

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE
GENÓTIPOS DE CÁRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.) EM FUNÇÃO
DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

FERNANDO VIEIRA COSTA GUIDORIZZI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP
Fevereiro - 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE
GENÓTIPOS DE CÁRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.) EM FUNÇÃO
DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

FERNANDO VIEIRA COSTA GUIDORIZZI

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Coorientador: Prof. Dr. Adalton Mazetti Fernandes

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU – SP
Fevereiro - 2016



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE GENÓTIPOS DE CÂRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.) EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO"

AUTOR: FERNANDO VIEIRA COSTA GUIDORIZZI

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

CO-ORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


PROF. DR. CARLOS SERGIO TIRITAN
Departamento de Solos / UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Dep Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Botucatu, 25 de fevereiro de 2016.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO- BOTUCATU (SP)

G948a	Guidorizzi, Fernando Vieira Costa, 1991- Acúmulo de macronutrientes e produtividade de genótipos de cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) em função da adubação nitrogenada no sistema plantio direto / Fernando Vieira Costa Guidorizzi. - Botucatu : [s.n.], 2016. ix, 69 f. : il. color., grafs., tabs. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016. Orientador: Rogério Peres Soratto Coorientador: Adalton Mazetti Fernandes Inclui bibliografia. 1. Asteraceae. 2. Plantio direto. 3. Adubação. 4. Marcha de absorção. 5. Produtividade. I. Soratto, Rogério Peres. II. Fernandes, Adalton Mazetti. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. IV. Título.
-------	---

Ofereço aos meus pais Lucio Guidorizzi e Antônia Vieira Costa Guidorizzi, e a minha irmã Tamires Vieira Costa Guidorizzi, por tudo o que fizeram e continuam fazendo pela minha formação pessoal e profissional.

Dedico aos meus avós João Guidorizzi, Joana Versalli Guidorizzi, Valmir Pinheiro da Costa e Josefa Vieira da Costa, por tudo o que fizeram pelos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre ter me oferecido saúde, sabedoria e alegria.

A todos os meus familiares, em especial aos meus pais Lúcio Guidorizzi e Antônia Vieira Costa Guidorizzi, minha irmã Tamires Vieira Costa Guidorizzi e a minha tia Marlene Pinheiro da Costa Furukawa, por toda contribuição na minha formação pessoal e profissional.

A todos os meus amigos, especialmente ao Prof. Dr. Gustavo Maia Souza, Alexandrius de Moraes Barbosa, Diego de Campos, Kézia Aparecida Guidorizzi, Marisa Bezerra de Melo, Tiago Aranda Catuchi.

Aos funcionários e professores da Escola Estadual Kosuke Endo e a Universidade do Oeste Paulista (Agronomia-UNOESTE), que contribuíram muito para a minha formação e transferência para Botucatu.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto pela excelente orientação e ensinamentos realizados durante esses dois anos, além, da amizade. Ao Prof. Dr. Adalton Mazetti Fernandes pela ótima coorientação.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Câmpus de Botucatu), por todo o suporte oferecido para realização desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2014/20301-8 pela concessão da bolsa de Mestrado e auxílio financeiro para a condução da pesquisa.

Ao Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMA) e ao Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto pelo fornecimento das sementes de cártamo.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Câmpus de Botucatu), pelos ensinamentos.

Aos meus amigos de república Bruno Aires, Cristiane Gomes, Ewerton Gasparetto, Fábio Tanamati, Jader Luis Garcia, José Carlos Filho, Murilo de Souza, Thiago Nogueira, Willian Takata, por toda ajuda e companheirismo.

Aos estagiários Lohan de Oliveira Gomes Pinto e Mariana Mantovani da Silva pela amizade e ajuda para a realização desse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, em especial Adelina, Camargo, Carol, Casemiro, Célio, Cido, Ciro, Dorival, Eliane, Júlia, Mateus, Valéria e Vera, pela amizade, colaboração e ensinamentos.

Aos amigos de Pós-Graduação, pela contribuição para realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 A cultura do cártamo e sua importância como opção para a safrinha	7
4.2 Sistema plantio direto e disponibilidade de nitrogênio.....	9
4.3 Importância do nitrogênio na cultura do cártamo	11
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
5.1 Características do local	14
5.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	15
5.3 Instalações e condução do experimento.....	18
5.4 Variáveis avaliadas	20
5.4.1 Teor de N mineral no solo.....	20
5.4.2 Acúmulo de massa de matéria seca.....	21
5.4.3 Teor e acúmulo de nutrientes	21
5.4.4 Componentes de produção e produtividade de grãos.....	21
5.4.5 Teor nos grãos e exportação de nutrientes	22
5.5 Análise dos resultados	22
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
6.1 Teor de N mineral no solo	23
6.2 Acúmulo de massa de matéria seca	24
6.3 Marcha de absorção de nutrientes.....	28
6.4 Componentes de produção e produtividade de grãos	52
6.5 Teor nos grãos e exportação de nutrientes	55
6.6 Relações entre marcha de absorção e manejo da adubação no cártamo	56
7 CONCLUSÕES	59
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
9 APÊNCICE.....	66

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Descrição dos sistemas de manejo do solo e sucessão de culturas utilizadas na área experimental.	17
Tabela 2. Características químicas do solo, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 m, nos sistemas plantio direto recém-implantado e consolidado, antes da semeadura da cultura do cârtamo.	19
Tabela 3. Atividades desenvolvidas durante a condução do experimento.	20
Tabela 4. Teor de N mineral no solo antes da semeadura e da adubação nitrogenada de cobertura da cultura do cârtamo, nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, nos sistemas plantio direto recém-implantado e consolidado.	24
Tabela 5. Quantidades máximas acumuladas e época em que foi atingida a quantidade máxima acumulada de matéria seca da parte aérea e nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S por genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto e adubação nitrogenada de cobertura.	28
Tabela 6. Teores de N em cada órgão da planta de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.	30
Tabela 7. Teores de P em cada órgão da planta de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.	34
Tabela 8. Teores de K em cada órgão da planta de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.	38
Tabela 9. Teores de Ca em cada órgão da planta de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.	42
Tabela 10. Teores de Mg em cada órgão da planta de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.	46

Tabela 11. Teores de S em cada órgão da planta de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.	50
Tabela 12. Componentes de produção e produtividade de grãos de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto e adubação nitrogenada de cobertura.....	54
Tabela 13. Teores nos grãos e quantidades exportadas dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S por genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto e adubação nitrogenada de cobertura.....	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas registradas na área experimental durante o período de março a setembro de 2014.....	14
Figura 2. Quantidade de matéria seca acumulada no caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura.	26
Figura 3. Quantidades de N acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura.	31
Figura 4. Quantidades de P acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura.	35
Figura 5. Quantidades de K acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura.....	39
Figura 6. Quantidades de Ca acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura.....	43
Figura 7. Quantidades de Mg acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura.	47
Figura 8. Quantidades de S acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura.	51

1 RESUMO

O cártamo é uma oleaginosa que vem despertando interesse na agricultura nacional, pois se apresenta como uma opção para o cultivo de segunda safra (outono-inverno). Entretanto, para expansão do cultivo de cártamo no Brasil faz-se necessário à realização de estudos abordando o seu crescimento e absorção de nutrientes nas suas fases de desenvolvimento, em diferentes condições de cultivo, pois o conhecimento sobre essas variáveis permitirá precisão na recomendação de adubação para a cultura. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o acúmulo de matéria seca (MS) e de macronutrientes durante o ciclo, produtividade de grãos e exportação de macronutrientes por genótipos de cártamo em função da aplicação de nitrogênio (N) em cobertura, em sistemas plantio direto (SPD) com diferentes tempos de adoção. O experimento foi conduzido no município de Botucatu-SP, em um Nitossolo Vermelho distrófico. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram compostas por oito tratamentos obtidos a partir da combinação de dois tempos adoção do SPD (SPDR - sistema plantio direto recém-implantado e SPDC - sistema plantio direto consolidado, com 28 anos desde a implantação), dois genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237) e dois níveis de N em cobertura (0 e 100 kg ha⁻¹). As subparcelas foram compostas por sete épocas de amostragens (de 22 dias após a emergência (DAE) até o final do ciclo da cultura). Ambos os genótipos de cártamo tiveram lento acúmulo de MS e macronutrientes durante o estágio de roseta (0 a 22 DAE). A partir desse estágio até o início do enchimento de grãos (entre 84 e 111 DAE) ocorreu o período de maior crescimento e acúmulo de macronutrientes pela cultura. O genótipo IMA 2234 apresentou maiores quantidades de MS, N, P, K e S

acumuladas na parte aérea. A adubação nitrogenada de cobertura influenciou, principalmente, a absorção de N. Os componentes da produção, a produtividade de grãos e a exportação de macronutrientes não foram influenciados pelos genótipos, tempos de adoção do SPD ou adubação nitrogenada. A extração de macronutrientes, na média dos tratamentos, foi: K (168 kg ha^{-1}) > N (149 kg ha^{-1}) > Ca (125 kg ha^{-1}) > S (15 kg ha^{-1}) > Mg (14 kg ha^{-1}) > P (13 kg ha^{-1}). A exportação de macronutrientes pelos grãos seguiu a sequência, na média dos tratamentos: N (44 kg ha^{-1}) > K (12 kg ha^{-1}) > Ca (6 kg ha^{-1}) > P (4 kg ha^{-1}) > Mg (3 kg ha^{-1}) > S (2 kg ha^{-1}).

Palavras chave: *Carthamus tinctorius* L., manejo do solo, nitrogênio, absorção de nutrientes, exportação de nutrientes, produtividade de grãos.

NUTRIENT ACCUMULATION AND GRAIN YIELD OF SAFFLOWER (*Carthamus tinctorius* L.) GENOTYPES AS AFFECTED BY NITROGEN FERTILIZATION IN NO-TILL SYSTEM. Botucatu, 2016. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FERNANDO VIEIRA COSTA GUIDORIZZI

Adviser: ROGÉRIO PERES SORATTO

Co-adviser: ADALTON MAZETTI FERNANDES

2 SUMMARY

Safflower is an oilseed that has attracted national interest in agriculture, as is presented as an option for the second-crop cultivation (fall-winter). However, for expansion of safflower cultivation in Brazil is a need for studies addressing their growth and nutrient uptake in their stages of development in different growth conditions, as the knowledge of these variables will enable precision in fertilizer recommendation for the crop. Therefore, the aim was to evaluate the accumulation of dry matter (DM) and macronutrients over the cycle, grain yield, and macronutrient removal by safflower genotypes as affected by sidedressed nitrogen (N) fertilization in no-till system (NTS) with different adoption times. The experiment was conducted in Botucatu-SP, in a Typic Rhodudalf soil. It was adopted a randomized block design in a split-plot scheme with four replications. The plots were composed by eight treatments obtained from the combination of two adoption times of the NTS (NNTS - a newly implemented no-tillage system and ENT S - an established no-till system, with 28 years since the establishment), two safflower genotypes (IMA 2234 and IMA 2237) and two levels of sidedressed N fertilization in topdressing (0 and 100 kg ha⁻¹). The subplots were composed of seven sampling dates (from 22 days after emergence (DAE) by the end of the cycle). Both safflower genotypes had slow accumulation of DM and macronutrients during the rosette stage (0-22 DAE). From this stage until the early grain filling (between 84 and 111 DAE) was the period of greatest growth and accumulation of macronutrients by crop. The genotype IMA 2234 have higher amounts of DM, N, P, K and S accumulated in the shoot. Sidedressed N fertilization influenced mainly N uptake. The yield components, grain yield, and nutrient removal were not influenced by genotype, adoption times of the NTS or

sidedressed N fertilization. The uptake of macronutrient was, on average of treatments: K (168 kg ha^{-1}) > N (149 kg ha^{-1}) > Ca (125 kg ha^{-1}) > S (15 kg ha^{-1}) > Mg (14 kg ha^{-1}) > P (13 kg ha^{-1}). The removal of macronutrients by grains followed the sequence, on average of treatments: N (44 kg ha^{-1}) > K (12 kg ha^{-1}) > Ca (6 kg ha^{-1}) > P (4 kg ha^{-1}) > Mg (3 kg ha^{-1}) > S (2 kg ha^{-1}).

Keywords: *Carthamus tinctorius* L., soil management, nitrogen, nutrient uptake, nutrient removal, grain yield.

3 INTRODUÇÃO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma cultura oleaginosa de ciclo anual pertencente à família das *Asteraceae*. Atualmente o cártamo é cultivado principalmente em função do alto teor de óleo contido em suas sementes (35 a 50%), que depois de extraído pode ser utilizado para a fabricação de óleo de cozinha e biocombustíveis. Além disso, o cártamo pode ser utilizado na alimentação de frangos de engorda, pássaros e bovinos, bem como ser também utilizado para fins medicinais, auxiliando na cura de doenças cardíacas e cerebrovascular, hipertensão arterial e diabetes (EKIN, 2005).

Diante disso, o cultivo do cártamo tem se expandido no mundo. A área cultivada com cártamo em 2013 foi de aproximadamente 782.641 ha, na qual totalizou uma produção de 647.374 kg de grãos. Os principais países produtores foram Kazaquistão, Índia e Estados Unidos da América (FAOSTAT, 2015). No Brasil seu cultivo se restringe a áreas de pesquisa. Contudo, em função das suas características, como ciclo de desenvolvimento curto, moderada tolerância à deficiência hídrica e pequena ou nula resposta ao fotoperíodo, o cultivo de cártamo se torna uma importante alternativa para o período de safrinha ou segunda safra (outono-inverno), em sucessão a culturas tradicionais como soja e milho, que são cultivadas, principalmente, no sistema plantio direto (SPD).

O SPD tem se caracterizado como um importante sistema de manejo do solo, pois a área cultivada sob esse sistema em 2011/2012 foi de aproximadamente 32 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2015). Sob o SPD registram-se maiores teores de matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e também maiores valores de pH, especialmente nas camadas

superficiais do solo (SIDIRAS; PAVAN, 1985). Entretanto alguns fatores como o tempo de implantação do SPD e a constante adição de palhada, com diferentes relação carbono/nitrogênio (C/N), sobre a superfície do solo influenciam na disponibilidade de alguns nutrientes para as plantas, como por exemplo, o N.

O N, quando absorvido pelas plantas, atua como constituinte de muitos componentes das células vegetais, como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, conferindo maior vigor no seu desenvolvimento vegetativo (TAIZ; ZEIGER, 2009). No cártamo vários trabalhos internacionais evidenciam a importância do N para a cultura (RASTGOU et al., 2013; SOLEIMANI, 2010; TUNCTURK; YILDIRIM, 2004). Todos esses trabalhos são contrastantes em relação à dose de N a ser aplicada no cártamo, o que pode estar relacionado dentre outros fatores, às respostas de cultivares e sistemas de manejo do solo em que a cultura está sendo cultivada.

Diante do exposto, fica evidente que a recomendação da adubação nitrogenada na cultura do cártamo no Brasil precisa ser estudada. A utilização de curvas de acúmulo de matéria seca (MS) e de nutrientes, como um parâmetro para a recomendação de adubação, é uma boa indicação da necessidade de nutrientes em cada etapa do ciclo de desenvolvimento da cultura, indicando as quantidades de nutrientes absorvidas, auxiliando no estabelecimento de um programa de fertilização do solo, visando atingir sua máxima capacidade produtiva, com menor custo e risco ao ambiente (FERNANDES et al., 2011).

Foi testada a hipótese de que o tempo em que o solo está sendo manejado sob SPD, em conjunto com a adubação nitrogenada de cobertura, pode influenciar o acúmulo de MS, acúmulo de nutrientes, produtividade de grãos e exportação de nutrientes de genótipos de cártamo.

Objetivou-se com este trabalho avaliar acúmulo de MS e de macronutrientes durante o ciclo, produtividade de grãos e a exportação de macronutrientes de dois genótipos de cártamo, cultivados sob dois níveis de adubação nitrogenada de cobertura, em SPD recém-implantado e consolidado.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A cultura do cártamo e sua importância como opção para a safrinha

O cártamo é uma planta pertencente à família *Asteraceae*, com prováveis centros de origem na África (Etiópia) e Ásia (Índia e Afeganistão). Dentre suas características morfológicas, a cultura do cártamo apresenta porte herbáceo, caule ereto e ramificado, com altura variando entre 0,4 e 2,0 m e sistema radicular pivotante que pode atingir até 3,0 m de profundidade (MONTROYA, 2010).

Conhecido desde a antiguidade, quando era muito utilizado como fonte de corante extraído das flores para tingir tecidos ou alimentos (HUSSAIN et al., 2015), atualmente vem sendo explorado principalmente devido ao seu potencial para a produção de óleo, utilizado na produção de biodiesel, alimentação humana e fins medicinais, atuando na cura de diversas anomalias (EKIN, 2005). Além disso, suas sementes são utilizadas na alimentação de pássaros e ruminantes (DANIELI et al., 2011).

O ciclo de desenvolvimento anual do cártamo varia normalmente de 110 a 150 dias, podendo ser abreviado ou prolongado este intervalo de acordo com as características do genótipo e condições ambientais. Durante o seu ciclo, a cultura apresenta diferentes fases de desenvolvimento compreendidas na seguinte ordem: emergência, roseta, alongação do caule, ramificação, floração e maturação. A germinação e emergência das plântulas ocorrem entre 3 a 8 dias após a semeadura (DAS). Em seguida se inicia a fase de desenvolvimento denominada de roseta com duração de 21 a 42 dias após a emergência (DAE) das plântulas. Essa fase se caracteriza por apresentar diversas folhas próximas ao nível do solo, crescimento lento, o que torna a cultura muito suscetível à competição por

água, luz e nutrientes com as plantas invasoras. A fase de alongação do caule e as ramificações ocorrem em torno de 42 a 48 DAE. Nessa fase a planta apresenta maior intensidade no desenvolvimento vegetativo e determinação do número de ramos por planta. Fatores como: estado nutricional, e as características genéticas da planta são fundamentais para emissão em quantidade adequada de ramos, que influenciará diretamente no número de capítulos por planta e produtividade de grãos. O início do florescimento se dá entre 60 e 100 DAE. Essa fase é de extrema importância para a cultura, pois é quando componentes de produção como número de capítulos por planta e número de grãos por capítulo são determinados. O estágio de maturidade fisiológica ocorre de 102 a 148 DAE, no qual compreende a translocação de fotoassimilados da fonte (caules, folhas) para o dreno (grãos) (MONTROYA, 2010). O ponto ideal para colheita se dá entre 117 a 169 DAE, época na qual as plantas se encontram completamente senescentes apresentando coloração marrom das folhas e capítulos e umidade das sementes em torno de 10% (EMONGOR, 2010).

