



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO PROF<sup>a</sup> CINOBELINA ELVAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



**MARIA DE FÁTIMA MARQUES PIRES**

**ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA DO SOLO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE  
NUTRIENTES DA SOJA SOB PLANTAS DE COBERTURA E PREPARO DO  
SOLO**

**Bom Jesus-PI  
2019**

**MARIA DE FÁTIMA MARQUES PIRES**

**ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA DO SOLO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE  
NUTRIENTES DA SOJA SOB PLANTAS DE COBERTURA E PREPARO DO  
SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Piauí, Campus Profª Cinobelina Elvas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: João Carlos Medeiros

Co-orientador: Henrique Antunes de Souza

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial de Bom Jesus  
Serviço de Processamento Técnico

P667a Pires, Maria de Fátima Marques.  
Atividade microbiológica do solo e marcha de absorção  
de nutrientes da soja sob plantas de cobertura e preparo do  
solo./ Maria de Fátima Marques Pires-2019.  
137 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,  
Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus - PI, 2019.

Orientação: Prof. Dr. João Carlos Medeiros

1. Solo. 2. Microbiologia do solo. 3. Nutrição de plantas.  
I. Título

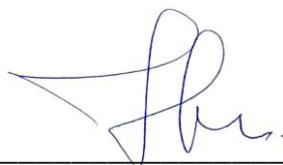
CDD 631.4

**MARIA DE FÁTIMA MARQUES PIRES**

**ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA DO SOLO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE  
NUTRIENTES DA SOJA SOB PLANTAS DE COBERTURA E PREPARO DO  
SOLO**

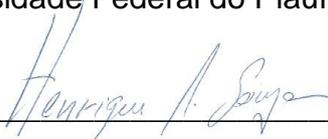
**Aprovada em:** 31 de Julho de 2019

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. João Carlos Medeiros (Orientador)  
Universidade Federal do Piauí – UFPI



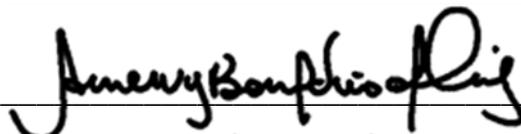
---

Prof. Dr. Henrique Antunes de Souza (Coorientador)  
Embrapa Meio-Norte



---

Prof. Dra. Jaqueline Dalla Rosa  
Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB



---

Prof. Dra. Aurenívia Bonifácio de Lima  
Universidade Federal do Piauí – UFPI/CCN

**Bom Jesus – PI**

**2019**

*Àqueles pelos quais enfrento os obstáculos da vida sempre na esperança de vencer, e poder retribuir o que me proporcionaram com tanto esforço e amor: meus pais **José de Ribamar e Maria Teresa.***

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu grandioso Deus, por sua presença constante em minha vida.

A meus pais, Teresa e José, pelo apoio e amor incondicional.

A meus irmãos, cunhados e sobrinhos, pelo incentivo e amor.

A família de meu tio Chagas pela hospedagem e cuidados.

Ao meu orientador João Carlos Medeiros pelo compromisso em me orientar.

Ao meu coorientador, Henrique Antunes de Souza, pela especial atenção no desenvolvimento do trabalho e pelo apoio irrestrito em todos os momentos.

Ao professor Fernando Silva Araújo e professora Jaqueline Dalla Rosa, pela disponibilidade de ajuda nos momentos que assim precisei.

Ao corpo docente do programa em Ciências Agrárias da UFPI.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida.

À Fazenda Vô Desidério, pelo espaço concedido a realização do trabalho.

À Embrapa, pela parceria na realização do estudo.

Aos técnicos da Embrapa Meio-Norte, Afonso, Duarte e Moreira, por toda paciência e ensinamentos ao decorrer das análises.

Aos colegas do grupo de física do solo (UFPI/CPCE), Gustavo, Kyvia, Maria de Nazaré, Celiomar, Angélica e Raphael por toda ajuda prestada. Bem como a aos colegas dos grupos de entomologia, fisiologia vegetal e medicina veterinária pelas pequenas, mas significantes ajudas concedidas.

Aos companheiros de lar Luciano, Angélica Ornela e Dayane, Bem como aqueles que muito fizeram por mim Rosilene, Jaqueline e Eudinete.

Aos colegas de turma Raimundo, Joaquim, Jasmine Joacir e Dayane por toda força e amizade nessa jornada.

A todas as amizades construídas na Embrapa Meio-Norte em especial, Suzane, Amanda, Gabriela, Geania, Anne e Smaielliô.

Sem a ajuda, dedicação e amizade de cada um de vocês eu não teria conseguido!

Que Deus vos retribua com infinitas bênçãos! Muito Obrigada!

# ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA DO SOLO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES DA SOJA SOB PLANTAS DE COBERTURA E PREPARO DO SOLO

## RESUMO

A expansão do cultivo da soja apresenta várias consequências para os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, além de aumentar o uso de fertilizantes muitas vezes de forma irracional. Assim o presente estudo foi conduzido objetivando-se avaliar o manejo do solo e plantas de cobertura na absorção de nutrientes e produtividade da soja, além da alteração dos atributos biológicos do solo em condições do Cerrado piauiense. O estudo foi realizado nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas com 3 repetições. No primeiro ano, nas parcelas foram alocados os sistemas de manejo do solo: semeadura direta (SD) e cultivo mínimo (CM) e nas subparcelas as plantas de cobertura: *Pennisetum glaucum*, *Urochloa ruziziensis*, *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca*, consórcio de *Pennisetum glaucum* + *Crotalaria spectabilis* e vegetação espontânea. Avaliou-se a produção de massa seca (MS) e acúmulo de nutriente das plantas de cobertura. No segundo ano a soja foi cultivada sob a palhada remanescente das plantas de cobertura. Para o estudo da marcha de absorção levou-se em consideração as plantas de soja cultivadas sob *Crotalaria spectabilis* e milho e as subparcelas passam a corresponder aos dias após a emergência (DAE) de plantas de soja que foram: 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 101, 108 e 115. Na soja foi avaliado o crescimento das plantas, a produção de massa seca (MS), o acúmulo de nutrientes e a produtividade de grãos. Após a colheita avaliou-se no solo carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (C-BMS e N-BMS), respiração basal (RBS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), atividade enzimática da desidrogenase e do diacetato de fluoresceína (FDA). A soja sob *Crotalaria spectabilis* em SD apresentou maior altura. Até os 94 DAE as folhas foram os órgãos que contribuíram em maior acúmulo da MS seca total. Até os 66 DAE maior acúmulo de macronutrientes foi propiciado pelas condições da SD. Em SD a ordem decrescente de acúmulo foi: N > K > Ca > P > Mg > S e N > K > Ca > S > P > Mg, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. Em CM sob ambas as coberturas a ordem decrescente de acúmulo foi: N > K > Ca > P > S > Mg e os micronutrientes a ordem foi: Fe > Mn > Zn > B > Cu. Os macronutrientes exportados pela soja em maior e menor quantidade foram: N e Ca, respectivamente. A vegetação espontânea apresentou baixo C-BMS e N-BMS, baixa atividade enzimática e alto  $qCO_2$ . A produtividade de grãos da soja aumentou em sucessão a milho + *Crotalaria spectabilis*. A vegetação espontânea não favoreceu a melhoria da biologia do solo.

**Palavras chave:** Solo, Microbiologia do solo, Nutrição de plantas

## MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL AND PROCESS OF NUTRIENT ABSORPTION OF SOYBEAN UNDER COVERING PLANTS AND SOIL PREPARE

### ABSTRACT

The expansion of soybean cultivation presents several consequences to physical, chemical and biological attributes, besides increasing the use of fertilizers many times in an irrational way. So, the present study was conducted aiming to evaluate the management of soil and plants of covering in the nutrients absorption and soybean productivity, besides the modification of biological attributes of soil in conditions of Piauí Savanna. The study was done in the agricultural years 2016/2017 e 2017/2018. The experimental design was done in randomized blocks in subdivided portions with 3 repetitions. In the first year, in the portions were allocated the management systems of soil: direct seeding (DS) and minimal cultivation (MC) and in the sub portions the covering plants: *Pennisetum glaucum*, *Urochloa ruziziensis*, *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca*, consortium of *Pennisetum glaucum* + *Crotalaria spectabilis* and spontaneous vegetation. It was evaluated the production of dry mass (DM) and the nutrients accumulation of cover plants. In the second year the soybean was cultivated under the remaining straw of cover plants. To the study of absorption process was considered the plants of soybean cultivated under *Crotalaria spectabilis* and millet and the split-plot pass to corresponding to the days after the emergency (DAE) of soybean plants were: 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 101, 108 e 115. In soybean was evaluated the increasing of plants, the dry mass production (DM), the nutrients accumulation and the grain productivity. After harvest was evaluated in soil carbon and nitrogen of microbial biomass (C-BMS and N-BMS), basal respiration (BSR), metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>), enzymatic activity of dehydrogenase and the fluorescein diacetate (FDA). The soybean under *Crotalaria spectabilis* in DS presented the highest height. To 94 DAE the leaves were the organs that contributed in higher accumulation of DS total dry. To the 66 DAE higher accumulation of macronutrients were provided by the conditions of DS. In DS the decreasing order of accumulation was: N >K >Ca >P> Mg >S and N >K >Ca >S> P >Mg, under *Crotalaria spectabilis* and millet, respectively. In MC under both covers the decreasing order of accumulation was: N> K> Ca> P> S> Mg and the micronutrients the order was: Fe> Mn> Zn >B> Cu. The macronutrients exported by the soybean in higher and lower quantity were: N and Ca, respectively. The spontaneous vegetation presented low C-BMS and N-BMS, low enzymatic activity and high qCO<sub>2</sub>. The productivity of soybean grains increasing in succession to millet+*Crotalaria spectabilis*. The spontaneous vegetation did not favor the improvement of the soil biology.

**Keywords:** Soil, Soil microbiology, Plants nutrition

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

**Figura 1.** Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média, máxima e mínima (°C), durante a safra 2017/2018, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus-PI.....33

**Figura 2.** Produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura do solo na Serra do Quilombo, Fazenda Vô Desidério, Bom Jesus-PI.....44

### CAPÍTULO 3

**Figura 3.** Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média, máxima e mínima (°C), durante a safra 2017/2018, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus-PI.....55

**Figura 4.** Porcentagem do acúmulo de massa seca na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....64

**Figura 5.** Porcentagem do acúmulo de nitrogênio na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....68

**Figura 6.** Porcentagem do acúmulo de fósforo na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....71

**Figura 7.** Porcentagem do acúmulo de potássio na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....74

**Figura 8.** Porcentagem do acúmulo de cálcio na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....77

**Figura 9.** Porcentagem do acúmulo de magnésio na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....80

**Figura 10.** Porcentagem do acúmulo de enxofre na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....83

**Figura 11.** Porcentagem do acúmulo de boro na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....87

**Figura 12.** Porcentagem do acúmulo de cobre na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....90

**Figura 13.** Porcentagem do acúmulo de ferro na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....93

**Figura 14.** Porcentagem do acúmulo de manganês na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....96

**Figura 15.** Porcentagem do acúmulo de zinco na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).....99

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

**Tabela 1.** Caracterização química e granulométrica do solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, antes da implantação do experimento, na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus – PI.....34

**Tabela 2.** Produção de massa seca (MS) e acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de plantas de cobertura com diferentes manejos do solo, na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus – PI.....37

**Tabela 3.** Atributos microbiológicos do solo em área de soja em sucessão a plantas de cobertura com diferentes manejos do solo, na profundidade 0-0,1 m na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus – PI.....40

**Tabela 4.** Efeito da interação de plantas de cobertura com manejos do solo, em sucessão a soja, para atributos microbiológicos do solo, na profundidade de 0-0,1 m, na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus-PI.....41

### CAPÍTULO 3

**Tabela 5.** Caracterização química e granulométrica do solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, antes da implantação do experimento, na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus – PI.....56

**Tabela 6.** Variáveis biométricas de plantas de soja e em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....61

**Tabela 7.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para altura de planta, diâmetro do caule e número de trifólio e respectivo ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....62

**Tabela 8.** Produção de massa seca (MS) parte aérea de soja em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....63

**Tabela 9.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de massa seca e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....65

**Tabela 10.** Acúmulo de nitrogênio (N) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....67

**Tabela 11.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de nitrogênio e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....69

- Tabela 12.** Acúmulo de fósforo (P) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....70
- Tabela 13.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de fósforo e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....72
- Tabela 14.** Acúmulo de potássio (K) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....73
- Tabela 15.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de potássio e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....75
- Tabela 16.** Acúmulo de cálcio (Ca) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....76
- Tabela 17.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de cálcio e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....78
- Tabela 18.** Acúmulo de magnésio (Mg) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....79
- Tabela 19.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de magnésio e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....81
- Tabela 20.** Acúmulo de enxofre (S) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....82
- Tabela 21.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de enxofre e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....84
- Tabela 22.** Acúmulo de boro (B) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....86
- Tabela 23.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de boro e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....88

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabela 24.</b> Acúmulo de cobre (Cu) na soja cultivada em sucessão a <i>Crotalaria spectabilis</i> e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....                                      | 89  |
| <b>Tabela 25.</b> Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de cobre e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....    | 91  |
| <b>Tabela 26.</b> Acúmulo de ferro (Fe) na soja cultivada em sucessão a <i>Crotalaria spectabilis</i> e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....                                      | 92  |
| <b>Tabela 27.</b> Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de ferro e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....    | 94  |
| <b>Tabela 28.</b> Acúmulo de manganês (Mn) na soja cultivada em sucessão a <i>Crotalaria spectabilis</i> e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....                                   | 95  |
| <b>Tabela 29.</b> Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de manganês e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ )..... | 97  |
| <b>Tabela 30.</b> Acúmulo de zinco (Zn) na soja cultivada em sucessão a <i>Crotalaria spectabilis</i> e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....                                      | 98  |
| <b>Tabela 31.</b> Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de zinco e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).....    | 100 |

**LISTA DE APÊNDICES**

- Apêndice 1** – Croqui da área experimental..... 108
- Apêndice 2** – Altura de planta (a), diâmetro do caule (c), número de trifólios (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e altura de planta (b), diâmetro do caule (d) e número de trifólios (f) de soja cultivada em sucessão a milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 109
- Apêndice 3** – Acúmulo de massa seca da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....110
- Apêndice 4**– Acúmulo de massa seca da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 111
- Apêndice 5** – Acúmulo de nitrogênio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 112
- Apêndice 6** – Acúmulo de nitrogênio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 113
- Apêndice 7** – Acúmulo de fósforo da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....114
- Apêndice 8** – Acúmulo de fósforo da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 115
- Apêndice 9** – Acúmulo de potássio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 116
- Apêndice 10** – Acúmulo de potássio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 117
- Apêndice 11** – Acúmulo de cálcio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 118
- Apêndice 12** – Acúmulo de cálcio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo..... 119

- Apêndice 13** – Acúmulo de magnésio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....120
- Apêndice 14** – Acúmulo de magnésio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....121
- Apêndice 15** – Acúmulo de enxofre da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....122
- Apêndice 16** – Acúmulo de enxofre da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....123
- Apêndice 17**– Acúmulo de boro da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....124
- Apêndice 18**– Acúmulo de boro da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....125
- Apêndice 19** – Acúmulo de cobre da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....126
- Apêndice 20** – Acúmulo de cobre da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....127
- Apêndice 21** – Acúmulo de ferro da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....128
- Apêndice 22** – Acúmulo de ferro da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....129
- Apêndice 23** – Acúmulo de manganês da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....130
- Apêndice 24** – Acúmulo de manganês da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....

**Apêndice 25** – Acúmulo de zinco da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....132

**Apêndice 26** – Acúmulo de zinco da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.....133

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| RESUMO.....  | vii  |
| ABSTRACT .....   | viii |
| LISTA DE TABELAS .....   | xi   |
| INTRODUÇÃO GERAL .....   | 16   |
| CAPÍTULO 1 .....   | 18   |
| 1. REVISÃO DE LITERATURA.....  | 18   |
| 1.1 Aspectos gerais da cultura da soja .....   | 18   |
| 1.2 Manejo do solo.....  | 19   |
| 1.3 Plantas de cobertura .....   | 20   |
| 1.4 Qualidade biológica do solo .....  | 21   |
| 1.5 Marcha de absorção.....  | 22   |
| REFERÊNCIAS.....   | 24   |
| CAPÍTULO 2 .....   | 29   |
| ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SOLO<br>CULTIVADO COM PLANTAS DE COBERTURA.....                                | 29   |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 31   |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 33   |
| 2. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 37   |
| 3.1. Produção de massa seca e nutrientes na parte aérea.....   | 37   |
| 3.2 Atributos microbiológicos do solo.....   | 40   |
| 3.3 Produtividade da soja.....   | 44   |
| 4. CONCLUSÕES .....  | 46   |
| REFERÊNCIAS.....   | 47   |
| CAPÍTULO 3 .....   | 51   |
| CRESCIMENTO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES DA SOJA EM<br>SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA E DIFERENTES PREPARO DO<br>SOLO ..... | 51   |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 53   |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 55   |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 60   |
| 3.1 Variáveis biométricas .....  | 60   |
| 3.2 Acúmulo de massa seca .....  | 62   |
| 3.3 Acúmulo de Macronutrientes.....  | 66   |

|   |     |
|---|-----|
| 3.4 Micronutrientes.....                      | 85  |
| 3.5 Extração e exportação dos nutrientes..... | 101 |
| 4. CONCLUSÕES.....                            | 103 |
| REFERÊNCIAS.....                              | 104 |
| APÊNDICES.....                                | 108 |

## INTRODUÇÃO GERAL

Os solos que compõem o Cerrado Nordeste apresentam em geral, condições físicas além de um clima favoráveis à agricultura e, com o uso de técnicas que melhorem a fertilidade do solo, torna-se possível o cultivo das culturas anuais de elevado interesse econômico, tais como a soja (*Glycine max* (L.) Merrill). No entanto, práticas de manejo inadequadas podem, em poucos anos, alterar as propriedades do solo provocando redução da produtividade destes cultivos e comprometimento da sustentabilidade destes agroecossistemas (Pinto et al., 2017).

A sustentabilidade dos sistemas agrícolas está diretamente relacionada à conservação do solo (Bogunovic et al. 2018). Desta forma, deve-se manejar os sistemas agrícolas buscando aumentar as entradas de resíduos vegetais visando mantê-los na superfície do solo na busca de propiciar maior proteção da estrutura destes solos e ainda a ciclagem dos nutrientes pela mineralização destes resíduos vegetais (Lourente et al., 2011; Evans & Entz, 2016). Assim, a adoção da semeadura direta e de outras práticas de conservação, como o uso de plantas de cobertura do solo, pode melhorar a qualidade do solo em sistemas de cultivo e ainda reduzir o uso de fertilizantes (Carr et al., 2013).

Na busca de incrementar a produtividade dos cultivos agrícolas, faz-necessário entender as necessidades nutricionais das culturas. Neste sentido, o estudo da marcha de absorção de nutrientes de uma determinada cultura apresenta-se como uma estratégia viável na melhoria deste entendimento. O estudo da marcha de absorção de nutrientes ajuda a definição das quantidades e épocas para as adubações e também as quantidades mínimas que devem ser fornecidas ao solo para manutenção da sua fertilidade em níveis adequados (Nogueira, 2011).

Na busca de manter a fertilidade dos solos em níveis adequados e uma eficiente absorção de nutrientes pelas plantas, torna-se necessário disponibilizar os nutrientes em quantidades adequadas e ainda manter o equilíbrio comunidade microbiana dos solos (Mazzuchelli et al., 2016). A microbiota do solo está diretamente envolvida na decomposição dos resíduos orgânicos e mineralização dos nutrientes (Giagnoni et al., 2019). Segundo Balboa et al. (2018), o tipo de manejo de solo adotado influencia a qualidade

biológica dos solos e, conseqüentemente, na disponibilidade dos nutrientes para as plantas e, portanto, reflete no rendimento das culturas.

No presente estudo, testou-se a hipótese de que o uso de plantas de cobertura em sistema de semeadura direta e/ou cultivo mínimo melhora a qualidade biológica do solo e, portanto, torna mais eficiente a ciclagem e absorção de nutrientes levando a redução no uso dos fertilizantes e ainda impulsionando maior produtividade das plantas de soja. Assim, objetivou-se avaliar a influência do manejo do solo e das plantas de cobertura nos atributos microbiológicos do solo e na absorção de nutrientes e produtividade de plantas de soja nas condições climáticas do Cerrado piauiense.

## CAPÍTULO 1

### 1. REVISÃO DE LITERATURA

#### 1.1 Aspectos gerais da cultura da soja

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma das oleaginosas de maior importância para o agronegócio devido a sua contribuição significativa na economia mundial, a qual é decorrente das várias utilidades que possui os seus grãos na formulação de diversos produtos e subprodutos utilizados na subsistência humana e animal (Dias et al., 2016).

A expansão do cultivo da soja em todo o território brasileiro se deve, entre outros fatores, a necessidade de novas terras agricultáveis. Nos últimos anos, o cultivo da soja está se expandindo para além das regiões Sul e Sudeste do País uma vez que passou a ocupar as áreas de Cerrado da região Nordeste (Neves, 2015). Sua facilidade de adaptação a diversos agroecossistemas é um fator importante para o aumento na dispersão desta cultura (Ferrari et al., 2015).

Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja e com 35.760,4 milhões de hectares de área plantada na safra 2018/19. O estado do Piauí contribuiu com 724,7 milhões de hectares de área plantada na safra 2018/19 (Conab, 2019), estando a região do MATOPIBA, a atual fronteira de expansão do agronegócio brasileiro, inclusa na área plantada piauiense (Lima, et al., 2019).

Em decorrência do crescimento populacional, estimado em 9,5 bilhões até 2050 (GODFRAY, 2010), a demanda futura por alimentos também será maior. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas de manejo e cultivo que propiciem maior produtividade da cultura da soja, garantindo a segurança alimentar dos próximos anos (Ting-ting et al., 2019).

Atualmente, o maior desafio é manejar de forma adequada todos os fatores que influenciam a produtividade da soja, tais como as mudanças nas condições ambientais, melhoramento genético, as práticas de manejo do solo e da cultura, a disponibilidade de nutrientes e as interações entre estes fatores (Berger-Neto, et al., 2017). Portanto, técnicas que contribuam para melhorar a produtividade da soja incluem, manejo adequado do solo, controle de pragas e

doenças, uso de cultivares adaptadas a região de cultivo, bem como a suplementação nutricional que garanta o ideal desenvolvimento da cultura (Balboa et al., 2018).

Para obtenção de elevada produtividade na cultura da soja é comum a utilização de fertilizantes minerais, porém estes, além de ocasionarem aumento nos custos de produção, provocam impactos negativos ao meio ambiente (Bulegon, et al., 2016). Assim, o uso de plantas de cobertura no sistema de semeadura direta apresenta-se como uma alternativa viável para disponibilizar os nutrientes decorrentes da mineralização de seus resíduos, ou seja, servindo assim como auxílio para nutrição da cultura e ainda diminuindo os usos dos fertilizantes minerais (Sinclair et al., 2014).

## **1.2 Manejo do solo**

O manejo adequado dos solos é o principal fator a ser considerado quando se objetiva uma produção agrícola sustentável, pois este afeta as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo influenciando assim em sua qualidade (Lisboa et al., 2012).

O preparo convencional com aração e gradagem diminui o conteúdo de matéria orgânica do solo e destrói a estrutura do solo devido a quebra dos seus agregados levando a redução na infiltração de água e, conseqüentemente, redução da quantidade de água disponível para as plantas. Desta forma, além da menor atividade biológica, menor será a quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas (Eleftheriadis & Turrión, 2014).

Por outro lado, as técnicas de cultivo mínimo e o sistema de semeadura direta, que priorizam a manutenção da cobertura do solo e, portanto, mostram-se eficazes na garantia da conservação do solo, principalmente no que diz respeito ao aumento da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e melhorias da qualidade biológica do solo (Giagnoni et al., 2019).

No Brasil, grande parte dos cultivos agrícolas ocorre no sistema de semeadura direta, no qual para o seu efetivo sucesso, deverá ocorrer sobre os três pilares de sustentação, resíduos culturais mantendo a superfície do solo 100% coberta, inclusão de rotação de cultura e não revolvimento do solo (Nascente & Crusciol, 2012).

Estudos mostram que o sistema de semeadura direta aumenta o número de indivíduos e diversidade da fauna do solo (Kraemer et al., 2017), ameniza os processos de erosão, estabiliza os agregados do solo e aumenta o carbono orgânico do solo (Rühlemann & Schmidtke, 2015). Além disso, o sistema de semeadura direta permite melhorias na infiltração e capacidade de retenção de água (Pan et al., 2017).

Com a adoção do sistema de semeadura direta, os custos de produção diminuem acentuadamente devido ao menor consumo de energia, menor perda de nutrientes e maior ciclagem destes. Solos cultivados com sistema de semeadura direta, quando manejados adequadamente apresentam boa fertilidade, principalmente nas camadas mais superficiais do solo, tornando os nutrientes acessíveis para a absorção pelas plantas (Tiecher et al., 2017).

Entretanto, a produtividade das culturas pode vir a se tornar limitada nas áreas sob sistema de semeadura direta em virtude da compactação presente nas camadas mais superficiais devido a mobilização apenas na linha de semeadura e, principalmente, devido ao tráfego de máquinas. Assim, quando a compactação for observada, deve-se utilizar um sistema de manejo que possibilite o rompimento da camada compactada e que simultaneamente mobilize minimamente o solo, situação que pode ser possibilitada com o uso da escarificação (Seki et al., 2017).

### **1.3 Plantas de cobertura**

A busca pela biodiversidade nos agroecossistemas vem sendo estimulada com o objetivo de melhorar as funções ecológicas e restringir o uso de insumos químicos, que causam impactos negativos ao meio ambiente. Nesse contexto, a utilização de plantas de cobertura torna-se uma prática importante em busca do equilíbrio no ambiente e na determinação do desempenho dos sistemas (Damour et al., 2016).

Normalmente, as culturas comerciais produzem pouca quantidade de palha, sendo esta insuficiente para manter o solo coberto durante todo o ano. Nestes casos, o uso de plantas de cobertura é uma alternativa para manter os princípios do sistema de semeadura direta. Os resíduos das plantas de cobertura aumentam os teores de matéria orgânica, melhoram a atividade

biológica e estrutura do solo, controlam as plantas invasoras e aumentam a presença de inimigos naturais de pragas (Leslie et al., 2017).

Além disso, ajudam na ciclagem dos nutrientes das camadas mais profundas do solo tornando-os mais disponíveis para as plantas de interesse comercial (Romaniuk et al., 2018). No geral, o uso de plantas de cobertura apresenta inúmeros benefícios, entretanto a escolha da espécie a ser utilizada deve ser feita com bastante critério conforme o objetivo a ser alcançado (Alvarez et al., 2017).

