

PATRÍCIA PEREIRA DIAS

**VARIÁVEIS FENOMÉTRICAS E RENDIMENTO DE GRÃOS DO
CRAMBE ASSOCIADO A NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO DE UM
LATOSSOLO ARGILOSO**

**CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
JANEIRO – 2014**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

D534v Dias, Patrícia Pereira
Variáveis fenométrica e rendimento de grãos do crambe associado a níveis de compactação de um latossolo argiloso. / Patrícia Pereira Dias — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2014.
50 p.

Orientador: Prof. Dr. Deonir Secco
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. *Crambe abyssinica*. 2. Solo - Densidade. 3. Restrição hídrica. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 631.58

PATRÍCIA PEREIRA DIAS

**VARIÁVEIS FENOMÉTRICAS E RENDIMENTO DE GRÃOS DO
CRAMBE ASSOCIADO A NÍVEIS DE COMPACTAÇÃO DE UM
LATOSSOLO ARGILOSO**

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

Professor Orientador: Dr. Deonir Secco

Professor Co-orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos

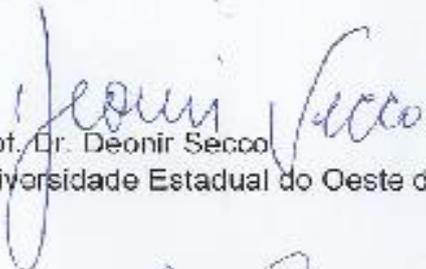
**CASCABEL
PARANÁ - BRASIL
JANEIRO - 2014**

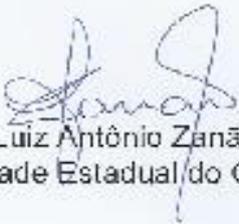
PATRÍCIA PEREIRA DIAS

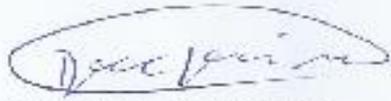
"Variáveis fenométricas e rendimentos do grãos do *Crambe* associados
a níveis de compactação de um latossolo argiloso"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia
na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada**
pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Deonir Secco
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Dalvan José Reinert
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM/Santa Maria

Cascavel, 30 de janeiro de 2014.

"Perder com classe e vencer com ousadia. Pois o triunfo pertence a quem mais se atreve ... e a vida é muito para ser insignificante."

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força e vontade para conquistar os meus ideais, por me conceder a graça de ter ‘anjos’ em forma humana em cada lugar em que chego me auxiliando em todos os momentos.

Aos meus pais, Pedro e Ivanir, que sempre me apoiaram e a toda família que me incentiva e reconhece meus esforços.

Ao meu namorado, Felipe, que sempre foi companheiro e me incentivou a cada momento difícil por qual eu passava e me ajudou a superar muitos deles. À família dele que se tornou a minha também.

Aos professores do Programa de Mestrado em Energia na Agricultura pelos valiosos conhecimentos transmitidos.

Aos professores que me ajudaram a conduzir este trabalho, meu orientador Deonir Secco e co-orientador Reginaldo Ferreira Santos, seus ensinamentos serão sempre por mim lembrados.

À secretária do Mestrado Vanderléia e ao Dário, pela sua dedicação e excelência na prestação de serviço aos discentes do mestrado.

À Unioeste, por oferecer o programa de Mestrado e toda sua estrutura sempre a disposição.

Ao CNPQ, pelo incentivo através da bolsa de pesquisa.

Agradeço enfim, a todos que contribuíram para a realização do trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo utilizado.....	14
Tabela 2. Requerimento de água nas diferentes fases da cultura do nabo.....	16
Tabela 3. Variáveis fenométricas e rendimento de grãos do crambe em função das densidades e formas de irrigação nos anos de 2012 e 2013.....	17
Tabela 4. Número de folhas do crambe em função das densidades e formas de irrigação nos anos de 2012 e 2013	21
Tabela 5. Elementos da raiz do crambe em função das densidades e formas de irrigação no ano de 2013.....	28
Tabela 6. Desdobramento dos valores médios de profundidade da raiz do crambe em função das densidades e formas de irrigação no ano de 2013 (valores médios de 4 repetições)	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Altura de plantas em função da densidade e formas de irrigação.	18
Figura 2. Diâmetro do caule do crambe em função da densidade e formas de irrigação.	19
Figura 3. Rendimento de grãos do crambe em função da densidade e formas de irrigação.	20
Figura 4. Número de folhas 1 em função da densidade e formas de irrigação.	22
Figura 5. Número de folhas 2 em função da densidade e formas de irrigação.	23
Figura 6. Número de folhas 3 em função da densidade e formas de irrigação.	24
Figura 7. Número de folhas 4 em função da densidade e formas de irrigação.	25
Figura 8. Número de folhas 5 em função da densidade e formas de irrigação.	26
Figura 9. Número de folhas 6 em função da densidade e formas de irrigação.	27
Figura 10. Profundidade da raiz do crambe em função da densidade e formas de irrigação, no ano de 2013.	30
Figura 11. Volume da raiz do crambe em função da densidade e formas de irrigação, no ano de 2013.	31
Figura 12. Massa seca da raiz do crambe em função da densidade e formas de irrigação, no ano de 2013.	31

DIAS, Patrícia Pereira. MSc, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Janeiro de 2014. **Variáveis Fenométricas e Rendimento de Grãos do Crambe Associado a Níveis de Compactação de um Latossolo Argiloso.** Professor Orientador Dr. Deonir Secco.

RESUMO

O crambe por se tratar de uma cultura que pode fazer parte de um sistema sustentável apresenta-se como alternativa para produção de energia renovável, a partir do seu potencial de produção de óleo para a cadeia do biodiesel. Este trabalho objetivou avaliar o crescimento do crambe submetido a diferentes densidades de solo, bem como seu comportamento quando submetido à restrição hídrica após o florescimento. O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Cascavel – Paraná – Brasil. Os tratamentos foram formados pelo fatorial 6x2 (seis densidades de solo - de 0,9; 0,99; 1,08; 1,17; 1,26 e 1,35 Mg m⁻³ e duas lâminas – irrigação continuada e irrigação restrita no florescimento). O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado. As variáveis fenométricas avaliadas foram: altura de planta, diâmetro do caule, massa fresca da planta, massa seca de planta, rendimento de grãos, número de folhas, profundidade da raiz, volume da raiz e massa seca da raiz. Na densidade do solo entre 1,08 Mg m⁻³ e 1,17 Mg m⁻³, a raiz do crambe se aprofunda mais quando há restrição hídrica. Para as demais variáveis houve o decréscimo na qualidade quando submetidas a maiores densidades de solo e restrição hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: *Crambe abyssinica*, densidade do solo, restrição hídrica

DIAS, Patrícia Pereira. MSc, Western Paraná State University, January 2014. **Fenometric variables and grain yield of crambe associated levels of compaction of a Clayey Oxisol.** Coordinating Professor Dr. Deonir Secco.

ABSTRACT

The crambe because it is a culture that can be part of a sustainable system is presented as an alternative for the production of renewable energy from its potential to produce oil for biodiesel chain. This study aimed to evaluate the growth of crambe under different soil densities as well as their behavior when subjected to water stress after flowering. The experiment was conducted in a heated vegetation of the Universidade Estadual do Paraná, campus Cascavel - Paraná - Brasil. The treatments were formed by the factorial 6x2 (six soil densities - 0.9, 0.99, 1.08, 1.17, 1.26 and 1.35 Mg m⁻³ and two blades - continuous irrigation and limited irrigation at flowering). The experimental design was completely randomized. The fenometric variables were evaluated: plant height, stem diameter, fresh weight of plant, plant dry mass, grain yield, number of leaves, root depth, root volume and root dry mass. Soil density between 1.08 Mg m⁻³ and 1.17 Mg m⁻³, the root of crambe goes deeper when water restriction. For the other variables there was a decrease in quality when subjected to higher densities of soil and water restriction.

KEYWORDS: *Crambe abyssinica*, density, water restriction

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 USO DO SOLO	2
2.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E COMPACTAÇÃO	3
2.2.1 ESTRUTURA DO SOLO	4
2.2.2 DENSIDADE DO SOLO	4
2.2.3 RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO	5
2.3 COMPACTAÇÃO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO	6
2.4 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO	8
2.4.1 REESTABELECIMENTO DA ESTRUTURA DO SOLO	9
2.5 ENERGIA E MEIO AMBIENTE	10
2.5.1 CRAMBE	12
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 LOCAL DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	14
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DADOS CLIMATOLÓGICOS	14
3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.7 REGRESSÃO LINEAR PARA O SISTEMA RADICULAR	29
5. CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e do consumo per capita, em conjunto com os problemas das mudanças climáticas, enseja a necessidade de ações mais coordenadas nas áreas energéticas, ambientais e econômicas. Tais acontecimentos trazem consigo um dos principais desafios da atualidade, a segurança ambiental e energética.

A energia é um fator fundamental para o avanço no desenvolvimento mundial, dependemos dela para a produção de alimentos, de bens, enfim em todos os setores. Mundialmente grande parte da energia consumida é advinda de fontes não renováveis, como o petróleo, gás natural e carvão.

A matriz energética atual está passando por mudanças, onde, os países estão buscando formas para substituição do petróleo, sendo que o Brasil tem propensão notável para a produção de energias renováveis.

O biodiesel puro é utilizado em outros países como, por exemplo, na Alemanha, entretanto, no caso do Brasil, está sendo introduzido no mercado de forma gradativa ao diesel, a partir do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) do Governo Federal, criado em 2004.

Como a biomassa é uma das fontes de produção de biocombustível e o Paraná um grande produtor agrícola, temos grande potencial para pesquisa e desenvolvimento de novas matérias primas para o biodiesel.

Nesse contexto apresenta-se o crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), que chegou ao Brasil como uma planta de cobertura, sendo uma das alternativas para o plantio direto, com grande potencial de uso na produção de biodiesel entre outras destinações na indústria, devido à grande capacidade de produção de óleo.

Como o crambe tem múltiplas funções (biodiesel, planta de cobertura, matéria prima para indústria) é necessário que o cultivo da planta seja mais pesquisado no Brasil, em especial na região oeste do Paraná. Estudos preliminares levam em consideração que a planta é rústica e tem desenvolvimento radicular pivotante, o que indica um bom rendimento em solos compactados, de acordo com Pitol (2008).

Não existem informações consolidadas a respeito do comportamento da cultura em níveis de compactação do solo e de restrição hídrica em Latossolos argilosos. Assim, este trabalho objetiva avaliar o desenvolvimento do crambe submetido a seis níveis de compactação, bem como seu comportamento quando submetido à restrição hídrica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USO DO SOLO

O uso do solo para agricultura é uma prática milenar, porém com as formas de seu uso nem sempre prevalece a manutenção da qualidade do solo. Ao passar dos anos adquiriu-se cada vez mais conhecimento para o melhor aproveitamento deste recurso natural. Nos dias de hoje a agricultura de precisão tem se tornado uma ferramenta muito utilizada nesse setor. Porém para se chegar ao que temos hoje, na questão de máximo aproveitamento do solo, houve uma evolução acentuada passando do cultivo convencional para o cultivo sustentável, que é voltado a manutenção da qualidade das propriedades do solo e os recursos a ele ligados.

No sistema de plantio convencional (SPC), o preparo do solo consiste no revolvimento de camadas superficiais, objetivando incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e com isso aumentar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água, facilitando o crescimento das raízes das plantas. Esse revolvimento é realizado, basicamente, com aração e gradagens, cujo arado efetua o corte, elevação, inversão e queda, com um efeito de esboroamento de fatias de solo denominadas de leivas. A grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície, além de nivelar o terreno. Entretanto, tal prática pode acarretar sérios problemas com o passar dos anos, principalmente se não for feita com critério (GABRIEL FILHO et al., 2000).

No entanto, o revolvimento excessivo pode proporcionar efeitos indesejáveis como a desagregação da estrutura do solo que, aliada à ausência de resíduos na superfície do solo aumenta ainda mais a susceptibilidade do solo à erosão pelo impacto da gota de chuva. É o caso dos solos arenosos, que apresentam elevada suscetibilidade a erosão, onde tem sido estimulada a adoção de preparo conservacionista para manter a cobertura e reduzir a erosão (TORMENA et al., 2002).

No desenvolvimento de manejos menos agressores aos atributos do solo surgiu o sistema de plantio direto (SPD), que conforme Secco (2003) apresenta melhoria das características químicas e biológicas do solo, entretanto, nem sempre é favorável as características físicas do mesmo. De maneira em geral tem ocorrido incremento na densidade e na resistência à penetração do solo e redução da macroporosidade, de forma mais elevada em solos argilosos, como é característico dos solos do oeste do Paraná (EMBRAPA, 2006).

A manutenção e a melhoria da qualidade do solo são determinantes para a estabilidade, para a sustentabilidade e para a produtividade de ecossistemas naturais e de agroecossistemas. A compreensão e a quantificação do impacto dos sistemas de preparo do solo na sua qualidade física, além dos parâmetros hídricos e mecânicos, são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (SILVA et al., 2008). Mesmo cultivando de forma sustentável como é o SPD, sistemas de manejo do solo condicionam alterações diferenciadas nos atributos físicos do solo, onde no SPD há um maior favorecimento do processo de compactação do solo (SECCO, 2003).