Em relação às condições de cultivo, o cártamo possui grande capacidade de adaptação às mais diferentes condições edafoclimáticas, tendo um bom desenvolvimento em altitudes situadas até 1000 metros acima do nível do mar, latitudes localizadas entre 40° N e 40° S. Suporta grandes amplitudes de temperatura que podem variar de 5 a 40 °C, dependendo da sua fase de desenvolvimento, sendo a temperatura ótima situada entre 20 e 35 °C, possui pouca ou nula resposta ao fotoperíodo (MONTROYA, 2010) e se adapta bem em regiões com precipitações de 300 a 400 mm durante o seu ciclo de desenvolvimento, sendo moderadamente tolerante à seca, pois em condições de deficiência hídrica moderada apresenta apenas ligeira redução na produtividade de grãos (LOVELLI et al., 2007; HUSSAIN et al., 2015). Além disso, o cártamo pode ser cultivado em diferentes tipos de solos, desde que sejam profundos e possuam boa drenagem (BAGHERI; SAM-DAILIRI, 2011; KIZIL et al., 2008).

A adaptação do cártamo à condição de estresse hídrico está relacionada a vários mecanismos. Dentre eles, está o seu sistema radicular pivotante bastante desenvolvido, que pode atingir até 3 m de profundidade no perfil do solo (DAJUE; MÜNDEL, 1996; MONTROYA, 2010). Para isto, porém, a planta necessita de umidade suficiente no solo, principalmente nos primeiros 40 DAS. A partir deste período o cártamo consegue se desenvolver bem devido a sua capacidade de absorver água e nutrientes em maiores profundidades. Além desse mecanismo, o alto acúmulo de prolina, que é identificado em plantas com elevada tolerância a estresses abióticos, foi observado

em genótipos de cártamo (SAJEDI et al., 2012). Esses mecanismos propiciam ao cártamo maior eficiência no uso da água, como relatado por Lovelli et al. (2007) e credenciam a cultura como uma importante alternativa para o cultivo em regiões sujeitas ao estresse hídrico com pequena diminuição na produtividade de grãos e óleo (KAR et al., 2007).

Considerando que na maior parte das áreas agricultáveis das regiões sudeste e centro-oeste do Brasil predomina um longo período de estiagem, que normalmente se estende de meados de abril até o final de setembro. Quando a colheita da cultura principal ou de verão, geralmente a soja, ocorre tardiamente, ou seja, a partir de final de fevereiro, torna-se muito arriscada a semeadura de espécies tradicionais, onde se destacam, além do milho, o algodão e o girassol. Nestas áreas, alternativas menos susceptíveis à deficiência hídrica, como o cártamo, tornam-se opções interessantes para os agricultores.

4.2 Sistema plantio direto e disponibilidade de nitrogênio

O SPD se caracteriza como um sistema de manejo do solo que engloba práticas como a ausência de revolvimento do solo, a rotação de culturas, o uso de plantas de cobertura para formar e manter palhada sobre o solo e a integração lavoura-pecuária (MUZILLI, 2000).

De acordo com Rosa et al. (2011), o SPD é a principal técnica de manejo agrícola relacionada a conservação do solo. A palhada remanescente na superfície do solo diminui a velocidade da água que escorre superficialmente, proporcionando maior infiltração de água no solo e menores perdas de solo por erosão (CHIODEROLI et al., 2012).

Além de conservacionista, o SPD proporciona melhoria nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Sob este sistema, registram-se maiores valores de MO, N, P, K, Ca, Mg e também maiores valores de pH, ao passo que a saturação de Al se torna mais baixa (SIDIRAS; PAVAN, 1985).

Segundo Furlani et al. (2007), dentre as vantagens do SPD, compreendem-se o controle da erosão, menor variação da temperatura e da umidade do solo e melhoria na dinâmica e estrutura da MO do solo. Além dessas vantagens, o SPD proporciona ao solo aumento da sua atividade biológica e maior ciclagem de nutrientes (ARANDA et al., 2011).

A disponibilidade de nutrientes nos solos manejados sob SPD, em destaque para o N, pode ser afetada em função de alguns fatores. De acordo com Amado et al. (2003), a qualidade do resíduo vegetal sobretudo sua relação C/N, e a disponibilidade de N mineral na solução do solo influenciam diretamente a taxa de decomposição da palhada e, conseqüentemente, a disponibilidade de N, que em muitos casos não é fornecido em sincronismo com a necessidade da cultura sucessora.

Levando em consideração as diferentes relações C/N, podem-se classificar os materiais vegetais com baixa, média e alta relação. A condição de equilíbrio, na qual a mineralização é aproximadamente igual à imobilização, ocorre quando a relação C/N do substrato está na faixa de 20 a 30, o que por sua vez não afeta a disponibilidade de N para as plantas. As culturas leguminosas como crotalária e ervilha caracterizam-se pela capacidade de fixar o N₂ atmosférico e pela estreita relação C/N, o que confere uma rápida mineralização do N presente em seus resíduos culturais (STUTE; POSNER, 1995). Já as gramíneas como aveia e milho, apresentam uma palhada com elevada relação C/N, que propicia ao solo uma cobertura mais duradoura, porém, resulta na maioria dos casos em imobilização microbiana de N, diminuindo a quantidade de N disponível no solo (RANELLS; WAGGER, 1997).

A recomendação da adubação nitrogenada em solos manejados sob SPD deve ter como um dos seus parâmetros o sistema de culturas implantado, pois a palhada remanescente na superfície do solo pode influenciar diretamente na disponibilidade de N as plantas e, conseqüentemente, na sustentabilidade do SPD. Assim cultivos em sucessão a leguminosas possuem uma menor tendência de resposta à adubação nitrogenada, enquanto que cultivos em sucessão a gramíneas possuem uma maior tendência de resposta à adubação nitrogenada (LOPES et al., 2004). De acordo com Cantarella (2007), essas práticas são fundamentais para suprir adequadamente o requerimento de N pelas culturas, de modo que a imobilização do N oriunda da decomposição da palhada remanescente na superfície do solo não prejudique o rendimento da cultura em sucessão.

O tempo de implantação do SPD é outro fator que pode influenciar na disponibilidade de N. Sá (2001) dividiu o SPD em quatro fases ao longo do tempo de implantação do sistema. A primeira fase, denominada fase inicial, se caracteriza por apresentar baixo teor de MO, baixo acúmulo de palha e alta exigência em N. A segunda fase, denominada de transição, apresenta início do acúmulo de MO e palha, equilíbrio entre

imobilização e mineralização do N. A terceira fase, denominada de consolidação, se caracteriza por apresentar acúmulo de MO, acúmulo de palha, aumento da CTC, reciclagem de nutrientes, e mineralização maior do que imobilização. Por fim, a quarta e última fase, denominada de manutenção, que possui alta ciclagem de nutrientes, baixa exigência em N e elevada acúmulo de palha.

A divisão do SPD em escala de tempo é muito importante para compreensão de como a disponibilidade de N varia em função do tempo de implantação do SPD, porém não deve ser considerada para todos os tipos de solos manejados sob esse sistema. Quando na fase de implantação o SPD pode apresentar acentuada mineralização da MO do solo e, conseqüentemente, alto teor de N mineral no solo, resultando em menor exigência do mesmo pelas plantas. A maior mineralização da MO do solo e disponibilidade de N-mineral no SPD em fase de implantação pode ser atribuída ao processo de aração do solo. Amado e Mielniczuk (2000) avaliando sistemas de preparo do solo (convencional, reduzido e direto) observaram que no sistema convencional e reduzido, o preparo de solo tornou o ambiente mais oxidativo, resultando em uma maior mineralização da MO e N-mineral do solo.

Portanto, estudar o manejo da adubação nitrogenada em SPD com diferentes tempos de implantação é extremamente importante para a agricultura, principalmente quando se pretende implantar no sistema de produção uma nova cultura, como por exemplo, cártamo.

4.3 Importância do nitrogênio na cultura do cártamo

O N é um macronutriente primário absorvido em grandes quantidades pelas plantas, uma vez que pode representar de 1 a 6% da sua MS (HAVLIN et al., 2005). Seu ingresso no solo ocorre por meio de fertilizantes, através do ar, mediante deposições atmosféricas de formas combinadas de N (NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^-), e fixação biológica de N_2 , tanto em sistemas não-simbióticos quanto simbióticos, por meio de bactérias formadoras de nódulos nas raízes de plantas leguminosas (STEVENSON, 1982).

No solo, o N encontra-se na forma orgânica, presente na MO em diferentes moléculas, ou como parte de organismos vivos. Geralmente menos de 5% do N total está em formas inorgânicas como íon amônio (NH_4^+) e o íon nitrato (NO_3^-)

(KEENEY, 1982), que são as formas preferenciais de absorção de N pelo sistema radicular das plantas (MALAVOLTA et al., 1997).

Quando absorvido, o N desempenha funções vitais para as plantas favorecendo principalmente fatores relacionados ao seu desenvolvimento vegetativo (TAIZ; ZAIGER, 2009). Nesse sentido, alguns trabalhos têm demonstrado a importância do N para a cultura do cártamo.

Bassil et al. (2002) relataram que a adubação nitrogenada é importante para se obter maiores produtividade de grãos e teores de óleo na cultura do cártamo. Mündel (2004) relatou que 5 kg de N são extraídos pela cultura do cártamo para produzir 100 kg de grãos. Soleimani (2008) relatou que a produtividade de grãos de cártamo possui relação direta com as doses de N aplicadas, ou seja, com o aumento da aplicação de N, a produtividade de grãos foi maior.

Gilbert e Tucker (1987), avaliando diferentes épocas e estádios de aplicação de N no cártamo, observaram que a maior produtividade de grãos foi obtida com a aplicação realizada no momento da semeadura e no estágio de desenvolvimento de alongamento do caule. Para Soleimani (2010), a maior produtividade de grãos foi obtida com o parcelamento da adubação nitrogenada em três ocasiões: 1/3 na semeadura, 1/3 na alongação do caule e 1/3 no início do florescimento.

Soleimani (2010) observou maior número de grãos por capítulo e rendimento de óleo no tratamento em que recebeu a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N. Dordas e Sioulas (2009), estudando dois genótipos de cártamo em sucessão ao trigo (*Triticum turgidum* subsp. *durum* L.), relataram que a aplicação de 100 e 200 kg ha⁻¹ de N diminuiu o número de dias necessário para as plantas de cártamo atingirem a floração plena, em comparação com o controle, porém, a maturação foi atrasada com a aplicação de N, o que aumentou em 20% o período de enchimento de grãos. Nessas mesmas condições, Dordas e Sioulas (2008) observaram que a adubação nitrogenada aumentou o teor de clorofila e N nas folhas, a massa de sementes por capítulo em 18%, o número de capítulos por planta em 32%, o número de sementes por planta em 41% e a produtividade de grãos em 19%. Nasr et al. (1978) relataram que a aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N era ideal para produtividade de sementes e rendimento de óleo de cártamo. Singh et al. (1994) relataram que a aplicação de 40 kg ha⁻¹ N na cultura do cártamo proporcionou aumento no número de capítulos por planta e rendimento de óleo. Tuncturk e Yildirim (2004) constataram que a maior produtividade de grãos de cártamo foi obtida com a aplicação de 80 kg ha⁻¹. Para Dordas e

Sioulas (2008) houve aumento na produtividade de grãos, proteína e óleo até a dose de 200 kg ha⁻¹ de N, aplicados em pré-plantio. Golzarfar et al. (2012), avaliando doses de N (0, 75 e 150 kg ha⁻¹) e P (0, 50 100 kg ha⁻¹) na cultura do cártamo, obtiveram a maior produtividade de grãos com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N. Rastgou et al. (2013), estudando doses de N na cultura do cártamo, também relataram que a dose de 200 kg ha⁻¹ proporcionou maior número de capítulos por planta em relação ao tratamento que não foi adubado com o nutriente. Contudo, segundo Elfadl et al. (2009), a resposta da cultura do cártamo à adubação nitrogenada varia em função das condições ambientais e do cultivo precedente. Estes autores concluíram que a necessidade de N para a cultura do cártamo em sucessão ao triticales foi de 86 kg ha⁻¹, enquanto em sucessão a cultura da batata, que recebeu elevada dose de fertilizante, não houve resposta à aplicação de N.

A discrepância encontrada na exigência de adubação nitrogenada para o cártamo pode estar relacionado aos sistemas de manejo do solo em que a cultura é implantada, semeadura de diferentes genótipos, cultura antecessora, conteúdo de N residual no solo e condições climáticas. Diante disto e da escassez de informações sobre a cultura no Brasil, é evidente a necessidade de se realizar pesquisas que abordem o crescimento, a produtividade, a extração e exportação de nutrientes pela cultura do cártamo nas condições brasileiras.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Características do local

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2014, na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, campus de Botucatu, em Botucatu-SP (latitude 22° 51' S, longitude 48° 26' W e altitude de 740 m). O clima da região, segundo a classificação de Koppen, se caracteriza como tropical, com inverno seco e verão chuvoso e quente (Figura 1). O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 2013).

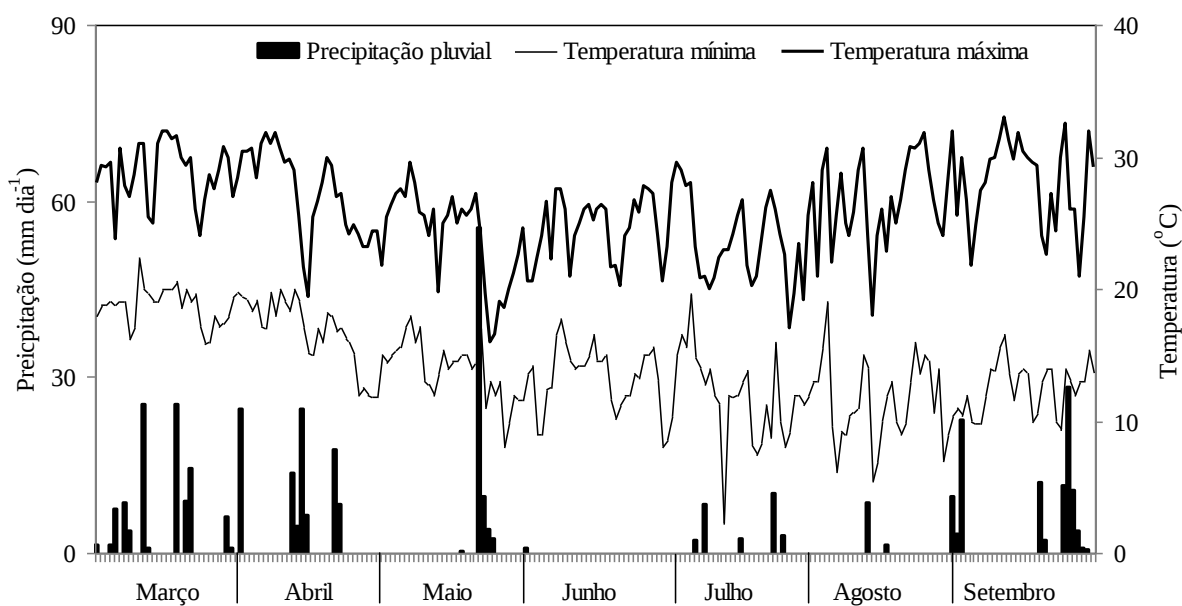


Figura 1. Precipitação pluvial, temperaturas máximas e mínimas registradas na área experimental durante o período de março a setembro de 2014.

A área experimental onde foi conduzido o experimento faz parte de um programa de estudos de longo prazo de sistemas de manejo do solo (Tabela 1). No período de primavera-verão dos anos agrícolas 2013/14, toda a área experimental foi cultivada com soja, com preparo convencional do solo e SPD nas respectivas parcelas. O cultivo do cârtamo em SPD foi realizado sobre a palhada da soja, ou seja, sem preparo do solo, em todas as parcelas. Por ocasião da semeadura do cârtamo, as parcelas sob SPD se encontravam nesse sistema há 28 anos, o que caracteriza como SPD consolidado (SPDC). Já as demais parcelas estão sendo manejadas na maioria das safras de primavera-verão com o sistema convencional de preparo do solo, até a implantação da soja que antecedeu a cultura do cârtamo, o que caracteriza que o cultivo de cârtamo foi realizado em SPD recém-implantado (SPDR), ou em fase de implantação.

5.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram compostas por oito tratamentos obtidos a partir da combinação do esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, consistindo de sistemas plantio direto com diferentes tempos de adoção (SPDR - a cultura do cârtamo foi a primeira a ser implantada no sistema de plantio direto e SPDC - sistema plantio direto consolidado, com 28 anos desde a implantação), dois genótipos de cârtamo (IMA 2234 e IMA 2237) e dois níveis adubação nitrogenada de cobertura (0 e 100 kg ha^{-1} de N), como segue:

- SPDR-34-0 - genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura;
- SPDR-34-100 - genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha^{-1} de N em cobertura;
- SPDR-37-0 - genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura;
- SPDR-37-100 - genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha^{-1} de N em cobertura;
- SPDC-34-0 - genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura;
- SPDC-34-100 - genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha^{-1} de N em cobertura;
- SPDC-37-0 - genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura;
- SPDC-37-100 - genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha^{-1} de N em cobertura.

Cada parcela foi constituída de 10 fileiras de 10 m de comprimento e no espaçamento de 0,45 m, utilizando as seis fileiras centrais como área útil. As subparcelas foram compostas por sete épocas de amostragens realizadas durante o ciclo da cultura.

Tabela 1. Descrição dos sistemas de manejo do solo e sucessão de culturas utilizadas na área experimental.

Ano agrícola	Sistema de manejo				Sucessão de culturas (outono-inverno/primavera-verão)
	SPDR		SPDC		
	Outono	Primavera	Outono	Primavera	
1985/86	Aração + gradagem	Aração + gradagem	Aração + gradagem	Sem preparo	Trigo/soja
1986/87 a 1994/95	Aração + gradagem	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Trigo/soja
1995/96 a 1998/99	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Pousio/pousio
1999/00	Aração + gradagem	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Aveia preta/milho
2000/01 e 2001/02	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Pousio/pousio
2002/03 e 2003/04	Aração + gradagem	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Aveia preta/milheto-feijão
2004/05 e 2005/06	Aração + gradagem	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Aveia preta/milho
2006/07	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Pousio/soja
2007/08	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Aveia amarela/feijão
2008/09	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Aveia amarela/feijão
2009/10 a 2011/12	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Sem preparo	Aveia preta/milho+baquiária
2012/13	Sem preparo	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Braquiária/soja
2013/14	Sem preparo	Aração + gradagem	Sem preparo	Sem preparo	Trigo/soja
2014/15	Sem preparo	-	Sem preparo	-	Cártamo

SPDR - Sistema plantio direto recém-implantado; SPDC - Sistema plantio direto consolidado.