O milheto vem sendo constantemente utilizado como cobertura do solo em áreas de Cerrado uma vez que possui rápido crescimento, elevada produção de biomassa e eficácia na ciclagem de nutrientes. Por outro lado, seus resíduos persistem por mais tempo na superfície do solo em virtude de sua alta relação carbono e nitrogênio (C:N) e elevado teor de lignina, deixando assim o solo coberto por mais tempo.

De modo geral com o intuito de os nutrientes presentes nos resíduos serem ciclados mais rapidamente, os agricultores estão utilizando plantas da família Fabaceae como cobertura do solo devido ao menor teor de lignina e baixa relação C:N que estas plantas apresentam e ainda pela capacidade de interagir simbioticamente com bactérias fixadoras do nitrogênio atmosférico e de reduzir a população de nematoides do solo (Nascente et al., 2012).

A importância da relação C:N nos resíduos vegetais deve-se pela sua influência no tempo de manutenção da palhada na superfície do solo (Leslie et al., 2017). Segundo Gómez Munoz et al. (2013), as plantas com baixa relação C:N se decompõe mais rapidamente do que aquelas com alta relação C:N e, portanto, disponibilizam os nutrientes presentes nos resíduos mais rapidamente. Assim, é imprescindível levar em consideração o objetivo principal do uso dessas plantas na busca de se obter a máxima eficiência do sistema de produção.

#### **1.4 A qualidade do solo e seus indicadores biológicos**

A qualidade do solo refere-se à capacidade contínua do solo de funcionar como um sistema vivo, dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra (Mbutia et al., 2015). Os atributos microbiológicos do solo têm sido descritos como indicadores biológicos confiáveis para estimar a qualidade do

solo e isto se dá através da mensuração de parâmetros indicadores em amostras de solo, com destaque para biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e ainda a atividade enzimática (Eleftheriadis & Turrión, 2014).

Os microrganismos do solo são de extrema importância nos processos ecológicos uma vez que são responsáveis por regular vários processos, tais como a decomposição da matéria orgânica, a transformação e mineralização de nutrientes (Chavarría et al., 2016; Giagnoni et al., 2019).

A microbiota do solo é extremamente sensível às alterações no sistema de manejo do solo e das culturas. A biomassa microbiana é um indicador biológico que representa a parte viva da matéria orgânica que responde intensamente às variações de umidade, temperatura, manejo e qualidade dos resíduos (Barbieri et al., 2019).

Apenas determinar a biomassa microbiana do solo não fornece informações sobre a atividade das populações de microrganismos uma vez que pode haver elevadas quantidades de biomassa microbiana no solo e estas se encontrarem inativas. Assim, é importante que outros parâmetros relacionados com a atividade microbiana do solo sejam mensurados no intuito de avaliar o estado metabólico e o potencial das populações de microrganismos (Santos et al., 2011).

Lisboa et al. (2012) identificaram maior taxa respiratória no sistema de preparo com cultivo mínimo (Plantio direto), que promove baixo ou nenhum revolvimento, em relação ao sistema de preparo convencional, que envolve intensa movimentação do solo, e os autores sugerem que o sistema de preparo com cultivo mínimo favorece a atividade microbiana no solo em decorrência, principalmente, do aporte gradual de carbono.

### **1.5 Marcha de absorção**

A quantidade de fertilizantes utilizados na agricultura necessita ser ajustada para repor os nutrientes extraídos pelas culturas e aqueles perdidos durante a colheita de forma a garantir a fertilidade dos solos e a redução de impactos ambientais (Fernández-Tirado et al., 2013).

O ajuste nas doses de fertilizantes somente é possível por meio de algumas informações, tais como quantidade de nutrientes extraídos e

exportados pela cultura e a análise do solo e da planta. Entretanto, somente através da determinação da taxa de absorção dos nutrientes é possível conhecer a demanda nutricional de cada cultura em seus diferentes estádios fenológicos de forma a permitir melhorias nos métodos e tempo de aplicação dos fertilizantes para otimizar a eficiência das culturas (Vieira et al., 2018).

A análise do crescimento das plantas e a determinação da capacidade de absorção de nutrientes durante os estádios fenológicos são informações primordiais para garantir o uso racional dos fertilizantes. A determinação do acúmulo de biomassa seca da planta e das suas partes (caules, folhas, estruturas reprodutivas e grãos) é a ferramenta mais adequada para a análise de crescimento. Durante o ciclo das culturas, o acúmulo de biomassa nos caules e folhas ocorre até o florescimento, quando o acúmulo de biomassa se desloca para as vagens e grãos (Nascente et al., 2016).

As espécies vegetais exibem exigências nutricionais distintas em cada estágio de desenvolvimento e, portanto, a determinação da marcha de absorção de nutrientes fornece subsídios para o parcelamento dos nutrientes e pode auxiliar no planejamento da adubação das culturas (Almeida et al., 2014).

Vale ressaltar que os nutrientes devem estar em equilíbrio no sistema. Por exemplo, o nitrogênio deve estar em equilíbrio com outros macronutrientes, principalmente fósforo e potássio, a fim de maximizar o rendimento de grãos. Durante o ciclo de crescimento da planta, a proporção nitrogênio:fósforo nos tecidos vegetais tende a diminuir à medida que a biomassa aumenta devido a diferenciação dos tecidos/órgãos que exige diferentes proporções de nutrientes e, portanto, muda as concentrações de nutrientes nos órgãos vegetais (Tamagno et al., 2017).

## REFERÊNCIAS

- Almeida WS, Panachuki E, Oliveira PTS, da Silva MR, Sobrinho TA, de Carvalho DF. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil Tillage Res*, 175:130-138, 2018.
- Almeida EIB, Nóbrega GN, Medeiros Corrêa MC, Pinheiro EAR, Araújo NA. Crescimento e marcha de absorção de micronutrientes para a cultivar de melancia Crimson Sweet. *Revista Agro@mbiente On-line*, 8:74-80, 2014.
- Alvarez R, Steinbach HS, Paepe JL. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. *Soil Tillage Res*, 170:53-65, 2017.
- Alves ST, Campos LL, Elias Neto N, Matsuoka M, Loureiro MF. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33:341-347, 2011.
- Balboa GR, Sadras VO, Ciampitti IA. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: A historical synthesis-analysis. *Crop Science*, 58:43-54, 2018.
- Balboa, Guillermo R, Sadras, Victor O, Ciampitti, Ignacio A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: A historical synthesis-analysis. *Crop Science*, 58:43-54, 2018.
- Barbieri M, Dossin MF, Nora DD, Santos WBD, Bevilacqua C, Andrade ND, Antonioli ZI. Ensaio sobre a bioatividade do solo sob plantio direto em sucessão e rotação de culturas de inverno e verão. *Revista de Ciências Agrárias*, 42:121-130, 2019.
- Bender RR, Haegele JW, Ruffo ML, Below FE. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*, 105:161-170, 2013.

- Berger-Neto A, Jaccoud-Filho SD, Wutzki CR, Tullio HE, Pierre MLC, Manfron F, Justino A. Effect of spray droplet size, spray volume and fungicide on the control of white mold in soybeans. *Crop protection*, 92:190-197, 2017.
- Bulegon LG, Rampim L, Klein J, Kestring D, Guimarães VF, Battistus AG, Inagaki AM. Componentes de produção e produtividade da cultura da soja submetida à inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. *Terra Latinoamericana*, 34:169-176, 2016.
- Carr P, Gramig G, Liebig M. Impacts of organic zero tillage systems on crops, weeds, and soil quality. *Sustainability*, 5:3172-3201, 2013.
- Chavarría DN, Verdenelli RA, Serri DL, Restovich SB, Andriulo AE, Meriles JM, Vargas-Gil S. Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. *European journal of soil biology*, 76:74-82, 2017.
- Damour G, Guérin C, Dorel M. Leaf area development strategies of cover plants used in banana plantations identified from a set of plant traits. *European journal of agronomy*, 74:03-111, 2016.
- Alves, SM, Smiderle OJ, Souza GA, Chagas EA, Fagundes OPR, Souza MO. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes em mudas de *Khaya ivorensis*. *Acta Iguazu*, 5:95-110, 2016.
- Dias LP, Oliveira-Busatto, Abruzzi L, Bodanese-Zanettini, Helena M. The differential expression of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] WRKY genes in response to water deficit. *Plant physiology and biochemistry*, 107:288-300, 2016.
- Eleftheriadis A, Turrión MB. Soil microbiological properties affected by land use, management, and time since deforestations and crop establishment. *European journal of soil biology*, 62:138-144, 2014.

- Evans R, Lawley Y, Entz MH. Fall-seeded cereal cover crops differ in ability to facilitate low-till organic bean (*Phaseolus vulgaris*) production in a short-season growing environment. *Field crops research*, 191:91-100, 2016.
- Fernández-Tirado F, Parra-López C, Calatrava-Requena J. A methodological proposal for Life Cycle Inventory of fertilization in energy crops: The case of Argentinean soybean and Spanish rapeseed. *Biomass and bioenergy*, 58:104-116, 2013.
- Franco AAN. *Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo*. Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil. 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).
- Giagnoni L, Maienza A, Baronti S, Vaccari FP, Genesio L, Taiti C, Mancuso S. Long-term soil biological fertility, volatile organic compounds and chemical properties in a vineyard soil after biochar amendment. *Geoderma*, 344:127-136, 2019.
- Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir J F, Toulmin C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *science*, 327: 812-818, 2010.
- Gómez Muñoz B, Hatch DJ, Bol R, García Ruiz R. Nutrient dynamics during decomposition of the residues from a sown legume or ruderal plant cover in an olive oil orchard. *Agric Ecosyst Environ*, 184:115-123, 2014.
- Kraemer FB, Soria MA, Castiglioni M G, Duval M, Galantini J, Morrás H. Morpho-structural evaluation of various soils subjected to different use intensity under no-tillage. *Soil Tillage Res*, 169:124-137, 2017.
- Leslie AW, Wang KH, Meyer SL, Marahatta S, Hooks CR. 2017 Influence of cover crops on arthropods, free-living nematodes, and yield in a succeeding no-till soybean crop. *Appl Soil Ecol*, 117:21-31, 2017.
- Lima M, Silva Junior, CA, Rausch L, Gibbs HK, Johann JA. Demystifying sustainable soy in Brazil. *Land Use Policy*, 82:349-352, 2019.

- Lisboa BB, Vargas LK, Silveira ADO, Martins AF, Selbach PA. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. *Revista brasileira de ciência do solo*, 36:33- 44, 2012.
- Lourente ERP, Mercante FM, Alovisei AMT, Gomes CF, Gasparini AS, Nunes CM. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 10: 20-28, 2011.
- Mazzuchelli EHL. *Produtividade da soja e efeitos na Microbiologia do solo 483 em sucessão de plantas de cobertura*. Universidade do Oeste Paulista, São Paulo, Brasil. 2016. 76 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).
- Nascente AS, Crusciol CAC, Cobucci T. The no-tillage system and cover crops- Alternatives to increase upland rice yields, *European Journal of Agronomy*, 45:124-131, 2012.
- Nascente AS, Carvalho MDCS, Rosa PH. Growth, nutrient accumulation in leaves and grain yield of super early genotypes of common bean. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46:292-300, 2016.
- Nascente AS, Crusciol CAC. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47: 187-192, 2012.
- Neves, J. A. *Desempenho agrônômico de genótipos de soja sob condições de baixa latitude em Teresina-PI*. Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2015. 95p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal).
- Pan D, Song Y, Dyck M, Gao XWP, Zhao X. Effect of plant cover type on soil water budget and tree photosynthesis in jujube orchards. *Agricultural water management*, 184:135-144, 2017.
- Pinto P, Long MEF, Piñeiro G. Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America. *Agriculture, ecosystems & environment*, 248: 48-57, 2017.

- Romaniuk R, Beltrán M, Brutti L, Costantini A, Bacigaluppo S, Sainz-Rozas H, Salvagiotti F. Soil organic carbon, macro-and micronutrient changes in soil fractions with different lability in response to crop intensification. *Soil and Tillage Research*, 181:136-143, 2018.
- Rühlemann L, Schmidtke K. Evaluation of monocropped and intercropped grain legumes for cover cropping in no-tillage and reduced tillage organic agriculture. *European Journal of Agronomy*, 65:83-94, 2015.
- Seki AS, Seki FG, Jasper SP, Silva PRA, Benez SH. Efeitos de praticas de descompactação do solo em area sob Sistema plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, 46:460-468, 2015.
- Sinclair TR, Marrou H, Soltani A, Vadez V, Chandolu KC. Soybean production potential in Africa. *Global Food Security*, 3:31-40, 2014.
- Tamagno S, Balboa GR, Assefa Y, Kovács P, Casteel SN, Salvagiotti CIA. Nutrient partitioning and stoichiometry in soybean: A synthesis-analysis. *Field Crops Research*, 200:18-27, 2017.
- Tiecher T, Calegari A, Caner L, Santos Rheinheimer, D. Soil fertility and nutrient budget after 23-years of different soil tillage systems and winter cover crops in a subtropical Oxisol. *Geoderma*, 308:78-85, 2017.
- Ting-ting WU, T. T, LI JY, WU, C. X, Shi, S. U. N, MAO, T. T, JIANG, B. J, HAN, T. F. Analysis of the independent-and interactive-photo-thermal effects on soybean flowering. *Journal of Integrative Agriculture*, 14: 622-632, 2015.
- Vieira JLV, Nardi KT, Silva GRA, Moreira LA, Zavaschi E, Moura TA, Otto R. Nutrient Uptake by High-Yielding Cotton Crop in Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, 2018.

## CAPÍTULO 2

### ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM SOLO CULTIVADO COM PLANTAS DE COBERTURA

#### RESUMO

O estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de plantas de cobertura do solo em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo sobre a microbiologia do solo e produtividade da soja no Cerrado piauiense. O experimento foi realizado nos anos agrícolas 2016/2017 e 2017/2018. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas. Nas parcelas foram alocados os sistemas de manejo do solo: semeadura direta (SD) e cultivo mínimo (CM) e nas subparcelas, as plantas de cobertura: *Pennisetum glaucum* (milheto), *Urochloa ruziziensis* (Braquiária), *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca*, consórcio de *Pennisetum glaucum* + *Crotalaria spectabilis* (milheto+*Crotalaria spectabilis*) e vegetação espontânea, com 3 repetições. Avaliou-se produção de massa seca (MS) e acúmulo de nutrientes das plantas de cobertura. No solo foram avaliados: carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (C-BMS e N-BMS), respiração basal (RBS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), atividade enzimática desidrogenase, diacetato de fluoresceína (FDA) e a produtividade da soja. O milheto produziu maior quantidade de MS. A vegetação espontânea apresentou baixo C-BMS e N-BMS, baixa atividade enzimática e alto  $qCO_2$ . A soja aumentou a produtividade de grãos em sucessão ao consórcio milheto+*Crotalaria spectabilis*. A vegetação espontânea não favoreceu a microbiologia do solo.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill, Cerrado piauiense, cobertura do solo, atividade enzimática, atividade microbiana.

## CHAPTER 2

### MICROBIOLOGICAL ACTIVITY AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN IN SOIL CULTIVATED WITH COVER PLANTS

#### ABSTRACT

The study was conducted with the objective to evaluate the effect of covering plants of soil in the direct seeding system and minimal cultivation in microbiology of soil and productivity of soybean in Piauí Savanna. The experiment was done in agricultural years 2017/2018. The experimental design was done in blocks randomized in split-plot. In plots were allocated the systems of soil management: direct seeding (DS) and minimal cultivation (MC) in split-plots, the cover plants: *Pennisetum glaucum*(millet), *Urochloa ruziziensis*(*Brachiaria*), *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca*, consortium of *Pennisetum glaucum*+*Crotalaria spectabilis*(millet +*Crotalaria spectabilis*) and spontaneous vegetation, with three repetitions. It was evaluated the dry mass production (DM) and accumulation of nutrients of covering plants. In the soil were evaluated: carbon and nitrogen of the microbial biomass (C-BMS and N-BMS), basal respiration (RBS), metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>), enzymatic activity dehydrogenase, fluorescein diacetate (FDA) and the soybean production. The millet produced a high quantity of DM. The spontaneous vegetation presented low C-BMS and N-BMS, low enzymatic activity and a high qCO<sub>2</sub>. The soybean increased the productivity of soy beans in succession to the consortium millet+*Crotalaria spectabilis*. The spontaneous vegetation did not offer the soil biology.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill, Piauí Savanan, soil cover, enzymatic activity, microbial activity.

## 1. INTRODUÇÃO

A ascensão da agricultura no bioma Cerrado é resultado das boas práticas de manejo do solo, especialmente, da aplicação de corretivos, da melhoria na fertilidade pela adubação mineral e adequado manejo fitossanitário, que tornam esta região, que se situa em parte no MATOPIBA, uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil (Almeida et al., 2018).

A cultura com maior destaque no Cerrado Nordestino é a soja (*Glycine max* (L.) Merrill), a qual apresenta boa adaptação e elevada produtividade. Devido a boa rentabilidade da soja, os agricultores adotam uma sequência de cultivo pouco diversificada e tendem a manter o monocultivo. Neste sistema de produção, as plantas de cobertura raramente são incluídas gerando déficit na produção de resíduos culturais e insuficiente cobertura do solo durante todo o ano (Merten et al., 2015).

A ausência de cobertura no solo inviabiliza a prática da semeadura direta e a baixa produção de resíduos compromete os estoques de carbono orgânico do solo, a atividade microbiológica e, conseqüentemente, a qualidade do solo (Derpsch et al., 2014). Atualmente, um dos desafios para a agricultura no Cerrado consiste na busca de práticas de manejo que promovam a melhoria da qualidade do solo de forma a garantir sua sustentabilidade. O que pode ser alcançado com o uso de plantas de cobertura em sistema de rotação de culturas ou mesmo em sucessão.

Para a escolha adequada das plantas de cobertura a serem utilizadas, faz-se necessário considerar várias características relacionadas ao solo, ambiente e principalmente ao clima de forma a garantir boa produção de massa seca e a adequada ciclagem de nutrientes (Alvarez et al., 2017). Características como o teor de lignina, a capacidade de enraizamento e de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio e fatores relacionados a melhoria nos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo devem ser considerados (Aita et al., 2014; Silva et al., 2017; Sousa et al., 2017).

Os resíduos das plantas de cobertura fornecem condições adequadas de umidade e temperatura que contribuem para criar um ambiente mais favorável ao crescimento e atividade microbiana, resultando em maior

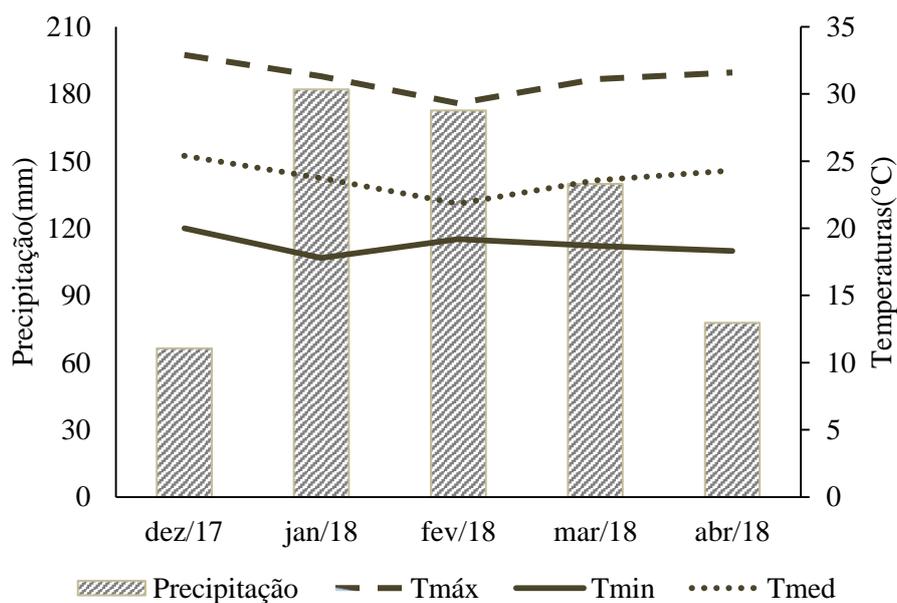
armazenamento de carbono e nitrogênio no solo (Frasier et al., 2016). A microbiota do solo exerce um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes, pois a mineralização dos resíduos depende da presença e atividade desses organismos (Mbutia et al., 2015). Portanto, é importante que os resíduos sejam eficientes em proporcionar melhorias nos atributos microbiológicos e aumentar a produtividade ao longo dos anos (Camelo et al., 2011).

A hipótese testada no estudo foi de que o uso de plantas de cobertura em sistema semeadura direta possibilita a melhoria na qualidade, diversidade e atividade microbiológica do solo tornando-o mais eficiente quanto à ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, impulsionando a produtividade da soja. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de plantas de cobertura em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo nos atributos microbiológicos do solo e na produtividade de plantas de soja nas condições do Cerrado piauiense.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no município de Bom Jesus, na Serra do Quilombo (Fazenda Vô Desidério), com coordenadas geográficas de 09°16'20" S e 44°56'56" W. O clima da região é quente e úmido (Cwa), com temperatura média anual de 26,6 °C e a precipitação média de 1.100 mm ano<sup>-1</sup>. Ocorrem duas estações bem definidas no ano, de novembro a abril tem-se a estação chuvosa e de maio a outubro a estação seca, sem a ocorrência de chuvas (Andrade Junior et al., 2004). Os dados de temperatura do ar e precipitação ocorridos na área experimental durante o cultivo da soja estão descritos na Figura 1.

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico, com textura média (Pragana, 2011). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m para a caracterização química e granulométrica do solo (Tabela 1).



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média, máxima e mínima (°C), durante a safra 2017/2018, Fazenda Vô Desidério, Bom Jesus, PI.

A área experimental é cultivada em sistema de semeadura direta há 11 anos, com utilização de milho na entressafra como planta de cobertura. O cultivo da soja persiste na área a aproximadamente 18 anos, e, somente no ano agrícola de 2013, houve cultivo de milho + braquiária.

**Tabela 1-** Caracterização química e granulométrica do solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, antes da implantação do experimento, na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus – PI.

| Camada  | pH                 | V                         | H+Al                            | Al  | Ca | Mg                                       | SB    | T     |
|---------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|-----|----|--|-------|-------|
| m       | (H <sub>2</sub> O) | %                         | -----                           |     |    | Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |       |       |
| 0-0,2   | 5,5                | 36                        | 5,7                             | 0,1 | 2  | 0,8                                      | 3,2   | 9,0   |
| 0,2-0,4 | 5,2                | 29                        | 4,2                             | 0,2 | 1  | 0,3                                      | 1,7   | 5,8   |
|         | P                  | K                         | S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | m   | MO | Argila                                   | Silte | Areia |
|         | -----              | mg dm <sup>-3</sup> ----- |                                 | %   |    | -----g kg <sup>-1</sup> -----            |       |       |
| 0-0,2   | 56,5               | 177,7                     | 16,5                            | 3   | 20 | 223                                      | 5     | 772   |
| 0,2-0,4 | 19,4               | 122,5                     | 17,1                            | 10  | 12 | 234                                      | 20    | 746   |

V: saturação de bases; H+AL: acidez potencial; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; SB: soma de bases; T: CTC pH 7; P: fósforo; K: potássio; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: sulfato de enxofre; m: saturação por alumínio e MO: matéria orgânica.

O experimento foi implantado em dezembro de 2016 com delineamento em blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, cuja parcela corresponde ao manejo do solo e as subparcelas às plantas de cobertura, com 3 repetições. O manejo do solo consistiu em: semeadura direta (SD) sem revolvimento do solo e cultivo mínimo (CM), realizado com uma passada de escarificador na profundidade de 0,3 m (antecedendo o plantio das plantas de cobertura).

As plantas testadas no presente estudo foram: *Pennisetum glaucum* (milheto), *Urochloa ruziziensis* (Braquiária), *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria ochroleuca*, consórcio de *Pennisetum glaucum* + *Crotalaria spectabilis* (milheto+*Crotalaria spectabilis*) e vegetação espontânea, com predomínio das seguintes plantas: apaga fogo (*Alternanthera tenella* L.), capim pé de galinha (*Leusine indica* L.), capim carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.) e malva guanxuma (*Sida glaziovii* L.).

A área correspondente a cada bloco experimental foi de 30 x 13 m e cada parcela de 5 x 6,5 m. As plantas de cobertura foram semeadas nos dois sistemas de manejo em meados de dezembro de 2016, de forma manual e a lanço.

As quantidades de sementes utilizadas foram: milheto: 30 kg ha<sup>-1</sup> e braquiária: 25 kg ha<sup>-1</sup>; *Crotalaria ochroleuca*: 10 kg ha<sup>-1</sup>; *Crotalaria spectabilis*: 20 kg ha<sup>-1</sup>; no consórcio de milheto + *C. spectabilis* foram 10 kg ha<sup>-1</sup> de milheto + 15 kg ha<sup>-1</sup> de *Crotalaria spectabilis*. As plantas foram semeadas à lanço e incorporadas com uma passada de grade leve a uma profundidade de 3 a 5

cm. Não foi utilizado adubação para o cultivo das plantas de cobertura. Houve a necessidade de um replantio em meados de janeiro de 2017, devido a falhas na germinação.

A avaliação da produção de massa seca das plantas de cobertura foi realizada aos 105 dias após o início da germinação (março de 2017). Utilizou-se um quadro metálico de 0,25 m<sup>2</sup> lançado aleatoriamente em dois locais da parcela. O material vegetal foi lavado e posteriormente seco em estufa de circulação forçada a 65 °C até atingir peso constante. Os resultados de massa seca foram expressos em kg ha<sup>-1</sup>.

No material vegetal foi realizada a análise química do tecido para os elementos: nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S); boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn) e zinco (Zn). Os métodos utilizados para analisar os nutrientes foram: digestão úmida (nitro-perclórica); N – método Kjeldahl; P – método colorimétrico; K – fotômetro de chama; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn – leitura em absorção atômica; B–Azometina H; S – BaCl<sub>2</sub> (Miyazawa et al., 2009). O conteúdo total de cada nutriente foi estimado a partir do teor do nutriente presente em cada amostra de tecido vegetal, multiplicado pelo peso total de biomassa seca.

A soja foi semeada no dia 13 de dezembro de 2017 (safra 2017/2018) sob a palhada remanescente das plantas de cobertura, a cultivar de soja utilizada foi a M8808 IPRO, com espaçamento de 0,5 m entre plantas, com população de 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Cada parcela foi constituída de 5 m de comprimento e 11 linhas de soja (para área útil desconsiderou-se as linhas da extremidade e 0,5 m de cada linha). A adubação utilizada no plantio foi de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 10-30-10 (NPK) e 150 kg ha<sup>-1</sup> de KCl aplicados em cobertura. Na ocasião do plantio as sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*.