2.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E COMPACTAÇÃO

Para que haja o pleno desenvolvimento de uma cultura no processo de produção agrícola é necessário que vários fatores atuem em conjunto. O preparo do solo é uma das operações agrícolas na qual se procura alterar seu estado físico, químico e biológico, de forma a proporcionar melhores condições para o máximo desenvolvimento das plantas cultivadas (GABRIEL FILHO et al., 2000).

Para a avaliação dos sistemas produtivos, tem se utilizados diversos indicadores de qualidade física do solo, dentre os mais utilizados, destacam-se a densidade do solo, variáveis de porosidade do solo (MICHELON et al., 2009), e resistência do solo à penetração (KLEIN et al., 2009).

No SPD há pesquisas que apontam para deficiência nas propriedades físicas do solo. As propriedades físico-mecânicas do solo como umidade, aeração, temperatura e resistência do solo a penetração, afetam diretamente a produção das culturas, as quais são dependentes da textura, estrutura, densidade, característica do perfil do solo. Essas propriedades são afetadas pela compactação do solo, na maioria das vezes, de forma negativa, restringindo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, reduzindo absorção de água e nutrientes, comprometendo a planta como um todo (SECCO, 2003). A compactação pode se tornar mais agressiva à planta quando há períodos de seca. A restrição hídrica é um dos mais importantes estresses ambiental na agricultura e muitos esforços têm sido realizados para melhorar a produtividade de cultivos agrícolas sob condições de seca (CATTIVELLI et al., 2008), utilizando para minimizar esses efeitos as ferramentas do SPD, como a rotação de culturas com alternância de plantio de espécies com alto volume de matéria seca, elevando assim a manutenção da água no solo e adiando a perda por evaporação.

Qualquer cultura necessita de disponibilidade de água, nutrientes e temperatura ideal para que haja um crescimento normal, entretanto, quando a cultura sofre estresse hídrico-nutricional em épocas distintas, isso afeta todos os aspectos ligados ao seu crescimento, com consequência direta na área foliar, taxa de fotossíntese e outras reações biológicas. Quando o estresse hídrico ocorre por um período longo, pode influenciar a estatura e população final das plantas (BONINI, 2006).

Gubiani (2012) descreve que além da disponibilidade hídrica, a compactação altera os parâmetros morfológicos (área foliar, crescimento de parte aérea e radicular) das culturas, porém, a relação entre compactação do solo em SPD e produtividade de grãos é um assunto com quantidade pequena de publicações científicas, mesmo que já tenham transcorrido 40 anos da adoção do SPD.

2.2.1 ESTRUTURA DO SOLO

O solo é um organismo tridimensional, composto por três fases: sólida, formada por componentes orgânicos (vegetais) e inorgânicos (minerais) e as fases líquida e gasosa que são compostas pela água e pelo ar. Nessa visão em três dimensões do solo chegou-se a conclusão de que para um solo ser 'ideal' deveria ter 50 % de volume de sólidos e 50 % de volume de poros totais, subdividindo-se em 33,5 % de água e 16,5 % de ar (CAMARGO E ALLEONI, 1997).

A estrutura do solo influencia o crescimento das plantas de várias formas, sendo os efeitos sobre o alongamento radicular os mais claros e determinantes sobre a habilidade das raízes em extrair água e nutrientes do solo em quantidades adequadas (MÜLLER et al., 2001). À medida que o solo é submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (SPERA et al., 2004).

2.2.2 DENSIDADE DO SOLO

A densidade do solo (D_s) é uma relação entre a massa de sólidos e o volume do solo e pode ser usada como uma medida direta do estado de compactação de um solo (SECCO, 2003). Em ambientes não cultivados é uma propriedade física que depende dos fatores e processos pedogenéticos. O uso pode compactar o solo, expresso pelo aumento da densidade

devido ao pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (HAMZA E ANDERSON, 2005).

Ferreira et al. (2010), afirmam que a propriedade física mais estudada e monitorada é a Ds. A variação nos valores da densidade, em sua maior parte, é proveniente das diferenças no volume total de poros, de modo que densidade e porosidade estão muito relacionadas e por isso são apresentadas de forma conjunta.

Não existe consenso sobre o nível crítico da Ds, ou seja, o valor acima do qual o solo é considerado compactado. A Ds varia de acordo com as características do solo, sendo que para solos argilosos, quando a Ds for de 1,25 a 1,35 Mg m⁻³, o solo pode apresentar restrições ao crescimento radicular para culturas anuais, de acordo com Reichert et al. (2009). Já para Souza et al. (2005) o valor de 1,40 g cm⁻³ é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo.

Em áreas onde o sistema de plantio direto é adotado, a ausência de revolvimento tem provocado um aumento da densidade do solo que refletirá em maior resistência à penetração (SILVA et al., 2000).

2.2.3 RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO

De acordo com Mercante et al. (2003) a resistência do solo à penetração é uma propriedade física que pode ser correlacionada com a densidade e com a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior for a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor será a macroporosidade, que é o principal espaço para o crescimento das raízes.

A resistência do solo à penetração é diretamente alterada quando há um incremento na densidade do solo e uma redução do volume de macroporos, influenciando a penetração do sistema radicular pelo perfil do solo. Além disso, essa propriedade está diretamente relacionada com a textura do solo e inversamente com a umidade do solo (BONINI, 2006).

Os solos podem apresentar valores elevados de resistência à penetração devido à sua gênese ou por consequência do manejo e uso inadequados, sendo que a compactação pode influenciar a absorção de nutrientes (OLIBONE, 2008).

Pesquisas avaliando a densidade do solo ao longo dos anos evidenciam efeito negativo no crescimento e desenvolvimento aéreo e radicular das plantas avaliadas: soja

(ROSOLEM et al., 1994), milho (ROSOLEM et al., 2002; FOLONI et al., 2003), nabo forrageiro (REINERT et al. 2008) e eucalipto (RIBEIRO et al., 2010).

O sistema radicular cresce no sentido de atender sua demanda por água que coincidentemente são locais de menor resistência do solo e quando não encontra água, sofre modificações em seu comprimento e diâmetro, em função da alta resistência do solo seco, originando a expansão de raízes laterais que proliferam e formam uma rede de raízes densas e com menor volume de solo explorado (BORGES et al., 1988; CAMARGO E ALLEONI, 1997).

De maneira geral, se aceita o valor de 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966; CANARACHE, 1990; MEROTTO JÚNIOR E MUNDSTOCK, 1999) como sendo o valor limite ao crescimento radicular da maioria das espécies cultivadas e o solo passa a ser considerado como sendo compactado, porém em função da resistência à penetração estar diretamente relacionada a umidade do solo, apresentando relação inversa, têm sido bastante difícil estabelecer a nível de campo os valores críticos de resistência em função do processo de umedecimento e secagem devidos a chuvas, que alteram rapidamente de uma possível condição limitante para não limitante, em termos de resistência do solo à penetração (SECCO, 2003).

2.3 COMPACTAÇÃO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

O SPD é caracterizado pelo não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura, e manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo (AMARAL et al., 2004). Para Lopes et al., 2004 é um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira, introduzido no sul do Brasil, a partir do início da década de 1970. Seu objetivo básico inicial foi controlar a erosão hídrica. Em solos de igual declividade, o SPD pode reduzir em até 75 % as perdas de solo e em 20 % as perdas de água, em relação às áreas onde há revolvimento do solo (OLIVEIRA et al., 2002). Além das razões agrícolas o SPD visa o fortalecimento dos aspectos ambientais, apresentando maior capacidade desse sistema em armazenar carbono de forma mais estável no solo, contribuindo na menor emissão de gases causadores do efeito estufa (ABDALLA et al., 2010).

O cultivo em SPD teve crescimento mundial significativo, e atualmente é cultivado em quase 117 milhões de hectares, distribuídos, na sua grande maioria, na América Latina (58 milhões ha), EUA e Canadá (40 milhões ha) e Austrália (17 milhões ha) (FAO, 2012). O

sistema vem se expandindo no Brasil desde a década de 70, em que possui uma área estimada no plantio direto de 25 milhões de hectares desde 2005/06 (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2012).

O SPD vem sendo empregado em diversas regiões do Brasil, porém, dependendo do local e da intensidade do tráfego de máquinas, tem provocado a compactação do solo e muitos produtores utilizam como solução a escarificação da área para romper a camada que diminui o crescimento das plantas (MARASCA, 2010). Essa maneira de fazer a descompactação é discutida por alterar as condições naturais do solo, perdendo sua qualidade.

Neste contexto Bonini (2006) afirma que no SPD a compactação do solo ocorre superficialmente e quando o manejo do solo não é realizado de modo adequado modifica os seus atributos físicos. Os principais atributos modificados são a macroporosidade e a densidade do solo. No entanto, para o desenvolvimento das culturas é necessário que exista um volume ideal de poros, principalmente de macroporos, que são responsáveis pela aeração do solo e pela passagem da água. Quando o volume de macroporos é reduzido, dificulta a infiltração e a distribuição da água, a difusividade de gases e a temperatura ideal.

Em pesquisas realizadas ao decorrer dos anos há relatos de aumento da compactação do solo no cultivo em SPD devido ao trânsito de máquinas nas operações de semeadura, tratos culturais e colheita (BARBOSA et al., 2007; NEVES et al., 2007; TAVARES FILHO et al., 2010). Por outro lado Secco (2003) descreve que existem algumas dúvidas, tais como o nível da compactação do solo cultivado no sistema plantio direto que influi negativamente na produção das culturas e, quais os limites críticos dos atributos físico-mecânicos que limitam o pleno desenvolvimento das plantas.

A compactação do solo tornou-se um tema em pauta por pesquisadores e produtores agrícolas, devido a sua ocorrência estar relacionada à baixa no desempenho agrícola. Tal assunto é de total relevância já que o Brasil apresenta índices de desenvolvimento agrícola acima da média mundial, de acordo com o estudo da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, realizado em 2011. O país também lidera a produtividade agrícola na América Latina e Caribe e tem crescimento médio de 3,6 % ao ano.

Para Assis et al. (2009) e Marasca (2010) a compactação pode ser definida como sendo a alteração na estrutura física do solo de modo a reduzir os espaços internos que normalmente são ocupados por água e ar, aumentando a densidade do solo, o que proporciona restrição ao crescimento radicular, afeta a infiltração e a condutividade hidráulica, além de promover alterações nos processos químicos e biológicos no solo, como a disponibilidade de

nutrientes, corroborando com o já mencionado anteriormente Olibone (2008) afirma que a absorção de nutrientes pelas plantas, além de estar intimamente relacionada com a disponibilidade no solo, também é influenciada pelas propriedades físicas e hídricas do mesmo.

A compactação é um dos fatores que afetam o crescimento do sistema radicular das culturas, intensificando fatores ambientais que influenciam no desenvolvimento da parte aérea. Dentre eles, destacam-se o impedimento mecânico, a disponibilidade de oxigênio e nutrientes, a presença de substâncias e elementos tóxicos, dilaceramento radicular, a temperatura e a umidade, e o ataque de pragas e moléstias (TAYLOR E ARKIN, 1981; CAMARGO E ALLEONI, 1997).

2.4 DESCOMPACTAÇÃO DO SOLO

As camadas superficialmente compactadas podem ser fatores limitantes ao desenvolvimento radicular, pois comprometem a capacidade do solo de absorver água. Dessa forma pode influenciar o desenvolvimento vegetativo das plantas, com consequente redução da área foliar, emergência de plantas, desenvolvimento e rendimento de grãos (BONINI, 2006). Reichert et al., 2009, afirmam que quando o volume de macroporos é inferior a 10 % e a D_s está entre 1,25 e 1,3Mg m⁻³, em solo com textura argilosa, há indícios que pode ocorrer restrições ao crescimento radicular e afetar a produtividade das culturas.

A partir deste problema causado pelo SPD sem o correto manejo do solo, se faz necessária a recuperação das qualidades físicas do solo, podendo ser realizada de maneira mecânica – rápida, porém com maior custo e com perda de fatores essenciais a qualidade do solo – e biológica – mais demorada, mas mantendo e, mais do que isso, recuperando os fatores do solo.

A escarificação ou subsolagem é, normalmente, a primeira operação para o preparo do solo realizada pelos agricultores (MARASCA, 2010). Ao contrário das práticas conservacionistas que visam a manutenção das propriedades do solo, elevando sua qualidade, sem agressão a estrutura do solo, atividade microbiana, umidade na camada superficial e presença de macro e microporos.

A descompactação biológica é uma estratégia que menos altera as condições estruturais do solo, fazendo-se necessário o conhecimento a respeito da adaptabilidade e

eficiência de recuperação da qualidade estrutural de solo por parte da espécie vegetal a ser utilizada (HAMZA E ANDERSON, 2005).

Espécies de plantas com sistema radicular bastante agressivo, além de oferecerem proteção da superfície do solo formam canais no solo responsável pelo aumento do movimento de água e a difusão de gases (MÜLLER et al., 2001). As alterações nas propriedades físicas do solo tornam imprescindível a utilização de espécies de cobertura capazes de romper camadas compactadas (GONÇALVES et al., 2006).