5.3 Instalações e condução do experimento

Antes da implantação do experimento foram coletas amostras de solo nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 m, amostrando-se em seis pontos por parcela de cada sistema de manejo do solo, ou seja, em cada repetição do SPDR e do SPDC. As amostras foram secas ao ar e analisadas para determinação das características químicas do solo, segundo métodos descritos por Raij et al. (2001) (Tabela 2).

A dessecação das plantas presentes na área foi realizada 15 dias antes da semeadura do cártamo, utilizando o herbicida glifosato sal de amônio (2 kg i.a. ha⁻¹). Após a dessecação das plantas foi realizada a trituração da palhada presente na superfície do solo, utilizando triturador mecânico de palha. Os genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237) foram semeados mecanicamente nas parcelas manejadas sob SPDR e SPDC em sucessão a soja. Foram utilizadas 21 sementes por metro de sulco, depositadas a profundidade de aproximadamente 0,04m. Com base nos resultados da análise de solo, foram aplicados na adubação de semeadura 200 kg ha⁻¹ do adubo formulado N-P₂O₅-K₂O 8-28-16. A emergência de ambos os genótipos ocorreu 20 dias após a semeadura (DAS).

A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada manualmente no estágio de desenvolvimento alongação do caule (30 DAE), utilizando como fonte o nitrato de amônio (31% de N).

Durante a condução do experimento se fez necessário realização de uma capina manual, quando o cártamo estava na fase de desenvolvimento roseta. Além disso, realizaram-se duas aplicações com o fungicida mancozeb (400 g i.a. ha⁻¹) quando o cártamo estava na fase de desenvolvimento de florescimento.

As atividades realizadas durante a condução do experimento estão apresentadas com suas respectivas datas na Tabela 3.

Tabela 2. Características químicas do solo, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 m, nos sistemas plantio direto recém-implantado e consolidado, antes da semeadura da cultura do cârtamo.

Sistema de manejo do solo	pH(CaCl ₂)	M.O.	P(resina)	S-SO ₄ ²⁻	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		g dm ⁻³	— mg dm ⁻³ —					mmol _c dm ⁻³			%
						0-0,05 m					
SPDR	5,8	25,2	59	23	46,2	2,9	48	16	67	114	59
SPDC	5,3	36,8	92	37	44,2	4,6	52	20	77	122	63
						0,05-0,10 m					
SPDR	5,9	26,6	54	17	37,7	3,0	51	18	73	111	65
SPDC	5,5	32,6	64	28	40,2	3,3	52	19	74	114	66
						0,10-0,20 m					
SPDR	6,0	22,4	49	16	39,5	2,1	54	16	73	112	64
SPDC	5,4	23,3	55	43	42,7	1,8	42	16	60	103	58
						0,20-0,40 m					
SPDR	6,2	13,4	21	21	29,2	1,3	49	16	67	96	69
SPDC	5,5	10,1	15	59	27,0	0,8	34	14	50	77	65

SPDR - Sistema plantio direto recém-implantado; SPDC - Sistema plantio direto consolidado.

Tabela 3. Atividades desenvolvidas durante a condução do experimento.

Tratos culturais	Data	DAE	Fases de desenvolvimento da cultura
Amostra química de solo	18/03	-	-
Dessecação	19/03	-	-
Trituração da palha	26/03	-	-
Semeadura	02/04	-	-
Capina	30/04	8	Roseta
1ª coleta de plantas	14/05	22	Roseta
Adubação de cobertura	22/05	30	Elongação do caule
2ª coleta de plantas	27/05	35	Elongação do caule
3ª coleta de plantas	10/06	49	Ramificação
4ª coleta de plantas	24/06	63	Ramificação/Florescimento
Aplicação fungicida	11/07	80	Florescimento
5ª coleta de plantas	15/07	84	Florescimento
Aplicação fungicida	22/07	91	Enchimento de grãos
6ª coleta de plantas	11/08	111	Enchimento de grãos
7ª coleta de plantas	15/09	146	Maturação

DAE - Dias após a emergência.

5.4 Variáveis avaliadas

5.4.1 Teor de N mineral no solo

Antes da semeadura do cártamo e da aplicação da adubação nitrogenada de cobertura, foram coletadas amostras de solo em seis pontos por parcela de cada sistema de manejo do solo, ou seja, em cada repetição do SPDR e do SPDC, nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. O solo foi imediatamente congelado para posterior análise. O teor de N mineral foi determinado mediante destilação por arraste de vapor (RAIJ et al., 2001). Os procedimentos basearam-se na extração do N inorgânico (NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^-) por solução de KCl a 1 mol L^{-1} . Nesse extrato, com a adição de MgO, foi promovida a conversão de NH_4^+ a NH_3 , que foi separada por destilação. Em seguida, no mesmo extrato, foi acrescentado um produto redutor (Liga de Devarda), que converteu o NO_3^- e NO_2^- a NH_3 , a qual também foi destilada e recolhida em solução de H_3BO_3 + indicador. A determinação de NH_4^+ e NO_3^- ocorreu por titulação com ácido sulfúrico ($0,0025 \text{ mol L}^{-1}$). Os dados de N mineral no solo foram obtidos a partir da somatória de NH_4^+ e NO_3^- e estão apresentados em mg dm^{-3} .

5.4.2 Acúmulo de massa de matéria seca

Em cada época de amostragem (Tabela 3), foram coletadas oito plantas por parcela experimental. Após a coleta das amostras, as plantas foram separadas em caule, folhas e estruturas reprodutivas. Posteriormente, essas amostras foram acondicionadas em sacos de papel identificados de acordo com o respectivo tratamento e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas. Após a secagem foi determinada em balança analítica a massa de MS de cada órgão da planta (caule, folhas e estruturas reprodutivas) e a massa de MS total (soma da massa de MS de cada órgão da planta). Os dados da quantidade de massa de MS acumulada estão apresentados em kg ha^{-1} .

5.4.3 Teor e acúmulo de nutrientes

As amostras utilizadas para determinação das quantidades de massa de MS em cada órgão da planta (caule, folhas e estruturas reprodutivas), depois de moídas, foram submetidas à análise dos teores totais de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), seguindo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). As quantidades de nutrientes acumuladas foram estimadas multiplicando-se o teor desses nutrientes pela quantidade de massa de MS acumulada em cada órgão da planta. As quantidades totais de cada nutriente acumulada foram calculadas pela soma das quantidades de cada nutriente acumulado em cada órgão do cartamo. Os teores e as quantidades acumuladas de cada nutriente estão apresentados em g kg^{-1} e kg ha^{-1} , respectivamente.

5.4.4 Componentes de produção e produtividade de grãos

a) População final de plantas: a determinação da população final de plantas foi realizada na véspera da colheita, considerando duas fileiras centrais com comprimento de 4 m em cada parcela experimental. Os dados foram convertidos para número plantas por hectare.

b) Número de capítulos por planta: foi determinado mediante a contagem do número total de capítulos com pelo menos um grão por planta, avaliado em

oito plantas coletadas dentro da área útil de cada parcela experimental. Os dados estão apresentados em número de capítulos por planta.

c) Número médio de grãos por capítulo: foi determinado mediante a relação entre número total de grãos e o número total de capítulos, avaliados em oito plantas coletadas dentro da área útil de cada parcela experimental. Os dados estão apresentados em número de grãos por capítulo.

d) Massa média de 1000 grãos: foi avaliada pela pesagem de quatro amostras, de 1000 grãos cada uma, de cada parcela experimental. Os dados obtidos foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida).

e) Produtividade de grãos: foi realizada mediante colheita manual de duas fileiras com comprimento de 4 m dentro da área útil de cada unidade experimental. Após a colheita foi realizada a debulha e o trilhamento mecânico dos grãos com posterior pesagem, transformando-se a massa de grãos para kg ha^{-1} a 13% de umidade (13% base úmida).

5.4.5 Teor nos grãos e exportação de nutrientes

Os grãos utilizados para determinação dos componentes de produção e produtividade foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 144 horas. Após a secagem foi determinado em balança analítica a massa de MS dos grãos. Posteriormente, esses grãos foram moídos e submetidos à análise dos teores totais de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) seguindo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). As quantidades de nutrientes exportados foram obtidas mediante a multiplicação dos teores de cada nutriente pela massa de MS dos grãos. Os dados dos teores estão apresentados em g kg^{-1} e as quantidades exportadas em kg ha^{-1} .

5.5 Análise dos resultados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR. Os resultados das épocas de coleta foram avaliados por análise de regressão, utilizando o programa SigmaPlot 11.0.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Teor de N mineral no solo

Os maiores teores de N mineral foram obtidos nas camadas superficiais do solo e decresceram em profundidade, em ambos os SPD e épocas de amostragem (Tabela 4). Esses resultados podem ser explicados em decorrência do maior teor de MO presente nas camadas superficiais do solo que, como o N mineral, também diminui em profundidade (Tabela 2). Resultados semelhantes foram relatados (PEREZ et al., 2013; SIQUEIRA NETO et al., 2010).

O teor de N mineral no solo antes da semeadura do cártamo foi significativamente maior no SPDC na profundidade de 0-10 cm (Tabela 4). Entretanto, o tempo em que o solo permaneceu sob SPD não influenciou o teor de N mineral do solo nas demais profundidades. As operações de aração e gradagem realizadas antes da semeadura da soja (safra de verão), quando o SPDR ainda se caracterizava como convencional, revolveram a palhada presente nas camadas superficiais do solo para camadas subsuperficiais, resultando assim em redução nos teores de MO e N mineral na camada superficial.

Na amostragem realizada antes da aplicação da adubação nitrogenada de cobertura, nas duas camadas mais profundas (0,10-0,20 e 0,20-0,40 m) o maior teor de N mineral foi obtido no SPDR (Tabela 4). O preparo do solo realizado antes da semeadura da soja (safra de verão) provavelmente tornou o ambiente mais oxidativo e, portanto, com maior taxa de mineralização da MO e disponibilidade de N mineral.

Resultados semelhantes foram obtidos por Amado e Mielniczuk (2000), porém se contrasta com o que descreveu Sá (2001).

O cultivo de culturas leguminosas, como a soja, é uma importante alternativa para aumentar o teor de N no solo, mesmo na fase de implantação do SPD, pois a sua baixa relação C/N, em conjunto com a condição mais oxidativa, propiciou maior mineralização da palhada remanescente na superfície do solo, disponibilizando N mineral para a cultura a sucessora (cártamo) no SPDR. De acordo com Raij et al. (1997) a classe de resposta à adubação nitrogenada de cobertura para esse experimento pode ser considerada baixa, devido ao cultivo de soja como cultura antecessora ao cártamo, em ambos os sistemas, bem com ao longo tempo de implantação do SPD, no caso do SPDC.

Tabela 4. Teor de N mineral no solo antes da semeadura e da adubação nitrogenada de cobertura da cultura do cártamo, nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, nos sistemas plantio direto recém-implantado e consolidado.

Profundidade m	Sistema de manejo do solo	N mineral	
		Antes da semeadura	Antes da adubação de cobertura
		mg dm ⁻³	
0-0,10	SPDR	37	44
	SPDC	45	32
	Significância	*	ns
	CV (%)	5,0	16,7
0,10-0,20	SPDR	32	31
	SPDC	29	24
	Significância	ns	*
	CV (%)	13,7	9,0
0,20-0,40	SPDR	24	25
	SPDC	20	20
	Significância	ns	*
	CV (%)	11,2	5,5

SPDR - Sistema plantio direto recém-implantado; SPDC - Sistema plantio direto consolidado. ns e * são: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

6.2 Acúmulo de massa de matéria seca

A quantidade de massa de MS acumulada no caule aumentou até o período entre 84 e 111 DAE (florescimento e enchimento de grãos), com diminuição nas épocas de amostragens seguintes em todos os tratamentos (Figura 2a). Essa diminuição ocorreu em função do florescimento, que alterou relação fonte/dreno do cártamo, ou seja, o dreno principal da cultura passou a ser as estruturas reprodutivas. A adubação nitrogenada

de cobertura (100 kg ha^{-1} de N) aumentou o acúmulo de massa de MS do caule de ambos os genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237), independentemente do tempo que o solo estava sendo manejado sob SPD (SPDR e SPDC).

Nas folhas, a quantidade de MS acumulada foi incrementada até os 63 DAE (ramificação/florescimento) em todos os tratamentos, decrescendo após essa época de amostragem (Figura 2b). O decréscimo na quantidade de MS acumulada nas folhas nas fases finais do ciclo de desenvolvimento do cártamo, ou seja, aos 111 e 146 DAE (enchimento de grãos e maturação) pode estar relacionado à redistribuição dos fotoassimilados das folhas para as estruturas reprodutivas (capítulos e grãos) que é mais acentuado do que no caule. Resultados semelhantes foram obtidos por Soratto et al. (2013) na cultura do feijão (*Pasheolus vulgaris* L.). Além disso, a senescência e abscisão foliar apresentada pela cultura no final do seu ciclo pode também ter contribuído para a diminuição da quantidade de MS acumulada nas folhas, como relataram Flemmer et al. (2014), avaliando os estádios de desenvolvimento da cultura do cártamo. A adubação nitrogenada de cobertura aumentou a quantidade de massa de MS acumulada nas folhas em ambos os genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237), independentemente dos sistemas de manejo do solo. Esses resultados são semelhantes aos obtidos para a massa MS acumulada no caule (Figura 2a). Dordas e Sioulas (2009) verificaram que a aplicação de até 200 kg ha^{-1} de N aumentou a quantidade de MS acumulada no caule + folhas, sendo as avaliações realizadas no florescimento e na maturidade fisiológica da cultura do cártamo, independentemente do genótipo estudado.

A quantidade de massa de MS acumulada nas estruturas reprodutivas teve início pouco antes dos 63 DAE (ramificação/florescimento), com incremento até o período entre 111 e 146 DAE (enchimento dos grãos e maturação), dependendo do tratamento (Figura 2c). Posteriormente, aos 111 DAE observou-se diminuição na quantidade de MS acumulada nas estruturas reprodutivas dos tratamentos que receberam adubação nitrogenada de cobertura, o que pode estar associado à senescência e abscisão das brácteas presentes nos capítulos do cártamo. Independente dos sistemas de manejo do solo (SPDR e SPDC) e adubação nitrogenada de cobertura (0 e 100 kg ha^{-1} de N), o genótipo de cártamo IMA 2234 foi o que apresentou maior quantidade de massa de MS das estruturas reprodutivas.