Para o controle fitossanitário realizaram-se duas aplicações do fungicida Propiconazol + Difenconazol (Score Flexi®-150 ml ha<sup>-1</sup>), uma aos 30 dias após a emergência (DAE) e outra no intervalo de 20 dias após a primeira aplicação. Além disso, aos 70 DAE foi aplicado Fungicida Azoxistrobina + Ciproconazol (Priori Xtra®-300 ml ha<sup>-1</sup>) e Mancozebe (Unizeb Gold), com uma segunda aplicação de ambos 20 dias após.

No controle de pragas da cultura, realizou-se quatro aplicações de Tiametoxam + Lambda-Cialotrina (Engeo Pleno S-300 ml ha<sup>-1</sup>), sendo a primeira 30 DAE, e mais três aplicações com intervalo de 20 dias cada. Aos 90 DAE aplicou-se Piriproxifem (Epingle-250 ml ha<sup>-1</sup>).

A produtividade de grãos foi determinada quando a soja atingiu o ponto de colheita (115 Dias após emergência), com a coleta de três linhas de dois metros de comprimento, em cada unidade experimental, corrigindo-se a umidade dos grãos para 13% e estimada em kg ha<sup>-1</sup>.

Após a colheita da soja, foram coletadas amostras compostas de solo, uma em cada subparcela, na profundidade de 0-0,1m, e encaminhadas ao Laboratório de Solo e Planta, da Embrapa Meio-Norte, para realização das análises microbiológicas.

O carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo, C-BMS e N-BMS, respectivamente, foram analisados pelo método de irradiação-extração e a respiração basal do solo (RBS) foi determinada por meio da quantificação de CO<sub>2</sub> liberado após 7 dias de incubação em condições aeróbias. O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi obtido pela relação entre RBS e C-BMS conforme metodologia descrita por (Mendonça & Matos, 2005).

Para análise das atividades enzimáticas seguiu-se as metodologias descritas por Frighetto e Valarini (2000), onde as atividades enzimáticas na cadeia respiratória foram obtidas pela hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) e a atividade de desidrogenase (Desi) analisada após adição de cloreto de trifeniltetrazólio (TTC) por espectrofotometria.

De posse dos dados, procedeu-se análise de variância e quando significativo realizou-se o teste de agrupamentos com uso do Scott-Knott a 5% de probabilidade utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2014).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Produção de massa seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea de plantas de cobertura

A interação dos fatores (MS e PC) não foi significativa para produção de MS e acúmulo de nutrientes (Tabela 2). Houve efeito significativo do manejo do solo para N, Ca, Mg e Cu, com maiores valores encontrados no CM com 116, 54,23 e 47 kg ha<sup>-1</sup> destes nutrientes em relação a SD com 99, 45, 19 e 41 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2).

O maior acúmulo de N, Ca, Mg e Cu, nas plantas cultivadas em CM em relação a SD, deve-se ao revolvimento da camada de 0-0,3 m (escarificação), que favoreceu o crescimento radicular das plantas de cobertura durante o primeiro ano do experimento. O cultivo mínimo melhora a aeração do solo, em consequência a infiltração de água é maior e a absorção de nutrientes pelas plantas cultivadas é favorecida (Calonego et al., 2017).

**Tabela 2.** Produção de massa seca e acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea de plantas de cobertura com diferentes manejos do solo, na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus, PI.

| Manejo do solo                  | MS<br>kg ha <sup>-1</sup> | N P K Ca Mg S                  |     |      |     |     |     | B Cu Fe Mn Zn                 |     |        |      |      |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|-------------------------------|-----|--------|------|------|
|                                 |                           | -----kg ha <sup>-1</sup> ----- |     |      |     |     |     | -----g ha <sup>-1</sup> ----- |     |        |      |      |
| Cultivo mínimo                  | 6857                      | 116a                           | 20  | 136  | 54a | 23a | 16  | 503                           | 47a | 7329   | 659  | 283  |
| Semeadura direta                | 6320                      | 99b                            | 18  | 124  | 45b | 19b | 14  | 496                           | 41b | 8121   | 579  | 248  |
| Teste F                         | ns                        | **                             | ns  | ns   | **  | **  | ns  | ns                            | **  | ns     | ns   | ns   |
| Plantas de cobertura            |                           |                                |     |      |     |     |     |                               |     |        |      |      |
| <i>C. ochroleuca</i>            | 5447c <sup>3</sup>        | 125a                           | 15b | 108b | 41  | 25a | 16a | 400b                          | 47a | 3179b  | 443  | 282a |
| <i>C. spectabilis</i>           | 4393c                     | 82b                            | 13b | 82b  | 51  | 12b | 8b  | 477b                          | 28b | 7088b  | 368  | 168b |
| Milheto + <i>C. spectabilis</i> | 8186a                     | 136a                           | 23a | 158a | 60  | 28a | 13a | 420b                          | 59a | 6993b  | 737  | 321a |
| Milheto                         | 8034a                     | 128a                           | 26a | 171a | 55  | 24a | 17a | 360b                          | 51a | 5931b  | 1111 | 289a |
| Braquiária                      | 6882b                     | 67b                            | 19b | 131a | 40  | 18b | 19a | 840a                          | 35b | 15484a | 437  | 267a |
| Teste F                         | **                        | **                             | **  | **   | ns  | **  | **  | **                            | **  | **     | ns   | **   |
| PC x MS                         | ns                        | ns                             | ns  | ns   | ns  | ns  | ns  | ns                            | ns  | ns     | ns   | ns   |
| CV <sub>1</sub> (%)             | 12                        | 17                             | 13  | 12   | 16  | 15  | 17  | 17                            | 15  | 40     | 17   | 16   |
| CV <sub>2</sub> (%)             | 13                        | 23                             | 21  | 21   | 38  | 27  | 23  | 44                            | 21  | 26     | 65   | 27   |

MS: massa seca; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre; B: boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês e Zn: zinco. <sup>1</sup>Coefficiente de variação da parcela. <sup>2</sup>Coefficiente de variação da sub-parcela. <sup>3</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

As plantas de cobertura diferiram quanto a produção de MS e todos os nutrientes avaliados, exceto, Ca e Mn (Tabela 2). Dentre as plantas estudadas o milho e o consórcio de milho+*Crotalaria spectabilis* apresentaram maior produção de MS, 8.034 e 8.186 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Resultados equivalentes para o milho foram encontrados por Pacheco et al. (2011), com produção de 8.495 kg ha<sup>-1</sup> em um solo de Cerrado goiano.

Entre outros fatores, a maior produção de MS do milho está associada à sua melhor adaptação às condições edafoclimáticas locais e seu rápido crescimento, expressando assim alto potencial para uso na região, proporcionando eficiente cobertura pelos seus resíduos e permanecendo por mais tempo na superfície do solo em relação às demais coberturas estudadas (Borges et al. 2015; Sousa et al. 2019).

O consórcio de espécies da família Poaceae com Fabaceae (milho + *Crotalaria spectabilis*), apresentou incremento de MS e acúmulo de N, contrariando os resultados obtidos por Silva et al. (2017) e Sousa et al. (2019), que encontraram menores valores em condições climáticas semelhantes. Os autores ressaltam que outros fatores podem influenciar na produção de MS das plantas de cobertura, tais como: local de cultivo, fertilidade do solo, qualidade e germinação das sementes, estado final de plantas, além da época de corte.

Além disso, Sousa et al. (2019) verificaram que apesar da menor produção de MS para o consórcio de milho + *Crotalaria spectabilis*, a palhada produzida apresentou taxa de decomposição mais lenta, logo, a superfície do solo permaneceu por mais tempo coberta.

Os maiores acúmulos de N e Mg ocorreram com uso do consórcio milho + *Crotalaria spectabilis* (136 e 28 kg ha<sup>-1</sup>), milho (128 e 24 kg ha<sup>-1</sup>) e *Crotalaria ochroleuca* (125 e 25 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente.

O milho acumulou N e Mg em quantidades próximas ao encontrado por Torres et al. (2008), estes autores observaram que em dois anos de cultivo consecutivos utilizando o milho como planta de cobertura o acúmulo no primeiro ano foi de 166 kg ha<sup>-1</sup> de N e 23 kg ha<sup>-1</sup> de Mg, aproximando-se do encontrado neste estudo para o Mg que foi de 24 kg ha<sup>-1</sup>.

Para o P e o K os maiores acúmulos ocorreram com o cultivo do milho (26 e 171 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), e no consórcio milho + *Crotalaria spectabilis* (23 e 158 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente).

O acúmulo de P e K no milho foi superior ao encontrado por Pacheco et al. (2013), que obtiveram em seu estudo valores de 6,98 e 31,94 kg ha<sup>-1</sup> para esses nutrientes, respectivamente. No entanto, neste estudo, para o nutriente K o milho e o consórcio milho + *Crotalaria spectabilis* não diferiram da braquiária, apresentando o maior acúmulo desse macronutriente.

Entre os micronutrientes apenas o Mn não apresentou diferença entre as plantas avaliadas. O maior acúmulo de B e Fe ocorreu após cultivo de braquiária com 840 e 15.484 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente, no entanto para o Cu essa planta de cobertura apresentou menores valores acumulados (35 g ha<sup>-1</sup>), não se diferenciando apenas da *Crotalaria spectabilis* que por sua vez também apresentou menores acúmulos de Zn (168 g ha<sup>-1</sup>).

Pittelkaw (2010), estudando o acúmulo de nutrientes, pelo uso de diferentes plantas de cobertura, em dois sistemas de manejo do solo, semeadura direta (SD) e cultivo mínimo (CM), onde o CM foi realizado com uma passada de escarificador a 50 cm, em um Latossolo Vermelho, no Estado de Mato Grosso, encontrou maior acúmulo de Fe na braquiária (1.071 g ha<sup>-1</sup> em SD e 2.252 g ha<sup>-1</sup> em CM), todavia, são valores menores aos deste estudo.

### 3.2 Atributos microbiológicos do solo

Verificou-se interação entre plantas de cobertura e manejo do solo para todos os atributos microbiológicos, avaliados após a colheita da soja (Tabela 3).

**Tabela 3-** Análise de variância dos atributos microbiológicos do solo em área de soja em sucessão a plantas de cobertura com diferentes manejos do solo, na profundidade 0-0,1 m na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus, PI.

| Manejo do solo (MS)           | C-BMS              | N-BMS              | RBS  | FDA                | Desi               | qCO <sub>2</sub>                    |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|--|--------------------|--------------------|-------------------------------------|
|                               | g kg <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> | µgCO <sub>2</sub><br>g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> | µg g <sup>-1</sup> | µl g <sup>-1</sup> | mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> |
| Cultivo mínimo                | 186,4              | 2,3                | 13,9   | 19,1               | 2,1                | 0,07                                |
| Semeadura direta              | 198,7              | 2,5                | 15,1   | 22,5               | 2,7                | 0,07                                |
| Teste F                       | ns                 | ns                 | ns   | **                 | **                 | ns                                  |
| Plantas de cobertura (PC)     |                    |                    |  |                    |                    |                                     |
| V.espontânea                  | 149,8              | 2,2                | 17,8   | 15,5               | 1,7                | 0,12                                |
| <i>C.ochroleuca</i>           | 172,8              | 2,5                | 12,3   | 22,9               | 3,0                | 0,07                                |
| <i>C. spectabilis</i>         | 206,7              | 2,2                | 10,2   | 14,7               | 2,2                | 0,04                                |
| Milheto+ <i>C.spectabilis</i> | 208,1              | 2,4                | 12,7   | 22,7               | 3,0                | 0,05                                |
| Milheto                       | 211,3              | 2,6                | 15,9   | 23,5               | 2,2                | 0,07                                |
| Braquiária                    | 206,6              | 2,6                | 19,2   | 25,5               | 2,4                | 0,09                                |
| Teste F                       | **                 | **                 | **   | **                 | **                 | **                                  |
| PC x MS                       | **                 | **                 | **   | **                 | **                 | **                                  |
| CV1(%)                        | 9,7                | 12,9               | 11,4   | 11,8               | 15,4               | 20,3                                |
| CV2(%)                        | 8,4                | 7,6                | 16,7   | 9,9                | 8,9                | 22,6                                |

C-BMS: carbono da biomassa microbiana do solo; N-BMS: nitrogênio da biomassa microbiana do solo; RBS: respiração basal do solo; FDA: hidrólise de diacetato de fluoresceína; Desi: desidrogenase; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico e Prod: produtividade.

Para o C-BMS não houve diferença entre plantas de cobertura cultivadas no CM, entretanto houve no sistema de SD (Tabela 4). A vegetação espontânea em SD apresentou menor valor de C-BMS (142,6 g kg<sup>-1</sup>), não diferenciando apenas da *Crotalaria ochroleuca* (168,2 g kg<sup>-1</sup>). Entre os manejos houve diferença do C-BMS no consórcio de Milheto+*C.spectabilis* e milho exclusivo no sistema CM em relação a SD.

Os resultados de C-BMS demonstram-se controversos ao encontrado por Araújo Neto et al. (2014), que avaliando plantas de cobertura, observaram que a vegetação espontânea destacou-se em relação as demais coberturas estudadas. O autor associa este resultado com a maior diversidade de plantas no tratamento correspondente a vegetação espontânea, o que colabora para o aumento da atividade e a biomassa microbiana do solo.

Por outro lado, os resultados de C-BMS encontrados corroboram com aqueles obtidos por Quadros et al. (2012), que associando plantas de cobertura no sistema de SD, encontraram valores crescentes de C-BMS, independente da cobertura utilizada, já em preparo convencional, apenas nas Fabáceas observou-se valores crescentes de C-BMS. Assim Mazzuchelli et al. (2017), destaca a importância do sistema de SD na manutenção do carbono da biomassa microbiana.

Com relação ao N-BMS, no sistema de SD, a *Crotalaria spectabilis* diferiu das demais plantas utilizadas, com o menor valor de N-BMS (1,8 g kg<sup>-1</sup>). Já no sistema de CM, todas as plantas utilizadas apresentaram valores superiores e diferiram da vegetação espontânea. Em relação ao manejo para cada planta de cobertura, observa-se diferença para vegetação espontânea, com maiores valores em SD comparada ao CM. Já a *Crotalaria spectabilis*, apresentou valores inferiores na SD (1,8 g kg<sup>-1</sup>) comparada ao CM (2,7 g kg<sup>-1</sup>).

**Tabela 4**-Efeito da interação de plantas de cobertura com manejos do solo, cultivados com soja, para atributos microbiológicos do solo, na profundidade de 0-0,1 m, na Serra do Quilombo, Fazenda Vô Desidério, Bom Jesus-PI.

| Plantas de<br>Cobertura (PC)  | C-BMS   |         | N-BMS |       | RBS    |        |
|-------------------------------|---|---------|-------|-------|--------|--------|
|                               | ----- gkg <sup>-1</sup> -----                       |         |       |       |        |        |
|                               | μgCO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |         |       |       |        |        |
|                               | SD  | CM      | SD    | CM    | SD     | CM     |
| Vegetação espontânea          | 142,6bA <sup>1</sup>                                | 156,9aA | 2,7aA | 1,7bB | 18,8aA | 16,9bA |
| <i>Crotalaria ochroleuca</i>  | 168,2bA   | 177,4aA | 2,5aA | 2,5aA | 9,1bB  | 15,4bA |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> | 196,9aA   | 216,5aA | 1,8bB | 2,7aA | 11,0bA | 9,4cA  |
| Milheto+ <i>C.spectabilis</i> | 233,5aA   | 182,8aB | 2,4aA | 2,4aA | 17,9aA | 7,6cB  |
| Milheto                       | 232,6aA   | 189,9aB | 2,8aA | 2,4aA | 15,4aA | 15,0bA |
| Braquiária                    | 218,18aA  | 195,1aA | 2,8aA | 2,3aA | 18,7aA | 19,7aA |

|                               | qCO <sub>2</sub>                    |        | FDA                |        | DESI               |       |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|-------|
|                               | mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> |        |                    |        |                    |       |
|                               | μg g <sup>-1</sup>                  |        | μg g <sup>-1</sup> |        | μl g <sup>-1</sup> |       |
|                               | SD                                  | CM     | SD                 | CM     | SD                 | CM    |
| Vegetação espontânea          | 0,13aA                              | 0,10aA | 14,6cA             | 16,5bA | 2,2bA              | 1,2bB |
| <i>C. ochroleuca</i>          | 0,05bB                              | 0,08aA | 22,6bA             | 23,3aA | 3,4aA              | 2,6aB |
| <i>C. spectabilis</i>         | 0,05bA                              | 0,04bA | 13,0cA             | 16,4bA | 2,5bA              | 1,9aA |
| Milheto+ <i>C.spectabilis</i> | 0,07bA                              | 0,04bB | 28,2aA             | 17,5bB | 3,6aA              | 2,5aB |
| Milheto                       | 0,06bA                              | 0,07bA | 30,3aA             | 16,8bB | 1,9bB              | 2,6aA |
| Braquiária                    | 0,08bA                              | 0,10aA | 26,5aA             | 24,5aA | 2,6bA              | 2,1aA |

C-BMS: carbono da biomassa microbiana do solo; N-BMS: nitrogênio da biomassa microbiana do solo; RBS: respiração basal do solo; FDA: hidrólise de diacetato de fluoresceína; Desi: desidrogenase; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico; Prod: produtividade; SD: semeadura direta e CM: preparo mínimo.

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Os baixos valores de N-BMS encontrados com uso de *Crotalaria spectabilis*, podem ser atribuídos a baixa produção de MS (Tabela 2). De acordo com Duarte et al. (2014), menores quantidade de resíduos na superfície do solo diminuem a disponibilidade de substrato para os microrganismos. A biomassa microbiana do solo depende ainda das características dos resíduos vegetais, assim, resíduos com baixa relação C:N, causam impacto na mineralização de N microbiano, disponibilizando N ao solo (Martínez-García et al., 2018).

As plantas de cobertura alteraram os valores de RBS nos dois sistemas de manejo do solo utilizados (Tabela 4). No sistema de SD, a *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria spectabilis* apresentaram a menor RBS, diferindo das demais plantas de cobertura. No CM, a RBS com cultivo de braquiária foi de 19,7  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , diferindo das demais plantas cultivadas Já a *C. spectabilis* e o consórcio milho+*Crotalaria spectabilis* cultivados sob CM apresentaram os menores valores de RBS (9,4 e 7,6  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}$ , respectivamente). Os manejos de solo mostraram-se diferentes nas coberturas de *Crotalaria ochroleuca* com menor RBS em SD (9,1  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) e no consórcio Milheto+*C.spectabilis* em CM (7,6  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ).

Alves et al. (2011), destaca que a eficiência da biomassa microbiana está relacionada com o menor carbono perdido como  $\text{CO}_2$  pela respiração. Portanto, é possível afirmar que a *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria spectabilis* mostraram-se eficiente no acúmulo de biomassa microbiana, pois uma fração significativa de carbono é incorporada a biomassa microbiana.

Analisando o quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) observa-se que a vegetação espontânea apresentou os maiores valores em relação as plantas de coberturas estudadas em sistema de SD, com 0,13  $\text{mg CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ CBM dia}^{-1}$ , e em CM com 0,10  $\text{mg CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ CBM dia}^{-1}$ . Em CM a vegetação espontânea não diferiu da *Crotalaria ochroleuca* e braquiária cujo  $q\text{CO}_2$  foi de 0,08 e 0,10  $\text{mg CO}_2 \text{ mg}^{-1}$ , respectivamente.

Comparando o  $q\text{CO}_2$  entre os manejos, observa-se que a *Crotalaria ochroleuca* quando manejada em SD apresentou menor  $q\text{CO}_2$ . Já o consórcio milho+*Crotalaria spectabilis* em CM apresentou os menores valores.

Elevados valores de  $q\text{CO}_2$ , como os observados neste estudo para a vegetação espontânea, indicam maior gasto de energia para a manutenção da

comunidade microbiana, em consequência de alguma situação de estresse causada no sistema, ou ainda pela presença de comunidades microbiana em estágios iniciais de desenvolvimento (Guimarães et al. 2017). Já Camelo et al. (2011), afirmam que valores menores de  $qCO_2$  indicam maior eficiência da biomassa microbiana, ou seja, menos carbono (C) é perdido como  $CO_2$  e maior proporção de C é incorporada nas células microbianas.

A atividade de enzima FDA no sistema de SD foi maior para a cobertura de milho, consórcio milho+*Crotalaria spectabilis* e braquiária, com valores médios respectivos de 30,3; 28,2 e 26,5  $\mu g g^{-1}$ , respectivamente, sem diferença entre estes tratamentos. No sistema de CM a braquiária apresentou maior valor de 24,5  $\mu g g^{-1}$ , no entanto não diferiu da *Crotalaria ochroleuca* (23,3  $\mu g g^{-1}$ ).

A interação entre manejo do solo e as plantas de cobertura mostra que o sistema de CM se diferencia do sistema de SD apenas nas coberturas de milho e no consórcio milho+*Crotalaria spectabilis*, apresentando o milho em SD 30,3  $\mu g g^{-1}$  e em CM 16,8  $\mu g g^{-1}$  e o consórcio milho+*Crotalaria spectabilis* apresentou 28,2  $\mu g g^{-1}$  e 17,5  $\mu g g^{-1}$ , para SD e CM, respectivamente.

Para o potencial heterotrófico da microbiota do solo, representado pela atividade das enzimas em FDA, as plantas da família *Poaceae* destacaram-se com maiores valores, exercendo relação com a maior produção de massa seca por parte dessas plantas e, portanto, uma maior fonte de carbono favoreceu maior atividade enzimática nessas coberturas, corroborando com o trabalho de Santos et al. (2015), que obtiveram maior valor de FDA para braquiária.

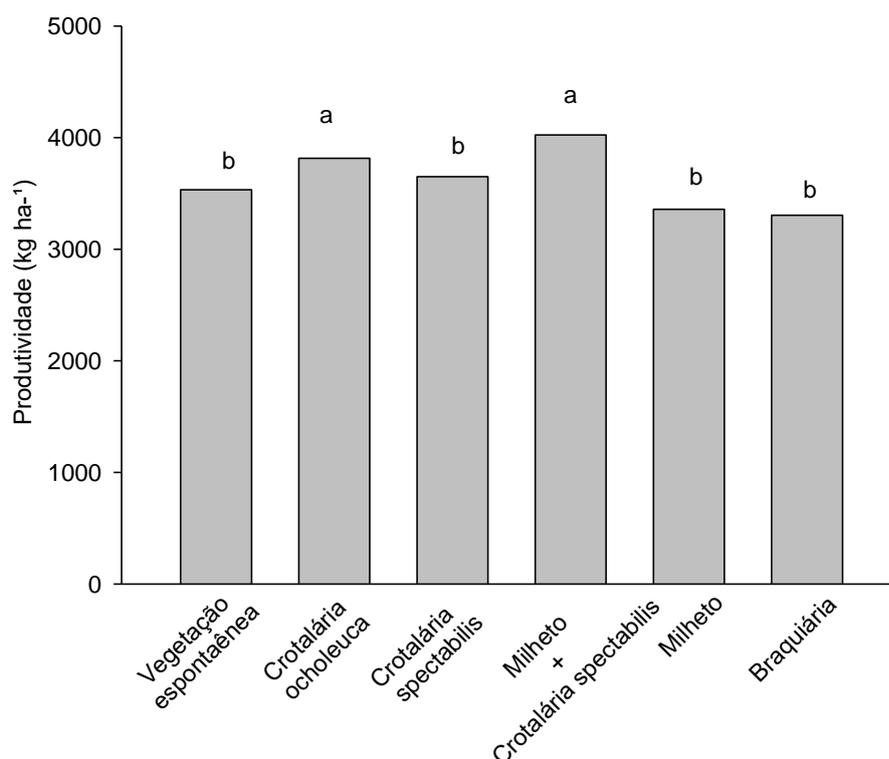
A enzima desidrogenase (DESI) em SD foi maior com o cultivo de *Crotalaria ochroleuca* (3,4  $\mu l g^{-1}$ ) e o consórcio milho+*Crotalaria spectabilis* (3,6  $\mu l g^{-1}$ ) as quais diferiram dos demais tratamentos, já em CM todas as plantas apresentaram valores superiores a vegetação espontânea. Com exceção da *Crotalaria spectabilis* e braquiária, as demais plantas de cobertura diferiram entre os sistemas de SD e CM. Na SD houve menor atividade da desidrogenase com o cultivo de milho (1,9  $\mu l g^{-1}$ ).

Maior atividade da desidrogenase no sistema SD, está relacionada a maiores valores de C-BMS (Tabela 4) também encontrados nesse sistema de manejo do solo. E ainda a maior atividade na camada mais superficial

(Barbosa, 2015). Os resultados obtidos no presente estudo para a atividade da desidrogenase, corroboram aos resultados encontrados por Quadros et al. (2012), nos quais, a semeadura direta apresentou maior atividade enzimática comparado ao cultivo convencional.

### 3.3 Produtividade da soja

O efeito de produtividade de grãos de soja foi observado apenas para o fator planta de cobertura do solo (Figura 2).



**Figura 2.** Produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura do solo na Serra do Quilombo, Fazenda Vô Desidério, Bom Jesus-PI.

A maior produtividade de soja foi obtida no cultivo em sucessão a *Crotalaria ochroleuca* e o consórcio Milheto+*Crotalaria spectabilis* com valores de 3.815 e 4.024 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sem diferença entre estes tratamentos. Estes resultados indicam que há melhorias nas condições edáficas nos tratamentos onde as fabáceas estão presentes. Um dos benefícios é devido ao maior acúmulo de nitrogênio proporcionado pelo cultivo dessas plantas, conforme observa-se na Tabela 2. Pois embora a soja realize fixação biológica, o nitrogênio é o nutriente requerido e exportado em maior quantidade por essa cultura (Borges et al., 2015).

A produtividade mostrou-se superior a encontrada por Nascente et al. (2018), que avaliou o efeito de plantas de cobertura cultivadas na entressafra, e obteve 3.440 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja, quando cultivada sob cobertura de Milheto+*Crotalaria ochroleuca* em condições do bioma Cerrado.

Ressalta-se ainda, que as Fabáceas possuem como característica intrínseca da espécie, além da menor relação C:N, comparada às Poáceas, baixa quantidade de lignina, o que acelera a decomposição de seus resíduos, e disponibiliza rapidamente os nutrientes na solução do solo que são aproveitados pela cultura sucessora (Carvalho et al. 2015).

#### 4. CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo do solo não influenciaram a produção de massa seca das plantas de coberturas.

O milho se destacou quanto a produção de massa seca.

As maiores produtividades da soja ocorreram após o cultivo de *Crotalaria ochroleuca* e consórcio de Milho+*Crotalaria spectabilis*.

O tratamento com vegetação espontânea apresentou menores valores de N-BMS e C-BMS, maior  $qCO_2$  e maior atividade enzimática.

O solo sob sistema de SD e cultivado com Crotalárias, *ochroleuca* e *spectabilis*, apresentou maior biomassa microbiana, e menores perdas de  $CO_2$  pela respiração.

