safflower cultivars. **Plant Foods for Human Nutrition**. v. 56, n.4, p.385–395,2001.

REICHERT, J.M; SUZUKI, L. E.A.S; REINERT, D.J, Compactação do solo em Sistemas Agropecuários e Florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência do Solo**, v.5, n.1, p. 49-134, 2007.

REINERT, D. J. et al. Bulk density critical limits for normal root growth of cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.5, p. 1805-1816, 2008.

RIGAU, A. Los Abonos – **Supre paración y empleo**, 2. ed., Barcelona, Sites, 1960, 115p.

ROCHA, E. K. **Fenologia e qualidade de *Carthamus tinctorius* L. em diferentes populações e épocas de cultivo**. 72f. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2005.

RUMPF, S. LUDWIG, B. MINDRUP, M. Effect of wood ash on soil chemistry of a pine stand in Northern Germany, **Plant Nutrition Soil Science**, v. 164, n.5, p. 569-575, 2001.

SALVADOR, J. O. MOREIRA A., MALAVOLTA E. CABRAL, C.P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.787-796, 2000.

SANTOS, J.A.G., MOREAU, A.M.S.S., REZENDE, J.O; COELHO, I.A. Efeito da Aplicação de Cinza, Oriunda de Biomassa Vegetal, na Atividade Microbiana de um Solo Podzólico Amarelo Cultivado com Eucalipto. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 25. Resumos Expandidos, 2: 457-459,1995.

SAS INSTITUTE. SAS. User's guide: statistics. 9th ed. Cary, 2002. 943p

SECCO, D. REINERT D.J., REICHERT J.M, SILVA V.R. Atributos Físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v.39, n.1, 2009.

SEDDAIU, G.; IOCOLA, I.; FARINA, R.; ORSINI, R.; IEZZI, G. Long term effects of tillage practices and N fertilization in rainfed Mediterranean cropping systems: durum wheat, sunflower and maize grain yield. **European Journal of Agronomy**, v. 77, n.1, p. 166-178, 2016.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S.; PAGLIAI, M. Effects on some soil qualities in central Italy following the passage of four-wheel drive tractor fitted with single and dual tires. **Soil and Tillage Research**, v.84, n.1, p.87-100, 2005.

SILVA, G.J., MAIA, J.C.S. BIANCHINI, A. Shoot Growth of Plants under Subsurface Irrigation and Four Degrees of Soil Compaction. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.30, n.1, p. 31-40, 2006.

SIMINSKI, A. FANTINI, A. C. Roça-de-toco: uso de recursos florestais e dinâmica da paisagem rural no litoral de Santa Catarina. **Ciência Rural**, v.37, n.3, p.690-696, 2007.

SMOL, M.; KULCZYKA, J.; HENCLICK, A.; GORAZDA, K.; WZOREL, Z. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 95, n.1, p. 45-54, 2015.

SMITH, J. R. **Safflower. Emphasis is on Origin of Safflower Production, Marketing and Research in the USA**. Champaign: AOCS Press. 1996. 624 p.

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E., eds. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUZA, C. S, AOKI, C. RIBAS, A. POTT, A. SIGRIST, M.R, Floraltraits as potential indicators of pollination vs. Theft. **Rodriguésia**, v. 67, n.2, p. 309-320. 2016.

STERNBERG, E. D.; THOMAS, M. B.; Insights from agriculture for the management of insecticide resistance in disease vectors. **Evolutionary applications**, v.11, n.4, p.404-414, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.  
VELASCO, L., B. PÉREZ-VICH, J.M. FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ. Identification and genetic characterization of a safflower mutant with a modified tocopherol profile. **Plant Breeding**, v. 124, n. 5, p. 459-463, 2005.

WANG, C. C. et al. Protective effect of dried safflower petal aqueous extract and its main constituent, carthamus yellow, against lipopolysaccharide induced inflammation in RAW264.7 macrophages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 2, p. 218-225, 2011.