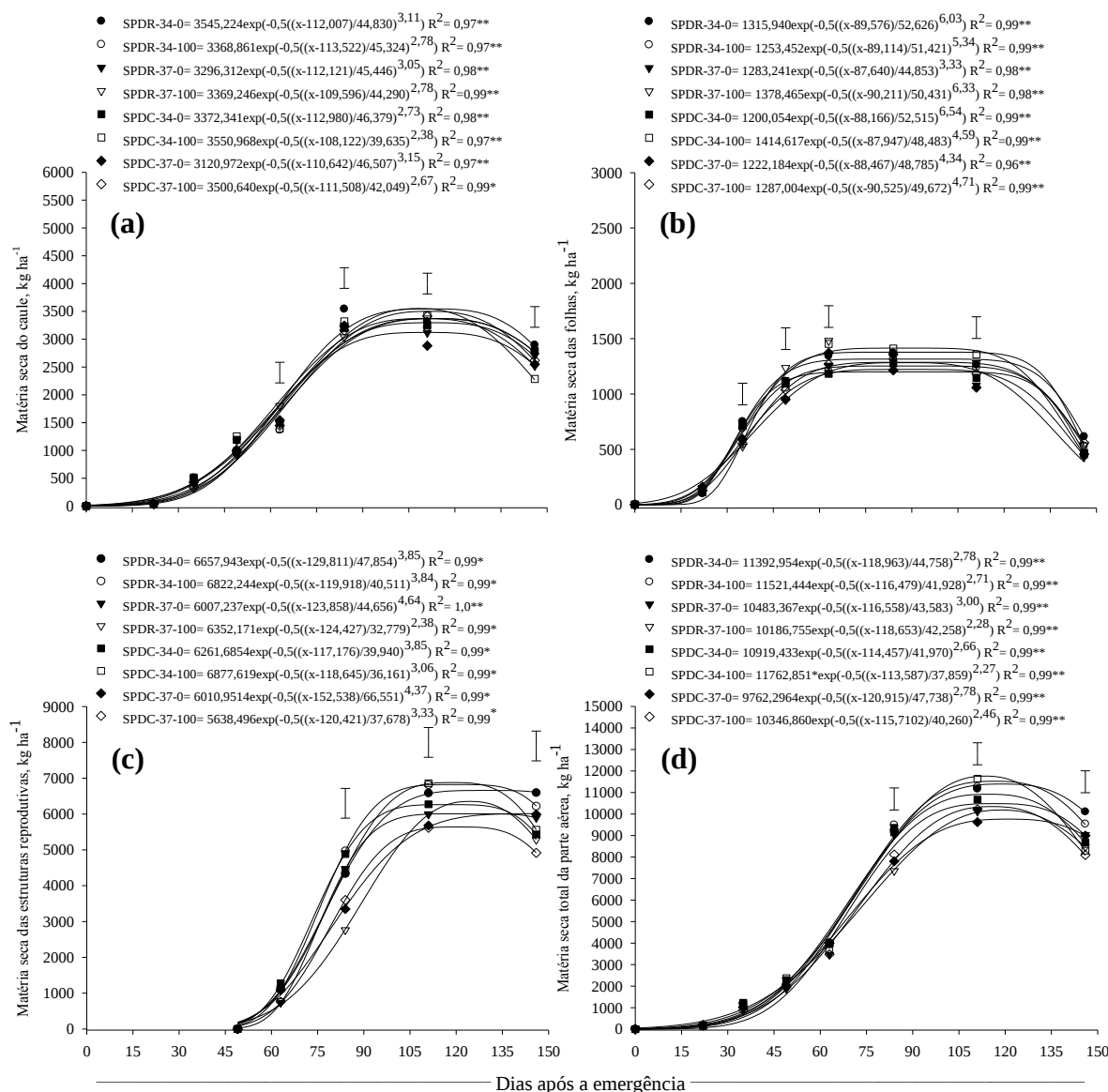


Figura 2. Quantidade de matéria seca acumulada no caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura. * e ** são: significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente de acordo com o teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Para todos os tratamentos a quantidade total de massa de MS acumulada na parte aérea do cârtamo foi baixa até os 22 DAE (roseta) (Figura 2d). Embora não tenha sido quantificada a massa de MS acumulada no sistema radicular, este parece ser o dreno principal de fotoassimilados do cârtamo nas suas fases iniciais de desenvolvimento, como relatado por Montoya (2010). A partir de os 22 DAE ocorreu aumento acentuado e progressivo na massa de MS total acumulada na parte aérea do cârtamo, que se estendeu até por volta de 111 DAE. Nota-se que a época de acúmulo mais intenso de MS na parte aérea foi aproximadamente entre 49 e 84 DAE, especialmente no caule e nas estruturas reprodutivas (Figuras 2a, 2c e 2d). Aos 146 DAE (maturação) houve decréscimo na quantidade de massa de MS acumulada na parte aérea, ocasionada em função da senescência das plantas e abscisão foliar. De maneira geral, o genótipo IMA 2234 apresentou maior quantidade de MS acumulada na parte aérea, independentemente do tempo que o solo estava manejado sob SPD ou da adubação nitrogenada de cobertura (Figura 2d e Tabela 5). A maior quantidade de MS acumulada nas estruturas reprodutivas foi determinante para a obtenção desse resultado (Figura 2c). Em contraste com esses resultados, alguns trabalhos internacionais demonstram respostas do cârtamo à adubação nitrogenada de cobertura. Dordas e Sioulas (2009), avaliando o acúmulo de massa de MS total da parte aérea de dois genótipos de cârtamo, cultivados em sucessão ao trigo (*Triticum turgidum* subsp. *durum* L.), obtiveram respostas à adubação nitrogenada de cobertura até a dose de 100 kg ha^{-1} de N, já que não houve diferença entre essa dose e a de 200 kg ha^{-1} de N. Yau e Ryan (2010) também obtiveram respostas do acúmulo de massa de MS total da parte aérea do cârtamo em função da adubação nitrogenada de cobertura (80 kg ha^{-1} de N). Embora nesse experimento não se tenha obtido respostas a adubação nitrogenada de cobertura, é extremamente importante se fornecer N à cultura do cârtamo, uma vez que esse nutriente desempenha funções vitais sobre o desenvolvimento vegetativo das plantas, como relatado por Marschner (1995). A quantidade máxima acumulada de massa de MS total da parte aérea do cârtamo, $11.762 \text{ kg ha}^{-1}$, foi obtida no tratamento com o genótipo IMA 2234 no SPDC e com aplicação de 100 kg ha^{-1} de N em cobertura, aos 113 DAE (Tabela 5). Na média dos tratamentos, a quantidade máxima de MS acumulada ($10.787 \text{ kg ha}^{-1}$) foi observada aos 116 DAE.

Tabela 5. Quantidades máximas acumuladas e época em que foi atingida a quantidade máxima acumulada de matéria seca da parte aérea e nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S por genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto e adubação nitrogenada de cobertura.

Tratamentos	MS da parte aérea	N	P	K	Ca	Mg	S
Quantidade máxima acumulada, kg ha ⁻¹							
SPDR-34-0	11.320	156	14	197	132	15	17
SPDR-34-100	11.521	175	13	186	122	13	16
SPDR-37-0	10.483	131	13	152	129	15	14
SPDR-37-100	10.186	142	10	137	125	16	14
SPDC-34-0	10.919	142	14	188	116	13	14
SPDC-34-100	11.762	176	14	193	125	14	15
SPDC-37-0	9.762	126	13	151	122	15	13
SPDC-37-100	10.346	142	10	142	130	14	15
Média	10.787	149	13	168	125	14	15
Época da máxima quantidade acumulada, DAE							
SPDR-34-0	119	107	98	111	124	110	115
SPDR-34-100	116	106	102	112	122	109	110
SPDR-37-0	116	107	102	110	118	106	112
SPDR-37-100	118	107	100	108	122	105	111
SPDC-34-0	114	103	99	109	120	104	109
SPDC-34-100	113	106	99	107	119	102	107
SPDC-37-0	120	108	103	112	124	107	110
SPDC-37-100	115	106	101	107	123	103	113
Média	116	106	101	110	122	106	111

Valores obtidos nas equações ajustadas das figuras 2d, 3d, 4d, 5d, 6d, 7d E 8d. SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura. DAE - dias após a emergência.

6.3 Marcha de absorção de nutrientes

6.3.1 Nitrogênio

Os maiores teores de N nas folhas e no caule foram observados nas amostras coletadas aos 22 DAE (roseta) (Tabela 6). A partir de os 22 DAE ocorreu redução nos teores de N no caule e nas folhas. Essa redução foi ocasionada pelo aumento da quantidade de massa de MS acumulada nesses órgãos (Figura 2a e 2b), que resultou em diluição do N na planta. Além disso, houve redistribuição do N (caule e folhas) para as

estruturas reprodutivas, pois este nutriente possui alta mobilidade na planta (MALAVOLTA et al., 1997). Nas estruturas reprodutivas, os teores de N foram maiores aos 63 DAE (florescimento) e posteriormente diminuíram, provavelmente, em decorrência do aumento acentuado da MS acumulada nas estruturas reprodutivas (Figura 2c).

A quantidade de N acumulado no caule aumentou principalmente até 63 DAE (ramificação/florescimento), com estabilização e posterior diminuição nas épocas de amostragens seguintes, em todos os tratamentos (Figura 3a). O aumento expressivo na quantidade de MS acumulada nesse mesmo órgão até os 84 DAE (Figura 2a) e a relativa manutenção nos teores até os 63 DAE (Tabela 6) foram os responsáveis pelo aumento do N acumulado no caule até os 63 DAE. Posteriormente aos 84 DAE, a quantidade de N acumulada no caule diminuiu em função da redução na quantidade de MS acumulada e expressiva redução nos teores de N no caule, indicando redistribuição do N acumulado no caule para os demais órgãos da planta, especialmente as estruturas reprodutivas. A adubação nitrogenada de cobertura proporcionou maior quantidade de N acumulado no caule em ambos os genótipos de cártamo, independentemente do tempo de implantação do SPD, como observado para o acúmulo de massa de MS do caule (Figura 2a e 3a).

Nas folhas, também houve aumento do N acumulado até por volta de 63 DAE, com posterior diminuição em todos os tratamentos (Figura 3b). O intenso aumento obtido no acúmulo de MS das folhas até os 63 DAE (Figura 2b) foi determinante para a obtenção do aumento do N acumulado nas folhas até a mesma época de amostragem. A acentuada diminuição da quantidade de N acumulado nas folhas posteriormente aos 63 DAE ocorreu em função da paralisação da MS acumulada nas folhas nas fases finais de desenvolvimento do cártamo (Figura 2b) e da alta redistribuição de N para as estruturas reprodutivas (Tabela 6), pois o N é um nutriente móvel na planta (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, a abscisão e senescência foliar também influenciaram na acentuada diminuição da quantidade de N acumulado nas folhas no final do ciclo do cártamo. A senescência é uma das fases de desenvolvimento das plantas que apresenta maior potencial de perda de N por volatilização de amônia (NH_3) (VALLIS; KEATING, 1994). Nessa fase ocorre uma diminuição da atividade das enzimas sintetases de glutamina e de glutamato, que são responsáveis pela assimilação do amônio (NH_4^+) (CANTARELLA, 2007). A adubação nitrogenada de cobertura aumentou a quantidade de N acumulado nas folhas em ambos os genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237),

independentemente do tempo de implantação do SPD (SPDR e SPDC). Resultados semelhantes foram obtidos para a massa de MS acumulada nas folhas (Figura 2b).

Tabela 6. Teores de N em cada órgão da planta de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias após a emergência						
	22	35	49	63	84	111	146
	g kg ⁻¹						
	Caule						
SPDR-34-0	22	16	13	9	4	4	3
SPDR-34-100	21	15	10	8	4	4	3
SPDR-37-0	22	17	12	11	5	4	3
SPDR-37-100	22	17	11	12	5	4	4
SPDC-34-0	22	18	14	9	4	3	3
SPDC-34-100	23	19	13	9	4	4	3
SPDC-37-0	23	18	13	9	5	4	4
SPDC-37-100	23	17	16	12	5	4	4
	Folhas						
SPDR-34-0	45	38	37	34	30	15	13
SPDR-34-100	44	36	34	37	31	13	13
SPDR-37-0	44	38	39	37	32	17	17
SPDR-37-100	43	38	39	33	31	18	16
SPDC-34-0	44	37	39	34	28	14	14
SPDC-34-100	44	39	38	30	26	15	12
SPDC-37-0	42	36	37	33	29	19	16
SPDC-37-100	44	39	39	38	29	17	17
	Estruturas reprodutivas						
SPDR-34-0	-	-	-	30	16	19	12
SPDR-34-100	-	-	-	26	15	17	14
SPDR-37-0	-	-	-	31	20	19	13
SPDR-37-100	-	-	-	33	18	21	14
SPDC-34-0	-	-	-	31	15	16	13
SPDC-34-100	-	-	-	32	16	17	15
SPDC-37-0	-	-	-	35	19	18	13
SPDC-37-100	-	-	-	36	18	18	15

SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

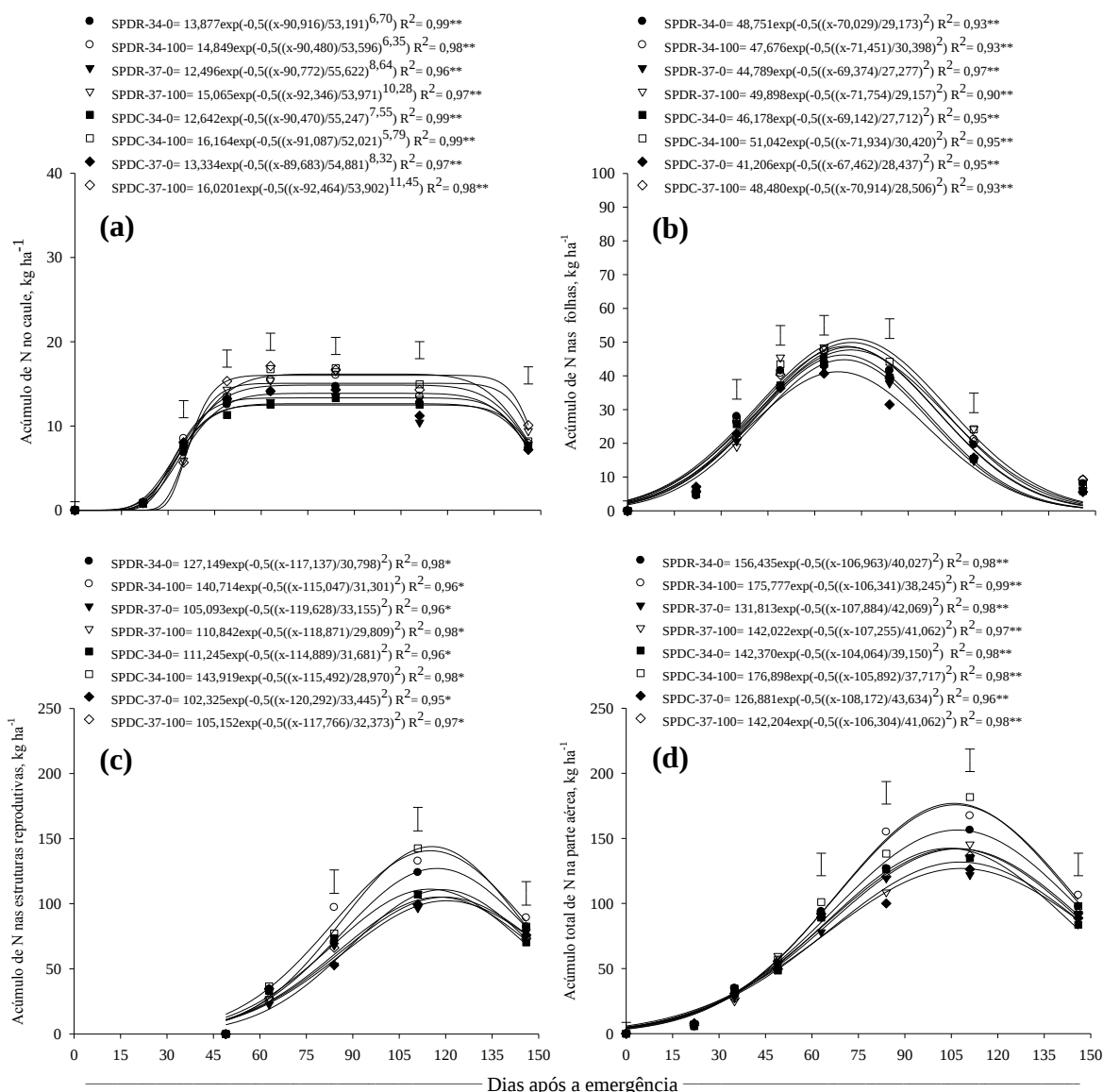


Figura 3. Quantidades de N acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura. * e ** são: significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente de acordo com o teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

O N acumulado nas estruturas reprodutivas foi notado a partir de 63 DAE (ramificação/florescimento), com aumento até por volta de 111 DAE (enchimento de grãos), em todos os tratamentos (Figura 3c). Aos 146 DAE ocorreu uma diminuição da quantidade de N acumulado nas estruturas reprodutivas. Esses resultados ocorreram em função do aumento da quantidade de massa de MS acumulada nas estruturas reprodutivas até 111 DAE, com posterior diminuição no teor de N e na quantidade acumulada de MS aos 146 DAE (Figura 2c). Independentemente do manejo do solo (SPDR e SPDC) e da adubação nitrogenada de cobertura (0 e 100 kg ha⁻¹ de N), o genótipo de cártamo IMA 2234 foi o que apresentou a maior quantidade de N acumulado nas estruturas reprodutivas (Figura 3c). A maior massa de MS acumulada nas estruturas reprodutivas no genótipo de cártamo IMA 2234 foi determinante para obtenção desse resultado, já que houve pouca variação nos teores de N nas estruturas reprodutivas entre os tratamentos (Figura 2c e Tabela 6).

Em todos os tratamentos a quantidade total de N acumulada da parte aérea aumentou até cerca de 111 DAE, decrescendo após essa época de amostragem (Figura 3d). A época de acúmulo mais intenso de N foi entre 49 e 84 DAE. Esses resultados coincidem com o acúmulo total de MS da parte aérea (Figura 2d). A partir de 111 DAE, o decréscimo na quantidade total de N acumulado na parte aérea do cártamo ocorreu em função da diminuição na quantidade total de MS acumulada na parte aérea (Figura 2d), bem como pela redução da quantidade de N acumulada em todos os órgãos da planta (Figuras 3a, 3b e 3c). Dordas e Sioulas (2009) avaliaram o acúmulo de N total na antese e maturação de genótipos de cártamo (CW9048 e CW9050) em função da adubação nitrogenada de cobertura (0, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N) e também obtiveram redução no acúmulo de N total na parte aérea em função das épocas de amostragens, sendo os menores valores obtidos para a coleta realizada na maturação.

A adubação nitrogenada de cobertura (100 kg ha⁻¹ de N) aumentou a quantidade total de N acumulado na parte aérea do genótipo de cártamo IMA 2234, independentemente do manejo do solo (SPDR e SPDC). Esse resultado foi obtido em decorrência da maior quantidade de massa de MS total acumulada na parte aérea do genótipo de cártamo IMA 2234 (Figura 2d). A maior quantidade máxima de N acumulada na parte aérea do cártamo, de 176 kg ha⁻¹, foi estimada aos 106 DAE, no tratamento com o genótipo IMA 2234 no SPDC e com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N (Tabela 5), ou seja, no mesmo que proporcionou a maior quantidade máxima de MS acumulada. Na média dos

tratamentos, a quantidade máxima de N acumulada na parte aérea foi de 149 kg ha⁻¹. Dordas e Sioulas (2009) relataram acúmulo de até 263 kg ha⁻¹ de N na parte aérea do cártamo no período de florescimento.

6.3.2 Fósforo

Os maiores teores de P no caule e nas folhas foram obtidos nas amostras coletadas aos 22 DAE, enquanto nas estruturas reprodutivas aos 63 DAE (Tabela 7). O teor de P no caule decresceu após os 22 DAE em função da diluição, ocasionada pelo aumento no acúmulo de massa de MS nesse órgão da planta (Figura 2a). Nas folhas, o teor de P diminui principalmente após os 63 DAE, o que está associado à redistribuição desse nutriente para estruturas reprodutivas, já que a partir desse período não houve aumento na quantidade de MS acumulada nas folhas (Figura 2b), porém grande incremento da quantidade de MS e P acumuladas nas estruturas reprodutivas (Figuras 2c e 4c). Nas estruturas reprodutivas os teores de P diminuíram de 63 DAE até 146 DAE (maturação). A diminuição no teor de P nas estruturas reprodutivas, principalmente até 111 DAE, ocorreu em função do intenso aumento no acúmulo de massa de MS das estruturas reprodutivas (Figura 2c). Já a diminuição no teor de P entre 111 e 146 DAE necessita ser estudada.

O P acumulado no caule aumentou até 84 DAE (florescimento), diminuindo após essa época de amostragem em todos os tratamentos (Figura 4a). Esse aumento ocorreu em função do incremento na quantidade de MS acumulada no caule, que foi obtida até a mesma época de amostragem (Figura 2a). Posteriormente aos 84 DAE, ocorreu diminuição acentuada na quantidade de P acumulado no caule em decorrência, principalmente, da redistribuição desse nutriente para as estruturas reprodutivas. O genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou a maior quantidade de P acumulado no caule, independentemente do manejo do solo (SPDR e SPDC) e adubação nitrogenada de cobertura (0 e 100 kg ha⁻¹ de N).