## REFERÊNCIAS

- Aita C, Giacomini SJ, Ceretta CA. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In: Lima Filho OF, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD. *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamento e práticas*. Brasília: Embrapa, 1:225-264, 2014.
- Almeida WS, Panachuki E, Oliveira PTS, Menezes SR, Sobrinho TA, Carvalho DF. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 175:130-138, 2018.
- Alvarez R, Steinbach HS, Paepe JL. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 170:53-65, 2017.
- Alves TS, Campos LL, Elias Neto N, Matsuoka M, Loureiro MF. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33:341-347, 2011.
- Andrade Junior AS, Bastos EA, Barros AH, Figueiredo Júnior LG, Oliveira C, Gomes AA, Peixoto LO. *Atlas Climatológico do Estado do Piauí*. Teresina, Embrapa Meio-Norte. 2004. p.151.
- Araújo Neto, SE, Silva AD, Kusdra JF, Kollnn T, Andrade Neto RC. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. *Revista Ciência Agrônômica*, 45:650-658, 2014.
- Barbosa, M. D. A. *Atributos microbiológicos do solo em sistemas de manejo de longa duração*. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, Brasil, 2015 73p. Dissertação (mestrado em Agronomia-Ciência do solo).
- Borges WLB, Freitas RS, Mateus GP, Sá ME, Alves MC. Produção de soja e milho cultivados sobre diferentes coberturas. *Revista Ciência Agrônômica*, 46:89-98, 2015.

- Calonego JC, Raphael JP, Rigon JP, Oliveira Neto L, Rosolem CA. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *European Journal of Agronomy*, 85:31-37, 2017.
- Camelo GN, Santos JB, Lazari TM, Oliveira TA, Santos EA, Ferreira EA, Pereira GAM. Efeito do sistema de plantio e doses do nicosulfuron sobre a atividade microbiana do solo. *Planta Daninha*, 29:829-835, 2011.
- Carvalho AM, Coser TR, Rein TA, Dantas AR, Silva RR, Souza KW. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50:551-561, 2015.
- Carvalho AM, Miranda JCC, Miranda LN, Ramos MLG, Ribeiro Júnior WQ. Adubação verde no Cerrado. In: Lima Filho OFD, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD. *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília: Embrapa, 2014, v. 2, p. 345-372.
- Derpsch R, Franzluebbbers AJ, Duiker SW, Reicosky DC, Koeller K, Friedrich T, Sturny WG, Sá JCM, Weiss K. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research*, 137:16-22, 2014.
- Duarte IB, Souza Gallo A, Gomes SM, Guimarães FN, Rocha DP, Silva RF. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. *Acta Iguazu*, 3:150-165, 2014.
- Ferreira DF. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*. 38:109-112, 2014.
- Frasier I, Quiroga A, Noellemeyer E. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Science of The Total Environment*, 562:628-639, 2016.
- Frighetto RTS, Valarini PJ. *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, (Documentos, 21), 2000, p.198.

- Guimarães NDF, Gallo ADS, Fontanetti A, Meneghin SP, Souza MD, Morinigo KP, Silva RFD. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. *Revista de Ciências Agrárias*, 40:34-44, 2017.
- Martínez-García LB, Brussaard L, Deyn GB, Korthals G, Jorgense HB. Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 263:7-17, 2018.
- Mazzuchelli EHL. *Produtividade da soja e efeitos na Microbiologia do solo em sucessão de plantas de cobertura*. Universidade do Oeste Paulista, São Paulo, Brasil, 2016, 76 p. (Mestrado em Agronomia).
- Mbuthia LW, Acosta-Martínez V, Bruyn J, Schaeffer S, Tyler D, Odoi E, Eash N. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 89:24-34, 2015.
- Mendonça EDS, Matos EDS. *Matéria Orgânica do solo: métodos de análises*. Viçosa: UFV, 2005.107p.
- Merten GH, Araújo AG, Biscaia RCM, Barbosa GMC, Conte O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 152:85-93, 2015.
- Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA FC. *Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa, 2009. 191-234
- Nascente AS, Stone LF. Cover Crops as Affecting Soil Chemical and Physical Properties and Development of Upland Rice and Soybean Cultivated in Rotation. *Rice Science*, 25:340-349, 2018.
- Pacheco LP, Barbosa JM, Leandro WM, Machado PLO, Assis RL, Madari BE, Petter FA. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade

de soja e arroz em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48:1228-1236, 2013.

Pacheco LP, Petter FA, Leandro WM, Machado PLOA, Assis RL, Cobucci T, Madari BZ. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46:17-25, 2011.

Pittelkow FK. *Biomassa, rendimento de grãos e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura*. Universidade Federal do Mato Grosso. 2010. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical).

Pragana RB. *Caracterização pedológica e diagnóstico da qualidade de solos sob plantio direto na Serra do Quilombo, sudoeste Piauiense*. 2011. 159p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife.

Quadros P, Zhalnina K, Davis-Richardson A, Fagen JR, Drew J, Bayer C, Triplett EW. The effect of tillage system and crop rotation on soil microbial diversity and composition in a subtropical acrisol. *Diversity*, 4:375-395, 2012.

Santos FL, Paulino HB, Carneiro MAC, Caetano JO, Benites MV, Souza ED. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste Goiano. *Global science and technology*, 8:74- 86, 2015.

Silva MP, Arf O, Sá ME, Abrantes FL, Berti CLF, Souza LCD. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12:60-67, 2017.

Sousa DC. *Acúmulo de massa seca, nutrientes e decomposição de plantas de cobertura*. Universidade Federal do Piauí, Piauí, 2017, p.12-30. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

Torres JLR, Pereira MG, Fabian AJ. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43:421-428, 2008.

### CAPÍTULO 3

## CRESCIMENTO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES DA SOJA EM SUCESSÃO A PLANTAS DE COBERTURA E DIFERENTES PREPAROS DO SOLO

### RESUMO

Visando atender as exigências nutricionais da soja, especialmente no período de maior demanda por nutrientes, objetivou-se com esse trabalho determinar a marcha de absorção de nutrientes na cultura da soja cultivada sob a palhada remanescente de plantas de cobertura em sistemas distintos de manejo do solo. O experimento foi realizado nos anos agrícola 2016/2017 e 2017/2018. O delineamento adotado foi em blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, cuja parcela correspondeu ao manejo do solo e as subparcelas aos dias após a emergência (DAE) de plantas de soja, com 3 repetições. O manejo do solo consistiu em: semeadura direta (SD) e cultivo mínimo (CM). Os tempos de coleta das plantas de soja foram: 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 101, 108 e 115 DAE. A soja foi cultivada sob palhada remanescente de *Crotalaria spectabilis* e de milho. Avaliou-se o crescimento das plantas de soja, a produção de massa seca (MS) e acúmulo de nutrientes. A soja sob *Crotalaria spectabilis* em SD apresentou maior altura. Até os 94 DAE as folhas foram o órgão que contribuíram em maior acúmulo na MS seca total. Até 66 DAE maior acúmulo de macronutrientes foi propiciado pelas condições da SD. Em SD a ordem decrescente de acúmulo foi: N > K > Ca > P > Mg > S e N > K > Ca > S > P > Mg, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. Em CM sob ambas as coberturas a ordem decrescente foi: N > K > Ca > P > S > Mg. Para os micronutrientes a ordem decrescente foi: Fe > Mn > Zn > B > Cu. Independente do manejo adotado o N foi o nutriente mais exportado com 52 e 54 kg t<sup>-1</sup> de grãos sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente e o Ca foi o menos exportado com 1,8 e 2,1 kg t<sup>-1</sup> de grãos sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente.

**Palavras chave:** Cobertura do solo, Exportação de nutrientes, Nutrição de plantas, Demanda nutricional.

### CHAPTER 3

## INCREASING AND PROCESS OF NUTRIENT ABSORPTION OF SOYBEAN IN SUCCESSION TO PLANTS OF COVERING AND DIFFERENT PREPARE OF SOIL.

### ABSTRACT

Searching for answering the nutritional requirements of soybean, especially in a period of higher nutrient demand, it was aimed with this work to determine the process of absorption of nutrients in culture of soybean cultivated under remaining straw of plants of covering in different systems of soil management. The experiment was done in the agricultural years 2016/2017 and 2017/2018. The design used was in randomized blocks, in the arrangement of split-plot, whose plots matched to the management of soil and the subplots to the days after the emergency (DAE) of soybean plants, with 3 repetitions. The management of the soil consisted in: direct seeding (DS) and minimal cultivation (MC). The collect period of plants of soybean was: 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 101, 108 and 115 DAE. The soybean was cultivated under remaining straw of *Crotalaria spectabilis* and millet. It was evaluated the increasing of soybeans plants, the production of dry mass (DM) and accumulation of nutrients. The soybean under *Crotalaria spectabilis* in DS presented the highest height. To the 95 DAE the leaves were the organs that contributed in the highest accumulation in DM total dry. To 66 DAE the highest accumulation of macro nutrients was provided by the conditions of DS. In DS the decreasing order of accumulation was: N > K > Ca > P > Mg > S and N > K > Ca > S > P > Mg, under *Crotalaria spectabilis* and millet, respectively. In MC under both covers the decreasing order was: N > K > Ca > P > S > Mg. To the micro nutrients the decreasing order was: N > K > Ca > P > S > Mg. Independent of management used N was the nutrient more exported with 52 and 54 kg t<sup>-1</sup> of grains under *Crotalaria spectabilis* and millet, respectively and Ca was the least exported with 1,8 and 2,1 kg t<sup>-1</sup> of grains under *Crotalaria spectabilis* and millet, respectively.

**Keywords:** Soil covering, Nutrients exportation, Nutrition of plants. Nutritional demand.

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão das terras agricultáveis, o clima e as propriedades dos solos, favoreceram o Brasil a atualmente alcançar o segundo lugar em produção de soja. O monocultivo desta oleaginosa tem contribuído para a diminuição da fertilidade dos solos, pois os nutrientes extraídos em consequência das colheitas não são eficientemente repostos e a quantidade de resíduos deixados no solo são mínimas; não garantindo disponibilidade de nutrientes ao solo para absorção na safra seguinte (Chavarría et al., 2016).

Assim, a inclusão de plantas de cobertura e o manejo adequado dos fertilizantes são práticas capazes de promover tanto melhorias na qualidade do solo, mantendo sua fertilidade, quanto no estabelecimento e produtividade das culturas (Mbutia et al., 2015; Caires et al., 2017), pois essas plantas são capazes de absorver nutrientes das camadas mais profundas do solo e, liberá-los através da degradação da palha (Romaniuk et al., 2018).

A constante extração de nutrientes do solo sem a adequada reposição torna-se comprometedor para os solos e as plantas, vale ressaltar ainda que o excesso de fertilizantes pode causar sérios impactos ambientais, além de gerar gastos desnecessários, sendo então de extrema importância o uso racional destes insumos de forma a garantir a sustentabilidade e a produtividade (Fernández-Tirado et al., 2013).

A dinâmica de acúmulo de nutrientes na massa seca ao longo dos estádios fenológicos de uma cultura é retratada a partir da marcha de absorção. Com a finalidade de quantificar e parcelar cada nutriente a ser disponibilizado à planta, considerando a eficiência e o aproveitamento diante de diferentes condições climáticas, manejo do solo e da planta entre outros fatores, subsidiando assim informações que auxiliem nos programas de adubação (Souza et al., 2016).

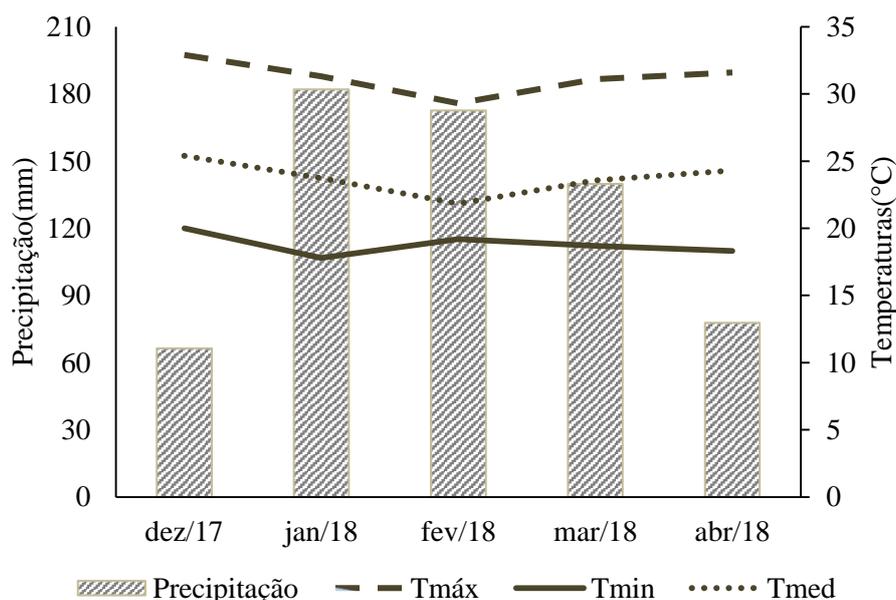
De acordo com Balboa et al. (2018) as variações na absorção de nutrientes e as eficiências nutricionais relacionadas têm implicações para o manejo da cultura e do solo, influenciando no rendimento das culturas. Ainda são considerados poucos os estudos de absorção e parcelamento de nutrientes para a cultura da soja, além disso, estes restringem basicamente para os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

Assim, a hipótese a ser testada é de que o uso de plantas de cobertura em sistema de semeadura direta e/ou cultivo mínimo, torna eficiente a ciclagem de nutrientes e a absorção pela soja, otimizando o uso dos fertilizantes. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho determinar a marcha de absorção de nutrientes na cultura da soja cultivada sob a palhada remanescente de plantas de cobertura em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no município de Bom Jesus, na Serra do Quilombo (Fazenda Vô Desidério), com coordenadas geográficas de 09°16'20" S e 44°56'56" W. O clima da região é quente e úmido (Cwa), com temperatura média anual de 26,6 °C e a precipitação média de 1.100 mm ano<sup>-1</sup>. Ocorrem duas estações bem definidas no ano, de novembro a abril tem-se a estação chuvosa e de maio a outubro a estação seca, sem a ocorrência de chuvas (Andrade Junior et al., 2004). Os dados de temperatura do ar e precipitação ocorridos na área experimental durante o cultivo da soja estão descritos na Figura 1.

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico, com textura média (Pragana, 2011). Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m para a caracterização química e granulométrica do solo (Tabela 1).



**Figura 3.** Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média, máxima e mínima (°C), durante a safra 2017/2018, Fazenda Vô Desidério, Bom Jesus, PI.

A área experimental é cultivada em sistema de semeadura direta há 11 anos, com utilização de milho na entressafra como planta de cobertura. O cultivo da soja persiste na área há aproximadamente 18 anos, e, somente no ano agrícola de 2013, houve cultivo de milho + braquiária.

**Tabela 5.** Caracterização química e granulométrica do solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, antes da implantação do experimento, na Serra do Quilombo, Fazenda Vó Desidério, Bom Jesus – PI.

| Camada<br>m | pH                              | V     | H+Al   | Al  | Ca                             | Mg     | SB    | T     |
|-------------|---------------------------------|-------|--|-----|--------------------------------|--------|-------|-------|
|             | (H <sub>2</sub> O)              | %     | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |     |                                |        |       |       |
| 0-0,2       | 5,5                             | 36    | 5,7  | 0,1 | 2                              | 0,8    | 3,2   | 9,0   |
| 0,2-0,4     | 5,2                             | 29    | 4,2  | 0,2 | 1                              | 0,3    | 1,7   | 5,8   |
|             | P                               | K     | S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>                | m   | MO                             | Argila | Silte | Areia |
|             | ----- mg dm <sup>-3</sup> ----- |       | % -----  |     | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |        |       |       |
| 0-0,2       | 56,5                            | 177,7 | 16,5   | 3   | 20                             | 223    | 5     | 772   |
| 0,2-0,4     | 19,4                            | 122,5 | 17,1   | 10  | 12                             | 234    | 20    | 746   |

V: saturação de bases; H+AL: acidez potencial; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; SB: soma de bases; T: CTC pH 7; P: fósforo; K: potássio; S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: sulfato de enxofre; m: saturação de alumínio e MO: matéria orgânica.

Foram conduzidos dois experimentos, os quais se iniciaram na safra 2016/2017, um cuja planta de cobertura empregada foi o milho e outro a *Crotalaria spectabilis*, sendo que em ambos os casos o delineamento empregado foi o mesmo, a cultura da soja foi implantada na safra 2017/2018. O delineamento adotado foi em blocos casualizados, no arranjo de parcelas subdivididas, cuja parcela correspondeu ao manejo do solo e as subparcelas aos dias após a emergência (DAE) de plantas de soja, com 3 repetições. O manejo do solo consistiu em: semeadura direta (SD) sem revolvimento do solo e preparo mínimo (CM), realizado com uma passada de escarificador na profundidade de 0,3 m (antecedendo o plantio das plantas de cobertura) e o revolvimento foi realizado na safra 2016/2017.

Os tempos de coleta das plantas de soja foram: 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80, 87, 94, 101, 108 e 115 dias após a emergência (DAE), da cultura da soja, a qual foi cultivada na safra 2017/2018.

A área correspondente a cada bloco experimental foi de 30 x 13 m e cada parcela de 5 x 6,5 m. As plantas de cobertura foram semeadas nos dois sistemas de manejo em meados de dezembro de 2016, de forma manual e a lanço.

As plantas usadas como palhada e as respectivas quantidades de sementes utilizadas foram Crotalaria (*Crotalaria spectabilis*) equivalente a 20 kg ha<sup>-1</sup> e o milho (*Pennisetum glaucum*) equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup>, cujo semeio foi procedido à lanço e incorporadas com uma passada de grade leve a uma profundidade de 3 a 5 cm. Não foi utilizado adubação para o cultivo das plantas

de cobertura e houve a necessidade de um replantio em meados de janeiro de 2017, devido falhas na germinação.

A soja foi semeada no dia 13 de dezembro de 2017 (safra 2017/2018) sob a palhada remanescente, a cultivar de soja utilizada foi a M8808 IPRO, com espaçamento de 0,5 m entre plantas, com população de 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Cada parcela foi constituída de 5 m de comprimento e 11 linhas de soja (para área útil desconsiderou-se as linhas da extremidade e 0,5 m de cada linha). A adubação utilizada no plantio foi de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 10-30-10 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de KCl aplicados em cobertura. Na ocasião do plantio as sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*.

Para o controle fitossanitário realizaram-se duas aplicações do fungicida Propiconazol + Difenconazol (Score Flexi<sup>®</sup>-150 ml ha<sup>-1</sup>), uma aos 30 dias após a emergência (DAE) e outra no intervalo de 20 dias após a primeira aplicação. Além disso, aos 70 DAE foi aplicado Fungicida Azoxistrobina + Ciproconazol (Priori Xtra<sup>®</sup>-300 ml ha<sup>-1</sup>) e Mancozebe (Unizeb Gold), com uma segunda aplicação de ambos 20 dias após.

No controle de pragas da cultura, realizaram-se quatro aplicações de Tiametoxam + Lambda-Cialotrina (Engeo Pleno S-300 ml ha<sup>-1</sup>), sendo a primeira 30 DAE, e mais três aplicações com intervalo de 20 dias cada. Aos 90 DAE aplicou-se Piriproxifem (Epingle-250 ml ha<sup>-1</sup>).

Com a finalidade de se obter curvas de crescimento, do acúmulo de MS e nutrientes, coletaram-se 4 plantas competitivas por tratamento, independentemente da repetição, a cada 7 dias, a partir da emergência (06 de janeiro de 2018), até os 115 dias após emergência (13 de abril de 2018).

Os dados de cada coleta foram transformados para obtenção dos graus-dias acumulados (GDA) empregando-se a metodologia de Ometto (1981), considerando temperaturas basais mínimas e máximas para a cultura da soja de 14 e 36 °C, respectivamente. Segundo o autor existe uma temperatura mínima para acionar os dispositivos metabólicos da planta, que é denominada de temperatura basal inferior (Tb). Somente acima desta temperatura a planta pode se desenvolver. O método, além de considerar a Tb, considera também a temperatura basal superior (TB). Neste método a soma térmica apresenta cinco condicionantes, e no presente estudo as temperaturas apresentaram a

seguinte ordem:  $TB > TM > Tm > Tb$ , Assim a condicionante a qual as temperaturas se adequaram encontra-se descrita na equação (1):

$$GD = \frac{TM - Tm}{2} + Tm - Tb \quad \text{Eq.1}$$

Os dias após emergência corresponderam aos seguintes graus-dias: 31=337, 38=411, 45=483, 52=547, 59=618, 66=692, 73=755, 80=832, 87=904, 94=976, 101=1052, 108=1115 e 115=1178.

Em cada tempo de coleta as mensurações biométricas foram: altura de planta, número de trifólios e diâmetro do caule, com o objetivo de construção da curva de crescimento das plantas. Em seguida, as plantas foram separadas em folhas, caules, estruturas reprodutivas e grãos, posteriormente foram submetidas à lavagem sequencial com água, solução ácida ( $\text{HCl } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e água destilada (Myazwa et al., 2009).

Para obtenção da massa seca, o material vegetal foi levado à estufa de circulação forçada de ar a  $65^{\circ}\text{C}$  (até peso constante), e posteriormente pesado. Os valores totais de matéria seca de cada parte da planta foram convertidos para  $\text{kg ha}^{-1}$ , e a matéria seca total da parte aérea das plantas foi obtida com o somatório dos valores de MS das diferentes partes (folha, caule, estruturas reprodutivas e grãos).

O acúmulo dos nutrientes foi obtido realizando a análise química do tecido vegetal para os elementos: nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S); boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn) e zinco (Zn). Os métodos utilizados para analisar os nutrientes foram: digestão úmida (nitro-perclórica); N – método Kjeldahl; P – método colorimétrico; K – fotômetro de chama; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn – leitura em absorção atômica; B – Azometina H; S –  $\text{BaCl}_2$  (Miyazawa et al., 2009). O conteúdo total de cada nutriente foi estimado a partir do teor do nutriente presente em cada amostra, multiplicado pelo peso total de fitomassa seca.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2014), empregando-se à análise de variância pelo teste F, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Os tempos de coleta foram analisados usando regressão não linear, com parâmetros do modelo estimados usando a função de ajuste de curva dinâmica no programa SigmaPlot, versão 12.5. Para ajustar o modelo de regressão não

linear, utilizou-se a tendência que apresentou maior significância estatística e maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O modelo Gaussiano de três parâmetros foi escolhido, descrito na equação 2 :

$$y = a e^{-0,5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2} \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:  $y$  é o acúmulo de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $a$  é o valor máximo de acumulação ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $x_0$  é o valor de  $x$  no DAE que fornece o máximo acúmulo; e  $b$  é a amplitude no valor de  $x$  em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

A partir do modelo ajustado, foi possível determinar com precisão o valor do ponto de inflexão (IP) na curva de acordo com a equação 3:

$$\text{IP} = x_0 - b \quad \text{Eq.3}$$

O ponto de inflexão (IP) corresponde ao valor de  $x$  em que a curvatura do modelo ajustado muda de sinal; na prática, isso corresponde ao valor de  $x$ , em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer.

Para calcular a extração de nutrientes pela soja, considerou-se o acúmulo de nutrientes pelas estruturas acima do solo (caule, folhas, estruturas reprodutivas e grãos) para o período de última coleta. Já para calcular a exportação de nutrientes foi considerado o acúmulo de nutrientes pelos grãos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Variáveis biométricas

A altura das plantas de soja apresentou diferença entre os sistemas de manejo do solo, quando cultivadas em sucessão a *Crotalaria spectabilis*. Contudo, foi observada diferença no número de trifólios nas plantas de soja em respostas aos tipos de coberturas utilizadas (Tabela 6). Em relação ao diâmetro do caule, nossos resultados corroboram com Pereira et al. (2011), que cultivando soja nos sistemas convencional, mínimo e direto, não verificou diferença estatística para esta variável.

O sistema de manejo do solo não influenciou na altura das plantas sob milheto e nos diâmetros do caule sob ambas as coberturas, o que pode ser justificado por ainda ter sido o primeiro ano de cultivo da soja sob estas plantas de cobertura. De acordo com Sousa (2017), com o uso contínuo de plantas de cobertura os teores de matéria orgânica aumentam, há melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e maior disponibilidade de nutrientes para as culturas seguintes, promovendo desta forma ao longo dos anos estabilidade do sistema produtivo.

As variáveis biométricas, alturas, diâmetro e número de folhas tiveram valores crescentes até 66 dias após emergência (DAE), que correspondem na escala de graus dias a 692 GD para ambos os sistemas de manejo. A cultivar empregada no presente estudo (M8808 IPRO) é de ciclo determinado, a qual a partir deste período mencionado estabilizou o crescimento da planta.

De forma geral na curva de crescimento um vegetal existe um período inicial em que o crescimento é lento, seguido de uma fase de crescimento mais acelerado, e findando com estabilização do crescimento. Fisiologicamente essas diferentes fases de crescimento se fundamenta no fato de inicialmente, a planta depender de reservas da semente para a produção dos órgãos que compõem a plântula. Sendo assim após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas, os processos anabólicos, dependentes da fotossíntese, se traduzem em um rápido crescimento, atingindo um tamanho definitivo. Onde a partir daí, a planta inicia a fase de senescência, que resulta na paralisação do crescimento (Franco, 2011).

**Tabela 6.** Variáveis biométricas de plantas de soja e em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE | Altura de planta (cm)         |        | Diâmetro do caule (mm) |       | N° trifólios |     |
|-----|-------------------------------|--------|------------------------|-------|--------------|-----|
|     | <i>Crotalaria spectabilis</i> |        |                        |       |              |     |
|     | SD                            | CM     | SD                     | CM    | SD           | CM  |
| 31  | 29,81a <sup>1</sup>           | 27,75a | 4,19a                  | 4,77a | 9a           | 8a  |
| 38  | 41,32a                        | 35,62a | 5,37a                  | 4,96a | 14a          | 12a |
| 45  | 53,13a                        | 41,53b | 5,80a                  | 4,80a | 21a          | 14b |
| 52  | 68,23a                        | 57,67b | 6,10a                  | 6,17a | 22a          | 18a |
| 59  | 79,63a                        | 74,33a | 5,66a                  | 6,44a | 25a          | 25a |
| 66  | 88,38a                        | 84,38a | 6,72a                  | 6,97a | 25a          | 25a |
| 73  | 88,02a                        | 81,03a | 6,53a                  | 7,30a | 18b          | 27a |
| 80  | 87,34a                        | 80,88a | 7,64a                  | 7,68a | 22a          | 23a |
| 87  | 88,13a                        | 77,58b | 6,47a                  | 7,42a | 14b          | 21a |
| 94  | 90,83a                        | 81,79b | 7,49a                  | 7,74a | 18a          | 20a |
| 101 | 89,79a                        | 82,46a | 7,64a                  | 7,81a | 15a          | 9a  |
| 108 | 88,75a                        | 84,29a | 6,85a                  | 7,19a | 6a           | 1a  |
| 115 | 88,92a                        | 80,63a | 7,47a                  | 8,55a | 1a           | 0a  |
|     | Milho                         |        |                        |       |              |     |
|     | SD                            | CM     | SD                     | CM    | SD           | CM  |
| 31  | 25,48a                        | 24,75a | 4,36a                  | 4,18a | 9a           | 6a  |
| 38  | 36,28a                        | 29,75a | 5,45a                  | 4,26a | 13a          | 11a |
| 45  | 50,29a                        | 46,52a | 5,74a                  | 5,94a | 20a          | 18a |
| 52  | 62,10a                        | 55,21a | 5,70a                  | 5,60a | 21a          | 18a |
| 59  | 74,04a                        | 78,07a | 5,87a                  | 6,21a | 25a          | 28a |
| 66  | 85,21a                        | 85,71a | 7,16a                  | 7,79a | 25a          | 29a |
| 73  | 85,06a                        | 83,28a | 6,88a                  | 5,94a | 23a          | 21a |
| 80  | 80,59a                        | 82,55a | 7,40a                  | 7,28a | 23a          | 23a |
| 87  | 80,63a                        | 84,92a | 6,86a                  | 7,65a | 18a          | 21a |
| 94  | 79,88a                        | 82,83a | 7,86a                  | 7,84a | 21a          | 20a |
| 101 | 76,46a                        | 82,67a | 8,11a                  | 8,03a | 18a          | 12b |
| 108 | 79,92a                        | 76,38a | 6,47a                  | 7,43a | 8a           | 3a  |
| 115 | 80,79a                        | 79,13a | 7,31a                  | 7,59a | 1a           | 0a  |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste t (5%) de probabilidade.