A matéria orgânica resultante da decomposição de resíduos vegetais auxilia numa maior concentração de nutrientes na camada superficial do solo. O que é essencial em solos compactados para que haja decréscimo do impedimento físico ao crescimento de raízes, assim resultando em maior disponibilidade de nutrientes na camada acima da compactada proporcionando melhor desenvolvimento da cultura subsequente (OLIBONE, 2008). Desta forma, torna-se importante a utilização de espécies que possuem sistema radicular profundo e ramificado para retirar nutrientes de camadas subsuperficiais, e liberá-los, gradualmente, nas camadas superficiais, durante a decomposição (FIORIN, 1999).

Porém Klein (1998), em pesquisa sobre a densidade do solo em área de SPD submetido a diferentes manejos em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico, com 3 anos de plantio direto, concluiu que a descompactação do solo persiste por aproximadamente um ano, e que segundo ele, isso demonstra que o efeito da descompactação do solo em áreas com plantio direto não é muito duradouro, e que após um certo período o solo tende novamente a ser compactado, ou por adensamento natural ou pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas sobre a superfície do solo com umidades elevadas, chegando a níveis semelhantes ao solo não descompactado. Essa afirmação leva a outro propósito, o de rotação de culturas com o permanente cultivo de plantas recuperadoras da qualidade do solo.

2.4.1 REESTABELECIMENTO DA ESTRUTURA DO SOLO

Moraes (2013) em pesquisa sobre a qualidade física do solo cita que a utilização de sistemas de rotação de culturas que contemplem plantas com elevado potencial de produção de fitomassa e dotadas de um sistema radicular abundante e agressivo vem sendo indicada como opção para evitar a formação de camadas compactadas e melhorar a qualidade física do solo.

As plantas ditas descompactadoras apresentam potencial de rompimento de camadas de impedimento mecânico uniformemente, além de contribuírem para a melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO E ALLEONI, 1997).

Espécies com sistema radicular pivotante, como o guandu, crotalária, crambe e o nabo forrageiro, produzem menor quantidade de bioporos, apesar de possuírem maior capacidade de romper camadas compactadas (FOLONI et al., 2006).

Planta herbácea anual de ciclo curto, o crambe tolera temperaturas baixas e geadas, possui um agressivo sistema radicular pivotante, sendo que o aprofundamento do mesmo no solo expressa a característica de tolerância à seca (FUNDAÇÃO MS, 2007), e a partir dessa resistência e potencial começa a ser pesquisado quanto ao seu potencial recuperador de camadas compactadas, além de possuir alta produtividade de sementes (1000 e 1500 kg ha⁻¹), baixo custo de produção, e um percentual de óleo total na semente que fica entre 26 e 38% (PITOL, 2008).

Pela introdução de espécies com sistema radicular agressivo e pelo acúmulo de resíduos orgânicos de distintas naturezas e quantidades, a rotação de culturas pode alterar as propriedades físicas do solo, dessa maneira o crambe pode contribuir significativamente na melhoria da qualidade do solo e na produção de biocombustível (SPERA et al., 2012).

2.5 ENERGIA E MEIO AMBIENTE

Para o pleno estabelecimento da sustentabilidade agrícola além de trabalhar com sistemas menos agressivos ao solo, pode-se aliar o desenvolvimento de culturas com potencial recuperador da qualidade ambiental com a produção de energia alternativa. Desta forma trabalha-se com o ciclo fechado, tanto citado pelas ações ambientais, contando com sistema de cultivo com menor potencial agressor, planta com benefícios ao solo e produzindo uma nova alternativa de combustível limpo.

A lógica na evolução da matriz energética mundial é a da substituição das fontes de energia fósseis por outras práticas mais sustentáveis, isto é, a substituição da energia produzida pela lenha, carvão, petróleo e outros, pela energia limpa e renovável (FONTANELLA, 2012).

Na visão de Simon (2009), o Brasil é um dos países do mundo que reúne o maior quantitativo de vantagens comparativas para liderar a agricultura de energia. A primeira vantagem comparativa que se destaca á perspectiva de incorporação de áreas à agricultura de

energia, sem competição com a agricultura de alimentos, e com impactos ambientais circunscritos ao socialmente aceito. O segundo aspecto a considerar é a possibilidade de múltiplos cultivos dentro do ano calendário.

Os biocombustíveis são uma das alternativas para o setor de transportes. Além da expectativa de diminuição das reservas de petróleo e com a possibilidade da escassez do mesmo, há a grande e crescente preocupação com a preservação e proteção do meio ambiente, pois os combustíveis fósseis são grandes poluidores, seja pela emissão de gases do efeito estufa durante a combustão, seja pelo descarte de resíduos ou pelos derramamentos que eventualmente ocorrem no mar e no solo (NGUYEN et al., 2007).

Uma gama de culturas tem sido utilizada com o intuito de ampliar as possibilidades de produção sustentável de energia a partir da biomassa, sendo que as espécies variam de acordo com a região, pelas condições de clima e tempo (FONTANELLA, 2012).

Em pesquisa realizada por Simon (2009) as principais culturas produtoras de biodiesel são: a soja e o girassol, com destaque para a soja. Elas apresentam um grande número de informações técnicas geradas pela pesquisa envolvendo os sistemas de produção. Mas temos potencial para cultivar outras plantas oleaginosas que não são alimentícias, assim deixando de competir com o setor. Ainda faltam pesquisas mais intensificadas para o crambe, por exemplo. É necessário aprofundar os estudos em diversas áreas da agronomia visando aumentar a produtividade e a produção de biodiesel e, como consequência, a rentabilidade do produtor rural.

A soja é uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal sendo utilizada mundialmente, na alimentação humana e animal. Na safra de 2008/09 a soja ocupou 21,7 milhões de hectares de área plantada, produzindo 57 milhões de Mg, com uma produção média nacional de 2,6 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2009). De acordo com a Embrapa, em 2006, do total da produção de soja brasileira, 42,2 % (22,3 milhões de toneladas) foi destinada a exportação e 56 % (29,7 milhões de toneladas) destinada ao esmagamento, sendo produzidos aproximadamente 5,7 milhões de litros de óleo, dos quais 45 % designado a exportação e 54 % para o consumo interno.

O teor de óleo é de 18 a 20 % do peso dos grãos, sendo que é a cultura responsável por 90 % da produção de óleo em nível nacional, com um rendimento de óleo de aproximadamente 400 L ha⁻¹. A soja pode ser considerada uma das grandes opções para estimular o início de um programa de obtenção de biodiesel. Além da extensão de área e da escala de produção, a cadeia produtiva da soja é altamente organizada (Simon, 2009).

A cultura do girassol ocupa o quarto lugar na participação mundial de oleaginosas para produção de óleos, com crescimento de 33,3 % entre as safras de 2002/03 e 2006/07 (CASTRO, 2007).

O girassol tem despertado interesse entre os produtores brasileiros, pois a possibilidade de sua utilização na produção de biodiesel está incentivando a produção. A produção de óleo por esta cultura gira em torno de 800 L ha⁻¹ (SIMON, 2009).

O crambe é uma planta que dentre suas diversas vantagens pode-se destacar a precocidade, a alta produtividade de sementes (1000 e 1500 kg ha⁻¹), o baixo custo de produção, e um percentual de óleo total na semente que fica entre 26 e 38 % (PITOL, 2008).

Jasper et al. (2010) em sua pesquisa definiram que nas operações mecanizadas o custo por hectare para o crambe foi R\$ 243,16 ha⁻¹, contra R\$ 180,91 ha⁻¹ para canola, R\$ 296,98 ha⁻¹ para o girassol e R\$ 292,99 ha⁻¹ para soja, sendo que para todas as culturas o custo da colheita foi o mais significativo entre as operações mecanizadas. Para os insumos utilizados, o custo por hectare para o crambe foi de R\$ 593,82 ha⁻¹. Para o custo por litro de óleo, o crambe apresentou o menor valor entre as culturas analisadas, com o custo de R\$ 1,56 L⁻¹.

2.5.1 CRAMBE

Devido ao crambe ser uma cultura de inverno, tem despertado interesse, por ser mais uma opção rentável para a safrinha e rotação de culturas, além de surgir como uma alternativa para a produção de matéria prima para o biocombustível (PANNO E PRIOR, 2009). Pesquisas com o crambe no Brasil iniciaram-se pela Fundação MS como o objetivo de avaliar o seu comportamento como cultura para cobertura do solo em sistema plantio direto (PITOL, 2008). Os primeiros estudos com o crambe visavam à produção de biomassa para cobertura do solo no sistema plantio direto, porém apresentou desempenho inferior a outras culturas já estabelecidas, como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) (FARIA JÚNIOR, 2013).

É uma planta da família Brassicaceae, também conhecidas como família das crucíferas, da qual fazem parte plantas como a mostarda (*Brassica campestris* L.), a canola (*Brassica napus* L.) e a nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) (HERBARIO IAC, 2013).

Planta herbácea anual possui em torno de 1 m de altura, ramifica-se próxima ao solo para formar galhos (trinta ou mais), os quais se ramificam, formando galhos terciários. Suas

folhas são ovais e assimétricas, flores brancas que produzem inúmeras sementes (OPLINGER et al., 1991).

Seu fruto é uma siliquia de forma esférica inicialmente verde, tornando-se amarelo com a maturidade e distribuído por todos os galhos da planta. Cada siliquia possui uma semente de cor verde ou marrom esverdeado com diâmetro entre 0,8 a 2,5 mm (DESAI et al., 1997).

Para Rudolff e Wang (2012), existem três razões que fizeram e ainda fazem do crambe uma cultura oleaginosa única: entre as brássicas é a espécie que mais contém ácido erúico, de grande interesse industrial; possui grande rendimento, se comparado à colza, necessitando, no entanto de menos esforços de cultivo; além de não hibridizar naturalmente com outras brássicas.

Considerada oleaginosa de inverno, totalmente mecanizável, é empregada na rotação de culturas em sistemas de produção de grãos e demonstra-se uma opção de cultivo aos agricultores na safrinha (FERREIRA e SILVA, 2011).

Apesar de ser rústica, esta requer semeadura em solos férteis, profundos e corrigidos, com pH acima de 5,8 e baixa saturação por alumínio. Considerada recicladora de nutrientes do solo, aproveita adubações residuais de espécies antecessores e responde a adubações no plantio. Apesar de responder aos nutrientes, não há especificação da dosagem de adubo aplicado (LUNELLI, 2011).

Glaser (1996) em pesquisa a doenças no crambe relata a presença de mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e manchas de alternária (*Alternaria* sp.) em épocas de muita umidade, canela preta (*Leptosphaeria maculans*) e podridão de raiz causada por *Pythium*, além de redução na germinação e vigor das sementes quando infectadas por *Alternaria*.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada, com temperatura de 25 ± 5 °C, umidade controlada com variação de 80 % a 100 %, tipo túnel alto, com cobertura de polietileno transparente instalada nas dependências da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Cascavel - Paraná, latitude $24^{\circ}53'47''$ S e longitude $53^{\circ}32'09''$ W.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DADOS CLIMATOLÓGICOS

O solo é um Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa, relevo suave ondulado, substrato basalto (EMBRAPA, 2006). O clima da região apresenta-se como temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa (koeppen), com precipitação média anual de 1800 a 2000 mm e temperatura média de 19 °C (IAPAR, 2010).

As características químicas do solo foram caracterizadas a partir de amostras coletadas nos vasos a uma profundidade 0 – 20 cm, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo utilizado

Elemento	2012	2013
Alumínio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)	Não detectado	0,05
H + Alumínio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)	6,9	7,2
Cálcio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)	1,82	5,33
Magnésio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)	0,43	3,17
Potássio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)	0,72	0,4
Fósforo ($\text{mg}.\text{dm}^{-3}$)	1,05	5,0
Matéria Orgânica ($\text{g}.\text{dm}^{-3}$)	36,86	21,81
Soma de Bases ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)	2,97	8,9
CTC ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)	9,86	16,10
Saturação por Bases (%)	29,6	55,27
pH CaCl_2	5,8	4,9

3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com os seis níveis de densidade e com irrigação total e interrompida na floração, assim caracterizando um fatorial de 6x2.

O delineamento experimental foi composto por 48 vasos tipo PAD (Polietileno de Alta Densidade) de 20 cm de diâmetro, com altura de 70 cm cada. O solo para o preenchimento dos vasos foi coletado em um Latossolo oriundo da área do Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA). O solo utilizado para preencher os vasos foi coletado de acordo com o encontrado a campo, ou seja, a camada inferior de solo (até 60 cm) encontrava-se na subsuperfície e para a camada superficial do vaso (10 cm) foi coletado na superfície do Latossolo.

As densidades estabelecidas, configuradas como sendo os tratamentos foram de 0,9; 0,99; 1,08; 1,17; 1,26 e 1,35 Mg m^{-3} .

Para que as densidades fossem alcançadas realizaram-se cálculos da massa total de solo a ser compactada para completar o volume até 60 cm de altura do vaso. Desta forma obteve-se as respectivas massas para as densidades $D_s = 0,9 \text{ Mg m}^{-3} = 17 \text{ kg}$; $D_s = 0,99 \text{ Mg m}^{-3} = 18,7 \text{ kg}$; $D_s = 1,08 \text{ Mg m}^{-3} = 20,4 \text{ kg}$; $D_s = 1,17 \text{ Mg m}^{-3} = 22,1 \text{ kg}$; $D_s = 1,26 \text{ Mg m}^{-3} = 23,8 \text{ kg}$ e $D_s = 1,35 \text{ Mg m}^{-3} = 25,5 \text{ kg}$.