Nas folhas, a quantidade de P acumulado aumentou até o período entre 49 e 63 DAE, decrescendo acentuadamente após essas épocas de amostragem para todos os tratamentos (Figura 4b). Esses resultados foram obtidos em função do aumento na massa de MS acumulada nas folhas, que de maneira geral ocorreu até os 63 DAE (Figura 2b) e ao P redistribuído do caule para as folhas (Figura 4a). Após os 84 DAE, a diminuição acentuada na quantidade de P acumulado nas folhas aconteceu em decorrência,

principalmente, da redistribuição desse nutriente para as estruturas reprodutivas, uma vez que o P é móvel na planta (MALAVOLTA et al., 1997). A adubação nitrogenada de cobertura (100 kg ha⁻¹ de N) aumentou o P acumulado nas folhas de ambos os genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237), independentemente dos sistemas de manejo do solo.

Tabela 7. Teores de P em cada órgão da planta de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias após a emergência						
	22	35	49	63	84	111	146
	g kg ⁻¹						
	Caule						
SPDR-34-0	2,3	2,0	1,3	1,1	0,8	0,4	0,2
SPDR-34-100	2,3	1,7	1,4	1,2	0,9	0,4	0,2
SPDR-37-0	2,3	1,8	1,2	1,1	0,7	0,4	0,2
SPDR-37-100	2,2	1,5	1,3	1,0	0,8	0,4	0,3
SPDC-34-0	2,5	1,8	1,4	1,3	0,9	0,5	0,3
SPDC-34-100	2,3	1,6	1,3	1,2	0,8	0,5	0,2
SPDC-37-0	2,5	2,1	1,4	1,2	0,8	0,4	0,2
SPDC-37-100	2,3	1,7	1,5	1,2	0,7	0,3	0,3
	Folhas						
SPDR-34-0	2,9	2,4	2,9	2,4	2,2	0,8	0,3
SPDR-34-100	2,9	2,6	2,7	2,5	1,9	0,6	0,4
SPDR-37-0	2,8	2,7	2,5	2,1	1,6	0,7	0,3
SPDR-37-100	2,7	2,7	2,8	2,3	1,9	0,6	0,3
SPDC-34-0	3,0	2,6	2,7	2,6	1,8	0,9	0,3
SPDC-34-100	2,8	2,6	2,6	2,4	1,6	0,8	0,3
SPDC-37-0	3,0	2,8	2,9	2,4	1,7	0,7	0,3
SPDC-37-100	2,8	2,9	3,0	2,2	1,7	0,9	0,3
	Estruturas reprodutivas						
SPDR-34-0	-	-	-	2,7	1,8	1,8	0,8
SPDR-34-100	-	-	-	2,8	2,1	1,9	0,9
SPDR-37-0	-	-	-	2,7	1,7	1,4	1,2
SPDR-37-100	-	-	-	2,7	1,9	1,6	1,0
SPDC-34-0	-	-	-	3,0	1,9	1,6	1,2
SPDC-34-100	-	-	-	2,8	1,8	1,9	1,0
SPDC-37-0	-	-	-	3,1	1,4	1,3	1,0
SPDC-37-100	-	-	-	2,8	1,5	1,5	1,0

SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

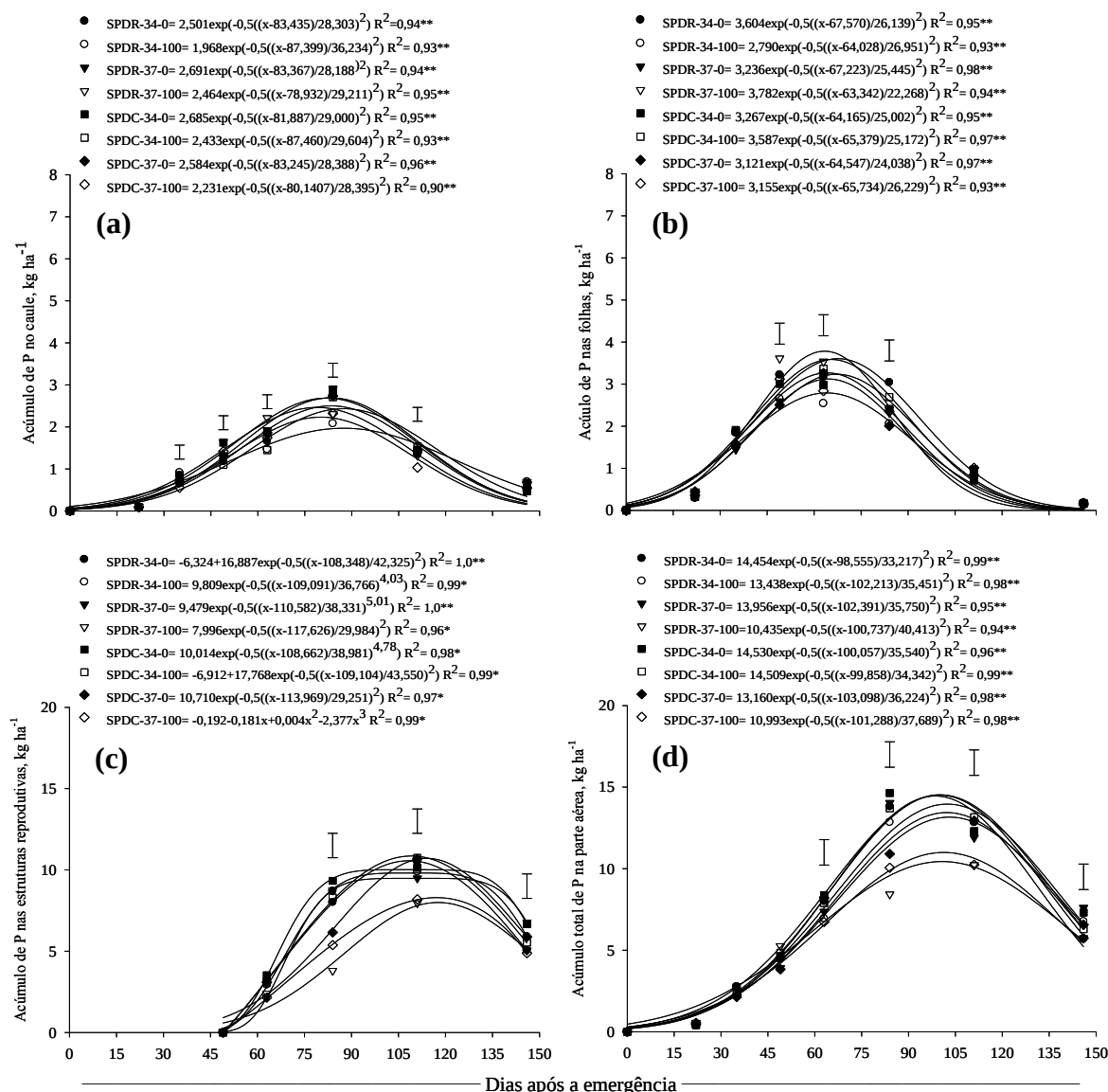


Figura 4. Quantidades de P acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cântamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura. * e ** são: significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente de acordo com o teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Em todos os tratamentos o P acumulado nas estruturas reprodutivas aumentou dos 63 DAE (ramificação/florescimento) até por volta de 111 DAE (enchimento de grãos) (Figura 4c). Aos 146 DAE ocorreu decréscimo na quantidade de P acumulado nas estruturas reprodutivas. Esses resultados são decorrentes do aumento na quantidade de MS acumulada nas estruturas reprodutivas até 111 DAE, com posterior diminuição no teor de P e na quantidade acumulada de MS nesse mesmo órgão aos 146 DAE (Figura 2c). O genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou a maior quantidade de P acumulado nas estruturas reprodutivas, independentemente do manejo do solo e adubação nitrogenada de cobertura. A maior massa de MS acumulada nas estruturas reprodutivas no genótipo de cártamo IMA 2234 foi determinante para a obtenção desse resultado (Figura 2c).

Houve aumento na quantidade total de P acumulado na parte aérea até o período entre 84 e 111 DAE, decrescendo após essas épocas de amostragem em todos os tratamentos (Figura 4d). Resultados semelhantes foram obtidos para a quantidade total de massa de MS acumulada na parte aérea do cártamo, que aumentou até 111 DAE e foi determinante para obtenção desse resultado (Figura 2d). Contudo, assim como observado para a MS e o N, a época de acumulação mais intensa de P pela cultura do cártamo foi aproximadamente entre 49 e 84 DAE (Figura 4d). O decréscimo na quantidade total de P acumulado na parte aérea do cártamo aos 146 DAE aconteceu em função da diminuição na quantidade de MS acumulada em cada órgão da planta, que ocasionou a uma redução na quantidade total de MS na da parte aérea do cártamo (Figura 2). O genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou a maior quantidade de P acumulado na parte aérea, independentemente do manejo do solo e adubação nitrogenada de cobertura. O P acumulado na parte aérea dos genótipos de cártamo IMA 2234 e IMA 2237 não foi influenciado pelo tempo que o solo estava sendo manejado em SPD, provavelmente, devido ao alto teor de P que o solo apresentava até a profundidade de 0,2 m, em ambos os tratamentos de manejo do solo (RAIJ et al., 1997) (Tabela 2). Esses resultados se confirmam quando se observa os teores de P nos órgãos da planta (Tabela 7), pois, de maneira geral, os teores se assemelharam em todos os tratamentos. Independentemente do tempo de implantação do SPD e adubação nitrogenada de cobertura, o genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou a maior quantidade de P acumulado na parte aérea, 14 kg ha^{-1} , estimado aos 100 DAE (Tabela 5). Considerando a média de todos os tratamentos, a quantidade total de P acumulado na parte aérea foi de 13 kg ha^{-1} . Dordas (2009), avaliando doses de N e P aplicadas em diferentes épocas na cultura do cártamo obtiveram acúmulo

total de P na parte aérea de aproximadamente 15 kg ha^{-1} , sendo esta variável quantificada na antese.

6.3.3 Potássio

Os maiores teores de K no caule e nas folhas foram obtidos nas amostras coletadas aos 22 DAE, enquanto, nas estruturas reprodutivas aos 63 DAE (Tabela 8). A partir de os 22 DAE ocorreu uma acentuada diminuição nos teores de K no caule. Essa diminuição foi ocasionada pelo aumento na MS acumulada no caule até 84 DAE (Figura 2a) e redistribuição do K acumulado no caule para os demais órgãos da planta, que apesar de baixa, deve ser considerada (Figura 5a). Nas folhas os teores iniciaram-se altos aos 22 DAE e, em seguida, ou seja, de 22 para 35 DAE ocorreu uma acentuada diminuição nos teores foliares de K, ocasionada pela alta quantidade de MS acumulada nas folhas na fase inicial de desenvolvimento do cártamo (Figura 2b). Entre 35 e 111 DAE o decréscimo foi baixo, porém, entre 111 e 146 voltou a ser acentuado. A redistribuição do K acumulado nas folhas para as estruturas reprodutivas e, principalmente no final do ciclo, a lavagem de K das folhas senescentes, podem ter sido determinantes para a obtenção desses resultados. O K pode ser facilmente lavado do tecido vegetal. Moraes e Arens (1969) constataram que o nutriente sofreu lixiviação considerável das folhas de plantas cultivadas, quando estas foram imersas em água destilada, demonstrando que este fenômeno pode ocorrer em condições de campo graças à ação da água do orvalho ou das chuvas. Alguns estudos verificaram aumento do teor de K do solo próximo à base dos caules das plantas de milho em razão da lavagem do nutriente da parte aérea senescente no final do ciclo da cultura (KLEPKER; ANGHINONI, 1995; SILVA; RITCHEY, 1982). Calonego et al. (2005) observaram que as quantidades de K lixiviadas das palhas de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown), sorgo de guiné (*Sorghum vulgare* Pers.), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.), triticale ($\times$ *Triticosecale*), crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.) e braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.) aumentaram à medida que o estado de senescência das plantas evoluiu após o manejo químico. Nas estruturas reprodutivas houve diminuição do teor de K até 146 DAE (Tabela 8). O aumento da massa de MS acumulada nas estruturas reprodutivas até aos 111 DAE (Figura 2c), que pode ter ocasionado diluição do K, e a lavagem do nutriente das brácteas das estruturas reprodutivas no final do ciclo, justificam essa diminuição.

Tabela 8. Teores de K em cada órgão da planta de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias após a emergência						
	22	35	49	63	84	111	146
	g kg ⁻¹						
	Caule						
SPDR-34-0	59	37	28	21	12	12	11
SPDR-34-100	59	41	23	21	12	11	11
SPDR-37-0	51	33	23	20	10	11	10
SPDR-37-100	63	40	24	25	11	12	12
SPDC-34-0	50	34	23	20	11	10	10
SPDC-34-100	52	43	24	20	10	11	10
SPDC-37-0	51	43	23	16	10	9	9
SPDC-37-100	48	35	23	20	10	10	9
	Folhas						
SPDR-34-0	45	34	30	28	33	33	6
SPDR-34-100	46	31	28	33	35	32	5
SPDR-37-0	41	26	23	28	32	33	5
SPDR-37-100	43	36	30	29	34	34	5
SPDC-34-0	34	33	25	23	23	26	3
SPDC-34-100	41	30	30	24	30	26	8
SPDC-37-0	37	37	23	24	26	21	4
SPDC-37-100	37	39	27	26	25	24	6
	Estruturas reprodutivas						
SPDR-34-0	-	-	-	21	13	18	15
SPDR-34-100	-	-	-	14	13	19	15
SPDR-37-0	-	-	-	12	12	17	13
SPDR-37-100	-	-	-	19	14	17	13
SPDC-34-0	-	-	-	20	13	15	16
SPDC-34-100	-	-	-	20	13	17	15
SPDC-37-0	-	-	-	30	17	13	14
SPDC-37-100	-	-	-	24	16	13	14

SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

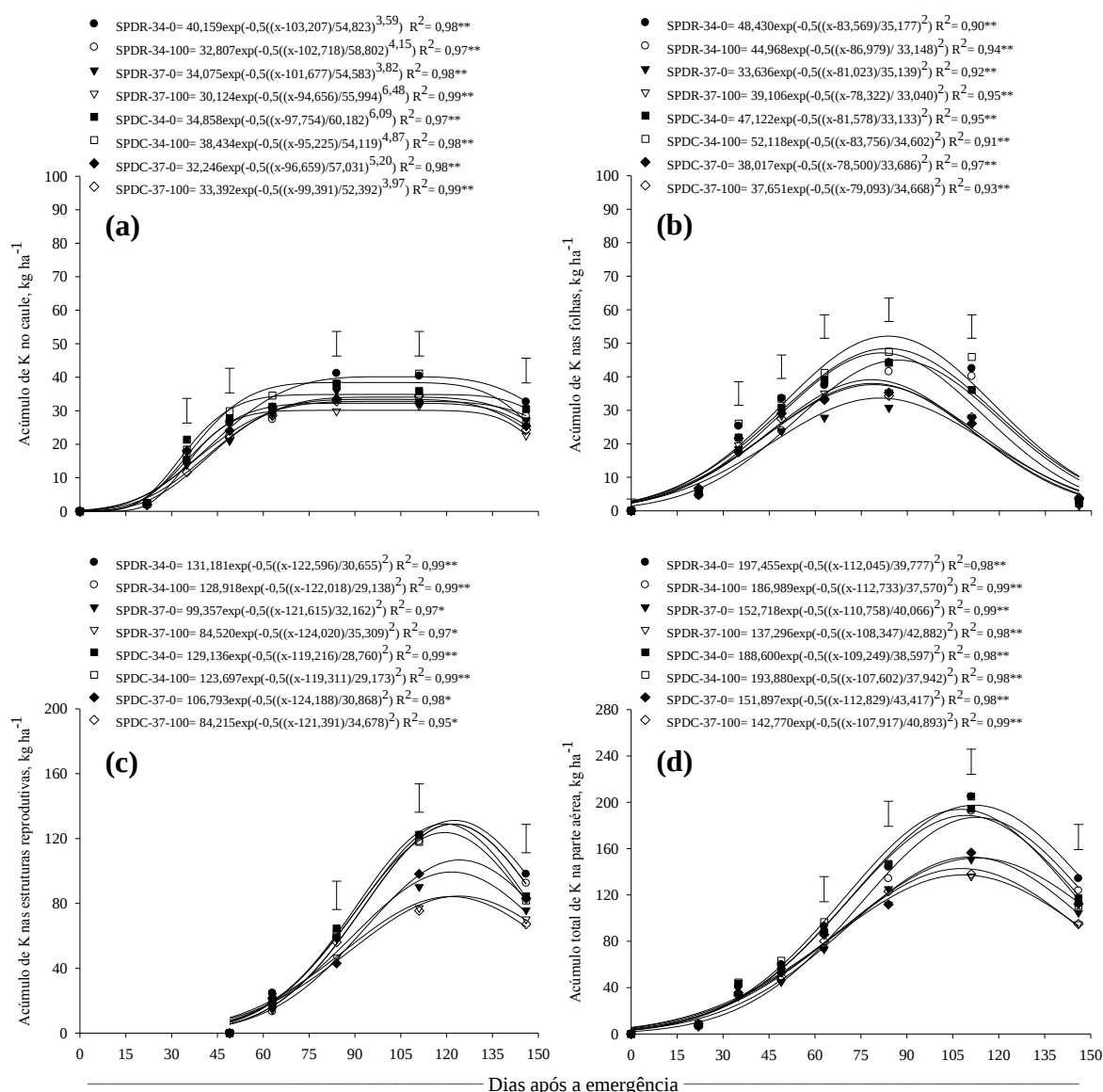


Figura 5. Quantidades de K acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura. * e ** são: significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente de acordo com o teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

O K acumulado no caule aumentou até 84 DAE, se manteve estável entre 84 e 111 DAE e diminuiu após essa época em todos os tratamentos (Figura 5a). Esse resultado foi obtido em função do aumento da MS acumulada no caule, que, de maneira geral, ocorreu até essa mesma época de amostragem (Figura 2a). O decréscimo observado na quantidade de K acumulado no caule a partir de 111 DAE foi baixo e indicou que o K presente nesse órgão foi pouco redistribuído para as estruturas reprodutivas. Independentemente do manejo do solo e da adubação nitrogenada de cobertura, o genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou maior quantidade de K acumulado no caule.

Houve incremento do K acumulado nas folhas até 84 DAE, diminuindo após essa época de amostragem em todos os tratamentos (Figura 5b). Esse comportamento está diretamente relacionado com a MS acumulada nas folhas (Figura 2b) e com a redução nos teores, especialmente no final do ciclo (Tabela 8). A maior quantidade de K acumulado nas folhas foi obtida no genótipo de cártamo IMA 2234, independentemente do manejo do solo e adubação nitrogenada de cobertura, como observado para o acúmulo de K no caule (Figuras 5a e 5b).