Em sucessão a *Crotalaria spectabilis* a máxima altura estimada foi observada nas plantas de soja em SD (94,8cm) aos 91DAE; máximo diâmetro do caule em CM (7,9mm) aos 106 DAE e máximo número de trifólios em CM (26 trifólios) aos 69 DAE (Tabela 7).

Já nas plantas em sucessão a milho máxima altura estimada de soja foi atingida em CM (89,4cm) aos 88 DAE; máximo diâmetro do caule em CM (7,7 mm) aos 99 DAE e máximo número de trifólios em CM (27) aos 68 DAE (Tabela 7).

A altura de planta em SD observada nesta pesquisa é superior aos valores obtidos por Mendonça et al. (2013) em SD, com resíduos de gramíneas, que encontrou o máximo de 84 cm em plantas de soja.

O ponto de inflexão para altura ocorreu mais cedo nas plantas em SD

(47 DAE) sob ambas as coberturas, para diâmetro do caule sob *Crotalaria spectabilis* em SD (28 DAE) e para número de trifólios sob *Crotalaria spectabilis* (38 DAE).

**Tabela 7:** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para altura de planta, diâmetro do caule e número de trifólio de plantas de soja e respectivo ponto de inflexão (PI) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Variáveis biométricas         | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                  |                               | PI | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------|----|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup> | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |    |       |
| Dias após emergência (DAE)    |                |                                     |                  |                               |    |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                  |                               |    |       |
| Altura de planta (cm)         | SD             | 94,8*                               | 44*              | 91*                           | 47 | 0,96  |
|                               | CM             | 87,2*                               | 42*              | 91*                           | 49 | 0,95  |
| Diâmetro do caule (mm)        | SD             | 7,3*                                | 74*              | 102*                          | 28 | 0,90  |
|                               | CM             | 7,9*                                | 72*              | 106*                          | 34 | 0,95  |
| Número de trifólios           | SD             | 24*                                 | 27*              | 65*                           | 38 | 0,91  |
|                               | CM             | 26*                                 | 22*              | 69*                           | 47 | 0,95  |
| Milheto                       |                |                                     |                  |                               |    |       |
| Altura de planta (cm)         | SD             | 86,8*                               | 42*              | 89*                           | 47 | 0,94  |
|                               | CM             | 89,4*                               | 38*              | 88*                           | 50 | 0,95  |
| Diâmetro do caule (mm)        | SD             | 7,4*                                | 65*              | 95*                           | 30 | 0,90  |
|                               | CM             | 7,7*                                | 62*              | 99*                           | 37 | 0,91  |
| Número de trifólios           | SD             | 25*                                 | 27*              | 69*                           | 42 | 0,92  |
|                               | CM             | 27*                                 | 23*              | 68*                           | 45 | 0,93  |

<sup>(1)</sup> Média das variáveis biométricas de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milheto, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Valor de máximo estimado para as variáveis biométricas.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que proporciona o ponto de máximo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

### 3.2 Acúmulo de massa seca

O acúmulo de massa seca nas plantas em sucessão a *Crotalaria spectabilis* apresentou influência do manejo do solo para o acúmulo e em todas as estruturas da planta e para o conjunto destas. Já em sucessão a milheto o manejo do solo influenciou no acúmulo de massa seca das folhas, grãos e na planta inteira (Tabela 8).

O acúmulo de massa seca (MS), até os 73 DAE nas folhas de soja foi maior em SD comparado ao CM nas plantas em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, já quando em sucessão ao milheto a SD se destaca somente aos 94 DAE. A partir dos 73 DAE maiores acúmulos foram obtidos em SD e nos grãos esse sistema ganha destaque ao final do ciclo.

Nas plantas em sucessão a milho a MS das folhas foi maior em CM comparada a SD, aos 87 DAE, com 2.210 e 1.562 kg ha<sup>-1</sup> de MS, respectivamente. Nos grãos o manejo CM se destaca ao final do ciclo com 4.419 kg ha<sup>-1</sup> de MS, comparado a SD com 3.142 kg ha<sup>-1</sup> de MS. Com o início do enchimento dos grãos a demanda por nutriente aumentou e a escarificação do solo proporcionou uma maior exploração às raízes em busca dos nutrientes, proporcionando assim uma maior produção de MS nos grãos das plantas em CM.

**Tabela 8.** Produção de massa seca (MS) da parte aérea de soja em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

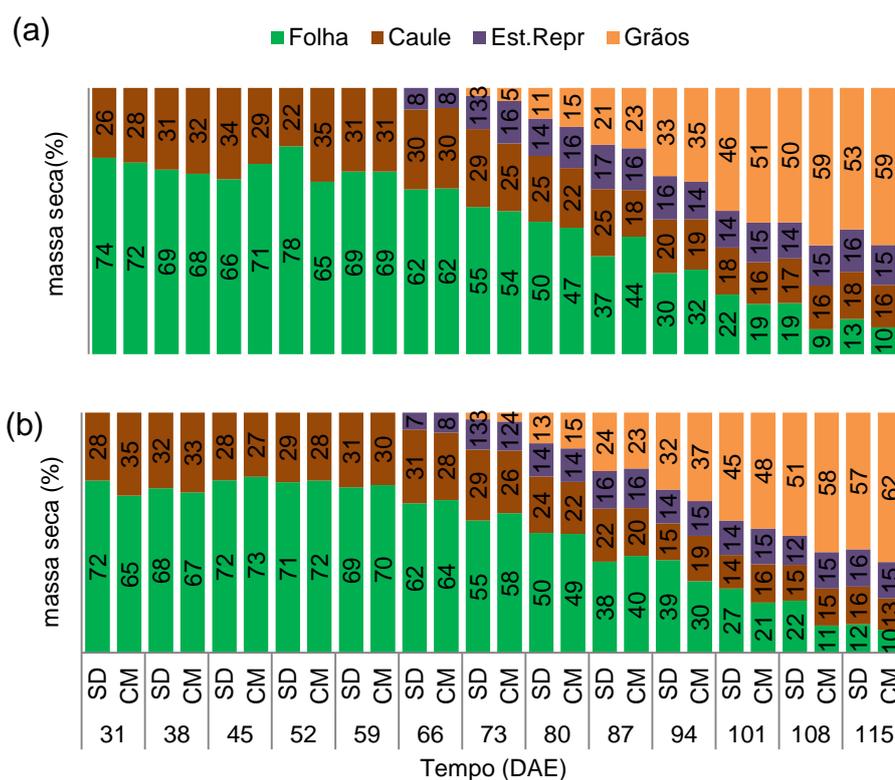
| DAE                           | Folha                           |       | Caule |       | Estr. Reprodutivas |       | Grãos |       | Total |       |
|-------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | ----- kg ha <sup>-1</sup> ----- |       |       |       |                    |       |       |       |       |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                                 |       |       |       |                    |       |       |       |       |       |
|                               | SD                              | CM    | SD    | CM    | SD                 | CM    | SD    | CM    | SD    | CM    |
| 31                            | 546a <sup>1</sup>               | 461a  | 195a  | 180a  | -                  | -     | -     | -     | 741a  | 641a  |
| 38                            | 804a                            | 624   | 357a  | 297a  | -                  | -     | -     | -     | 1162a | 921a  |
| 45                            | 981a                            | 779a  | 512a  | 311a  | -                  | -     | -     | -     | 1493a | 1089a |
| 52                            | 1960a                           | 898b  | 552a  | 490a  | -                  | -     | -     | -     | 2512a | 1387b |
| 59                            | 2257a                           | 1867a | 1036a | 856a  | -                  | -     | -     | -     | 3293a | 2723a |
| 66                            | 3081a                           | 1861b | 1495a | 906b  | 410a               | 225b  | -     | -     | 4985a | 2993b |
| 73                            | 2204a                           | 2643a | 1171a | 1253a | 501b               | 785a  | 116a  | 242a  | 3992b | 4923a |
| 80                            | 2600a                           | 2336a | 1288a | 1101a | 738a               | 763a  | 601a  | 723a  | 5227a | 4923a |
| 87                            | 1455b                           | 2526a | 998a  | 1004a | 662b               | 898a  | 846a  | 1301a | 3960b | 5728a |
| 94                            | 1737a                           | 1887a | 1156a | 1125a | 935a               | 834a  | 1894a | 2103a | 5722a | 5949a |
| 101                           | 1360a                           | 145a6 | 1066a | 1218a | 837b               | 1153a | 2800b | 3922a | 6062b | 7748a |
| 108                           | 1226a                           | 584b  | 1074a | 1026a | 870a               | 939a  | 3233a | 3699a | 6403a | 6247a |
| 115                           | 433a                            | 712a  | 1059a | 1145a | 951a               | 1071a | 3167b | 4219a | 5963b | 7147a |
| Milho                         |                                 |       |       |       |                    |       |       |       |       |       |
|                               | SD                              | CM    | SD    | CM    | SD                 | CM    | SD    | CM    | SD    | CM    |
| 31                            | 426a                            | 235a  | 169a  | 124a  | -                  | -     | -     | -     | 595a  | 359a  |
| 38                            | 675a                            | 432a  | 311a  | 215a  | -                  | -     | -     | -     | 985a  | 647a  |
| 45                            | 1187a                           | 1178a | 468a  | 431a  | -                  | -     | -     | -     | 1655a | 1609a |
| 52                            | 1261a                           | 996a  | 514a  | 394a  | -                  | -     | -     | -     | 1775a | 1390a |
| 59                            | 1486a                           | 1942a | 672a  | 841a  | -                  | -     | -     | -     | 2157a | 2783a |
| 66                            | 2308a                           | 2637a | 1137a | 1163a | 267a               | 349a  | -     | -     | 3712a | 4148a |
| 73                            | 2352a                           | 2584a | 1259a | 1162a | 539a               | 540a  | 120a  | 165a  | 4269a | 4451a |
| 80                            | 2711a                           | 2676a | 1278a | 1173a | 754a               | 759a  | 694a  | 806a  | 5438a | 5414a |
| 87                            | 1562b                           | 2210a | 909a  | 1097a | 648a               | 906a  | 1003a | 1280a | 4121b | 5493a |
| 94                            | 2749a                           | 2025b | 1093a | 1287a | 1008a              | 990a  | 2288a | 2505a | 7137a | 6807a |
| 101                           | 2177a                           | 1555a | 1133a | 1183a | 1165a              | 1105a | 3653a | 3589a | 8127a | 7431a |
| 108                           | 1423a                           | 754a  | 980a  | 1029a | 799a               | 1007a | 3371a | 3872a | 6573a | 6662a |
| 115                           | 656a                            | 683a  | 865a  | 923a  | 860a               | 1082a | 3142b | 4419a | 5522b | 7097a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Nota-se que nas plantas de soja, até 87 DAE a maior contribuição na produção de MS foi das folhas. Nas plantas em sucessão a milho o ocorrido se repete em SD e se estendeu até 94 DAE em CM (Figura 4 a,b).

Estas estruturas da planta corresponderam ao máximo de 78 e 65%, aos 59 DAE para *Crotalaria spectabilis* e 72 e 73% aos 45 DAE para milho, seguindo a ordem para SD e CM (Figura 8a e b). Resultado semelhante foi obtido por Araújo (2018), de 73 e 76%, no estudo de marcha de absorção em duas cultivares distintas, sendo uma de crescimento determinado e a outra indeterminado, respectivamente, porém a mesma tendência de resultado ocorreu em menor tempo (30 DAE).

Em nosso estudo a partir dos 94 DAE, com o início da senescência das folhas a maior contribuição no acúmulo de MS passa a ser pelos grãos. Araújo (2018) relata que com o início de enchimento de grãos a atividade metabólica é aumentada, e assim a matéria seca e os nutrientes passaram a ser redistribuídos entre os órgãos da planta translocando os fotoassimilados das folhas (fonte) para a formação dos grãos (dreno). Assim ao final do ciclo a soja acumulou mais de 50% nestes órgãos.



**Figura 4.** Porcentagem do acúmulo de massa seca na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

Os valores máximos nas plantas em sucessão a *Crotalaria spectabilis* foram de 6.061 e 7.010 kg ha<sup>-1</sup> de MS em SD e CM, respectivamente, ocorrido aos 107 DAE. Em sucessão ao milho foi de 6.743 e 7.145 kg ha<sup>-1</sup> de MS, aos 102 e 106 DAE, em SD e CM, respectivamente (Tabela 9).

A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) de massa seca nas plantas em sucessão a *Crotalaria spectabilis* ocorreu aos 66 e 74 DAE, com 55,70 e 57,40 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de MS em SD e CM, respectivamente; e no milho foi aos 72 e 73 DAE, com 56,80 e 59,28 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de MS para SD e CM, respectivamente (Tabela 9).

**Tabela 9.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de massa seca e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                    | TMAD  | R <sup>2</sup> |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------|----------------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                       |       |                |
|                               |                | kg ha <sup>-1</sup>                 | Dias após emergência (DAE) |                               | kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |       |                |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                       |       |                |
| Folha                         | SD             | 2568*                               | 27*                        | 72*                           | 45                                    | 34,61 | 0,91           |
|                               | CM             | 2508*                               | 21*                        | 78*                           | 57                                    | 26,68 | 0,96           |
| Caule                         | SD             | 1280*                               | 32*                        | 86*                           | 54                                    | 14,37 | 0,88           |
|                               | CM             | 1211*                               | 34*                        | 93*                           | 59                                    | 12,44 | 0,94           |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 920*                                | 35*                        | 109*                          | 74                                    | 7,54  | 0,93           |
|                               | CM             | 1056*                               | 30*                        | 106*                          | 76                                    | 8,42  | 0,86           |
| Grãos                         | SD             | 3317*                               | 15*                        | 110*                          | 95                                    | 21,17 | 0,99           |
|                               | CM             | 4192*                               | 16*                        | 111*                          | 95                                    | 26,76 | 0,98           |
| Total                         | SD             | 6061*                               | 41*                        | 107*                          | 66                                    | 55,70 | 0,95           |
|                               | CM             | 7010*                               | 33*                        | 107*                          | 74                                    | 57,40 | 0,98           |
| Milho                         |                |                                     |                            |                               |                                       |       |                |
| Folha                         | SD             | 2479*                               | 26*                        | 81*                           | 55                                    | 27,33 | 0,89           |
|                               | CM             | 2695*                               | 21*                        | 77*                           | 56                                    | 29,18 | 0,97           |
| Caule                         | SD             | 1208*                               | 30*                        | 87*                           | 57                                    | 12,85 | 0,93           |
|                               | CM             | 1281*                               | 29*                        | 89*                           | 60                                    | 12,94 | 0,96           |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 1006*                               | 22*                        | 100*                          | 78                                    | 8,60  | 0,89           |
|                               | CM             | 1072*                               | 24*                        | 101*                          | 77                                    | 8,44  | 0,99           |
| Grãos                         | SD             | 3680*                               | 13*                        | 107*                          | 94                                    | 23,74 | 0,98           |
|                               | CM             | 4330*                               | 17*                        | 113*                          | 96                                    | 27,35 | 0,99           |
| Total                         | SD             | 6743*                               | 30*                        | 102*                          | 72                                    | 56,80 | 0,95           |
|                               | CM             | 7135*                               | 33*                        | 106*                          | 73                                    | 59,28 | 0,98           |

(1) Média de acúmulo de massa seca em soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

(2) Acúmulo máximo de massa seca.

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu o máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

Acúmulo superiores de MS em plantas de soja de 9.524 kg ha<sup>-1</sup> foi observado por Bender et al. (2015) em condições climáticas, cultivar, manejo do solo, adubação e períodos de cultivo diferentes. Segundo os autores, o desenvolvimento da planta depende diretamente dos fatores citados e da interação deles.

Zobiolo et al. (2012), estudando acúmulo de MS em duas cultivares distintas de soja obtiveram valores máximos de MS aos 79 e 73 DAE, enfatizando que essa variável é dependente dos fatores envolvidos no desenvolvimento da planta como condições climáticas, solo, água, manejo e principalmente dos fatores intrínsecos de cada cultivar.

Em nosso estudo os dados climáticos demonstram que não houve veranico durante o ciclo da cultura. No entanto a cultivar utilizada é caracterizada como de ciclo tardio, o que justifica tal resultado, além de uma maior contribuição dos grãos em MS após os 100 DAE.

### 3.3 Acúmulo de Macronutrientes

O sistema de manejo do solo influenciou no acúmulo de nitrogênio (N) em todas as estruturas das plantas de soja, inclusive na planta inteira, quando cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*. Quando em sucessão a milho a diferença significativa foi constatada entre os manejos de solo empregados para o acúmulo do nutriente nas estruturas reprodutivas, grão e planta inteira (Tabela 10).

Levando em consideração as plantas de soja em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, exceto para os grãos, as demais estruturas da planta demonstram-se favorecidas pelo sistema de SD até os 66 DAE.

Nas plantas em sucessão a milho a diferença foi observada aos 87 DAE no acúmulo de N nas estruturas reprodutivas com destaque ao CM comparado a SD, apresentando 20 e 13 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, de forma semelhante na planta inteira, onde neste período acumulou 194 e 141 kg ha<sup>-1</sup> de N em CM e SD, respectivamente. Nos grãos a diferença foi observada ao último dia de coleta com 221 kg ha<sup>-1</sup> em CM e 160 kg ha<sup>-1</sup> em SD.

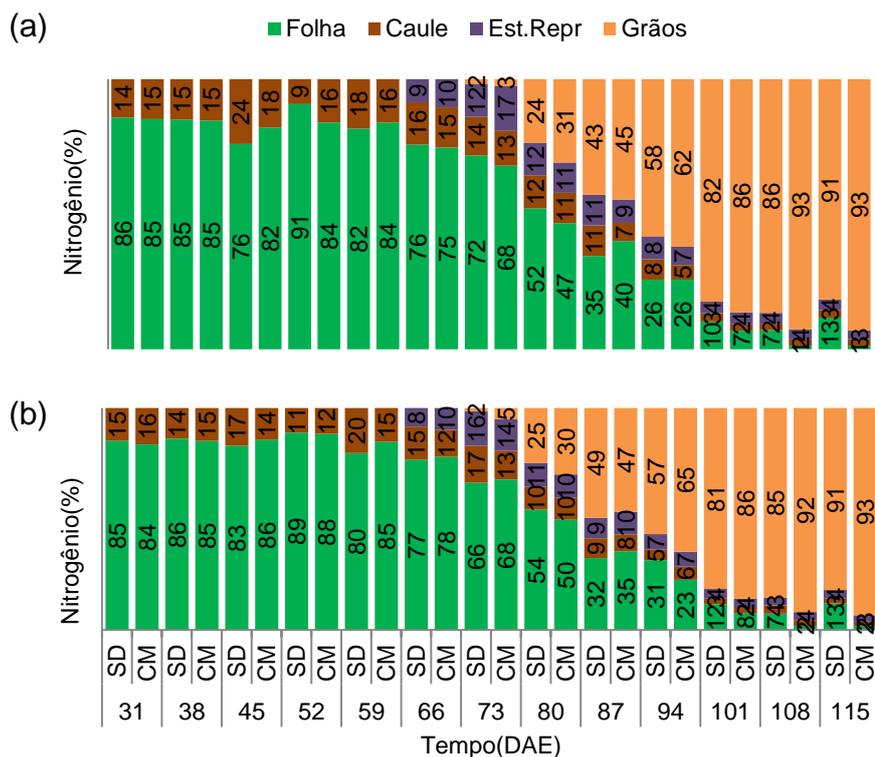
**Tabela 10.** Acúmulo de nitrogênio (N) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE                           | Folha                          |     | Caule |     | Estr. Reprodutivas |     | Grãos |      | Total |      |
|-------------------------------|--------------------------------|-----|-------|-----|--------------------|-----|-------|------|-------|------|
|                               | -----kg ha <sup>-1</sup> ----- |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                                |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                             | CM  | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 20a <sup>1</sup>               | 20a | 3a    | 3a  | -                  | -   | -     | -    | 24a   | 23a  |
| 38                            | 35a                            | 26a | 6a    | 5a  | -                  | -   | -     | -    | 41a   | 31a  |
| 45                            | 32 a                           | 25a | 10a   | 6b  | -                  | -   | -     | -    | 42a   | 31a  |
| 52                            | 64a                            | 36b | 6a    | 7a  | -                  | -   | -     | -    | 71a   | 43b  |
| 59                            | 75 a                           | 63a | 17a   | 12b | -                  | -   | -     | -    | 92a   | 75a  |
| 66                            | 110a                           | 62b | 23a   | 12b | 12a                | 9b  | -     | -    | 145a  | 83b  |
| 73                            | 81a                            | 86a | 16a   | 16a | 14b                | 21a | 2a    | 3a   | 113a  | 126a |
| 80                            | 81a                            | 68a | 19a   | 16a | 18a                | 16a | 37a   | 45a  | 155a  | 146a |
| 87                            | 47b                            | 82a | 15a   | 14a | 15a                | 17a | 58b   | 91a  | 136b  | 204a |
| 94                            | 44a                            | 45a | 13a   | 9b  | 14a                | 12b | 100a  | 109a | 172a  | 175a |
| 101                           | 19 a                           | 17a | 6a    | 6a  | 8b                 | 11a | 148b  | 216a | 182b  | 249a |
| 108                           | 15a                            | 3a  | 5a    | 5a  | 8a                 | 8a  | 176a  | 201a | 204a  | 217a |
| 115                           | 2a                             | 3a  | 5a    | 6a  | 8a                 | 7a  | 162b  | 215a | 178b  | 231a |
| Milho                         |                                |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                             | CM  | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 17a                            | 10a | 3a    | 2a  | -                  | -   | -     | -    | 20a   | 12a  |
| 38                            | 30a                            | 18a | 5a    | 3a  | -                  | -   | -     | -    | 35a   | 21a  |
| 45                            | 36a                            | 37a | 7a    | 6a  | -                  | -   | -     | -    | 43a   | 43a  |
| 52                            | 46a                            | 33a | 6a    | 4a  | -                  | -   | -     | -    | 51a   | 38a  |
| 59                            | 50a                            | 67a | 13a   | 12a | -                  | -   | -     | -    | 62a   | 79a  |
| 66                            | 86a                            | 99a | 17a   | 16a | 9a                 | 12a | -     | -    | 112a  | 127a |
| 73                            | 67a                            | 80a | 17a   | 15a | 16a                | 17a | 1a    | 6a   | 100a  | 118a |
| 80                            | 93a                            | 85a | 18    | 17a | 18a                | 18a | 42a   | 51a  | 171a  | 171a |
| 87                            | 46a                            | 69a | 12a   | 15a | 13b                | 20a | 70a   | 91a  | 141b  | 194a |
| 94                            | 66a                            | 47a | 10a   | 12a | 14a                | 14a | 119a  | 135a | 209a  | 208a |
| 101                           | 29a                            | 17a | 6a    | 5a  | 11a                | 9a  | 201a  | 191a | 247a  | 222a |
| 108                           | 16a                            | 5b  | 9a    | 6a  | 8a                 | 9a  | 191a  | 218a | 223   | 238a |
| 115                           | 5a                             | 5a  | 5a    | 4a  | 7a                 | 7a  | 160b  | 221a | 177b  | 237a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Em ambas as plantas de cobertura e nos dois manejos de solo empregados, as folhas tiveram grande contribuição no acúmulo de N total da planta até aos 80 DAE, onde este órgão acumulou em SD 52 e 54% e em CM 47 e 50%, para *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 5 a, b).

A partir do tempo mencionado os grãos assumem a posição de maior acúmulo do nutriente total da planta, representando ao final do ciclo a participação em SD de 91 % e em CM de 93 % para ambas as coberturas estudadas.



**Figura 5.** Porcentagem do acúmulo de nitrogênio na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O máximo acúmulo de N nas plantas de soja ocorreu entre 104 e 110 DAE em ambas as coberturas (Tabela 11). Com maior acúmulo nas em CM, A escarificação na camada de 0,30m proporcionou maior exploração pelas raízes em busca do nutriente não disponibilizado na camada mais superficial do solo no período enchimento dos grãos. O CM proporcionou acúmulo máximo de 231 e 236 kg ha<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente.

A taxa máxima de acúmulo diário (TMDA) nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 1,65 e 1,82 kg ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>; e sob milho foi de 1,75 e 1,88 kg ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> em SD e CM, respectivamente. O ponto de inflexão ocorreu primeiramente nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* em SD, aos 68 DAE.

Esperava-se que os resíduos de *Crotalaria spectabilis* proporcionassem um maior acúmulo de N, devido seus resíduos serem caracterizados de baixa relação C/N, e que desta forma a decomposição e liberação dos nutrientes fosse mais rápida e disponíveis para a planta de soja. A *Crotalaria spectabilis* e a soja são caracterizadas por possuir a capacidade de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (Silva et al.; 2011).

Todavia os valores de acúmulo se aproxima do obtido por Durval et al. (2016), que em estudo da absorção de N pela soja em sucessão a plantas de cobertura, obteve acúmulo de 212 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os valores obtidos em nosso trabalho variaram de 186 a 236 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo o máximo acúmulo obtido na soja em sucessão a milho em CM.

Possivelmente, o desempenho da *Crotalaria spectabilis* deve-se a sua baixa produção de MS que neste estudo foi quase a metade da produzida pelo milho, 4.393 e 8.034 kg ha<sup>-1</sup> de MS, respectivamente. E o acúmulo dos nutrientes nos vegetais é mais dependente da massa seca produzida do que de seus teores nos tecidos (Sousa et al., 2012).