O procedimento para a montagem das colunas foi progressivo de acordo com as densidades. Nas densidades de 0,9; 0,99 e 1,08 Mg m^{-3} o solo foi disposto no vaso com o auxílio de balde plástico, sem a necessidade de ser prensado, no caso das densidades 0,99 e 1,08 Mg m^{-3} necessitou-se de batidas manuais no corpo do vaso para alcançar a altura de 60 cm da base. Para a próxima densidade (1,17 Mg m^{-3}) o volume do solo foi dividido em três partes iguais e prensado de 20 em 20 cm, até alcançar o volume calculado para a altura do vaso. Enquanto que nas maiores densidades (1,26 e 1,35 Mg m^{-3}) o volume do solo foi dividido em 4 partes iguais e prensado de 15 em 15 cm desde a base do vaso até a altura de 60 cm.

Na montagem das colunas, o solo foi colocado nos vasos prensando-se manualmente sobre uma superfície circular por meio de golpes do embolo de madeira, sendo prensada a massa de solo referente às diferentes densidades, semelhante ao realizado por Silva et al., 2012.

A camada superficial (10 cm) foi composta por solo solto e peneirado para a germinação ocorrer com uniformidade em todas as densidades, assim não comprometendo o desenvolvimento inicial do crambe.

O crambe foi cultivado nos meses de setembro a dezembro de 2012 e de abril a agosto de 2013. Foram plantadas 10 sementes por vaso, com germinação a partir dos três dias após a sementeira, que ao serem desbastadas permaneceram 4 plantas por vaso com ocorrência dos primeiros botões florais, aproximadamente, aos 43 dias após a germinação. A colheita foi realizada entre 95 e 110 dias após a sementeira na totalidade das plantas. Os dados analisados foram: altura de planta, diâmetro de caule, massa fresca da planta, massa fresca da semente, massa seca de planta, massa seca da semente, número de sementes, número de folhas (após aplicação da restrição hídrica), profundidade, volume e massa seca de raízes. Os dados de raízes foram avaliados somente no segundo ano.

Cada unidade experimental recebeu irrigação de acordo com a evapotranspiração (medida por evaporímetro), multiplicando-se o K_c (coeficiente de evapotranspiração cultura) do nabo (*Raphanus sativus*) que é a razão entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o). É variável de acordo com o estágio fenológico da cultura, podendo atingir, por exemplo, valor superior à unidade na fase reprodutiva de muitas culturas; $K_c = ET_c / ET_o$.

Como ainda não se tem essa informação para o crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst) foi utilizado o K_c do nabo que é da mesma família do crambe, pertencendo as duas culturas a família brassicaceae, com ciclos semelhantes.

O K_c utilizado podendo ser visualizado na Tabela 2. Como exemplo: A evapotranspiração foi medida por um mini tanque evaporímetro (EVM) num intervalo de 2 ou 3 dias, dependendo da umidade do solo, após medida a água evapotranspirada, essa é multiplicada pelo K_c , de acordo com a fase que a planta se encontra, após o cálculo obteve-se o volume de água para irrigação de cada unidade experimental (vaso).

Tabela 2. Requerimento de água nas diferentes fases da cultura do nabo

Requerimento de água	Dias após a sementeira
K_c 0,91	27
K_c 1,42	48
K_c 0,92	74
K_c 0,71	94
K_c 0,56	108

FONTE: FIETZ et al., 2008

A partir dos 65 dias da semeadura foram submetidos a restrição hídrica 24 unidades experimentais, tal procedimento teve como objetivo avaliar a interação dos níveis de densidade com a falta de água no período da floração e enchimento dos grãos do crambe. Também a partir da restrição hídrica foram realizadas contagens das folhas até a colheita.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e análise de regressão considerando nível de significância a 10 % de probabilidade pelo teste F. Nesta etapa utilizou-se o programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre as variáveis formas de irrigação e densidade do solo, para nenhuma das variáveis (Tabela 3). Uma possível explicação pode estar relacionada ao fato da planta ter se adaptado às condições de umidade e temperatura ambiente da estufa, como também pode ter sido pelas características morfológicas do crambe, como a raiz pivotante que rompeu as camadas compactadas e supriu a necessidade hídrica da planta, opondo-se aos resultados de Silva et al. (2012) que definiu o crambe como sensível a compactação.

Tabela 3. Variáveis fenométricas e rendimento de grãos do crambe em função das densidades e formas de irrigação nos anos de 2012 e 2013

Variável Fenométrica	ANOVA							
	I		Ds		I x Ds		CV %	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Altura de Planta (cm)	0,76	0,03*	0,01	0,10	0,59	0,77	20,18	13,32
Diâmetro do Caule (cm)	0,87	0,06¹	0,33	0,05	0,95	0,78	29,66	14,31
MFp (g)	0,45	0,57	0,16	0,11	0,96	0,61	55,19	46,55
MSp (g)	0,78	0,99	0,04	0,00	0,78	0,58	55,48	30,78
Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	0,11	0,006**	0,08	0,30	0,93	0,16	67,47	50,10

I = formas de irrigação. Ds = densidade. CV % = coeficiente de variação em porcentagem. MFp = massa fresca da planta. MSp = massa seca da planta. *, ** e ¹ = diferença estatística pelo Teste de Tukey a 1%, 5% e 10% de probabilidade, respectivamente

Analisando a variável forma de irrigação isoladamente, tem-se que a altura das plantas, o diâmetro do caule e o rendimento de grãos sofreram influencia do manejo da irrigação no ano de agrícola de 2013. A falta de água em qualquer dos períodos de desenvolvimento da planta reflete em perda de qualidade, constatação comprovada estatisticamente para o cultivo do crambe em 2013, porém contrário a 2012 que não apresenta diferença estatística para nenhuma das variáveis. O período de cultivo do crambe pode ser a

explicação para tal verificação, que em 2012 foi de setembro a dezembro e em 2013 de abril a agosto. Apresentando-se o crambe uma oleaginosa de inverno, apesar de ter sido cultivado em estufa protegida, possivelmente se adaptou as condições do período mais quente (FERREIRA e SILVA, 2011).

A Figura 1 representa o comportamento da altura das plantas de crambe em relação à densidade do solo, nos anos de 2012 e 2013.

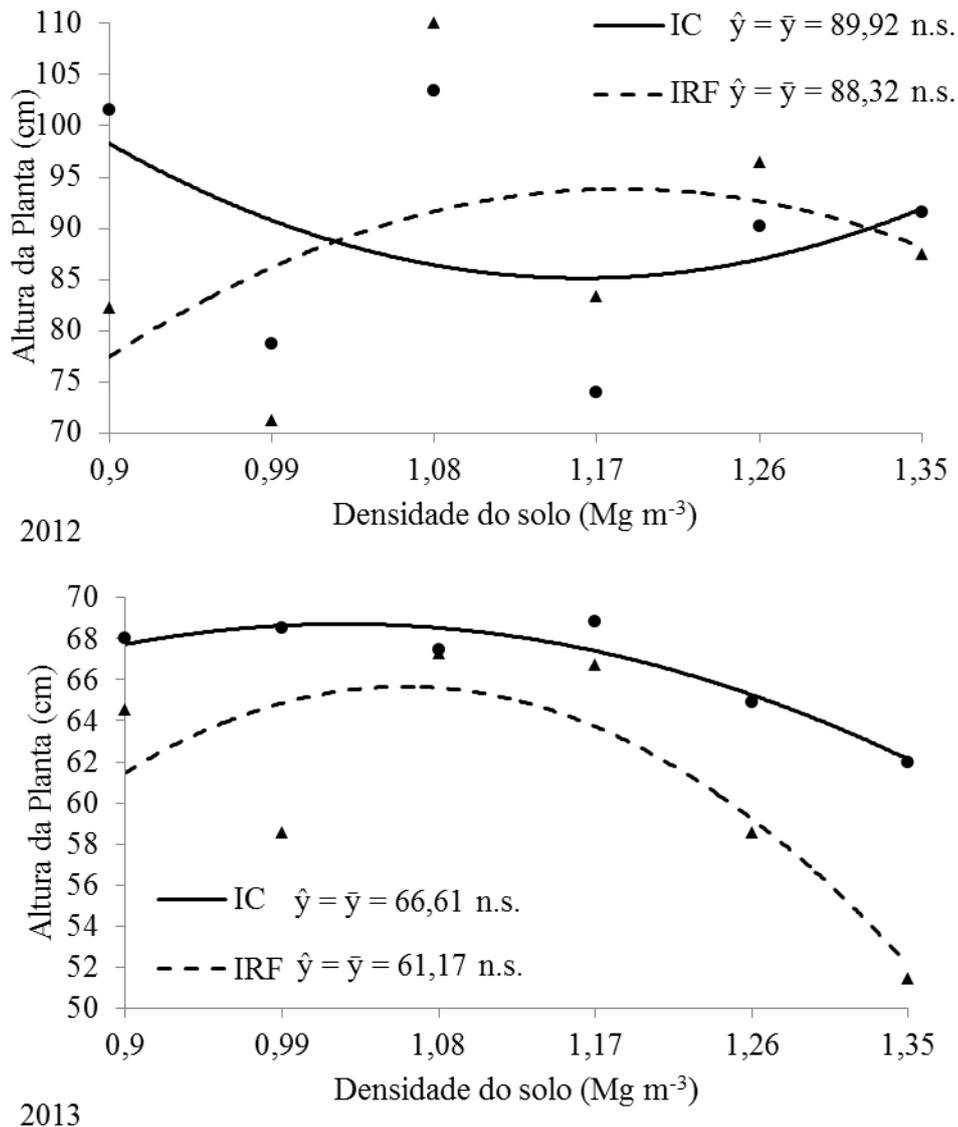


Figura 1. Altura de plantas em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo a 10% de probabilidade.

Maekawa Junior et al. (2010), pesquisando a produtividade do crambe afirmaram que a altura das plantas não foi influenciada pelos tratamentos adubação, espaçamentos e

densidade de plantas. Conforme o observado na Figura 1, as formas de irrigação (continuada e restrita no florescimento) também não apresentaram influência significativa.

Dalchiavon et al. (2012) ao avaliarem a altura do crambe em diferentes épocas do ciclo, constataram que a altura apresenta alteração até os 30 dias do cultivo, podendo ser este o fator que refletiu a falta de significância da análise de regressão da altura das plantas de crambe.

A Figura 2 apresenta a variação do diâmetro do caule do crambe em relação à densidade do solo, nos anos de 2012 e 2013.

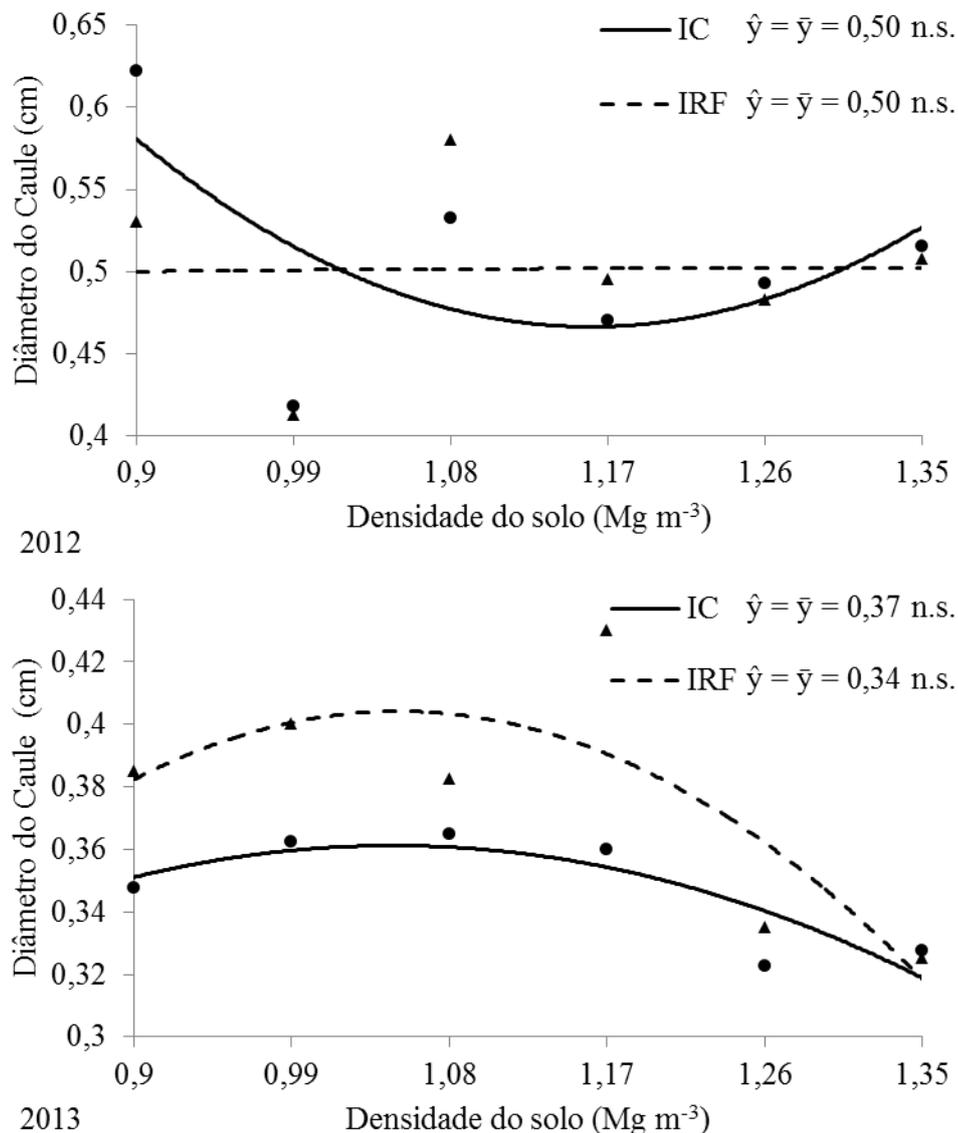


Figura 2. Diâmetro do caule do crambe em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo a 10% de probabilidade.