Notou-se início do K acumulado nas estruturas reprodutivas aos 63 DAE, com aumento até os 111 DAE, em todos os tratamentos (Figura 5c). Esse aumento foi obtido devido à massa de MS acumulada nas estruturas reprodutivas, que aumentou até a mesma época de amostragem. Aos 146 DAE foi observada diminuição na quantidade de K acumulado nas estruturas reprodutivas, o que foi decorrente do decréscimo na quantidade de MS acumulada e do menor teor de K nas estruturas reprodutivas (Figura 2c e Tabela 8). Independentemente do tempo que o solo estava sendo manejado sob SPD (SPDR e SPDC) e da adubação nitrogenada de cobertura, o genótipo de cártamo IMA 2234 foi o que apresentou a maior quantidade de K acumulado nas estruturas reprodutivas. Esse resultado foi obtido em função da maior massa de MS acumulada nas estruturas reprodutivas, apresentada por esse mesmo genótipo de cártamo (Figura 2c). Além disso, esse genótipo apresentou maior quantidade de K acumulado no caule e nas folhas (Figura 5a e 5b).

A quantidade total de K acumulado na parte aérea do cártamo também aumentou até 111 DAE (enchimento de grãos), decrescendo após essa época de amostragem em todos os tratamentos (Figura 5d). A época de acúmulo mais intenso de K pela cultura do cártamo também situou-se entre 49 e 84 DAE. O aumento da massa de MS total acumulada na parte aérea até 111 DAE com posterior diminuição na quantidade

acumulada aos 146 DAE foi determinante para a obtenção desses resultados (Figura 2d). O genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou maior quantidade de K acumulado na parte aérea, independentemente do manejo do solo e adubação nitrogenada de cobertura. A quantidade total de K acumulado na parte aérea dos genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2247) não foi influenciada pelos manejos do solo (SPDR e PSDC), em função da semelhança dos teores de K no solo para ambos os sistemas (Tabela 2). De maneira geral, os teores de K no solo foram médios a altos, especialmente nas camadas superficiais (RAIJ et al., 1997). A quantidade máxima total acumulada de K da parte aérea do cártamo foi de 197 kg ha^{-1} , obtida aos 110 DAE, no genótipo de cártamo IMA 2234, cultivado sobre SPDR e sem a aplicação da adubação nitrogenada de cobertura (Tabela 5). Na média dos tratamentos, a quantidade máxima de K acumulado foi de 168 kg ha^{-1} . Anicésio (2014), em experimento conduzido sobre casa de vegetação avaliaram doses de K (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm^{-3}) e N (0, 60, 120, 180 e 240 mg dm^{-3}), aplicadas antes de semeadura e em cobertura, respectivamente, e relataram que o acúmulo máximo de K na parte aérea do cártamo no florescimento foi de $191 \text{ mg planta}^{-1}$, obtido com a aplicação de $90 \text{ mg de N dm}^{-3}$.

6.3.4 Cálcio

Os maiores teores de Ca no caule foram obtidos nas amostras coletadas aos 22 DAE, posteriormente, esses teores decresceram até 84 DAE (Tabela 9). Esse resultado está diretamente relacionado com a massa de MS acumulada no caule (Figura 2a), cujo aumento promoveu diluição do Ca entre 22 e 84 DAE, pois não houve redistribuição para as folhas e estruturas reprodutivas do cártamo (Figura 6a). Nas folhas, os teores de Ca foram semelhantes até 63 DAE. Entre 84 e 146 DAE observaram-se maiores teores foliares de Ca nas folhas. Como o Ca é imóvel no floema da planta (MALAVOLTA et al., 1997), a partição de MS e redistribuição de outros nutrientes para outros órgãos da planta, provavelmente, proporcionou ligeira concentração do Ca nas folhas (Figuras 2 e 6b e Tabela 9). Os teores de Ca nas estruturas reprodutivas diminuíram no período entre 63 e 84 DAE, devido ao expressivo aumento da MS acumulada nas estruturas reprodutivas observado nesse período (Figura 2c). No final do ciclo de desenvolvimento do cártamo, os teores de Ca tiveram pequena diminuição (Figura 2d).

Tabela 9. Teores de Ca em cada órgão da planta de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias após a emergência						
	22	35	49	63	84	111	146
	g kg ⁻¹						
	Caule						
SPDR-34-0	14	10	9	7	4	5	5
SPDR-34-100	14	10	8	8	4	5	5
SPDR-37-0	15	10	10	8	4	4	5
SPDR-37-100	15	15	7	7	4	4	6
SPDC-34-0	21	12	7	5	3	4	5
SPDC-34-100	16	11	9	7	4	4	5
SPDC-37-0	20	11	7	6	4	4	5
SPDC-37-100	22	14	7	6	3	4	5
	Folhas						
SPDR-34-0	18	21	18	18	22	24	28
SPDR-34-100	17	23	19	22	21	24	26
SPDR-37-0	19	23	22	19	19	21	24
SPDR-37-100	16	23	22	19	22	23	26
SPDC-34-0	20	27	25	24	25	33	21
SPDC-34-100	18	25	21	20	21	23	23
SPDC-37-0	20	22	22	21	24	27	22
SPDC-37-100	19	19	22	22	23	29	27
	Estruturas reprodutivas						
SPDR-34-0	-	-	-	9	7	13	13
SPDR-34-100	-	-	-	7	7	12	12
SPDR-37-0	-	-	-	8	7	13	13
SPDR-37-100	-	-	-	8	8	12	15
SPDC-34-0	-	-	-	12	9	14	13
SPDC-34-100	-	-	-	10	8	15	13
SPDC-37-0	-	-	-	10	9	14	13
SPDC-37-100	-	-	-	10	8	15	16

SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

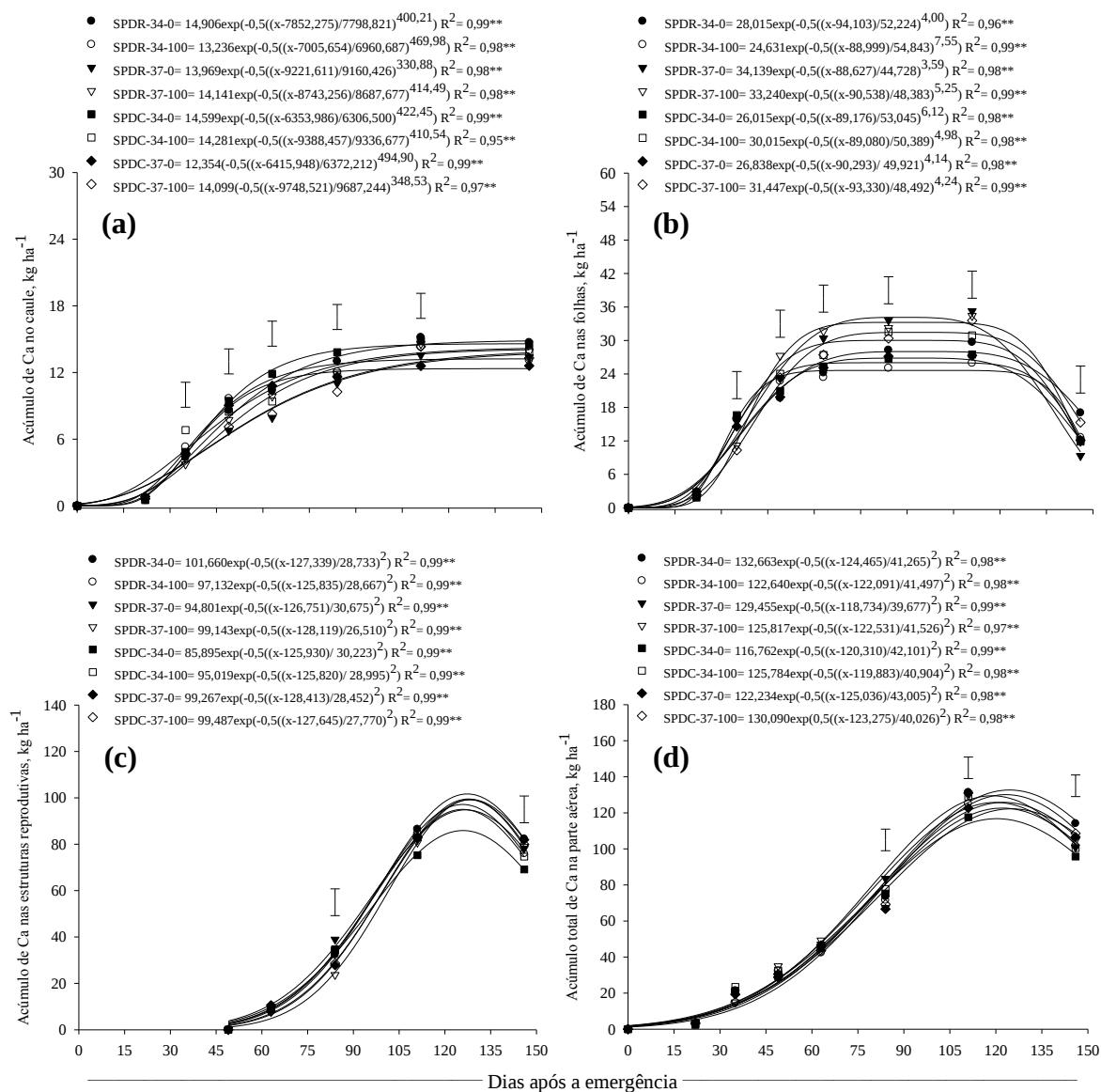


Figura 6. Quantidades de Ca acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura. * e ** são: significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente de acordo com o teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

A quantidade de Ca acumulado no caule aumentou até 111 DAE (enchimento de grãos), porém de forma mais intensa até 84 DAE, e com posterior estabilização, em todos os tratamentos (Figura 6a). Embora o teor de Ca no caule tenha diminuído até 84 DAE (Tabela 9), o aumento da massa de MS acumulada no caule até 111 DAE (Figura 2a) foi determinante para o acréscimo de Ca acumulado no caule nessa mesma época de amostragem. A ausência de decréscimo na quantidade de Ca acumulada no caule no final do ciclo demonstra que não houve redistribuição desse nutriente para as folhas e estruturas reprodutivas do cártamo. De maneira geral, o genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou maior quantidade de Ca acumulado no caule que o IMA 2237 (Figura 6a).

Em todos os tratamentos, o aumento do Ca acumulado nas folhas ocorreu, principalmente até 63 DAE, decrescendo após essa época de amostragem (Figura 6b). Esse resultado está diretamente relacionado à massa de MS acumulada nas folhas (Figura 2b). A redistribuição do Ca acumulado nas folhas para as estruturas reprodutivas foi baixa, pois o Ca é nutriente imóvel na planta (MALAVOLTA et al., 1997). A maior quantidade de Ca acumulado nas folhas ocorreu no genótipo de cártamo IMA 2237, independentemente dos sistemas de manejo do solo e adubação nitrogenada de cobertura.

O Ca acumulado nas estruturas reprodutivas foi observado inicialmente aos 63 DAE (ramificação/florescimento), com aumento por até aos 111 DAE (Figura 6c). Aos 146 DAE ocorreu ligeira diminuição na quantidade de Ca acumulado nas estruturas reprodutivas. O genótipo de cártamo IMA 2234, quando cultivado sobre SPDR apresentou maior quantidade de Ca acumulado nas estruturas reprodutivas, independentemente da adubação nitrogenada de cobertura.

A quantidade total de Ca acumulado na parte aérea do cártamo foi incrementada até 111 DAE (enchimento de grãos), diminuindo após essa época de amostragem, em todos os tratamentos (Figura 6d). Comportamento semelhante ao observado para a MS acumulada na parte aérea da cultura (Figura 2d). Destaca-se, porém, que a época de acúmulo mais intenso de Ca pela cultura se entendeu entre 49 e 111 DAE. O genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou a maior quantidade total de Ca acumulado na parte aérea, quando cultivado sobre SPDR e sem a adubação nitrogenada de cobertura. Esse mesmo tratamento apresentou a maior quantidade máxima de Ca acumulado na parte aérea, que foi de 132 kg ha^{-1} , estimada aos 124 DAE (Tabela 5). A média dos tratamentos para a quantidade acumulada de Ca foi de 125 kg ha^{-1} .

6.3.5 Magnésio

No caule e nas folhas, os maiores teores de Mg foram obtidos nas amostras coletadas aos 22 DAE (Tabela 10). Após essa época de amostragem os teores de Mg diminuíram até aos 84 e 146 DAE, respectivamente, em cada um dos órgãos. A diminuição no teor de Mg até 84 DAE ocorreu principalmente devido ao aumento da MS acumulada no caule até essa mesma época de amostragem (Figura 2a), o qual foi responsável em promover diluição do nutriente neste órgão. Nas folhas, a diminuição ocorreu devido ao intenso aumento na quantidade de MS acumulada até aos 63 DAE (Figura 2b) e, a partir de 84 DAE, devido à alta redistribuição desse nutriente para as estruturas reprodutivas (Figura 2b e 2c). Nas estruturas reprodutivas os teores de Mg diminuíram, principalmente entre 63 e 84 DAE (Tabela 10), o que ocorreu devido a um efeito diluição, ocasionado pelo aumento expressivo da massa de MS acumulada nesse período (Figura 2c).

A quantidade de Mg acumulado no caule do cártamo aumentou até 84 DAE (florescimento), com incremento mais importante entre 22 e 49 DAE, decrescendo após essa época de amostragem em todos os tratamentos (Figura 7a). Entre 111 e 146 DAE houve ligeira diminuição na quantidade de Mg acumulado no caule, indicando que o Mg acumulado nesse órgão pode ter sido, em pequena quantidade, redistribuído para as estruturas reprodutivas. O genótipo de cártamo IMA 2237 apresentou maior quantidade de Mg acumulado no caule, independentemente do tempo que o solo estava manejado com SPD e da adubação nitrogenada de cobertura.

O Mg acumulado nas folhas foi incrementado até 63 DAE, com posterior redução até o final do ciclo, em todos os tratamentos (Figura 7b). O aumento na quantidade de massa de MS acumulada nas folhas ocorreu, de maneira geral, até 63 DAE e foi o principal responsável pelo aumento do Mg acumulado nas folhas até essa mesma época de amostragem (Figura 2b). A acentuada diminuição do Mg acumulado nas folhas a partir de 84 DAE (florescimento) ocorreu, principalmente, em função da alta redistribuição desse nutriente para as estruturas reprodutivas. Segundo Malavolta et al. (1997), o Mg é um nutriente móvel na planta, o que justifica a sua redistribuição das folhas para as estruturas reprodutivas. A maior quantidade de Mg acumulado no caule ocorreu no genótipo de cártamo IMA 2237, independentemente do tempo de implantação do SPD e da adubação nitrogenada de cobertura.

Tabela 10. Teores de Mg em cada órgão da planta de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias após a emergência						
	22	35	49	63	84	111	146
	g kg ⁻¹						
	Caule						
SPDR-34-0	3,6	2,4	1,3	1,1	0,6	0,4	0,5
SPDR-34-100	4,0	1,9	1,0	0,9	0,5	0,4	0,4
SPDR-37-0	3,9	2,3	1,5	1,1	0,5	0,5	0,5
SPDR-37-100	3,9	2,6	1,4	1,3	0,6	0,4	0,6
SPDC-34-0	5,5	3,1	1,9	1,3	0,6	0,6	0,6
SPDC-34-100	4,2	2,7	1,9	1,4	0,8	0,8	0,6
SPDC-37-0	4,6	2,8	0,9	1,1	0,7	0,6	0,7
SPDC-37-100	4,8	2,9	1,6	1,3	0,6	0,6	0,7
	Folhas						
SPDR-34-0	4,4	4,0	3,3	3,0	2,8	1,9	0,7
SPDR-34-100	4,5	4,0	3,3	3,2	2,9	2,0	0,9
SPDR-37-0	4,9	4,3	3,6	3,4	2,9	2,2	1,0
SPDR-37-100	4,3	4,3	4,2	3,6	3,3	2,0	1,0
SPDC-34-0	4,8	5,0	4,6	4,2	3,7	3,3	1,0
SPDC-34-100	4,8	4,6	4,0	3,6	3,7	2,4	1,1
SPDC-37-0	4,8	4,4	4,6	4,3	4,1	3,6	1,2
SPDC-37-100	4,7	4,8	5,1	4,9	4,3	3,1	1,5
	Estruturas reprodutivas						
SPDR-34-0	-	-	-	2,4	1,6	1,7	1,3
SPDR-34-100	-	-	-	1,9	1,4	1,5	1,3
SPDR-37-0	-	-	-	2,1	1,2	1,3	1,4
SPDR-37-100	-	-	-	2,4	1,3	1,5	1,5
SPDC-34-0	-	-	-	2,8	1,4	1,7	1,1
SPDC-34-100	-	-	-	2,7	1,8	1,9	1,2
SPDC-37-0	-	-	-	2,8	1,9	1,7	1,4
SPDC-37-100	-	-	-	2,7	1,6	1,6	1,4

SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

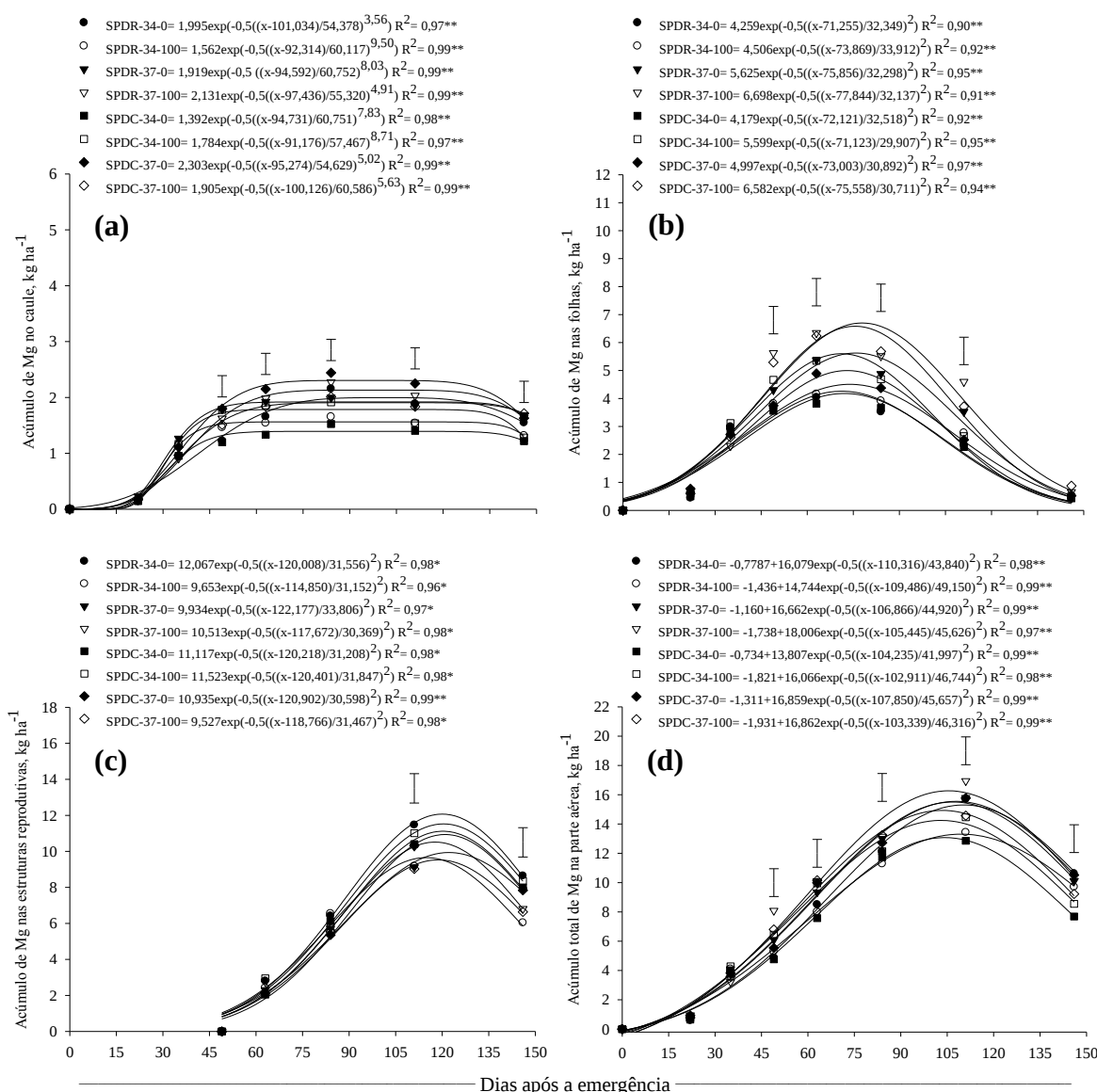


Figura 7. Quantidades de Mg acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura. * e ** são: significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente de acordo com o teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

Em todos os tratamentos foi observado acúmulo de Mg nas estruturas reprodutivas a partir de 63 DAE (ramificação/florescimento), aumentando até aproximadamente 111 DAE (Figura 7c). Aos 146 DAE a quantidade de Mg acumulado nas estruturas reprodutivas foi menor que aos 111 DAE. Esses resultados foram obtidos em decorrência do aumento na quantidade de MS acumulada nas estruturas reprodutivas até os 111 DAE e a diminuição da mesma após essa época de amostragem, ou seja, aos 146 DAE (Figura 2c). Além disso, houve ligeira redução nos teores de Mg nas estruturas reprodutivas aos 146 DAE (Tabela 10). A ausência de adubação nitrogenada de cobertura promoveu a maior quantidade de Mg acumulado nas estruturas reprodutivas, independentemente do manejo do solo (SPDR e SPDC) e do genótipo de cártamo estudado (IMA 2234 e IMA 2237).

A quantidade total de Mg acumulado na parte aérea do cártamo aumentou até 111 DAE, porém com acumulação mais intensa entre 22 e 63 DAE, com posterior diminuição em todos os tratamentos (Figura 7d). O comportamento semelhante da MS acumulada na parte aérea das plantas foi determinante para obtenção desses resultados (Figura 2d). O genótipo de cártamo IMA 2237 apresentou a maior quantidade total de Mg acumulado na parte aérea, quando cultivado sobre SPDR e com aplicação de 100 kg ha^{-1} de N em cobertura. A maior e menor quantidade máxima acumulada de Mg da parte aérea do cártamo foi, respectivamente, de 16 e 13 kg ha^{-1} , obtidas aos 105 e 109 DAE, nos genótipos de cártamo IMA 2237 e IMA 2234, ambos cultivados sobre SPDR com adubação nitrogenada de cobertura (Tabela 5). Considerando a média de todos os tratamentos, a quantidade máxima de Mg acumulada na parte aérea do cártamo foi de 14 kg ha^{-1} .

6.3.6 Enxofre

Os teores de S no caule foram menores entre 49 e 84 DAE (Tabela 11), o que pode estar relacionado à redistribuição para as folhas e estruturas reprodutivas. Nas folhas, o aumento no teor de S aos 35 DAE, pode estar relacionado ao estágio de desenvolvimento da cultura denominado de roseta. Nesse estágio, o cártamo se caracteriza por destinar seus fotoassimilados para o crescimento e aprofundamento do sistema radicular no perfil do solo (MONTROYA, 2010). O S, que em função da sua mobilidade no solo, move-se facilmente para as camadas mais profundas do perfil do solo, como

observado nesse experimento na camada de 0,2-0,4 m de profundidade (Tabela 2), pode ter sido absorvido em maiores quantidades, com consequente aumento no seu teor nas folhas devido ao reduzido crescimento da parte aérea do cártamo nesse estágio. Aos 49 DAE os teores foliares de S foram menores (Tabela 11), em função do intenso aumento na quantidade de MS acumulada de folhas (Figura 2b), mantendo-se relativamente estáveis até aos 111 DAE. Aos 146 DAE a diminuição nos teores de S nas folhas ocorreu devido, principalmente, à acentuada redistribuição desse nutriente para as estruturas reprodutivas. Nas estruturas reprodutivas os teores de S diminuíram entre 63 e 84 DAE, em função do aumento da massa de MS acumulada nas estruturas reprodutivas (Tabela 11 e Figura 2c). Aos 111 DAE os teores de S aumentaram ligeiramente, com posterior diminuição na época de amostragem seguinte, ou seja, aos 146 DAE.

O S acumulado no caule aumentou até por volta de 111 DAE (enchimento de grãos), diminuindo após essa época de amostragem, em todos os tratamentos (Figura 8a). Aos 146 houve um pequeno decréscimo na quantidade de S acumulado no caule, ocasionada principalmente pela sua redistribuição para as folhas e estruturas reprodutivas. O genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou maior quantidade de S acumulado no caule, independentemente do manejo do solo (SPDR e SPDC) e da adubação nitrogenada de cobertura.

Em todos os tratamentos o S acumulado nas folhas foi incrementado até entre 84 e 111 DAE, decrescendo fortemente após essa época (Figura 8b). O acentuado decréscimo na quantidade de S acumulado nas folhas aos 146 DAE (maturação) ocorreu, principalmente, em função da diminuição da quantidade acumulada de MS nas folhas nessa mesma época de amostragem (Figura 2b). A adubação nitrogenada de cobertura (100 kg ha^{-1} de N) aumentou a quantidade de S acumulado nas folhas do genótipo de cártamo IMA 2237 quando cultivado sobre SPDR (Figura 8b).

Nas estruturas reprodutivas, o S foi intensamente acumulado entre 63 DAE (ramificação/florescimento) e 111 DAE (enchimento de grãos), em todos os tratamentos (Figura 8c). Aos 146 DAE, notou-se diminuição na quantidade de S acumulado nas estruturas reprodutivas. Esses resultados foram obtidos em decorrência do aumento na quantidade de MS acumulada nas estruturas reprodutivas até aos 111 DAE e a diminuição da mesma após essa época de amostragem, ou seja, aos 146 DAE (Figura 2c). Ainda, nessa mesma época houve redução no teor de S nas estruturas reprodutivas (Tabela 11). Observou-se que o genótipo de cártamo IMA 2234 acumulou a maior quantidade de S

nas estruturas reprodutivas, especialmente quando cultivado no SPDR sem aplicação de N em cobertura (Figura 8c e Tabela 5).

Tabela 11. Teores de S em cada órgão da planta de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e datas de coletas durante o ciclo da cultura.

Tratamentos	Dias após a emergência						
	22	35	49	63	84	111	146
	g kg ⁻¹						
	Caule						
SPDR-34-0	0,9	0,9	0,5	0,4	0,4	1,1	0,9
SPDR-34-100	1,0	1,1	0,5	0,5	0,4	0,8	0,8
SPDR-37-0	0,8	0,5	0,3	0,2	0,4	0,9	0,9
SPDR-37-100	0,9	1,0	0,4	0,4	0,5	0,9	1,0
SPDC-34-0	0,8	1,2	0,7	0,5	0,5	0,9	1,0
SPDC-34-100	1,1	0,9	0,4	0,4	0,5	0,8	0,5
SPDC-37-0	1,0	1,0	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6
SPDC-37-100	0,9	0,9	0,5	0,4	0,4	0,8	0,6
	Folhas						
SPDR-34-0	2,6	3,0	2,4	2,2	2,6	2,8	1,8
SPDR-34-100	2,8	3,0	2,0	2,0	2,0	2,3	1,3
SPDR-37-0	2,5	3,1	2,3	2,2	2,4	2,7	1,7
SPDR-37-100	2,4	2,9	2,3	2,1	2,3	2,4	1,3
SPDC-34-0	2,6	3,1	2,5	2,0	2,2	2,3	1,1
SPDC-34-100	2,5	3,0	2,5	1,8	2,1	2,7	1,3
SPDC-37-0	2,8	3,2	2,0	2,0	2,3	2,8	1,3
SPDC-37-100	2,7	3,1	2,0	1,9	2,3	2,8	1,7
	Estruturas reprodutivas						
SPDR-34-0	-	-	-	1,8	1,1	1,8	1,2
SPDR-34-100	-	-	-	1,4	1,3	1,6	0,7
SPDR-37-0	-	-	-	1,8	1,2	1,6	1,1
SPDR-37-100	-	-	-	1,9	1,3	1,5	1,0
SPDC-34-0	-	-	-	1,7	1,4	1,5	0,9
SPDC-34-100	-	-	-	1,6	1,4	1,6	0,7
SPDC-37-0	-	-	-	1,7	1,3	1,7	0,9
SPDC-37-100	-	-	-	1,7	1,3	1,7	1,3

SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

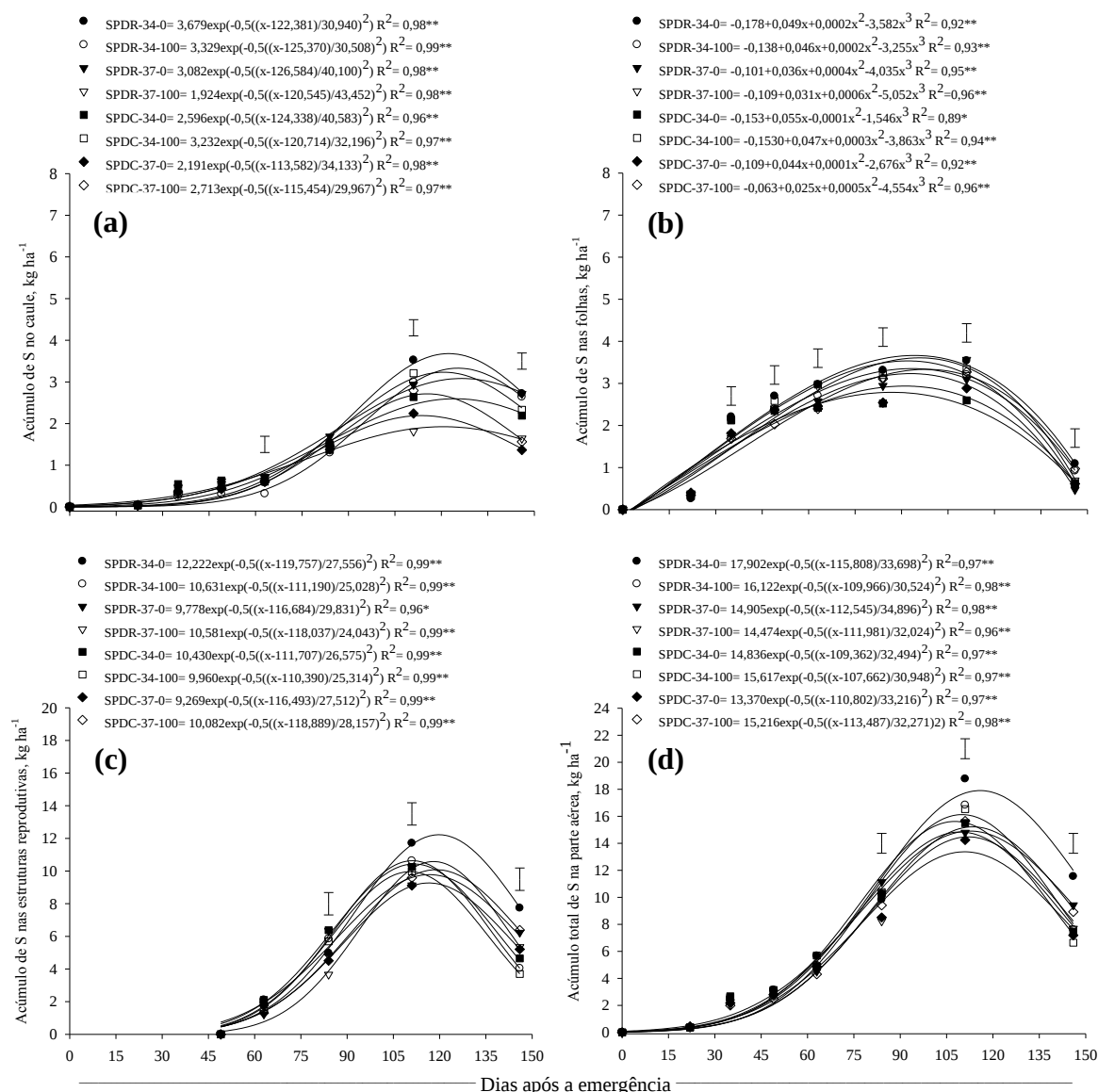


Figura 8. Quantidades de S acumuladas caule (a), folhas (b), estruturas reprodutivas (c) e total na parte aérea (d) de genótipos de cârtamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, adubação nitrogenada de cobertura e coletas durante o ciclo da cultura. * e ** são: significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente de acordo com o teste F. Barras verticais indicam o valor de DMS entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura.

A quantidade total de S acumulado na parte aérea do cártamo aumentou até 111 DAE, com posterior redução em todos os tratamentos (Figura 8d). Esses resultados estão relacionados com o observado para a quantidade total de MS acumulada na parte aérea (Figura 2d). Porém, destaca-se que a época em que o S foi acumulado mais intensamente estendeu-se de 49 a 111 DAE. Além disso, entre 111 e 146 DAE a quantidade de S acumulada na parte aérea teve maior redução que o que foi observada para a MS, o que se deveu, principalmente, à redução da quantidade de MS acumulada nas estruturas reprodutivas (Figuras 2d, 8c e 8d). O genótipo de cártamo IMA 2234, cultivado em SPDR e sem adubação nitrogenada de cobertura, apresentou maior quantidade total de S acumulado na parte aérea. As maiores quantidades de MS e S acumuladas no caule e nas estruturas reprodutivas foram determinantes para a obtenção desse resultado (Figuras 2a, 2c, 8a e 8c). Nesse mesmo tratamento foi observado a maior quantidade acumulada de S, 17 kg ha^{-1} , estimada aos 115 DAE (Tabela 5). Já a menor quantidade máxima de S acumulada foi de 13 kg ha^{-1} , no genótipo de cártamo IMA 2237 cultivado sobre SPDC e sem a adubação nitrogenada de cobertura.

6.4 Componentes de produção e produtividade de grãos

Os componentes de produção (população de plantas, número de capítulos por planta, número de grãos por capítulo e massa de 1000 grãos) e a produtividade de grãos não foram influenciados significativamente pelos tratamentos (Tabela 12), ou seja, os genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237) não tiveram os componentes da produção e a produtividade alterados pelo tempo que o solo estava sendo manejado com SPD (SPDR e SPDC) e pela adubação nitrogenada de cobertura (0 e 100 kg ha^{-1} de N). O cultivo de soja como cultura antecessora ao cártamo foi determinante para obtenção desses resultados, pois a sua baixa relação C/N possibilitou a disponibilização à cultura do cártamo de quantidade suficiente de N para a obtenção de elevadas produtividades. A ausência de resposta dos genótipos de cártamo à adubação nitrogenada de cobertura, mesmo no SPDR, se deveu ao maior teor de N no solo (antes da adubação de cobertura) manejado dessa forma (Tabela 4). A resposta da cultura do cártamo à adubação nitrogenada varia em função das condições ambientais e do cultivo precedente. Elfadl et al. (2009), verificaram que a necessidade de N para a cultura do cártamo em sucessão ao

triticale foi de 86 kg ha^{-1} , enquanto em sucessão a cultura da batata, que recebeu elevada dose de fertilizante, não houve resposta à aplicação de N.

Embora nesse experimento não tenha sido obtido respostas para produtividade de grãos de cártamo, em função da adubação nitrogenada, o adequado suprimento de N é importante para o desempenho da cultura. Na literatura internacional alguns trabalhos demonstraram aumento da produtividade de grãos de cártamo com a aplicação da adubação nitrogenada de cobertura. Dordas e Sioulas (2008) obtiveram a máxima produtividade de grãos de cártamo com a adubação de 200 kg ha^{-1} de N, apesar dessa dose não ter diferenciado estatisticamente do tratamento que recebeu 100 kg ha^{-1} . Golzarfar et al. (2012), avaliando doses de N (0, 75 e 150 kg ha^{-1}) e P (0, 50 100 kg ha^{-1}) na cultura do cártamo, obtiveram a maior produtividade de grãos com a aplicação de 150 kg ha^{-1} de N. Rastgou et al. (2013), estudando doses de N na cultura do cártamo (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1} de N), tiveram incremento na produtividade de grãos até 200 kg ha^{-1} de N. Diante disto fica evidente a necessidade de adequada disponibilidade de N para o cártamo, pois este influencia na produtividade de grãos da cultura. A forma de fornecimento de N ao cártamo é extremamente importante, pois implicará diretamente sobre os custos de produção da cultura. Nesse contexto, o cultivo de cártamo no período de safrinha em sucessão a soja se torna uma importante alternativa para a agricultura brasileira, pois a soja pode fornecer parte do N exigido pelo cártamo, reduzindo assim o custo de produção da cultura e tornando esse sistema de produção sustentável, com produtividade de grãos de cártamo bastante acima da média mundial, que é de aproximadamente 827 kg ha^{-1} (FAOSTAT, 2015).