**Tabela 11:** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de nitrogênio e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                    | TMAD | R <sup>2</sup> |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------|----------------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                       |      |                |
|                               |                | kg ha <sup>-1</sup>                 | Dias após emergência (DAE) |                               | kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |                |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                       |      |                |
| Folha                         | SD             | 93*                                 | 19*                        | 68*                           | 49                                    | 1,15 | 0,96           |
|                               | CM             | 80*                                 | 19*                        | 73*                           | 54                                    | 0,73 | 0,93           |
| Caule                         | SD             | 19*                                 | 21*                        | 72*                           | 51                                    | 0,24 | 0,91           |
|                               | CM             | 15*                                 | 22*                        | 76*                           | 54                                    | 0,16 | 0,94           |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 16*                                 | 23*                        | 81*                           | 58                                    | 0,16 | 0,88           |
|                               | CM             | 17*                                 | 21*                        | 82*                           | 61                                    | 0,16 | 0,80           |
| Grãos                         | SD             | 175*                                | 15*                        | 110*                          | 95                                    | 1,11 | 0,99           |
|                               | CM             | 220*                                | 16*                        | 110*                          | 94                                    | 1,42 | 0,97           |
| Total                         | SD             | 186*                                | 41*                        | 109*                          | 68                                    | 1,65 | 0,96           |
|                               | CM             | 231*                                | 33*                        | 110*                          | 77                                    | 1,82 | 0,98           |
| Milho                         |                |                                     |                            |                               |                                       |      |                |
| Folha                         | SD             | 78*                                 | 22*                        | 73*                           | 51                                    | 0,92 | 0,90           |
|                               | CM             | 92*                                 | 17*                        | 72*                           | 55                                    | 1,09 | 0,97           |
| Caule                         | SD             | 16*                                 | 22*                        | 75*                           | 53                                    | 0,18 | 0,93           |
|                               | CM             | 17*                                 | 20*                        | 77*                           | 57                                    | 0,18 | 0,95           |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 16*                                 | 21*                        | 83*                           | 62                                    | 0,15 | 0,88           |
|                               | CM             | 18*                                 | 20*                        | 82*                           | 62                                    | 0,17 | 0,93           |
| Grãos                         | SD             | 200*                                | 13*                        | 106*                          | 93                                    | 1,30 | 0,99           |
|                               | CM             | 225*                                | 17*                        | 111*                          | 94                                    | 1,45 | 0,99           |
| Total                         | SD             | 214*                                | 30*                        | 104*                          | 74                                    | 1,75 | 0,96           |
|                               | CM             | 236*                                | 33*                        | 109*                          | 76                                    | 1,88 | 0,99           |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de nitrogênio na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de nitrogênio.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significante pelo teste t, respectivamente.

Em ambas as coberturas de solos estudadas, os manejos do solo mostraram diferença estatística entre si quanto ao fósforo (P) acumulado em todas as estruturas da planta, e também na planta inteira (Tabela 11). Levando em consideração o acúmulo do nutriente em toda a planta observa-se que aos 87 DAE os dois manejos proporcionam acúmulos semelhantes mediante ambas as coberturas. No entanto, o CM para este período se mostra superior com 19 kg ha<sup>-1</sup> de P, comparado a SD que apresentou 13 kg ha<sup>-1</sup> de P.

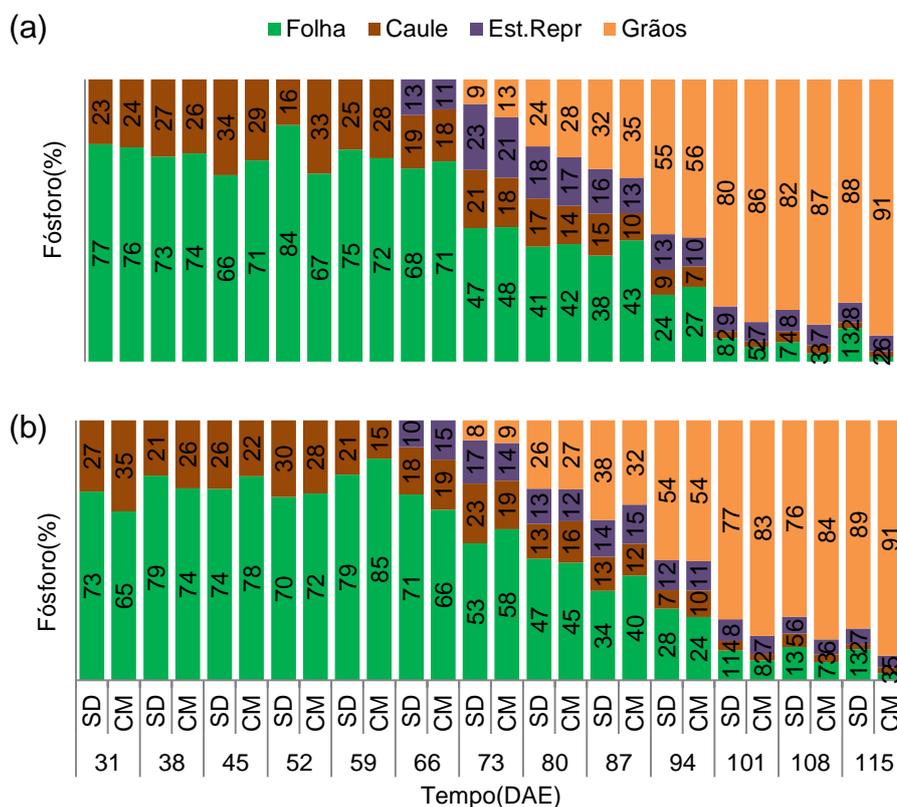
**Tabela 12.** Acúmulo de fósforo (P) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE                           | Folha                          |     | Caule |    | Estr. Reprodutivas |    | Grãos |     | Total |     |
|-------------------------------|--------------------------------|-----|-------|----|--------------------|----|-------|-----|-------|-----|
|                               | -----Kg ha <sup>-1</sup> ----- |     |       |    |                    |    |       |     |       |     |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                                |     |       |    |                    |    |       |     |       |     |
|                               | SD                             | CM  | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM  | SD    | CM  |
| 31                            | 2a <sup>1</sup>                | 1a  | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 2a    | 2a  |
| 38                            | 3a                             | 2a  | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 4a    | 3a  |
| 45                            | 3a                             | 2a  | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 4a    | 3a  |
| 52                            | 8a                             | 4b  | 2a    | 2a | -                  | -  | -     | -   | 10a   | 5b  |
| 59                            | 12a                            | 5b  | 4a    | 2b | -                  | -  | -     | -   | 16a   | 7b  |
| 66                            | 9a                             | 5b  | 3a    | 1b | 2a                 | 1b | -     | -   | 14a   | 7b  |
| 73                            | 5a                             | 6a  | 2a    | 2a | 2a                 | 3a | 1a    | 2a  | 11a   | 13a |
| 80                            | 7a                             | 7a  | 3a    | 2a | 3a                 | 3a | 4a    | 5a  | 16a   | 17a |
| 87                            | 5b                             | 8a  | 2a    | 2a | 2a                 | 2a | 4a    | 7a  | 15b   | 19a |
| 94                            | 5a                             | 6a  | 2a    | 2a | 3a                 | 2a | 11a   | 12  | 20a   | 22a |
| 101                           | 1a                             | 1a  | 1a    | 1a | 1a                 | 2a | 13b   | 21a | 16b   | 24a |
| 108                           | 1a                             | 1a  | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 16a   | 18a | 19a   | 20a |
| 115                           | 1a                             | 1a  | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 15b   | 20a | 17b   | 23a |
| <i>Milho</i>                  |                                |     |       |    |                    |    |       |     |       |     |
|                               | SD                             | CM  | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM  | SD    | CM  |
| 31                            | 1a                             | 1a  | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 2a    | 1a  |
| 38                            | 2a                             | 2a  | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 3a    | 2a  |
| 45                            | 4a                             | 4a  | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 5a    | 5a  |
| 52                            | 4a                             | 4a  | 2a    | 2a | -                  | -  | -     | -   | 6a    | 6a  |
| 59                            | 7b                             | 12a | 2a    | 2a | -                  | -  | -     | -   | 9a    | 14a |
| 66                            | 8a                             | 7a  | 2a    | 2a | 1a                 | 2a | -     | -   | 11a   | 11a |
| 73                            | 6a                             | 8a  | 3a    | 2a | 2a                 | 2a | 1a    | 1a  | 12a   | 13a |
| 80                            | 9a                             | 9a  | 2b    | 3a | 2a                 | 3a | 5a    | 5a  | 18a   | 21a |
| 87                            | 5b                             | 8a  | 2a    | 2a | 2b                 | 3a | 5a    | 6a  | 13b   | 19a |
| 94                            | 7a                             | 6a  | 2a    | 2a | 3a                 | 3a | 13a   | 13a | 25a   | 25a |
| 101                           | 3a                             | 2a  | 1a    | 1a | 2a                 | 1a | 18a   | 18a | 23a   | 21a |
| 108                           | 3a                             | 1a  | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 15a   | 18a | 22a   | 21a |
| 115                           | 1a                             | 1a  | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 15b   | 22a | 17b   | 24a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, as folhas representaram maior acúmulo do P total da planta até os 87 DAE, com 38 e 43% do P até este período em SD e CM, respectivamente. Já em sucessão ao milho estes órgãos representaram maior acúmulo até 80 DAE no sistema de SD com 47% e até os 87 DAE em CM com 40%.

A partir de tais períodos os grãos passam a representar o maior acúmulo do nutriente total da planta até o momento da colheita, chegando a representar 88 e 89% em SD para *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente; e 91% em CM sob ambas as coberturas (Figura 6a,b).



**Figura 6.** Porcentagem do acúmulo de fósforo na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O máximo acúmulo de P nas plantas de soja nas duas coberturas foi de 18 e 21 kg ha<sup>-1</sup> de P em SD e se deu aos 102 DAE sob *Crotalaria spectabilis* e aos 100 DAE sob milho. O CM proporcionou o máximo acúmulo com 23 kg ha<sup>-1</sup> de P sob ambas as coberturas ocorrendo aos 104 e 105 DAE sob milho e *Crotalaria spectabilis*, respectivamente (Tabela 11).

A taxa máxima de acúmulo diário foi entre 0,17 e 0,19 kg ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> de P, sendo o primeiro valor citado obtido nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* em SD e segundo sob milho em CM.

Nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* o ponto de inflexão se deu em SD antes do CM, ocorrendo aos 62 e 75 DAE, respectivamente. Já nas plantas em

sucessão a milho o ponto de inflexão se deu aos 70 DAE nos dois manejos do solo.

A maior representatividade dos grãos no acúmulo de P, em relação ao acúmulo total deve-se ao fato de ser um nutriente móvel no floema, e juntamente ao N e K é mais distribuído pelo floema para as demais estruturas da planta, sendo translocado para os órgãos em desenvolvimento e crescimento, tendo como fonte as folhas mais velhas (Milanesi, 2015).

**Tabela 13:** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de fósforo e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                    | TMAD | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                       |      |       |
|                               |                | kg ha <sup>-1</sup>                 | Dias após emergência (DAE) |                               | kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                       |      |       |
| Folha                         | SD             | 9*                                  | 18*                        | 65*                           | 47                                    | 0,11 | 0,88  |
|                               | CM             | 7*                                  | 19*                        | 76*                           | 57                                    | 0,07 | 0,89  |
| Caule                         | SD             | 3*                                  | 21*                        | 69*                           | 48                                    | 0,03 | 0,88  |
|                               | CM             | 2*                                  | 23*                        | 72*                           | 49                                    | 0,02 | 0,90  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 3*                                  | 24*                        | 83*                           | 59                                    | 0,03 | 0,82  |
|                               | CM             | 3*                                  | 19*                        | 86*                           | 67                                    | 0,02 | 0,79  |
| Grãos                         | SD             | 16*                                 | 16*                        | 109*                          | 93                                    | 0,10 | 0,98  |
|                               | CM             | 20*                                 | 16*                        | 110*                          | 94                                    | 0,12 | 0,97  |
| Total                         | SD             | 18*                                 | 40*                        | 102*                          | 62                                    | 0,17 | 0,90  |
|                               | CM             | 23*                                 | 30*                        | 105*                          | 75                                    | 0,18 | 0,98  |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                       |      |       |
| Folha                         | SD             | 8*                                  | 22*                        | 72*                           | 50                                    | 0,09 | 0,91  |
|                               | CM             | 10*                                 | 19*                        | 72*                           | 53                                    | 0,11 | 0,89  |
| Caule                         | SD             | 2*                                  | 23*                        | 72*                           | 49                                    | 0,02 | 0,95  |
|                               | CM             | 2*                                  | 21*                        | 75*                           | 54                                    | 0,02 | 0,92  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 2*                                  | 19*                        | 88*                           | 69                                    | 0,01 | 0,86  |
|                               | CM             | 3*                                  | 19*                        | 86*                           | 67                                    | 0,02 | 0,89  |
| Grãos                         | SD             | 17*                                 | 14*                        | 105*                          | 91                                    | 0,11 | 0,97  |
|                               | CM             | 21*                                 | 19*                        | 113*                          | 94                                    | 0,13 | 0,98  |
| Total                         | SD             | 21*                                 | 30*                        | 100*                          | 70                                    | 0,18 | 0,94  |
|                               | CM             | 23*                                 | 34*                        | 104*                          | 70                                    | 0,19 | 0,97  |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de fósforo na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de fósforo.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significante pelo teste , respectivamente.

Mediante ao acúmulo de potássio (K) na soja sob as plantas de cobertura estudadas a diferença entre os manejos só foi observada sob *Crotalaria spectabilis*, onde o manejo influenciou no acúmulo de K nas folhas, caule,

grãos e total (Tabela 14). Observa-se que até os 66 DAE a SD propiciou maior acúmulo nestas estruturas da planta.

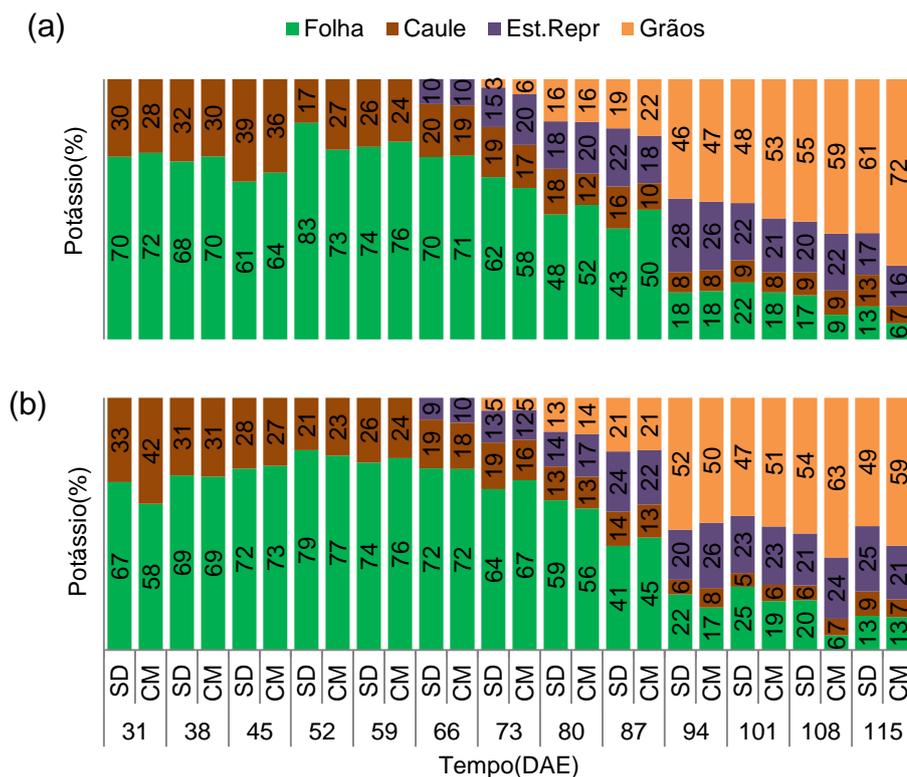
Ao final do ciclo o maior acúmulo nos grãos ocorreu nas plantas em CM, o que influenciou para que neste período o acúmulo na planta inteira também ocorresse nas plantas sob este sistema.

**Tabela 14.** Acúmulo de potássio (K) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE                           | Folha                          |     | Caule |     | Estr. Reprodutivas |     | Grãos |      | Total |      |
|-------------------------------|--------------------------------|-----|-------|-----|--------------------|-----|-------|------|-------|------|
|                               | -----kg ha <sup>-1</sup> ----- |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                                |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                             | CM  | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 11a <sup>1</sup>               | 11a | 5a    | 4a  | -                  | -   | -     | -    | 16a   | 15a  |
| 38                            | 20a                            | 16a | 9a    | 7a  | -                  | -   | -     | -    | 29a   | 22a  |
| 45                            | 26a                            | 18a | 17a   | 10b | -                  | -   | -     | -    | 44a   | 28a  |
| 52                            | 77a                            | 34b | 15a   | 12a | -                  | -   | -     | -    | 92a   | 46a  |
| 59                            | 69a                            | 56a | 24a   | 18b | -                  | -   | -     | -    | 93a   | 74a  |
| 66                            | 85a                            | 54b | 25a   | 15b | 12a                | 8a  | -     | -    | 121a  | 76b  |
| 73                            | 58a                            | 63a | 18a   | 18a | 14a                | 21a | 3a    | 6a   | 93a   | 108a |
| 80                            | 50a                            | 62a | 18a   | 15b | 19a                | 24a | 17a   | 20a  | 105a  | 121a |
| 87                            | 42b                            | 69a | 16a   | 14a | 22a                | 25a | 19a   | 30a  | 98a   | 139a |
| 94                            | 33a                            | 34a | 14a   | 15a | 51a                | 48a | 84a   | 87a  | 182a  | 185a |
| 101                           | 24a                            | 25a | 9a    | 11a | 24a                | 29a | 52a   | 75a  | 110a  | 140a |
| 108                           | 20a                            | 10a | 10a   | 10a | 23a                | 24a | 65a   | 65a  | 119a  | 110a |
| 115                           | 8a                             | 9a  | 11a   | 10a | 15a                | 23a | 54b   | 107a | 88b   | 150a |
| Milho                         |                                |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                             | CM  | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 8a                             | 5a  | 4a    | 3a  | -                  | -   | -     | -    | 12a   | 8a   |
| 38                            | 17a                            | 12a | 8a    | 5a  | -                  | -   | -     | -    | 25a   | 17a  |
| 45                            | 33a                            | 30a | 13a   | 11a | -                  | -   | -     | -    | 46a   | 42a  |
| 52                            | 52a                            | 42a | 13a   | 12a | -                  | -   | -     | -    | 65a   | 54a  |
| 59                            | 48a                            | 62a | 16a   | 19a | -                  | -   | -     | -    | 64a   | 82a  |
| 66                            | 65a                            | 80a | 17a   | 20a | 8a                 | 11a | -     | -    | 90a   | 112a |
| 73                            | 63a                            | 74a | 18a   | 18a | 12a                | 13a | 5a    | 5a   | 99a   | 110a |
| 80                            | 72a                            | 77a | 16a   | 17a | 17a                | 23a | 16a   | 20a  | 122a  | 138a |
| 87                            | 35a                            | 54a | 12a   | 16a | 20a                | 26a | 18a   | 25a  | 85a   | 122a |
| 94                            | 46a                            | 32a | 12a   | 16a | 42a                | 54a | 109a  | 103a | 208a  | 208a |
| 101                           | 42a                            | 30a | 9a    | 10a | 38a                | 36a | 78a   | 79a  | 165a  | 156a |
| 108                           | 25a                            | 7a  | 7a    | 8a  | 26a                | 30a | 67a   | 77a  | 125a  | 122a |
| 115                           | 15a                            | 15a | 9a    | 8a  | 23a                | 24a | 46a   | 65a  | 93a   | 111a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Em ambas as coberturas as folhas seguiram representando a maior parte do K acumulado até os 87 DAE, onde neste período foram responsáveis por 43 e 41% em SD e 50 e 45% em CM sob a *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. A partir dos 94 DAE maior acúmulo em relação ao total é representado pelos grãos totalizando na última coleta 61 e 49% em SD e 72 e 59% em CM, sob a *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 7a,b)



**Figura 7.** Porcentagem do acúmulo de potássio na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho(b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O máximo acúmulo de K nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 130 kg ha<sup>-1</sup> de K (90 DAE) e 152 kg ha<sup>-1</sup> de K (98DAE) em SD e CM, respectivamente. Sob milho foi de 146 kg ha<sup>-1</sup> de K (95 DAE) e 159 kg ha<sup>-1</sup> de K (93 DAE) nos sistemas de SD e CM, respectivamente (Tabela 15).

A taxa máxima de acúmulo diário nas plantas de soja em SD foi de 1,38 e 1,43 kg ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>, em CM foi 1,35 e 1,52 kg ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. Em SD o ponto de inflexão ocorreu aos 57 DAE nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* e aos 70 DAE sob milho, já no sistema de CM acontece aos 68 DAE sob ambas as coberturas.

O pico máximo de acúmulo de K variou de 90 a 98 DAE, em nosso estudo este período é correspondente ao enchimento de grãos, enquanto Bender et al. (2015) encontrou máximo acúmulo desse nutriente entre 45 e 59 DAE, porém em condições edafoclimáticas de três lugares distintos dos Estados Unidos.

De acordo com Pittelkow et al. (2012), o acúmulo de K em plantas de cobertura é bastante representativo, este nutriente possui uma rápida liberação pelos resíduos. Dessa forma pode ser pouco aproveitado pelo período de maior necessidade da cultura da soja. No presente estudo, a disponibilidade de K para cultura da soja se estendeu em relação ao que relata a literatura, neste sentido vale ressaltar a adubação realizada no plantio.

**Tabela 15.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de potássio e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                    | TMAD | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                       |      |       |
|                               |                | kg ha <sup>-1</sup>                 | Dias após emergência (DAE) |                               | kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                       |      |       |
| Folha                         | SD             | 74*                                 | 20*                        | 67*                           | 47                                    | 0,95 | 0,91  |
|                               | CM             | 67*                                 | 20*                        | 74*                           | 54                                    | 0,75 | 0,96  |
| Caule                         | SD             | 21*                                 | 28*                        | 70*                           | 42                                    | 0,30 | 0,85  |
|                               | CM             | 17*                                 | 32*                        | 77*                           | 45                                    | 0,22 | 0,91  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 35*                                 | 14*                        | 94*                           | 80                                    | 0,26 | 0,76  |
|                               | CM             | 36*                                 | 18*                        | 95*                           | 77                                    | 0,28 | 0,82  |
| Grãos                         | SD             | 70*                                 | 14*                        | 103*                          | 89                                    | 0,47 | 0,86  |
|                               | CM             | 95*                                 | 21 <sup>ns</sup>           | 115*                          | 94                                    | 0,61 | 0,88  |
| Total                         | SD             | 130*                                | 33*                        | 90*                           | 57                                    | 1,38 | 0,84  |
|                               | CM             | 152*                                | 30*                        | 98*                           | 68                                    | 1,35 | 0,95  |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                       |      |       |
| Folha                         | SD             | 65*                                 | 24*                        | 73*                           | 49                                    | 0,80 | 0,92  |
|                               | CM             | 80*                                 | 18*                        | 72*                           | 54                                    | 0,89 | 0,98  |
| Caule                         | SD             | 17*                                 | 28*                        | 71*                           | 43                                    | 0,24 | 0,94  |
|                               | CM             | 19*                                 | 26*                        | 74*                           | 48                                    | 0,24 | 0,94  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 42*                                 | 14*                        | 98*                           | 84                                    | 0,30 | 0,85  |
|                               | CM             | 42*                                 | 15*                        | 97*                           | 82                                    | 0,31 | 0,88  |
| Grãos                         | SD             | 94*                                 | 10*                        | 100*                          | 90                                    | 0,63 | 0,88  |
|                               | CM             | 93*                                 | 13*                        | 102*                          | 89                                    | 0,63 | 0,90  |
| Total                         | SD             | 146*                                | 29*                        | 95*                           | 70                                    | 1,43 | 0,87  |
|                               | CM             | 159*                                | 27*                        | 93*                           | 68                                    | 1,52 | 0,94  |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de potássio na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de potássio.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

O acúmulo de Ca nas folhas, caule, grãos e total foi influenciado pelo manejo de solo adotado quando em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, com exceção do caule o mesmo se repete para as plantas sob milheto (Tabela 16).

Nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* a SD proporciona maior acúmulo do macronutriente Ca até os 66 DAE, ressaltando que aos 87 DAE o CM proporciona maior acúmulo nas folhas e na planta inteira. Sob milho a diferença entre os manejos só foi observada aos 87 DAE cujo maior acúmulo foi verificado no CM.