Zahedi et al. (2011), observaram diminuição do diâmetro do caule da canola em situação de estresse hídrico. Em pesquisa com o crambe, Silva et al. (2012), também

encontraram menor diâmetro de caule para a maior densidade do solo, semelhante ao que pode ser visualizado na Figura 2. O diâmetro tende a diminuir, mesmo sem efeito significativo, com o aumento da densidade do solo na irrigação continuada, já para a irrigação restrita no florescimento o diâmetro do caule tem comportamento diferente para os dois anos do experimento, levando assim a necessidade de testes com maiores densidades para verificar a tendência do aumento, ou não, do diâmetro do caule.

Na Figura 3 têm-se os resultados do rendimento de grãos de crambe em relação à densidade do solo, nos anos de 2012 e 2013.

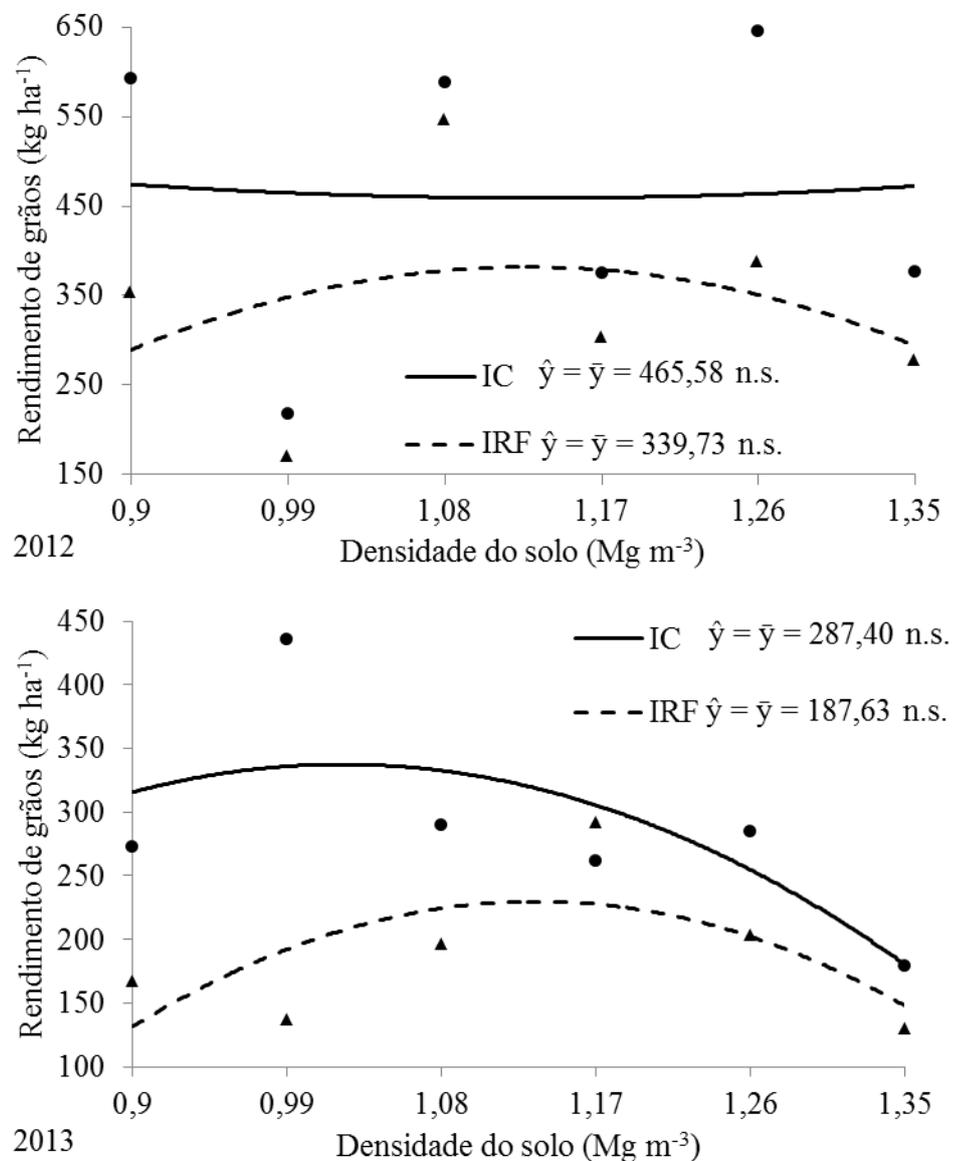


Figura 3. Rendimento de grãos do crambe em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo a 10% de probabilidade.

Nos dois anos do experimento o rendimento de grãos não apresentou efeito significativo, podendo ser observado na Figura 3, com grande variabilidade nas médias do rendimento, independente do manejo da irrigação. Uma possível explicação pode estar associada ao ambiente úmido da estufa que possibilitou absorção de água pela planta, garantindo produção mínima mesmo com restrição hídrica.

Maior produtividade foi alcançada no tratamento menos compactado e no menos irrigado, em pesquisas de Oliveira et al. (2012), provavelmente pela melhor estrutura do solo. Agregando as constatações anteriores Bonini et al. (2011), ao pesquisar a soja com diferentes níveis de compactação, encontraram diminuição de produtividade quando a densidade do solo foi aumentada. Quanto maior a densidade do solo maior a resistência à penetração e menor a infiltração de água e trocas gasosas no solo. SECCO et al. (2009), trabalhando em dois Latossolos argilosos também observaram decréscimo na produtividade de trigo quando a densidade foi de 1,50 Mg m⁻³.

Conforme o apresentado pela Tabela 4 verifica-se que não houve interação para as variáveis, formas de irrigação e densidade do solo em nenhuma época de contagem das folhas do crambe.

Tabela 4. Número de folhas do crambe em função das densidades e formas de irrigação nos anos de 2012 e 2013

Contagem das folhas	ANOVA							
	I		Ds		I x Ds		CV %	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
NF1	0,84	0,08¹	0,59	0,01	0,54	0,53	56,93	21,89
NF2	0,46	0,29	0,40	0,00	0,73	0,75	65,36	26,27
NF3	0,31	0,23	0,23	0,05	0,71	0,55	70,04	32,88
NF4	0,17	0,14	0,22	0,08	0,85	0,63	67,73	45,14
NF5	0,20	0,29	0,08	0,42	0,97	0,63	72,33	62,59
NF6	0,26	0,29	0,09	0,42	0,99	0,63	82,54	62,59

I = irrigação. IC = irrigação continuada. IRF = irrigação restrita no florescimento. Ds = densidade. CV % = coeficiente de variação em porcentagem. NF1 = 1ª contagem de folhas. NF2 = 2ª contagem. NF3, NF4, NF5 ... NF6 = 6ª contagem de folhas. ¹ = diferença estatística pelo Teste de Tukey a 10% de probabilidade

Apesar de não haver interação das variáveis, apresenta-se influência significativa independente para a primeira contagem das folhas em relação à forma de irrigação em 2013 (Figura 4).

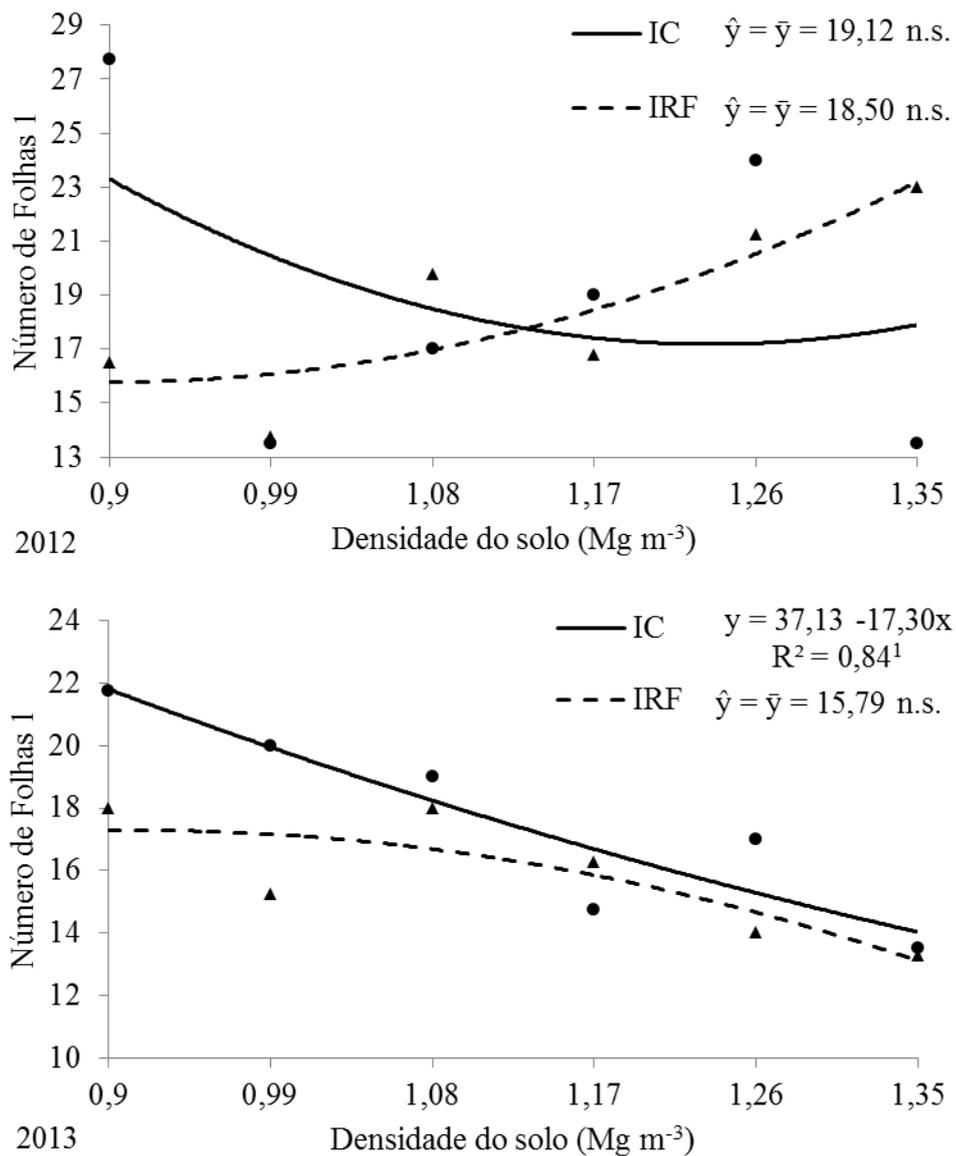


Figura 4. Número de folhas 1 em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo, ¹ significativo a 10% de probabilidade.

A densidade do solo influenciou diretamente o número de folhas na primeira contagem para a irrigação continuada, no ano de 2013, ajustando-se com $R^2 = 0,84$.

A Figura 5 apresenta a regressão linear para a segunda contagem das folhas em relação à densidade do solo.

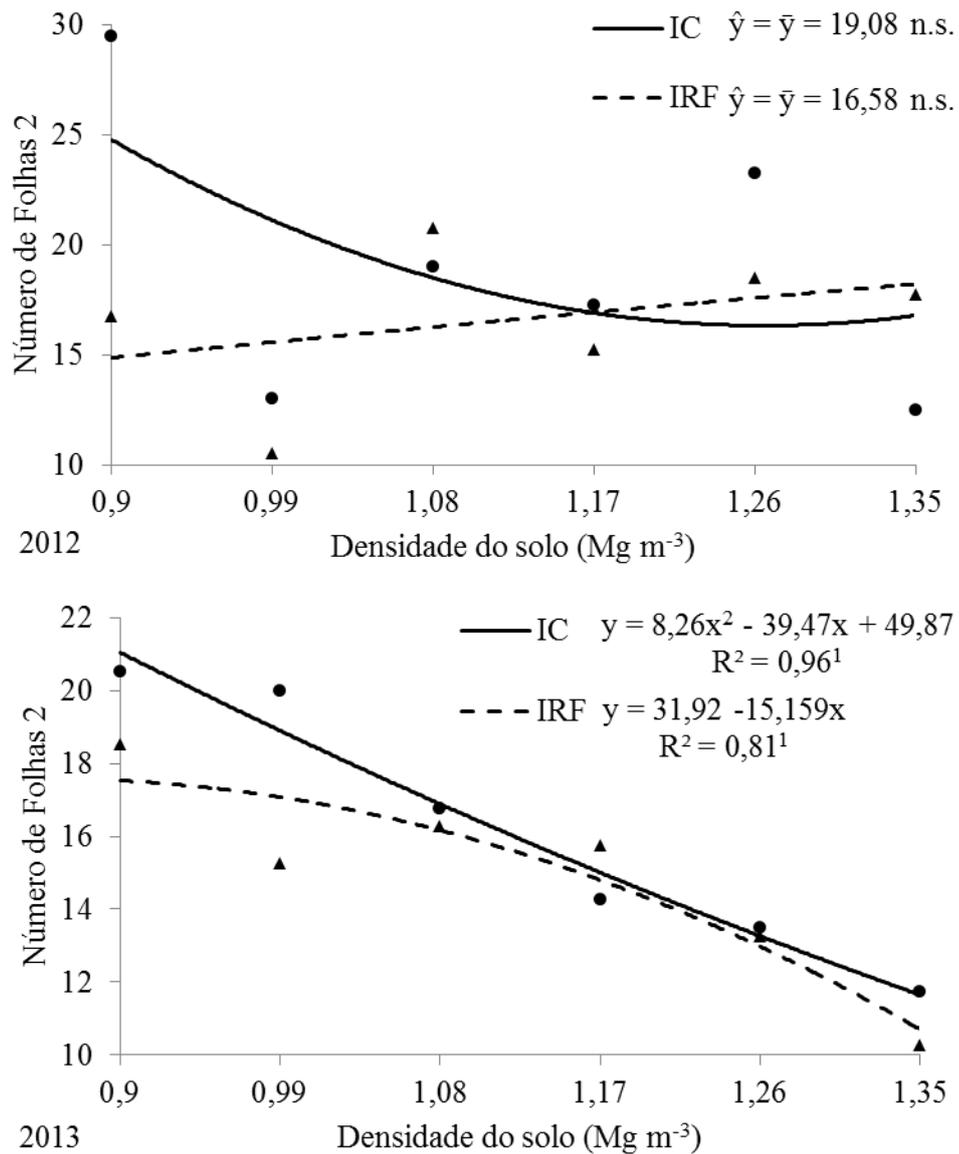


Figura 5. Número de folhas 2 em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo, ¹ significativo a 10% de probabilidade.