Tabela 12. Componentes de produção e produtividade de grãos de genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto e adubação nitrogenada de cobertura.

Tratamentos	População de plantas	Número de capítulos por planta	Número de grãos por capítulo	Massa de 1000 grãos	Produtividade de grãos
	plantas ha ⁻¹	capítulos planta ⁻¹	grãos capítulo ⁻¹	g	kg ha ⁻¹
SPDR-34-0	126.666	14,1	29,0	40,6	2.119
SPDR-34-100	124.999	13,1	29,0	38,7	1.830
SPDR-37-0	126.388	14,0	30,2	40,3	2.133
SPDR-37-100	126.111	12,7	26,4	40,9	1.706
SPDC-34-0	123.611	14,9	27,8	38,8	1.983
SPDC-34-100	125.833	13,1	28,6	40,6	1.915
SPDC-37-0	127.222	13,8	27,8	39,0	1.893
SPDC-37-100	126.388	12,3	29,5	40,0	1.836
Significância	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	11,0	11,0	8,7	2,4	18,1

SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura. ns, * e ** são: não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente. Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.5 Teor nos grãos e exportação de nutrientes

As quantidades exportadas dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S em ambos os genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237) não foram influenciadas significativamente pelos tratamentos (Tabela 13). Esses resultados foram obtidos devido à semelhança nos teores dos nutrientes dos grãos e produtividade de grãos (Tabelas 12 e 13). Na média dos tratamentos, a quantidade exportada de cada macronutriente foi: 43,9 kg ha⁻¹ de N, 4,3 kg ha⁻¹ de P, 12,3 kg ha⁻¹ de K, 5,9 kg ha⁻¹ de Ca, 2,5 kg ha⁻¹ de Mg e 2,2 kg ha⁻¹ de S. Com base nesses resultados e considerando a média de produtividade de todos os tratamentos, a quantidade exportada de cada nutriente em cada tonelada de grãos de cártamo foi: 22 kg ha⁻¹ de N, 2 kg ha⁻¹ de P, 6 kg ha⁻¹ de K, 3 kg ha⁻¹ de Ca, 1 kg ha⁻¹ de Mg e 1 kg ha⁻¹ de S.

Tabela 13. Teores nos grãos e quantidades exportadas dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S por genótipos de cártamo em função do tempo de implantação do sistema plantio direto e adubação nitrogenada de cobertura.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Teor nos grãos, g kg ⁻¹						
SPDR-34-0	25,4	2,1	7,9	4,3	1,5	1,3
SPDR-34-100	27,0	2,5	7,4	3,4	1,3	1,0
SPDR-37-0	25,5	2,8	7,6	3,3	1,6	1,4
SPDR-37-100	26,6	2,6	6,6	3,2	1,5	1,5
SPDC-34-0	24,5	2,8	8,5	4,2	1,5	1,1
SPDC-34-100	27,3	2,5	7,0	3,3	1,4	1,2
SPDC-37-0	26,8	2,8	7,5	3,3	1,7	1,4
SPDC-37-100	27,1	2,4	5,9	3,2	1,3	1,5
Quantidade exportada, kg ha ⁻¹						
SPDR-34-0	46,2	3,8	14,5	7,9	2,7	2,3
SPDR-34-100	42,9	4,0	11,7	5,3	2,1	1,6
SPDR-37-0	47,3	5,2	14,1	6,0	3,0	2,6
SPDR-37-100	39,3	3,8	9,7	4,7	2,1	2,2
SPDC-34-0	42,2	4,8	14,6	7,2	2,5	1,9
SPDC-34-100	45,4	4,1	11,7	5,4	2,3	2,0
SPDC-37-0	44,3	4,5	12,4	5,4	2,8	2,3
SPDC-37-100	43,4	3,8	9,3	5,0	2,1	2,3
Significância	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	18,1	15,8	19,6	22,6	20,6	20,4

SPDR-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDR-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDR e sem aplicação de N em cobertura; SPDR-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDR e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-34-0- genótipo IMA 2234 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-34-100- genótipo IMA 2234 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura; SPDC-37-0- genótipo IMA 2237 no SPDC e sem aplicação de N em cobertura; SPDC-37-100- genótipo IMA 2237 no SPDC e com 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura. ns, * e ** são: não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente. Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.6 Relações entre marcha de absorção e manejo da adubação no cártamo

Na média de todos os tratamentos, a quantidade máxima acumulada de cada macronutriente foi: 149 kg ha⁻¹ de N, 13 kg ha⁻¹ de P, 168 kg ha⁻¹ de K, 125 kg ha⁻¹ de Ca, 14 kg ha⁻¹ de Mg e 15 kg ha⁻¹ de S, estimada entre 106 e 122 DAE (Tabela 5). Esses resultados coincidiram com a época em que foi atingida a quantidade máxima de MS acumulada na parte aérea, em média aos 116 DAE. Com base nos resultados obtidos nesse experimento e considerando todos os macronutrientes (primários e secundários), os nutrientes mais absorvidos pelo cártamo seguiram a seguinte ordem: K > N > Ca > S > Mg > P. A época de maior acumulação de MS na parte aérea da cultura do cártamo situou-se

entre 49 e 84 DAE, o que coincidiu com a época de maior absorção da maioria dos macronutrientes, excetuando-se o Mg, que teve a época de máxima demanda um pouco mais antecipada.

A exportação de macronutrientes pela cultura do cártamo seguiu a sequência decrescente: $N > K > Ca > P > Mg > S$, com valores médios de aproximadamente 44, 12, 6, 4, 3 e 2 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 13). Mediante esses resultados foi possível calcular que, na média dos tratamentos, a cultura do cártamo exportou da área com os grãos, em relação às quantidades totais absorvidas, aproximadamente 33% do P, 29% do N, 18% do Mg, 14% do S, 7% do K e apenas 4% do Ca. Destaca-se que, o Ca, apesar de ser o terceiro macronutriente mais absorvido pelo cártamo, é o menos exportado pelos grãos, pois a redistribuição desse nutriente dentro da planta é muito baixa (MALAVOLTA et al., 1997). Contudo, independentemente da ordem de exportação, todos esses nutrientes devem ser fornecidos ao cártamo, pois esses são essenciais ao seu desenvolvimento, como relatou Montoya (2010).

De maneira geral, o genótipo IMA 2234 apresentou maior absorção de N, P e K que o IMA 2237 (Tabela 5). A adubação nitrogenada de cobertura (100 kg ha⁻¹) influenciou mais expressivamente apenas a acumulação de N pela cultura do cártamo, mesmo sem ter tido efeito importante na MS acumulada na parte aérea. As quantidades máximas de Ca, Mg e S acumuladas na parte aérea foram pouco afetada pelos tratamentos.

Quanto ao manejo da adubação para o cártamo adotado nesse experimento, foram aplicados no sulco de semeadura 200 kg ha⁻¹ da fórmula N-P₂O₅-K₂O 8-28-16, ou seja, aproximadamente 16 kg ha⁻¹ de N, 25 kg ha⁻¹ de P e 27 kg ha⁻¹ de K. Nos tratamentos em que receberam a adubação de cobertura foram aplicados também 100 kg ha⁻¹ de N. Com base nesses resultados, a adubação (de semeadura e de cobertura) não foi suficiente para fornecer todo o N que a cultura do cártamo absorveu (149 kg ha⁻¹), sendo o restante suprido, provavelmente pelo N mineral do solo (Tabela 4), oriundo da mineralização da MO do solo (palhada de soja). Para o P e K, as quantidades máximas médias acumuladas na parte aérea foram, respectivamente, de 13 e 168 kg ha⁻¹ (Tabela 5). Assim, verifica-se que a adubação de semeadura forneceu P além da quantidade máxima absorvida pela cultura do cártamo. Contudo, no caso do K, a cultura do cártamo necessitou recorrer às reservas desse nutriente no solo, pois a quantidade aplicada na semeadura (27 kg ha⁻¹ de K) ficou muito abaixo da extração máxima de K. O Ca, Mg e S foram fornecidos

para cártamo exclusivamente pelas reservas no solo (Tabela 2), pois todos estes nutrientes encontravam-se em teores altos no solo (RAIJ et al., 1997).

Considerando a quantidade máxima extraída de N, P e K, na média de todos os tratamentos, que foi de 149, 13 e 168 kg ha⁻¹, respectivamente, é possível concluir que as quantidades desses macronutrientes à serem colocadas a disposição da cultura do cártamo são de aproximadamente 150 kg ha⁻¹ de N, 30 ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 ha⁻¹ de K₂O. Para a recomendação de adubação ao cártamo é necessário que, além da quantidade a ser fornecida de um determinado nutriente, se leve em conta também o seu teor no solo e as suas possíveis perdas (solo e ambiente). Segundo Vitti e Mazza (2002), o aproveitamento médio dos nutrientes aplicados via adubação está entre 50 e 60% para o N, 20 e 30% para o P₂O₅ e por volta de 70% para o K₂O.

As quantidades de K e N extraídas foram altas e o período de maior demanda está situado a partir da elongação do caule e início da ramificação. Portanto, quando esses nutrientes forem fornecidos por fertilizantes minerais é importante se realizar o parcelamento da aplicação, que pode ser realizada na semeadura e em cobertura, sendo que esta deve ser realizada no máximo até início do aparecimento das ramificações. Estudos abordando o parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do cártamo demonstraram incremento na produtividade de grãos da cultura (GILBERT; TUCKER, 1987; SOLEIMANI, 2010).

7 CONCLUSÕES

Ambos os genótipos de cártamo (IMA 2234 e IMA 2237) tiveram lento acúmulo de MS e macronutrientes durante o estágio de roseta (0 a 22 DAE). A partir desse estágio até o início do enchimento de grãos (entre 84 e 111 DAE) ocorreu o período de maior crescimento e acumulação dos macronutrientes pela cultura, independentemente do tempo de implantação do SPD e da adubação nitrogenada de cobertura.

O genótipo de cártamo IMA 2234 apresentou maiores quantidades de MS, N, P, K e S acumuladas na parte aérea que o IMA 2237.

A adubação nitrogenada de cobertura (100 kg ha⁻¹) influenciou, principalmente, a absorção de N pela cultura do cártamo.

Os componentes da produção, a produtividade de grãos e a exportação de macronutrientes não foram influenciados pelos genótipos, tempos de implantação do SPD ou adubação nitrogenada.

A quantidade máxima acumulada de cada macronutriente foi: 149 kg ha⁻¹ de N, 13 kg ha⁻¹ de P, 168 kg ha⁻¹ de K, 125 kg ha⁻¹ de Ca, 14 kg ha⁻¹ de Mg e 15 kg ha⁻¹ de S. Assim, a sequência de extração de macronutrientes, na média dos tratamentos, foi: K > N > Ca > S > Mg > P.

A exportação de macronutrientes pela cultura do cártamo foi: na média dos tratamentos: 44 kg ha⁻¹ de N, 4 kg ha⁻¹ de P, 12 kg ha⁻¹ de K, 6 kg ha⁻¹ de Ca, 3 kg ha⁻¹ de Mg e 2 kg ha⁻¹ de S. Portanto, na média dos tratamentos, a exportação de macronutrientes em ordem decrescente foi: N > K > Ca > P > Mg > S.

Das quantidades totais de macronutrientes extraídas pelas plantas de cártamo, aproximadamente 33, 29, 18, 14, 7 e 4%, respectivamente do P, N, Mg, S, K e Ca, foram exportados pelos grãos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 24, p. 553-560, 2000.

AMADO, T.J.C.; SANTI, A.; ACOSTA, J.A.A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1085-1096, 2003.

ANICÉSIO, E.C.A. **Nitrogênio e potássio na adubação do cártamo cultivado em Latossolo Vermelho**. 2014. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2014.

ARANDA, V. et al. Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (Spain). **Geoderma**, v. 164, p. 54-63, 2011.

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

BASSIL, E.S.; KAFFKA, S.R.; HUTMACHER, R.A. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to residual soil N following cotton (*Gossypium* spp.) in rotation. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 138, p. 395-402, 2002.

CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 99-108, 2005.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 376-449.

CHIODEROLI, C.A. et al. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 37-43, 2012.

DAJUE, L.; MÜNDEL, H.H. **Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)**. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crop. IPGRI: International Plant Genetic Resource Institute. Rome, 1996. 83p.

DANIELI, P.P. et al. The potential role of spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as fodder crop in central Italy. **Italian Journal of Agronomy**, v. 4, p. 19-22, 2011.

DORDAS, C.A. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. **European Journal of Agronomy**, v. 30, p. 129-139, 2009.

DORDAS, C.A.; SIOULAS, C. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. **Field Crops Research**, v. 110, p. 35-43, 2009.

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, p. 75-85, 2008.

EKIN, Z. Resurgence of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) utilization: A global view. **Journal of Agronomy**, v. 4, p. 83-87, 2005.

ELFADL, E. et al. 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, p. 2-13, 2009.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

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

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crops 2013**. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em: 27 dez. 2015.

FEBRAPDP - FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Área de plantio direto no Brasil 2012**. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/area-de-pd>. Acesso em: 27 dez. 2015.

FERNANDES, A.M.; SORATTO, R.P.; SILVA, B.L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 2039-2056, 2011.

FLEMMER, A.C.; FRANCHINI, M.C.; LINDSTROM, L.I. Description of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, v. 166, p. 331-339, 2015.

FURLANI, C.E. A. et al. Desempenho operacional de semeadura-adubadora em diferentes manejos da cobertura e da velocidade. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 456-462, 2007.

GILBERT, N.W.; TUCKER, T.C. Growth, yield and yield components of safflower as affected by sources, rate, and time of application of nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 59, p. 54-56, 1987.

GOLZARFAR, M. et al. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) response to different nitrogen and phosphorus fertilizer rates in two planting seasons. **Zemdirbyste Agriculture**, v. 99, p. 159-166, 2012.

HAVLIN, J.L. et al. **Soil fertility and fertilizers**: an introduction to nutrient management. 7. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2005. 515 p.

HUSSAIN, M.I. et al. Salt and drought stresses in safflower: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, p.1-31, 2015.

KAR, G.; KUMAR, A.; MARTHA, M. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. **Agricultural Water Management**, v. 87, p. 73-82, 2007.

KEENEY, D.R. Nitrogen – availability index. In: PAGE, R.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (eds.). **Methods of soli analysis**. Chemical and microbiological properties. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 711-733.

KIZIL, S. et al. Comprehensive study on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in semi-arid conditions. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 4, p. 947-953, 2008.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 395-401, 1995.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto**: Bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110p.

LOVELLI, S. et al. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L.. **Agricultural Water Management**, v. 92, p. 73-80, 2007.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 308p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

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

MORAES, J. A. P.; ARENS, K. Eliminação de potássio pelas folhas em dependência da luz e obscuridade (Nota preliminar). **Ciência e Cultura**, v. 21, p. 728-730, 1969.

MÜNDEL, H.H. et al. **Safflower production on the Canadian Prairies**. Lethbridge: Agriculture and Agri-Food Canada, 2004. 36p.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1. 2000, Ponta Grossa. **Anais**. Ponta Grossa, Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 1-16.

NASR, H.G.; KATKHUDA, N.; TANNIR, L. Effects of N fertilization and population rate-spacing on safflower yield and other characteristics. **Agronomy Journal**, v.70, p.683-685, 1978.

PEREZ, A.A.G. et al. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1276-1287, 2013.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAIJ, B. van. et al. **Recomendações de adubação para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RANELLS, N.N.; WAGGER, M.G. Nitrogen-15 recovery and release by rye and crimson clover cover crops. **Agronomy Journal**, v. 61, p. 943-948, 1997.

RASTGOU, B. et al. The effects of nitrogen fertilizer on nutrient uptake, physiological traits and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v. 4, p. 355-364, 2013.

ROSA, D.M. et al. Desempenho da cultura do milho implantado sobre resíduos culturais de leguminosas de verão em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1287-1296, 2011.

SÁ, J.C.M. et al. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science of America Journal**, v. 65, p. 1486-1499, 2001.

SAJEDI N.A. et al. Impact of water deficit stress on biochemical characteristics of safflower cultivars. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 18, p. 323-329, 2012.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 249-254, 1985.

SILVA, J.E.; RITCHEY, K.D. Acumulação diferencial de potássio em Oxisolos devido à lavagem do nutriente das plantas de milho para o solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 183-188, 1982.

SINGH, S.D.D.; SINGH, J.S. Effect of nitrogen and row spacing on growth, yield and nitrogen uptake in rainfed safflower (*Carthamus tinctorious* L.). **Indian Journal of Agricultural Science**, v. 64, p. 189–191, 1994.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 69, p. 923-936, 2010.

SOLEIMANI, R. Effect of rate and time of nitrogen application on grain yield and yield components in spring safflower (*Carthamus tinctorious* L.). **Iranian Journal of Crop Sciences**, v. 10, p. 47-59, 2008.

SOLEIMANI, R. Variability of grain and oil yield in spring safflower as affected by nitrogen application. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, p. 1744-1750, 2010.

SORATTO, R.P. et al. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I – Macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37. p. 1027-1042, 2013.

STEVENSON, F.J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In: STEVENSON, F.J. et al. (eds.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p. 1-42.

STUTE, J.K.; POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. **Agronomy Journal**, v. 87, p.1063-1069, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TUNCTURK, M.; YILDIRIM, B. Effects of different forms and doses of nitrogen fertilizers on safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 7, p. 1385-1389, 2004.

VALLIS, I.; KEATING, B.A. Uptake and losses of fertilizer and soil nitrogen in sugar crops. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 16, p. 105-113, 1994.

VITTI, G.C.; J.A. MAZZA. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potafós, 2002. 16p. (Encarte de Informações Agronômicas, 97).

YAU, S.K.; RYAN, J. Response of rainfed safflower to nitrogen fertilization under mediterranean conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 32, p. 318-323, 2010.

9 APÊNCICE



Apêndice 1. Semeadura e emergência do cártamo cultivado no período de safrinha em sucessão a soja. Botucatu-SP.



Apêndice 2. Capina manual, coleta das amostras de solo antes da adubação nitrogenada de cobertura e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do cârtamo no estágio de alongação do caule. Botucatu-SP.



Apêndice 3. Estádios de desenvolvimento do cártamo (roseta, alongamento do caule, ramificação, floração, enchimento de grãos e maturação) em que foram realizadas as épocas de amostragem. Botucatu-SP.