**Tabela 16.** Acúmulo de cálcio (Ca) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

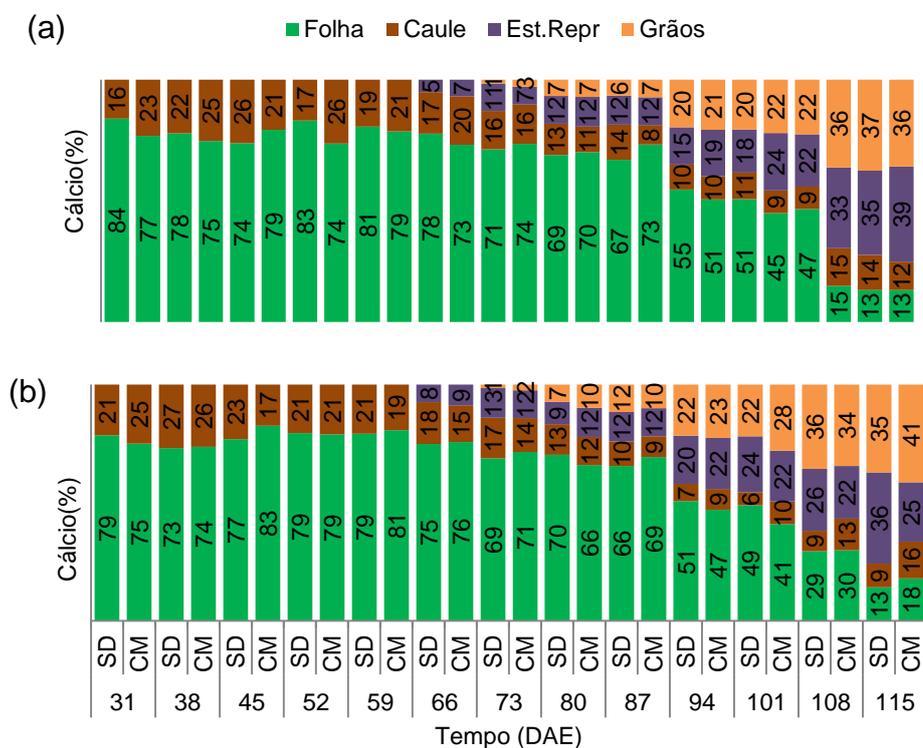
| DAE                           | Folha                          |     | Caule |    | Estr. Reprodutivas |    | Grãos |    | Total |     |
|-------------------------------|--------------------------------|-----|-------|----|--------------------|----|-------|----|-------|-----|
|                               | -----Kg ha <sup>-1</sup> ----- |     |       |    |                    |    |       |    |       |     |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                                |     |       |    |                    |    |       |    |       |     |
|                               | SD                             | CM  | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM | SD    | CM  |
| 31                            | 7a <sup>1</sup>                | 4a  | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 8a    | 5a  |
| 38                            | 7a                             | 5a  | 2a    | 2a | -                  | -  | -     | -  | 9a    | 7a  |
| 45                            | 10a                            | 8a  | 4a    | 2a | -                  | -  | -     | -  | 14a   | 10a |
| 52                            | 21a                            | 10b | 4a    | 3a | -                  | -  | -     | -  | 25a   | 13b |
| 59                            | 24a                            | 18a | 6a    | 5a | -                  | -  | -     | -  | 30a   | 22a |
| 66                            | 35a                            | 18b | 8a    | 5b | 2a                 | 2a | -     | -  | 45a   | 25b |
| 73                            | 23a                            | 26a | 5a    | 6a | 3a                 | 3a | 1a    | 1a | 32a   | 36a |
| 80                            | 25a                            | 27a | 5a    | 4a | 4a                 | 5a | 2a    | 3a | 36a   | 38a |
| 87                            | 19b                            | 30a | 4a    | 3a | 3a                 | 5a | 2a    | 3a | 28b   | 41a |
| 94                            | 17a                            | 16a | 3a    | 3a | 5a                 | 6a | 6a    | 6a | 31a   | 32a |
| 101                           | 15a                            | 13a | 3a    | 3a | 5a                 | 7a | 6a    | 6a | 29a   | 29a |
| 108                           | 12a                            | 3 b | 2a    | 3a | 5a                 | 7a | 6b    | 7a | 26a   | 20a |
| 115                           | 2a                             | 2a  | 2a    | 2a | 6a                 | 7a | 6a    | 7a | 17a   | 19a |
| <i>Milho</i>                  |                                |     |       |    |                    |    |       |    |       |     |
|                               | SD                             | CM  | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM | SD    | CM  |
| 31                            | 4a                             | 2a  | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 5a    | 3a  |
| 38                            | 6a                             | 3a  | 2a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 8a    | 5a  |
| 45                            | 11a                            | 11a | 3a    | 2a | -                  | -  | -     | -  | 15a   | 14a |
| 52                            | 13a                            | 10a | 3a    | 3a | -                  | -  | -     | -  | 16a   | 13a |
| 59                            | 16a                            | 20a | 4a    | 5a | -                  | -  | -     | -  | 20a   | 24a |
| 66                            | 21a                            | 25a | 5a    | 5a | 2a                 | 3a | -     | -  | 28a   | 34a |
| 73                            | 20a                            | 21a | 5a    | 4a | 4a                 | 3a | 1a    | 1a | 30a   | 30a |
| 80                            | 26a                            | 22a | 5a    | 4a | 3a                 | 4a | 3a    | 3a | 37a   | 33a |
| 87                            | 18b                            | 26a | 3a    | 3a | 3a                 | 4a | 3a    | 4a | 28b   | 38a |
| 94                            | 17a                            | 17a | 2a    | 3a | 7a                 | 8a | 7a    | 8a | 33a   | 36a |
| 101                           | 16a                            | 13a | 2a    | 3a | 8a                 | 7a | 7b    | 9a | 33a   | 32a |
| 108                           | 6a                             | 7a  | 2a    | 3a | 6a                 | 5a | 8a    | 8a | 22a   | 22a |
| 115                           | 3a                             | 3a  | 1a    | 3a | 6a                 | 5a | 6b    | 8a | 17a   | 19a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

A maior representatividade das folhas no acúmulo total do cálcio nas plantas se estende a um período maior em relação aos macronutrientes citados até o momento (NPK). Esta estrutura se torna responsável por maior acúmulo

de Ca até os 101 DAE sob as duas coberturas estudadas. Representando neste período em SD 51 e 49 % e em CM 45 e 41%, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 8).

A partir do período relatado maior acúmulo passa a ser representado pelas estruturas reprodutivas e grãos, assim na última coleta sob *Crotalaria spectabilis* as estruturas reprodutivas foram responsáveis por 35 e 39% e os grãos por 37 e 36%, em SD e CM, respectivamente. E sob milho as estruturas reprodutivas foram responsáveis por 36 e 25% e os grãos por 35 e 41%, em SD e CM, respectivamente.



**Figura 8.** Porcentagem do acúmulo de cálcio na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O acúmulo máximo de Ca nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 37 kg ha<sup>-1</sup> de Ca (79 DAE) e 38 kg ha<sup>-1</sup> de Ca (84 DAE), em SD e CM, respectivamente. Sob o milho foi de 34 kg ha<sup>-1</sup> de Ca (84 DAE) e 37 kg ha<sup>-1</sup> de Ca (85 DAE), em SD e CM, respectivamente (Tabela 17).

Em SD a taxa máxima de acúmulo diário foi 0,44 e 0,36 kg ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. Já no CM foi de 0,38 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> sob ambas as plantas de cobertura. O ponto de inflexão ocorreu primeiramente nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* e em SD, aos 51 DAE.

Em nosso estudo, o Ca mesmo no período correspondente ao enchimento dos grãos, ainda demonstrou significativo acúmulo na folha. A literatura justifica este comportamento ao fato deste nutriente ser considerado de difícil redistribuição na planta, acumulando-se nas folhas. Assim, o caule é considerado o principal responsável pela transferência desse nutriente para os grãos (Franco, 2011).

**Tabela 17.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de cálcio e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                    | TMAD | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                       |      |       |
|                               |                | kg ha <sup>-1</sup>                 | Dias após emergência (DAE) |                               | kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                       |      |       |
| Folha                         | SD             | 28*                                 | 22*                        | 72*                           | 50                                    | 0,34 | 0,91  |
|                               | CM             | 27*                                 | 18*                        | 77*                           | 59                                    | 0,27 | 0,95  |
| Caule                         | SD             | 6*                                  | 26*                        | 71*                           | 45                                    | 0,08 | 0,85  |
|                               | CM             | 5*                                  | 28*                        | 74*                           | 46                                    | 0,06 | 0,86  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 6*                                  | 49*                        | 129*                          | 80                                    | 0,04 | 0,93  |
|                               | CM             | 7*                                  | 29*                        | 112*                          | 83                                    | 0,05 | 0,98  |
| Grãos                         | SD             | 6*                                  | 17*                        | 107*                          | 90                                    | 0,04 | 0,92  |
|                               | CM             | 7*                                  | 18*                        | 107*                          | 89                                    | 0,04 | 0,97  |
| Total                         | SD             | 37*                                 | 28*                        | 79*                           | 51                                    | 0,44 | 0,90  |
|                               | CM             | 38*                                 | 24*                        | 84*                           | 60                                    | 0,38 | 0,98  |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                       |      |       |
| Folha                         | SD             | 23*                                 | 23*                        | 76*                           | 53                                    | 0,26 | 0,95  |
|                               | CM             | 25*                                 | 21*                        | 76*                           | 55                                    | 0,27 | 0,95  |
| Caule                         | SD             | 5*                                  | 25*                        | 69*                           | 44                                    | 0,06 | 0,93  |
|                               | CM             | 4*                                  | 30*                        | 77*                           | 47                                    | 0,05 | 0,83  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 7*                                  | 24*                        | 105*                          | 81                                    | 0,05 | 0,86  |
|                               | CM             | 6*                                  | 22*                        | 97*                           | 75                                    | 0,04 | 0,84  |
| Grãos                         | SD             | 8*                                  | 14*                        | 104*                          | 90                                    | 0,05 | 0,97  |
|                               | CM             | 9*                                  | 16*                        | 105*                          | 89                                    | 0,06 | 0,96  |
| Total                         | SD             | 34*                                 | 27*                        | 84*                           | 57                                    | 0,36 | 0,95  |
|                               | CM             | 37*                                 | 26*                        | 85*                           | 59                                    | 0,38 | 0,97  |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de cálcio na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de cálcio.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significante pelo teste t, respectivamente.

O acúmulo de Mg nas folhas, caule, grãos e planta inteira foi influenciado pelo sistema de manejo do solo em ambas as coberturas estudadas (Tabela 18). Em que o SD se destacou em relação ao CM sob *Crotalaria*

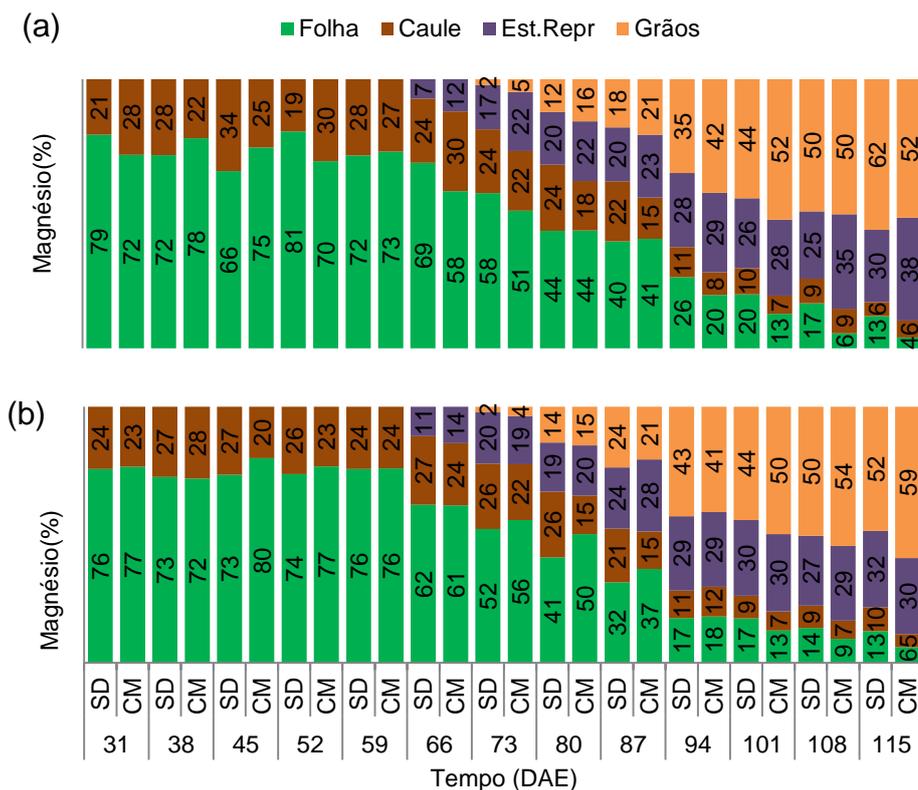
*spectabilis* durante todo o ciclo da soja, já sob milho a partir dos 80 DAE o destaque quanto ao acúmulo passa a ser proporcionado pelo CM.

**Tabela 18.** Acúmulo de magnésio (Mg) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE | Folha                          |    | Caule |    | Estr. Reprodutivas |    | Grãos |    | Total |     |
|-----|--------------------------------|----|-------|----|--------------------|----|-------|----|-------|-----|
|     | -----Kg ha <sup>-1</sup> ----- |    |       |    |                    |    |       |    |       |     |
|     | <i>Crotalaria spectabilis</i>  |    |       |    |                    |    |       |    |       |     |
|     | SD                             | CM | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM | SD    | CM  |
| 31  | 3a <sup>1</sup>                | 2a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 4a    | 3a  |
| 38  | 3a                             | 3a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 5a    | 4a  |
| 45  | 4a                             | 3a | 2a    | 1b | -                  | -  | -     | -  | 5a    | 4a  |
| 52  | 7a                             | 3b | 2a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 9a    | 4b  |
| 59  | 9a                             | 6b | 4a    | 2b | -                  | -  | -     | -  | 13a   | 8b  |
| 66  | 11a                            | 5b | 4a    | 3b | 1a                 | 1a | -     | -  | 17a   | 9b  |
| 73  | 6a                             | 5a | 2a    | 2a | 2a                 | 2a | 1a    | 1a | 11a   | 10a |
| 80  | 6a                             | 5a | 3a    | 2b | 3a                 | 3a | 2a    | 2a | 13a   | 12a |
| 87  | 4a                             | 5a | 2a    | 2a | 2a                 | 3a | 2a    | 2a | 10a   | 12a |
| 94  | 4a                             | 3a | 2a    | 1a | 4a                 | 4a | 5a    | 6a | 16a   | 13a |
| 101 | 3a                             | 2a | 1a    | 1a | 3a                 | 4a | 6a    | 7a | 13a   | 14a |
| 108 | 2a                             | 1b | 1a    | 1a | 4a                 | 4a | 7a    | 6a | 14a   | 12a |
| 115 | 1a                             | 1a | 1a    | 1a | 5a                 | 5a | 10a   | 7b | 16a   | 14a |
|     | Milheto                        |    |       |    |                    |    |       |    |       |     |
|     | SD                             | CM | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM | SD    | CM  |
| 31  | 2a                             | 1a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 3a    | 2a  |
| 38  | 2a                             | 2a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 3a    | 2a  |
| 45  | 4a                             | 4a | 2a    | 1b | -                  | -  | -     | -  | 6a    | 5a  |
| 52  | 4a                             | 5a | 2a    | 1a | -                  | -  | -     | -  | 6a    | 6a  |
| 59  | 6a                             | 7a | 2a    | 2a | -                  | -  | -     | -  | 8a    | 9a  |
| 66  | 6a                             | 7a | 3a    | 3a | 1a                 | 2a | -     | -  | 11a   | 11a |
| 73  | 5a                             | 5a | 3a    | 2a | 2a                 | 2a | 1a    | 1a | 10a   | 9a  |
| 80  | 5b                             | 8a | 3a    | 2b | 2a                 | 3a | 2a    | 2a | 12b   | 16a |
| 87  | 3a                             | 5a | 2a    | 2a | 2a                 | 4a | 2a    | 3a | 10a   | 13a |
| 94  | 3a                             | 3a | 2a    | 2a | 5a                 | 5a | 7a    | 7a | 16a   | 16a |
| 101 | 3a                             | 2a | 2a    | 1a | 6a                 | 5a | 7a    | 8a | 15a   | 16a |
| 108 | 2a                             | 1a | 2a    | 1a | 4a                 | 4a | 8a    | 8a | 15a   | 14a |
| 115 | 1a                             | 1a | 1a    | 1a | 3a                 | 4a | 6b    | 8a | 11a   | 13a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Até os 87 DAE maior acúmulo de Mg na planta foi verificado nas folhas, representando neste período em SD com 40 e 32% e em CM com 41 e 37%, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. A partir desta data os grãos passam a representar maior acúmulo deste nutriente até a última coleta sendo em SD com 62 e 52% e em CM com 52 e 59%, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 9a,b).



**Figura 9.** Porcentagem do acúmulo de magnésio na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O acúmulo máximo de Mg nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 15 kg ha<sup>-1</sup> de Mg (99 DAE) e 14 kg ha<sup>-1</sup> de Mg (105 DAE), em SD e CM, respectivamente. Sob o milho foi de 14 kg ha<sup>-1</sup> de Mg (100 DAE) e 15 kg ha<sup>-1</sup> de Mg (96 DAE), em SD e CM, respectivamente (Tabela 19).

Em SD a taxa máxima de acúmulo diário foi 0,16 e 0,13 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. Já no CM foi de 0,13 e 0,14 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. O ponto de inflexão se deu em menor tempo nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* e em SD, ocorrendo aos 54 DAE.

Nas folhas e caules, observa-se que a partir dos 94 DAE o acúmulo de Mg alocado nessas estruturas foi remobilizado para as estruturas reprodutivas e grãos. O que se deve ao fato da alta mobilidade deste nutriente no floema, fazendo com que seja translocado aos órgãos de intensa atividade metabólica (Araújo, 2018).

O acúmulo de Mg na soja, no quesito planta inteira sob ambas as plantas de cobertura e nos dois sistemas de manejo apresentou máximo acúmulo em períodos mais tardios que o encontrado no estudo de Araújo (2018), onde o autor obteve máximo acúmulo próximo aos 80 DAE e no presente estudo ocorreu entre 96 e 105 DAE.

**Tabela 19.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de magnésio e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                    | TMAD | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                       |      |       |
|                               |                | kg ha <sup>-1</sup>                 | Dias após emergência (DAE) |                               | kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                       |      |       |
| Folha                         | SD             | 9*                                  | 20*                        | 65*                           | 45                                    | 0,12 | 0,90  |
|                               | CM             | 5*                                  | 24*                        | 68*                           | 44                                    | 0,06 | 0,91  |
| Caule                         | SD             | 3*                                  | 23*                        | 70*                           | 47                                    | 0,03 | 0,89  |
|                               | CM             | 2*                                  | 25*                        | 71*                           | 46                                    | 0,02 | 0,90  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 4*                                  | 37 <sup>ns</sup>           | 124*                          | 87                                    | 0,02 | 0,88  |
|                               | CM             | 6*                                  | 42 <sup>ns</sup>           | 136*                          | 94                                    | 0,03 | 0,96  |
| Grãos                         | SD             | 10*                                 | 23*                        | 126*                          | 103                                   | 0,05 | 0,97  |
|                               | CM             | 7*                                  | 16*                        | 108*                          | 92                                    | 0,04 | 0,95  |
| Total                         | SD             | 15*                                 | 45*                        | 99*                           | 54                                    | 0,16 | 0,83  |
|                               | CM             | 14*                                 | 41*                        | 105*                          | 64                                    | 0,13 | 0,97  |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                       |      |       |
| Folha                         | SD             | 6*                                  | 24*                        | 66*                           | 42                                    | 0,08 | 0,95  |
|                               | CM             | 7*                                  | 20*                        | 69*                           | 49                                    | 0,08 | 0,94  |
| Caule                         | SD             | 3*                                  | 26*                        | 75*                           | 49                                    | 0,03 | 0,93  |
|                               | CM             | 2*                                  | 23*                        | 74*                           | 51                                    | 0,02 | 0,94  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 5*                                  | 25*                        | 108*                          | 83                                    | 0,03 | 0,94  |
|                               | CM             | 5*                                  | 22*                        | 101*                          | 79                                    | 0,03 | 0,97  |
| Grãos                         | SD             | 8*                                  | 13*                        | 104*                          | 91                                    | 0,05 | 0,97  |
|                               | CM             | 8*                                  | 16*                        | 107*                          | 91                                    | 0,05 | 0,97  |
| Total                         | SD             | 14*                                 | 38*                        | 100*                          | 62                                    | 0,13 | 0,93  |
|                               | CM             | 15*                                 | 32*                        | 96*                           | 64                                    | 0,14 | 0,96  |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de magnésio na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de magnésio.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significante pelo teste t, respectivamente.

Os sistemas de manejo do solo mostraram diferenças estatísticas entre si quanto ao acúmulo de enxofre (S) nas folhas, caules, estruturas reprodutivas e planta inteira de soja sob *Crotalaria spectabilis*; em que até os 80 DAE a SD proporcionou maior acúmulo nas repartições citadas. Já sob milheto a diferença foi obtida apenas no acúmulo pelo caule e aconteceu aos 73 DAE,

com maior acúmulo em CM de 3 kg ha<sup>-1</sup> de S comparado a SD que foi de 2 kg ha<sup>-1</sup> de S (Tabela 20).

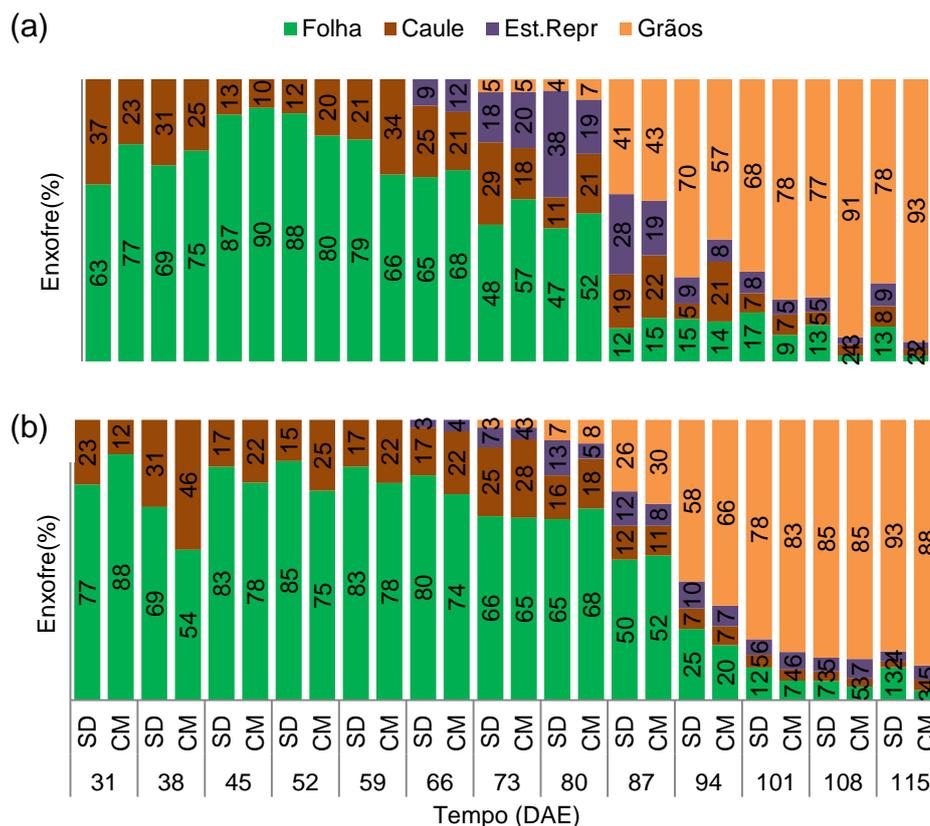
**Tabela 20.** Acúmulo de enxofre (S) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE | Folha                          |    | Caule |    | Estr. Reprodutivas |    | Grãos |     | Total |     |
|-----|--------------------------------|----|-------|----|--------------------|----|-------|-----|-------|-----|
|     | -----Kg ha <sup>-1</sup> ----- |    |       |    |                    |    |       |     |       |     |
|     | <i>Crotalaria spectabilis</i>  |    |       |    |                    |    |       |     |       |     |
|     | SD                             | CM | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM  | SD    | CM  |
| 31  | 1a <sup>1</sup>                | 1a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 1a    | 1a  |
| 38  | 1a                             | 1a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 2a    | 2a  |
| 45  | 6a                             | 5a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 7a    | 4a  |
| 52  | 10a                            | 3b | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 11a   | 4b  |
| 59  | 6a                             | 3b | 2a    | 2a | -                  | -  | -     | -   | 8a    | 6a  |
| 66  | 5a                             | 5a | 2a    | 1a | 1a                 | 1a | -     | -   | 8a    | 7a  |
| 73  | 3a                             | 5a | 2a    | 1a | 1a                 | 2a | 1a    | 1a  | 6a    | 8a  |
| 80  | 4a                             | 3a | 1a    | 1a | 3a                 | 1b | 1a    | 1a  | 8a    | 9a  |
| 87  | 1a                             | 1a | 1a    | 2a | 1a                 | 1a | 2a    | 3a  | 9a    | 9a  |
| 94  | 3a                             | 2a | 1b    | 2a | 2a                 | 1a | 12a   | 9a  | 18a   | 16a |
| 101 | 2a                             | 1a | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 8a    | 11a | 12b   | 20a |
| 108 | 2a                             | 1a | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 12a   | 14a | 13a   | 15a |
| 115 | 1a                             | 1a | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 6a    | 8a  | 8a    | 10a |
|     | Milheto                        |    |       |    |                    |    |       |     |       |     |
|     | SD                             | CM | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM  | SD    | CM  |
| 31  | 1a                             | 1a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 1a    | 1a  |
| 38  | 1a                             | 1a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 2a    | 2a  |
| 45  | 5a                             | 5a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 6a    | 6a  |
| 52  | 6a                             | 4a | 1a    | 1a | -                  | -  | -     | -   | 7a    | 6a  |
| 59  | 6a                             | 5a | 1a    | 2a | -                  | -  | -     | -   | 7a    | 7a  |
| 66  | 6a                             | 6a | 1a    | 2a | 1a                 | 1a | -     | -   | 8a    | 8a  |
| 73  | 5a                             | 6a | 2b    | 3a | 1a                 | 1a | 1a    | 1a  | 8a    | 9a  |
| 80  | 5a                             | 6a | 1a    | 2a | 1a                 | 1a | 1a    | 1a  | 8a    | 9a  |
| 87  | 5a                             | 7a | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 2a    | 4a  | 10a   | 14a |
| 94  | 5a                             | 4a | 1a    | 1a | 2a                 | 1a | 12a   | 14a | 2a    | 22a |
| 101 | 2a                             | 1a | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 15a   | 16a | 20a   | 20a |
| 108 | 1a                             | 1a | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 17a   | 15a | 20a   | 18a |
| 115 | 1a                             | 1a | 1a    | 1a | 1a                 | 1a | 18a   | 12a | 20a   | 14a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Até os 80 DAE maior acúmulo de S na planta sob *Crotalaria spectabilis* foi em contribuição das folhas, representando neste período em SD 47% e em CM 52%. Sob o milho a contribuição desses órgãos em maior acúmulo estende até os 87 DAE representando neste período 50 e 52 % em SD e CM, respectivamente.

A partir dos períodos citados os grãos passam a representar maior acúmulo deste nutriente até a última coleta apresentando em SD 78 e 93% e em CM 93 e 88%, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 10a,b).



**Figura 10.** Percentagem do acúmulo de enxofre na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O acúmulo máximo de S nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 12 kg ha<sup>-1</sup> de S (98 DAE) e 15 kg ha<sup>-1</sup> de S (103 DAE), em SD e CM, respectivamente. Sob o milho foi de 25 kg ha<sup>-1</sup> de S (102 DAE) e 18 kg ha<sup>-1</sup> de S (102 DAE), em SD e CM, respectivamente (Tabela 19).

Em SD a taxa máxima de acúmulo diário foi 0,13 e 0,16 kg S ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. Já no CM foi de 0,12 e 0,15 kg S ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. O ponto de inflexão se deu em menor tempo nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* e em SD, ocorrendo aos 56 DAE.

Quanto ao S, os resultados obtidos mostram que sob milho e em sistema de SD acumulou 25 kg ha<sup>-1</sup> de S. Segundo Malavolta et al. (1997) para satisfazer as necessidades nutricionais da cultura a exigência deste nutriente pela soja é de 23 kg ha<sup>-1</sup>, sendo requerido 7,7 kg de S para produção de 1 tonelada de grãos.