Como o visualizado na Figura 5, no ano de 2013 houve ajuste significativo para o número de folhas, independente da forma de irrigação. Quando a irrigação é continuada existe um maior número de folhas, porém o decréscimo é facilmente observado, da mesma forma, na restrição hídrica após o florescimento.

A terceira contagem das folhas em relação à densidade do solo é demonstrada na Figura 6.

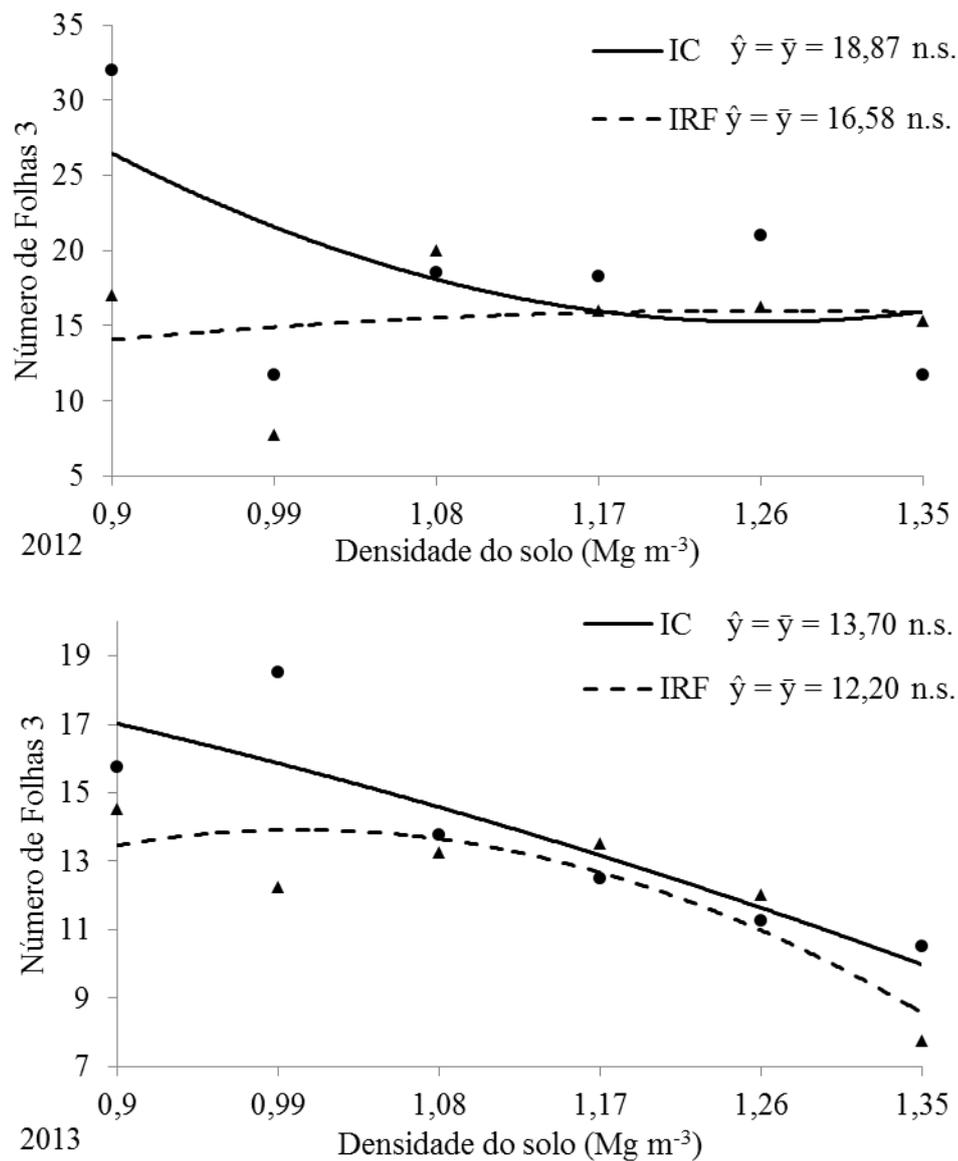


Figura 6. Número de folhas 3 em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo a 10% de probabilidade.

Conforme a Figura 6 apresenta, não há efeito significativo para este período de contagem das folhas.

Apresenta-se a seguir, na Figura 7, a quarta contagem das folhas em relação à densidade do solo.

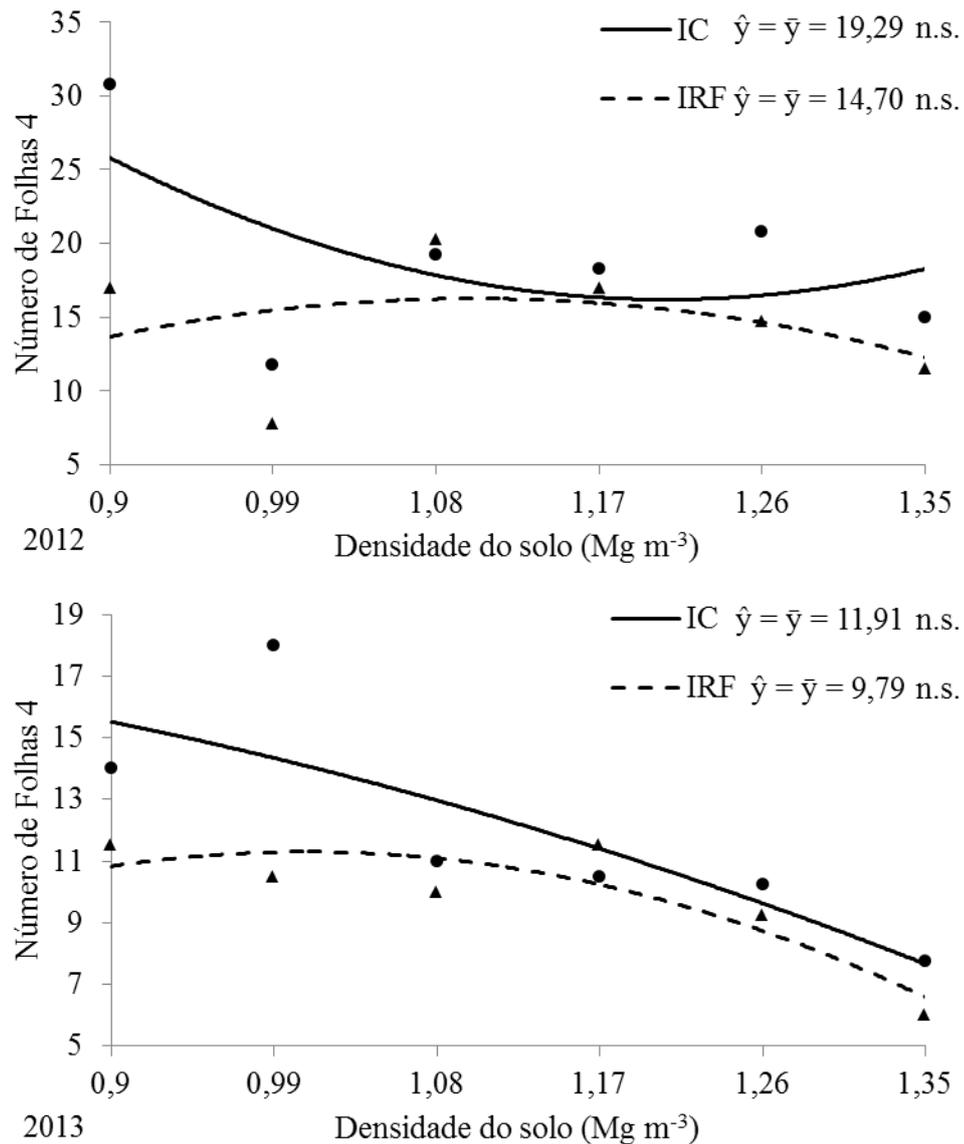


Figura 7. Número de folhas 4 em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo a 10% de probabilidade.

Como na contagem anterior das folhas, não houve influencia significativa para o número de folhas e as densidades do solo.

A Figura 8 demonstra a regressão linear para a quinta contagem das folhas em relação à densidade do solo.

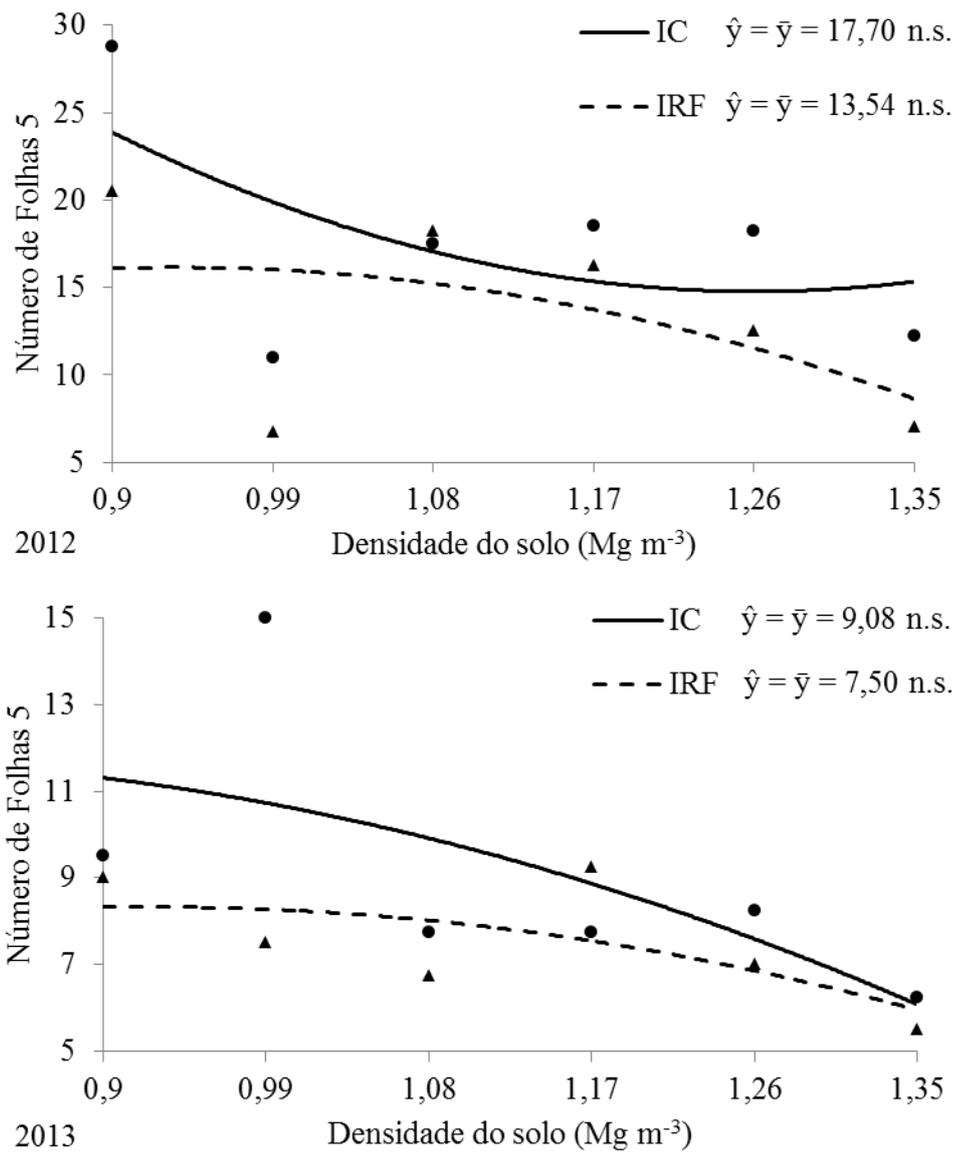


Figura 8. Número de folhas 5 em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo a 10% de probabilidade.

Como nas duas contagens anteriores, a quinta contagem das folhas não apresentou efeito significativo para o número de folhas e as densidades do solo.

Na Figura 9 é apresentada a regressão linear da sexta contagem das folhas em relação à densidade do solo.

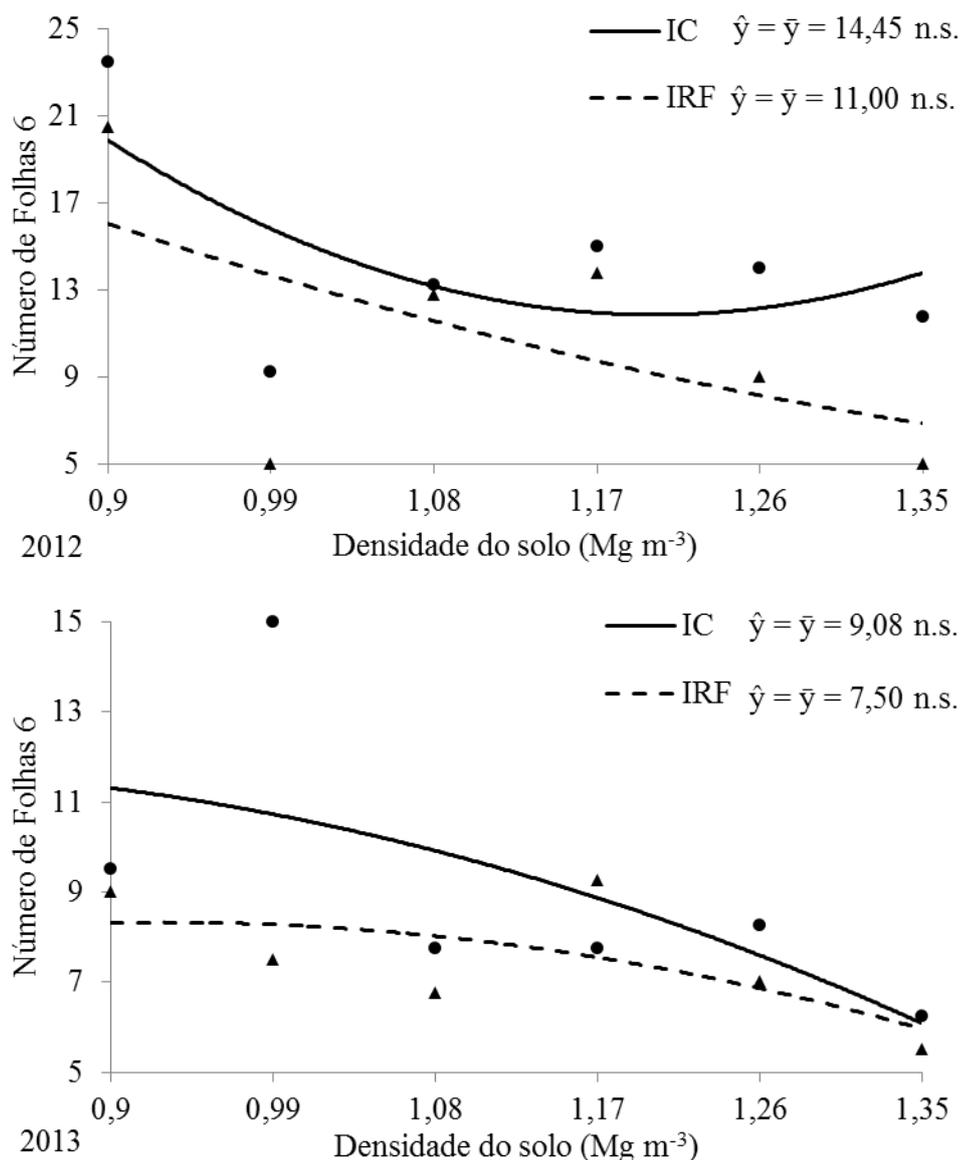


Figura 9. Número de folhas 6 em função da densidade e formas de irrigação. n.s. = não significativo a 10% de probabilidade.

Na última contagem das folhas pode-se observar que, também, não houve efeito significativo do número de folhas com as densidades do solo analisadas.

Nos primeiros e segundos períodos de contagem das folhas de 2013, Figuras 4 e 5, representam o período de florescimento, o número de folhas do crambe apresentou influencia significativa para a variável densidade do solo. O que pode ser explicado pelo fato de que o número final de folhas aumenta conforme a fase vegetativa se alonga, o que indica uma relação entre o número de folhas e o desenvolvimento vegetal (Streck et al., 2006), indicando assim um alongamento do período da fase vegetativa do crambe em 2013.

As plantas submetidas ao estresse progressivo diminuiram o número de folhas por planta em decorrência principalmente das folhas mais velhas estarem morrendo (DIAS FILHO et al., 1989). Apesar da concordância com o decréscimo das folhas, o crambe não perdeu suas folhas por estar em período de maturação e sim como resposta ao déficit hídrico, nas segunda e terceira contagens, mantendo-se estável, a partir daí até a última contagem. Isso demonstra que no período de florescimento o crambe é suscetível à seca (JASPER, 2009), podendo perder em produtividade.

De acordo com o apresentado pela Tabela 5, para a variável profundidade da raiz houve interação significativa para as variáveis avaliadas ($p \leq 0,1$). Indicando sinergia do manejo da irrigação com a densidade do solo. Quando a raiz tem impedimentos físicos para se desenvolver ocorrem modificações na sua morfologia, com redução de crescimento e aumento no diâmetro (BORGES et al., 1998). Corroborando com Beutler e Centurion (2004), que mencionaram a compactação como impedimento do crescimento de raízes e diminuição do volume de solo explorado pelo sistema radicular e, conseqüentemente, redução da altura de plantas.

Tabela 5. Elementos da raiz do crambe em função das densidades e formas de irrigação no ano de 2013

Elementos da raiz	ANOVA			
	I	Ds	I x Ds	CV %
Profundidade (cm)	0,56	0,00	0,01*	21,60
Volume (cm ³)	0,58	0,00	0,42	42,16
Massa seca (g)	0,58	0,00	0,94	45,75

I = irrigação. Ds = densidade. CV = coeficiente de variação em porcentagem. * = diferença estatística pelo Teste de Tukey a 1% de probabilidade

Como pode ser observado na Tabela 5, a profundidade da raiz tem decréscimo significativo com o aumento da densidade do solo, constatação semelhante a Seidel et al. (2009), ao pesquisar o milho e Silva et al. (2012) pesquisando o crambe, ambos em diferentes densidades de solo.

Apesar disso, na irrigação continuada, houve correlação da densidade com a profundidade das raízes, concordando com o descrito por Reichert et al. (2003), que propuseram densidade do solo crítica para solos argilosos 1,30 a 1,40 Mg m⁻³, havendo decréscimo da profundidade quando a densidade foi maior.

Como houve interação entre as variáveis para a profundidade da raiz fez-se necessário o desdobramento, Tabela 6.

Tabela 6. Desdobramento dos valores médios de profundidade da raiz do crambe em função das densidades e formas de irrigação no ano de 2013 (valores médios de 4 repetições)

Ds (Mg m^{-3})	Profundidade da raiz (cm)	
	IC	IRF
0,9	82,28 aA	67,87 bAB
0,99	86,37 aA	69,07 bAB
1,08	71,62 aAB	81,56 bAB
1,17	62,73 aAB	94,62 aA
1,26	34,63 aB	36,73 bB
1,35	35,33 aB	36,73 bB

IC = irrigação continuada. IRF = irrigação restrita no florescimento. Ds = densidade. Médias de tratamentos seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade. Diferença mínima significativa da linha = 28,96. Diferença mínima significativa da coluna = 46,22

A análise do desdobramento, para a profundidade da raiz, na variável formas de irrigação dentro de cada densidade do solo revelou efeito significativo para a Ds = 1,17 Mg m^{-3} , demonstrando que a raiz do crambe se aprofunda mais na citada densidade quando há restrição hídrica.

Em período de seca, torna-se mais difícil às plantas absorverem água, devido ao aumento da força de retenção e diminuição da disponibilidade de água no solo às plantas. A redução de água no solo causa significativa variação radicular, o que foi positivo ao crambe, conforme apresentado na Tabela 6. Porém, Reinert et al. (2008) definiram como densidade crítica para um Argissolo Vermelho distroférico muito argiloso 1,75 Mg m^{-3} , assim sendo necessárias maiores pesquisas relacionando crescimento radicular do crambe com maiores densidades de solo.

4.7 REGRESSÃO LINEAR PARA O SISTEMA RADICULAR

Um dos fatores que interferem no desenvolvimento das culturas é o crescimento radicular, que pode ser influenciado por diversos fatores podendo ser divididos em químicos, como nutrientes e elementos tóxicos, e físicos, como resistência mecânica à penetração, disponibilidade hídrica e aeração (ROSOLEM, 1994).

Um dos elementos da raiz que pode ter influencia quando o solo está compactado é a profundidade que a mesma alcança. Na Figura 12 é possível visualizar o comportamento da profundidade da raiz do crambe frente ao aumento da densidade do solo.

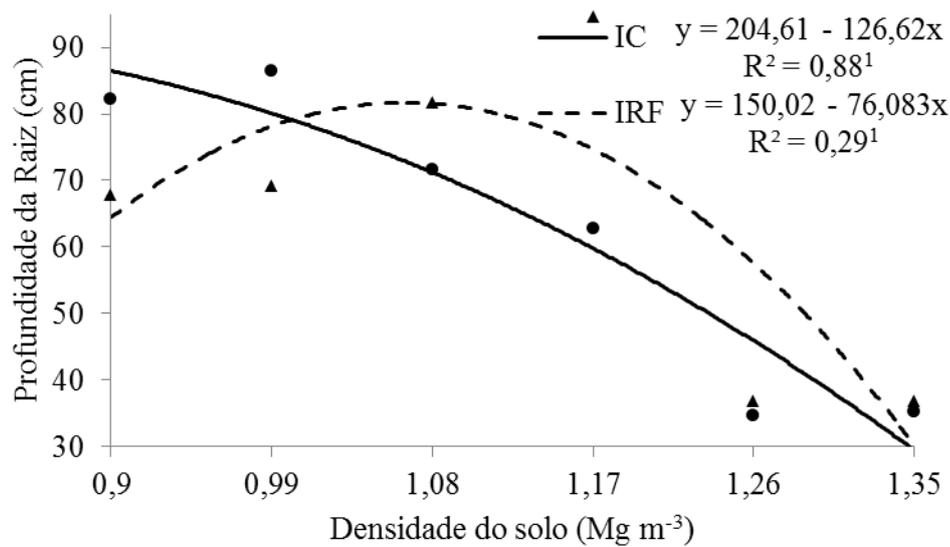


Figura 10. Profundidade da raiz do crambe em função da densidade e formas de irrigação, no ano de 2013. ¹ significativo a 10% de probabilidade.

Como apresentado na Figura 12, a profundidade da raiz sofreu influência significativa na irrigação continuada, com bom ajuste quadrático, $R^2 = 0,88$ e também na irrigação restrita no florescimento, apesar do menor ajuste quadrático, $R^2 = 0,29$. A profundidade da raiz tem correlação linear com a densidade do solo, ou seja, a maior densidade apresenta a menor raiz.

Conforme o já pesquisado por vários autores, há efeito negativo significativo no crescimento e desenvolvimento radicular das plantas quando submetidas a maiores densidades do solo (estudo com soja ROSOLEM et al., 1994; milho ROSOLEM et al., 2002; ainda com milho FOLONI et al., 2003; nabo forrageiro REINERT et al. 2008 e soja e eucalipto RIBEIRO et al., 2010).

A restrição hídrica após o florescimento merece destaque no crescimento radicular do crambe, já que nas densidades 1,08 e 1,17 Mg m⁻³ a raiz chegou a 81,56 e 94,62 cm, respectivamente, contrário as mesmas densidades na irrigação continuada, que obteve sua maior profundidade (86,27 cm) na densidade 0,99 Mg m⁻³. Tais observações mostram que o crambe tem capacidade de desenvolvimento radicular, para estas densidades, mesmo em situações de restrição hídrica, o que é interessante para o sistema plantio direto, sendo que a compactação do solo pode representar um problema.

Na Figura 13 é apresentado o volume da raiz do crambe no aumento das densidades do solo.

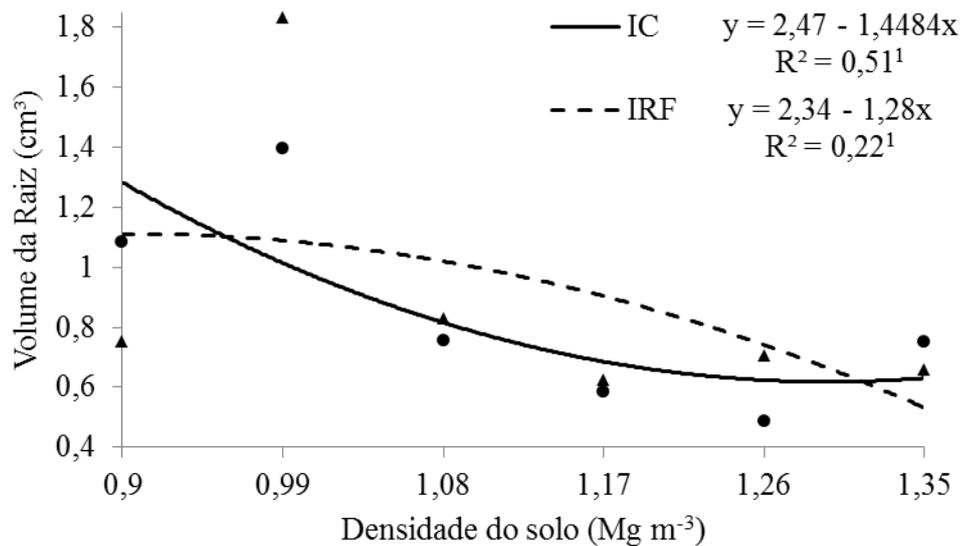


Figura 11. Volume da raiz do crambe em função da densidade e formas de irrigação, no ano de 2013. ¹ significativo a 10% de probabilidade.

Apesar do baixo valor do R quadrático existe o efeito significativo para a irrigação continuada e para a restrita no florescimento. Isso indica que existe diminuição do volume da raiz quando encontra uma camada compactada.

Completando os elementos pesquisados para a raiz do crambe é apresentada a massa seca da raiz na Figura 14.

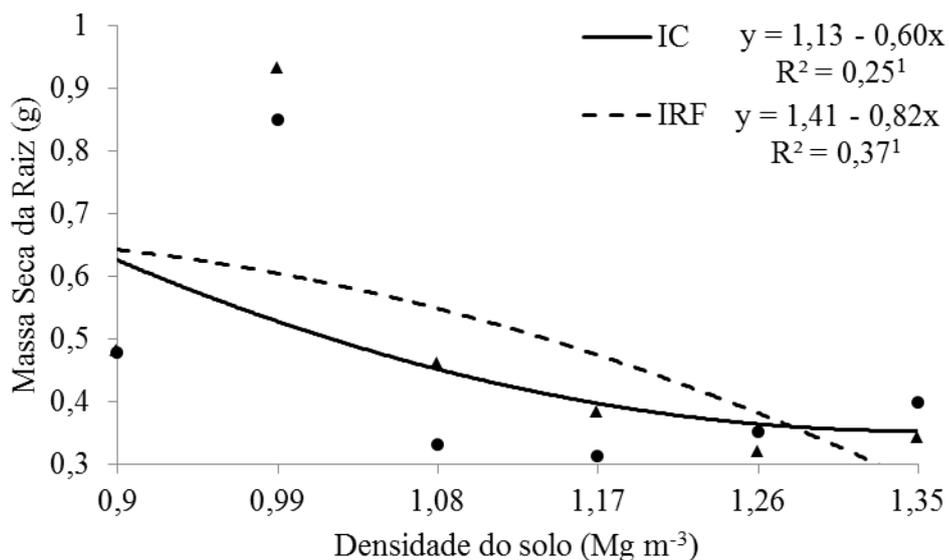


Figura 12. Massa seca da raiz do crambe em função da densidade e formas de irrigação, no ano de 2013. ¹ significativo a 10% de probabilidade.

Como o encontrado para o volume, também é observado o baixo valor de R^2 , mas com efeito significativo da menor massa seca da raiz para a maior densidade, podendo ser destacado que na densidade do solo de $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ as massas da raiz são bastante semelhantes, independente da forma de irrigação.

Para o volume e massa seca da raiz observa-se a influência negativa do aumento da densidade. Segundo Tavares et al. (2001), a compactação reduz a porosidade do solo, a continuidade dos poros e a disponibilidade de água e nutrientes, reduzindo também o crescimento e o desenvolvimento radicular das culturas. Para Silva et al. (2012), a cultura do crambe é sensível ao aumento da compactação do solo nos níveis avaliados de densidade, e por consequência reduz o crescimento em diâmetro, a massa seca radicular e distribuição destas nas camadas compactada.

5. CONCLUSÕES

As densidades e as formas de irrigação para as variáveis de altura, diâmetro do caule, massa fresca e seca da planta, rendimento de grãos, número de folhas, volume e massa seca da raiz da cultura do crambe não apresentaram diferença estatística quando testadas em interação.

Para a variável profundidade da raiz, houve interação entre o manejo de irrigação e a densidade do solo, mostrando que a cultura apresenta capacidade de desenvolvimento radicular para as densidades de solo avaliadas, mesmo em situações de restrição hídrica. No solo com densidade entre $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,17 \text{ Mg m}^{-3}$, a raiz do crambe se aprofundou mais quando houve restrição hídrica.

Com o aumentando da densidade do solo notou-se tendência em perda de qualidade das variáveis analisadas, ficando mais evidente quando houve restrição hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, M.; JONES, M.; WILLIAMS, M. Simulation of N₂O fluxes Irish arable soils: effect of climate change and management. **Biology and Fertility of Soils**, Firenzi, v.46, p.247-260, 2010.
- ALVAREZ V. V. H. et al. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.115-123, 2004.
- ASSIS, R. L. et al. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Efeito do lodo de esgoto em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 65-70, 2007.
- BONINI, A. K. **Compactação de um latossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto e rendimento de grãos de trigo, soja e milho**. 2006. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
- BONINI, A. K. et al. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, p.1543-1548, set, 2011.
- BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; REGAZZI, A. J. Resposta de variedades de soja à compactação de camadas do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 35, n. 202, p. 553-568, 1988.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.
- CANARACHE, A. Penetrografe – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 6, p. 51-70, 1990.
- CASTRO, C. Embrapa Soja. Palestra: Produção de alimentos x energia: Estudo de caso do óleo de girassol. In: **5º Painel do Ciclo “Civilização da Biomassa”**. São Paulo – SP, 2007.
- CATTIVELLI, F. et al. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v.105, p.1- 14, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento**, 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/RS/9prevarea09.pdf>> Acesso em 10 de julho de 2013.

DALCHIAVON, M. P. et al. Comportamento de altura de plantas de *Crambe abyssynica* em função da variação de densidade de plantio. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.1, n.3, p. 33-43, 2012.

DESAI, B. B.; KOTTECHA, P.M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. New York: Marcel Dekker, 1997.

DIAS FILHO, M.B.; CORSI, M.; CUSATO, S. Resposta morfológicas de Panicum Maximum Jacq. cv. Tobiata ao estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.7, p.893-898, jul. 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Brasília, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Milho e sorgo: Sistemas de produção**, 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo_2ed/solos_interpreta.htm> Acesso em 11 de julho de 2013.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Conservation agriculture adoptions worldwide**, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>>. Acesso em 10 de julho de 2013.

FARIA JÚNIOR, C. A. **Adaptabilidade da cultura do crambe no estado do Mato Grosso**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola) - Universidade do Estado do Mato Grosso, Tangará da Serra, 2013.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Evolução do plantio direto no Brasil**, 2012. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/arquivos/EvolucaoAreaPDBr72A06.pdf>>. Acesso em 15 de julho de 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino estatístico. **Revista Science Symposium**, v. 6, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FERREIRA, F. M.; SILVA A. R. B. Produtividade de grãos e teor de óleo da cultura do crambe sob diferentes sistemas de manejo de solo em Rondonópolis – MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, p. 1-11, 2011.

FIETZ, C. R. et al. Water requirement of oilseed radish (*Raphanus sativus* L.) in Mato Grosso do sul State, Brazil. In: XXXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2008.

FIORIN, J. E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO. **Resumos de Palestras**. Passo Fundo, 1999. 92p.

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

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.1, p. 49-57, Jan./Fev., 2006.

FONTANELLA, E. **Preparos e propriedades físicas de um solo arenoso para cana-de-açúcar e mandioca no Rio Grande do Sul**. 2012. 161f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FUNDAÇÃO MS. **Culturas para biodiesel: Crambe**, 2007. Disponível em: <www.fundacaoms.org.br>. Acesso em 30 de junho 2013.

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

GLASER, L. K. **Crambe: An economic assessment of faseability of providing multiple-peril crop insurance**. Economic Research Service of the Risk Management Agency. Federal Crop Insurance Corporation. 1996.

GONÇALVES W. G. et al. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.67-75, jan./abr. 2006.

GUBIANI, P. I. **Regularidade de resposta da cultura do milho à compactação do solo**. 2012. 152f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

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

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Herbário IAC: Família Brassicaceae**, 2013. Disponível em: <[http://herbario.iac.sp.gov.br/Relatorios/listagens/lfamilia.asp?Tarefa=Brassicaceae\(=Cruciferae\)](http://herbario.iac.sp.gov.br/Relatorios/listagens/lfamilia.asp?Tarefa=Brassicaceae(=Cruciferae))> Acesso em 11 de julho de 2013.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**, 2010. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 11 de julho de 2013.

JASPER, S. P. **Cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst): Avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto**. 2009. 120f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo.** 1998. 150f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas). ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

KLEIN, V.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2475-2481, 2009.

LOPES, A. S. et al. **Sistema Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo.** São Paulo: ANDA, 2004.

LUNELLI I. E. **Efeitos de arranjos nutricionais de NPK na produtividade de grãos e rendimento de óleo da cultura do crambe.** 2011. 40f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

MAEKAWA JUNIOR, M. T. et al. Produtividade de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) em função de adubação, espaçamento e densidade de plantas. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2010, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2010.

MARASCA, I. **Atributos físicos do solo em área de plantio direto com e sem escarificação.** 2010. 40f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G.. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.6, p. 1149-1159, 2003.

MEROTTO JÚNIOR, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p.197-202, 1999.

MICHELON, C. J. et al. Qualidade física de solos irrigados de algumas regiões do Brasil Central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 39-45, 2009.

MORAES, M. T. **Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas.** 2013. 205f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influencia da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

NEVES, C. M. N. et al. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 74, p. 45-53, 2007.

NGUYEN, T.L.T; GHEEWALA, S. H., GARIVAIT, S. Energy balance and GHG-abatement cost of cassava utilization or fuel ethanol in Thailand. **Energy Policy**. v. 35: p.4585-4596, 2007.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - OCDE, 2011. Disponível em <<http://www.oecd.org>>. Acesso em 11 de julho de 2013.

OLIBONE, A. P. E. **Ciclagem de nutrientes em sistemas de rotação de culturas**. Botucatu: UNESP, 2008.

OLIVEIRA, F. H. T. et al. Fertilidade do solo no sistema Plantio Direto. In: ALVAREZ, V. V. H. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.393-486.

OLIVEIRA, P. R. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **R. Bras. Ci. Solo**, v.36, n.2, p. 587-597, 2012.

OPLINGER, E. S. et al. **Crambe: alternative field crops manual**. Lafayette: Purdue University, 1991.

PANNO, G.; PRIOR, M. Avaliação de substratos para a germinação de crambe (*Crambe abyssinica*). **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.2, n.2, p. 151-157, 2009.

PITOL, C. Cultura do crambe. Tecnologia e produção: Milho safrinha e culturas de inverno 2008. Fundação MS, 2008.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciências Ambientais**, v.27, p.29-48, jul/dez. 2003.

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.102, p. 242-254, 2009.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.5, p.1805-1816, 2008.

RIBEIRO, M. A. V. et al. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.4, p. 1157-1164, 2010.

RODRIGUES P. N. F. et al. Crescimento e composição mineral do milho em função da compactação do solo e da aplicação de composto orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.94-99, 2009.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 259-266, 1994.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 109-115, 2002.

RUDOLFF, E.; WANG, Y. Crambe. In: KOLE, C. **Wild crop relatives: Genomic and Breeding Resources Oilseed**, 2012.

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

SECCO, D. et al. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Cienc Rural**, v.39, n.1, p.58-64, jan/fev, 2009.

SEIDEL, E. P. et al. Diferentes densidades de solo e o desenvolvimento de plântulas de milho. **Synergismus scyentifica**, Pato Branco, v. 1, n. 4, 2009.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p. 2485-2492, 2000.

SILVA, R.F. et al. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p. 2435-2441, 2008.

SILVA, S.D. et al. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e crambe (*Crambe abyssinica* Hochst). **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.5, n.2, p. 87-97, 2012.

SIMON, J. **Culturas bioenergéticas: produção de biomassa, decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais**. 2009. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J. A. D. **Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar**. Santa Maria: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.11, p. 1135-1139, 2005.

SPERA, S. T. et al. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. **Revista Científica Rural**, Bagé, v.9, n.1, p.23-31, 2004.

SPERA, S. T. et al. Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, n.3, p.388-393, jul/set., 2012.

STRECK, N. A. et al. Duração do ciclo de desenvolvimento de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, v.36, n.4 p.1086-1093, 2006.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.3, p. 925-933, 2010.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength - root penetration relations to medium to coarse – textured soil materials. **Soil Science**, New York, v.102, p.18-22, 1966.

TAYLOR, H. M.; ARKIN, G. F. Root zone modification fundamentals and alternatives. In: TAYLOR, H. M.; ARKIN, G. F. **Modifying the Root Environment to Reduce Crop Stress**. St. Joseph, Michigan, ASAE, p. 3-16, 1981.

TOMM, G. O. **Indicativos tecnológicos para a produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. (Sistema de produção, 4).

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

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. (Circular Técnica, 23).

ZAHEDI, H.; RAD, A. H. S.; MOGHADAM, H. R. T. Effects of zeolite and selenium applications on some agronomic traits of three canola cultivars under drought stress. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 179-185, abr./jun. 2011.