**Tabela 21.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de enxofre e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                    | TMAD  | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                       |       |       |
|                               |                | kg ha <sup>-1</sup>                 | Dias após emergência (DAE) |                               | kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |       |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                       |       |       |
| Folha                         | SD             | 8*                                  | 14*                        | 56*                           | 42                                    | 0,11  | 0,81  |
|                               | CM             | 4*                                  | 21*                        | 64*                           | 43                                    | 0,05  | 0,85  |
| Caule                         | SD             | 2*                                  | 25*                        | 68*                           | 43                                    | 0,02  | 0,82  |
|                               | CM             | 2*                                  | 26*                        | 82*                           | 56                                    | 0,02  | 0,83  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 2*                                  | 15*                        | 95*                           | 80                                    | 0,01  | 0,90  |
|                               | CM             | 1*                                  | 14*                        | 98*                           | 84                                    | 0,007 | 0,94  |
| Grãos                         | SD             | 11*                                 | 10*                        | 102*                          | 92                                    | 0,08  | 0,88  |
|                               | CM             | 13*                                 | 11*                        | 105*                          | 94                                    | 0,08  | 0,97  |
| Total                         | SD             | 12*                                 | 42*                        | 98*                           | 56                                    | 0,13  | 0,72  |
|                               | CM             | 15*                                 | 29*                        | 103*                          | 74                                    | 0,12  | 0,90  |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                       |       |       |
| Folha                         | SD             | 6*                                  | 23*                        | 69*                           | 46                                    | 0,07  | 0,91  |
|                               | CM             | 7*                                  | 21*                        | 72*                           | 51                                    | 0,08  | 0,91  |
| Caule                         | SD             | 2*                                  | 27*                        | 75*                           | 48                                    | 0,02  | 0,91  |
|                               | CM             | 2*                                  | 23*                        | 71*                           | 48                                    | 0,02  | 0,92  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 2*                                  | 15*                        | 95*                           | 80                                    | 0,01  | 0,90  |
|                               | CM             | 1*                                  | 14*                        | 98*                           | 84                                    | 0,007 | 0,94  |
| Grãos                         | SD             | 19*                                 | 13*                        | 110*                          | 98                                    | 0,12  | 0,98  |
|                               | CM             | 17*                                 | 12*                        | 104*                          | 92                                    | 0,11  | 0,97  |
| Total                         | SD             | 25*                                 | 49*                        | 102*                          | 92                                    | 0,16  | 0,93  |
|                               | CM             | 18*                                 | 30*                        | 102*                          | 72                                    | 0,15  | 0,93  |

(1) Média de acúmulo de enxofre na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

(2) Acúmulo máximo de enxofre.

(3) Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

(4) Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

O acúmulo de macronutrientes nas plantas de soja sob *Crotalaria spectabilis* seguiu a ordem decrescente: N > K > Ca > P > Mg > S no sistema de semeadura direta e N > K > Ca > P > S > Mg em cultivo mínimo. Sob o milheto a ordem decrescente: N > K > Ca > S > P > Mg no sistema de SD e N > K > Ca > P > S > Mg em cultivo mínimo.

No presente estudo foi perceptível que o manejo do solo influenciou no acúmulo dos macronutrientes. Resultados controversos foram obtidos no estudo de Pereira et al. (2011), estudando a soja cultivada em sistema de semeadura direta, cultivo mínimo e cultivo convencional, onde observaram que

o sistema de manejo não influenciou o acúmulo dos nutrientes N, K, Ca, Mg e S.

De acordo com os resultados obtidos observa-se que até os 66 DAE (onde se tem a presença apenas de folhas e caule) o sistema de SD proporcionou maior acúmulo dos nutrientes, com a estabilização do crescimento e o início do estágio reprodutivo a planta passou a acumular maiores quantidades em manejo submetido à escarificação.

Segundo Houx et al. (2014), o sistema de SD resulta na decomposição e acumulação de nutrientes nas camadas mais superficiais do solo, tornando assim estes mais acessíveis às raízes das plantas. No entanto alguns fatores influenciam a absorção, entre eles a capacidade de exploração do sistema radicular (Zobiolo et al., 2012). Assim, em nosso estudo possivelmente o revolvimento do solo tenha favorecido a exploração pelas raízes em busca de nutrientes não presentes nas camadas superficiais, para assim suprir a maior necessidade da planta, com o surgimento das estruturas reprodutivas e grãos que se deu aos 73 DAE.

### **3.4 Micronutrientes**

Os sistemas de manejo do solo mostraram diferenças estatísticas entre si quanto ao acúmulo de boro (B) apenas nos grãos de soja sob *Crotalaria spectabilis*, com maior acúmulo em CM comparado a SD, apresentando ao final do ciclo 87 e 102 g ha<sup>-1</sup> de B em SD e CM, respectivamente.

Contudo, sob milho a diferença foi obtida apenas no acúmulo pelas folhas e grãos aos 87 DAE, com maior acúmulo nas folhas em SD (100 g B ha<sup>-1</sup>) e nos grãos em CM (35 g B ha<sup>-1</sup>) (Tabela 22).

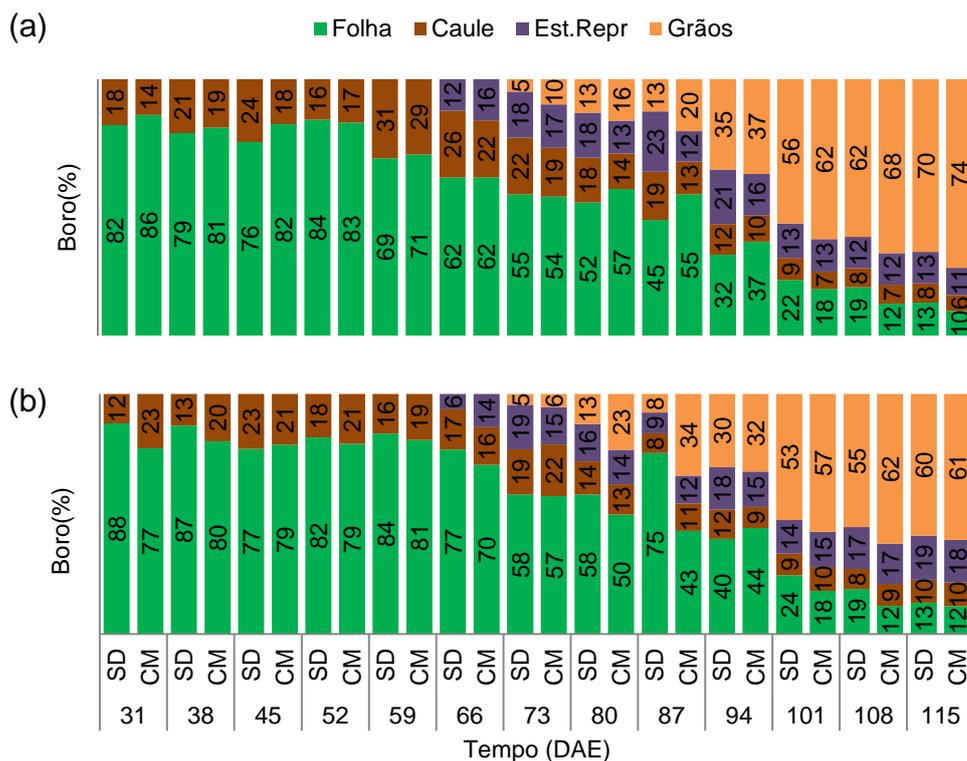
**Tabela 22.** Acúmulo de boro (B) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE                           | Folha              |     | Caule |     | Estr. Reprodutivas |     | Grãos |      | Total |      |
|-------------------------------|--------------------|-----|-------|-----|--------------------|-----|-------|------|-------|------|
|                               | g ha <sup>-1</sup> |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                    |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                 | CM  | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 28a <sup>1</sup>   | 22a | 6a    | 3a  | -                  | -   | -     | -    | 34a   | 25a  |
| 38                            | 28a                | 22a | 7a    | 5a  | -                  | -   | -     | -    | 36a   | 27a  |
| 45                            | 27a                | 30a | 9a    | 6a  | -                  | -   | -     | -    | 35a   | 30a  |
| 52                            | 48a                | 34a | 9a    | 7a  | -                  | -   | -     | -    | 57a   | 31a  |
| 59                            | 33a                | 26a | 15a   | 11a | -                  | -   | -     | -    | 48a   | 37a  |
| 66                            | 41a                | 28a | 17a   | 10a | 8a                 | 7a  | -     | -    | 76a   | 55a  |
| 73                            | 36a                | 33a | 14a   | 11a | 12a                | 10a | 3a    | 6a   | 85a   | 61a  |
| 80                            | 37a                | 42a | 12a   | 10a | 12a                | 9a  | 9a    | 12a  | 91a   | 74a  |
| 87                            | 26a                | 40a | 11a   | 9a  | 14a                | 8a  | 7a    | 15a  | 98a   | 72a  |
| 94                            | 30a                | 34a | 11a   | 9a  | 21a                | 15a | 34a   | 34a  | 106a  | 92a  |
| 101                           | 26a                | 24a | 10a   | 9a  | 16a                | 17a | 68b   | 83a  | 121a  | 118a |
| 108                           | 25a                | 16a | 10a   | 10a | 16a                | 16a | 82a   | 89a  | 123a  | 98a  |
| 115                           | 12a                | 13a | 10a   | 9a  | 16a                | 15a | 87b   | 102a | 111a  | 90a  |
| <i>Milho</i>                  |                    |     |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                 | CM  | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 28a                | 14a | 4a    | 4a  | -                  | -   | -     | -    | 32a   | 18a  |
| 38                            | 29a                | 18a | 4a    | 4a  | -                  | -   | -     | -    | 33a   | 22a  |
| 45                            | 29a                | 28a | 9a    | 7a  | -                  | -   | -     | -    | 38a   | 35a  |
| 52                            | 34a                | 33a | 7a    | 9a  | -                  | -   | -     | -    | 42a   | 42a  |
| 59                            | 39a                | 45a | 8a    | 11a | -                  | -   | -     | -    | 46a   | 56a  |
| 66                            | 35a                | 42a | 8a    | 9a  | 3a                 | 8a  | -     | -    | 46a   | 59a  |
| 73                            | 40a                | 43a | 13a   | 16a | 13a                | 11a | 3a    | 4a   | 69a   | 74a  |
| 80                            | 45a                | 46a | 11a   | 12a | 12a                | 13a | 10a   | 22a  | 78a   | 92a  |
| 87                            | 100a               | 44b | 11a   | 12a | 12a                | 12a | 10b   | 35a  | 133a  | 102a |
| 94                            | 51a                | 58a | 16a   | 12a | 23a                | 19a | 39a   | 43a  | 130a  | 133a |
| 101                           | 38a                | 25a | 14a   | 14a | 21a                | 21a | 81a   | 81a  | 153a  | 142a |
| 108                           | 28a                | 18a | 13a   | 14a | 26a                | 26a | 83a   | 98a  | 151a  | 156a |
| 115                           | 15a                | 16a | 12a   | 13a | 24a                | 24a | 77a   | 83a  | 128a  | 136a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Até os 87 DAE o maior acúmulo de B na soja sob *Crotalaria spectabilis* foi nas folhas, representando neste período em SD 45% e em CM 55% do total de B acumulado. Sob o milho a contribuição desses órgãos em maior acúmulo se estende até os 94 DAE representando neste período 40 e 44% em SD e CM, respectivamente.

A partir dos períodos citados os grãos passam a representar maior acúmulo deste nutriente até a última coleta, apresentando em SD 70 e 60% e em CM 74 e 61%, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 11a,b).



**Figura 11.** Porcentagem do acúmulo de boro na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O acúmulo máximo de B nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 117 g ha<sup>-1</sup> de B (113 DAE) e 100 g ha<sup>-1</sup> de B (114 DAE), em SD e CM, respectivamente. Sob o milho foi de 145 g ha<sup>-1</sup> de B (114 DAE) e 149 g ha<sup>-1</sup> de B (118 DAE), em SD e CM, respectivamente (Tabela 23).

Em SD a taxa máxima de acúmulo diário foi 1,07 e 1,15 g ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. Já no CM foi de 0,85 e 1,15 g ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. O ponto de inflexão ocorreu primeiramente sob *Crotalaria spectabilis* e em SD, ocorrendo aos 66 DAE.

Na presente pesquisa os órgãos que apresentaram valores maiores de acúmulo máximo de B foram os grãos independentemente dos manejos de solo submetido para a cultura da soja; o que comprova que a maior exigência de B pelas plantas é no período de enchimento de grãos. A redistribuição do B na maioria das culturas é muito limitada, por ser imóvel no floema. Dessa forma há a necessidade de suprimento contínuo deste nutriente nos momentos de maior exigência (Prado, 2008).

Gomes (2016) estudou a aplicação de boro via foliar na soja e chegou à conclusão que houve influência nos grãos e que o momento mais indicado para a aplicação seria no intervalo entre o fim do estágio vegetativo e início do reprodutivo, levando em consideração os tratamentos e condições de nosso estudo entre 59 a 66 DAE.

**Tabela 23.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de boro e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                   | TMAD | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                      |      |       |
|                               |                | g ha <sup>-1</sup>                  | Dias após emergência (DAE) |                               | g ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                      |      |       |
| Folha                         | SD             | 38*                                 | 39*                        | 64*                           | 25                                   | 0,92 | 0,81  |
|                               | CM             | 36*                                 | 35*                        | 71*                           | 36                                   | 0,60 | 0,80  |
| Caule                         | SD             | 14*                                 | 36*                        | 76*                           | 40                                   | 0,21 | 0,81  |
|                               | CM             | 11*                                 | 39*                        | 84*                           | 45                                   | 0,14 | 0,89  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 17*                                 | 24*                        | 97*                           | 73                                   | 0,14 | 0,88  |
|                               | CM             | 16*                                 | 37*                        | 114*                          | 77                                   | 0,12 | 0,87  |
| Grãos                         | SD             | 89*                                 | 13*                        | 111*                          | 98                                   | 0,55 | 0,99  |
|                               | CM             | 92*                                 | 14*                        | 112*                          | 98                                   | 0,63 | 0,98  |
| Total                         | SD             | 117*                                | 47                         | 113*                          | 66                                   | 1,07 | 0,98  |
|                               | CM             | 100*                                | 43*                        | 114*                          | 71                                   | 0,85 | 0,95  |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                      |      |       |
| Folha                         | SD             | 55*                                 | 29*                        | 80*                           | 51                                   | 0,65 | 0,60  |
|                               | CM             | 49*                                 | 27*                        | 76*                           | 49                                   | 0,60 | 0,88  |
| Caule                         | SD             | 13*                                 | 46*                        | 103*                          | 57                                   | 0,13 | 0,90  |
|                               | CM             | 14*                                 | 47*                        | 99*                           | 52                                   | 0,16 | 0,89  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 25*                                 | 26*                        | 111*                          | 85                                   | 0,17 | 0,93  |
|                               | CM             | 28*                                 | 43*                        | 134*                          | 91                                   | 0,18 | 0,95  |
| Grãos                         | SD             | 90*                                 | 11*                        | 108*                          | 97                                   | 0,56 | 0,99  |
|                               | CM             | 92*                                 | 15*                        | 109*                          | 94                                   | 0,59 | 0,98  |
| Total                         | SD             | 145*                                | 38*                        | 114*                          | 76                                   | 1,15 | 0,95  |
|                               | CM             | 149*                                | 41*                        | 118*                          | 77                                   | 1,17 | 0,98  |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de boro na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de boro.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

Os sistemas de manejo do solo mediante as duas coberturas estudadas mostraram diferenças estatísticas entre si quanto ao acúmulo de cobre (Cu) em todas as estruturas da planta, inclusive quando se levou em consideração a planta inteira (Tabela 24).

Nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* a SD propiciou maior acúmulo nas folhas e caule durante todo o ciclo. Maiores acúmulos nas estruturas reprodutivas foi observado nas plantas em CM. Entretanto, com relação a planta inteira a SD proporcionou maior acúmulo de Cu comparado ao CM até os 66 DAE.

Quanto as plantas sob milho a SD proporcionou maior acúmulo em comparação ao CM somente até os 38 DAE, ao final do ciclo o CM se sobressai em relação a SD (Tabela 24).

**Tabela 24.** Acúmulo de cobre (Cu) na soja cultiva em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

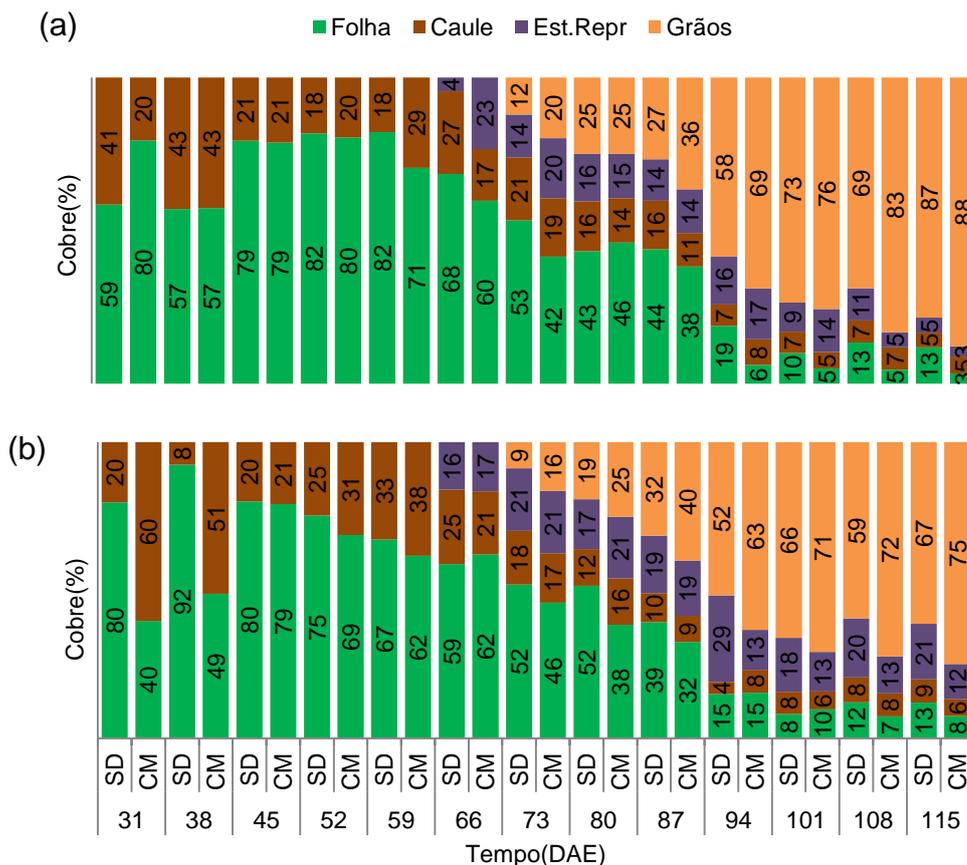
| DAE          | Folha                          |     | Caule |    | Estr. Reprodutivas |    | Grãos |     | Total |     |
|--------------|--------------------------------|-----|-------|----|--------------------|----|-------|-----|-------|-----|
|              | ----- g ha <sup>-1</sup> ----- |     |       |    |                    |    |       |     |       |     |
|              | <i>Crotalaria spectabilis</i>  |     |       |    |                    |    |       |     |       |     |
|              | SD                             | CM  | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM  | SD    | CM  |
| 31           | 3a <sup>1</sup>                | 3a  | 2a    | 1b | -                  | -  | -     | -   | 6a    | 3a  |
| 38           | 3a                             | 2a  | 2a    | 2a | -                  | -  | -     | -   | 6a    | 4a  |
| 45           | 10a                            | 7a  | 3a    | 2a | -                  | -  | -     | -   | 14a   | 9a  |
| 52           | 16a                            | 16a | 4a    | 4a | -                  | -  | -     | -   | 20a   | 20a |
| 59           | 21a                            | 11b | 5a    | 5a | -                  | -  | -     | -   | 26a   | 20a |
| 66           | 24a                            | 14b | 9a    | 4b | 2b                 | 5a | -     | -   | 35a   | 23b |
| 73           | 14a                            | 12a | 5a    | 6a | 4b                 | 6a | 3a    | 6a  | 26a   | 29a |
| 80           | 12a                            | 14a | 4a    | 4a | 4a                 | 4a | 7a    | 7a  | 28a   | 30a |
| 87           | 10a                            | 12a | 4a    | 3a | 3a                 | 4a | 6a    | 11a | 23a   | 31a |
| 94           | 8a                             | 2b  | 3a    | 3a | 6a                 | 6  | 24a   | 24a | 41a   | 35a |
| 101          | 4a                             | 2a  | 3a    | 2a | 3b                 | 6a | 28a   | 31a | 37a   | 40a |
| 108          | 5a                             | 2a  | 3a    | 3a | 4a                 | 2a | 24b   | 40a | 36b   | 48a |
| 115          | 1a                             | 1a  | 2a    | 2a | 2a                 | 1a | 27a   | 40a | 42a   | 40a |
| <i>Milho</i> |                                |     |       |    |                    |    |       |     |       |     |
|              | SD                             | CM  | SD    | CM | SD                 | CM | SD    | CM  | SD    | CM  |
| 31           | 2a                             | 2a  | 1b    | 3a | -                  | -  | -     | -   | 3a    | 6a  |
| 38           | 28a                            | 2b  | 2a    | 2a | -                  | -  | -     | -   | 30a   | 5b  |
| 45           | 11a                            | 14a | 3a    | 4a | -                  | -  | -     | -   | 13a   | 17a |
| 52           | 12a                            | 10a | 4a    | 4a | -                  | -  | -     | -   | 16a   | 14a |
| 59           | 8a                             | 9a  | 4a    | 6a | -                  | -  | -     | -   | 12a   | 15a |
| 66           | 18b                            | 23a | 7a    | 8a | 5a                 | 6a | -     | -   | 30a   | 37  |
| 73           | 13a                            | 12a | 5a    | 4a | 5a                 | 6a | 2a    | 4a  | 25a   | 27a |
| 80           | 15a                            | 12a | 4a    | 5a | 5a                 | 6a | 6a    | 8a  | 30a   | 31a |
| 87           | 11a                            | 12a | 3a    | 3a | 5a                 | 7a | 9a    | 14a | 28a   | 36a |
| 94           | 11a                            | 10a | 3a    | 5a | 22a                | 9b | 38a   | 42a | 74a   | 66a |
| 101          | 4a                             | 4a  | 3a    | 3a | 8a                 | 6b | 31a   | 31a | 47a   | 44a |
| 108          | 4a                             | 3a  | 3a    | 3a | 7a                 | 5b | 22a   | 26a | 38a   | 37a |
| 115          | 1a                             | 3a  | 3a    | 2a | 6a                 | 5a | 21b   | 31a | 31b   | 42a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Até os 87 DAE maior acúmulo de Cu na planta sob *Crotalaria spectabilis* foi em proporção nas folhas, representando neste período em SD 44% e em CM 38 %. Sob o milho a contribuição desses órgãos em maior acúmulo os 87

DAE em SD foi com 39%, no entanto em CM a representatividade deste órgão foi apenas até os 80 DAE com 38%.

A partir dos períodos citados os grãos passam a representar maior acúmulo deste nutriente, contabilizando ao final do ciclo em SD com 87 e 67% e em CM com 88 e 75%, sob *Crotalaria spectabilis* e milheto, respectivamente (Figura 12a,b).



**Figura 12.** Porcentagem do acúmulo de cobre na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milheto(b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O acúmulo máximo de Cu nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 39 g ha<sup>-1</sup> de Cu (114 DAE) e 42 g ha<sup>-1</sup> de Cu (114 DAE), em SD e CM, respectivamente. Sob o milheto foi de 43 g ha<sup>-1</sup> de Cu (98 DAE) e 46 g ha<sup>-1</sup> de Cu (99 DAE), em SD e CM, respectivamente (Tabela 25).

Em SD a taxa máxima de acúmulo diário foi 0,36 e 0,40 g ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milheto, respectivamente. Já no CM foi de 0,35 e 0,41g

ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. O ponto de inflexão se deu mais cedo nas plantas em SD sob ambas as coberturas, ocorrendo aos 65 DAE.

O cobre foi o micronutriente menos acumulado pela soja, no entanto os grãos demonstram ter acumulado uma quantidade expressiva em relação aos outros órgãos. Segundo Oliveira (2017), apesar de a mobilidade deste nutriente nas plantas em geral ser lenta, ele pode ser translocado dos órgãos vegetativos para grãos, o que justifica os resultados obtidos.

**Tabela 25.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de cobre e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                   | TMAD | R <sup>2</sup> |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|----------------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                      |      |                |
|                               |                | g ha <sup>-1</sup>                  | Dias após emergência (DAE) |                               | g ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |                |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                      |      |                |
| Folha                         | SD             | 21*                                 | 18*                        | 65*                           | 47                                   | 0,27 | 0,93           |
|                               | CM             | 15*                                 | 19*                        | 67*                           | 48                                   | 0,19 | 0,90           |
| Caule                         | SD             | 6*                                  | 25*                        | 69*                           | 44                                   | 0,08 | 0,74           |
|                               | CM             | 4*                                  | 28*                        | 75*                           | 47                                   | 0,05 | 0,81           |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 5*                                  | 19*                        | 92*                           | 73                                   | 0,04 | 0,74           |
|                               | CM             | 5*                                  | 27*                        | 79*                           | 52                                   | 0,05 | 0,77           |
| Grãos                         | SD             | 28*                                 | 15*                        | 107*                          | 92                                   | 0,18 | 0,94           |
|                               | CM             | 41*                                 | 18*                        | 114*                          | 96                                   | 0,25 | 0,99           |
| Total                         | SD             | 39*                                 | 49*                        | 114*                          | 65                                   | 0,36 | 0,89           |
|                               | CM             | 42*                                 | 42*                        | 114*                          | 72                                   | 0,35 | 0,97           |
| Milho                         |                |                                     |                            |                               |                                      |      |                |
| Folha                         | SD             | 15*                                 | 33*                        | 58*                           | 25                                   | 0,36 | 0,57           |
|                               | CM             | 16*                                 | 22*                        | 69*                           | 47                                   | 0,20 | 0,82           |
| Caule                         | SD             | 5*                                  | 29*                        | 73*                           | 44                                   | 0,06 | 0,70           |
|                               | CM             | 5*                                  | 34*                        | 70*                           | 36                                   | 0,08 | 0,64           |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 13*                                 | 13*                        | 96*                           | 83                                   | 0,09 | 0,60           |
|                               | CM             | 7*                                  | 28*                        | 87*                           | 59                                   | 0,07 | 0,70           |
| Grãos                         | SD             | 34*                                 | 11*                        | 101*                          | 90                                   | 0,22 | 0,89           |
|                               | CM             | 35*                                 | 15*                        | 103*                          | 88                                   | 0,24 | 0,86           |
| Total                         | SD             | 43*                                 | 33*                        | 98*                           | 65                                   | 0,40 | 0,70           |
|                               | CM             | 46*                                 | 32*                        | 99*                           | 67                                   | 0,41 | 0,88           |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de cobre na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de cobre.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu o máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

Os sistemas de manejo do solo mostraram diferenças estatísticas entre si quanto ao acúmulo de ferro (Fe) nas estruturas reprodutivas, grãos e planta

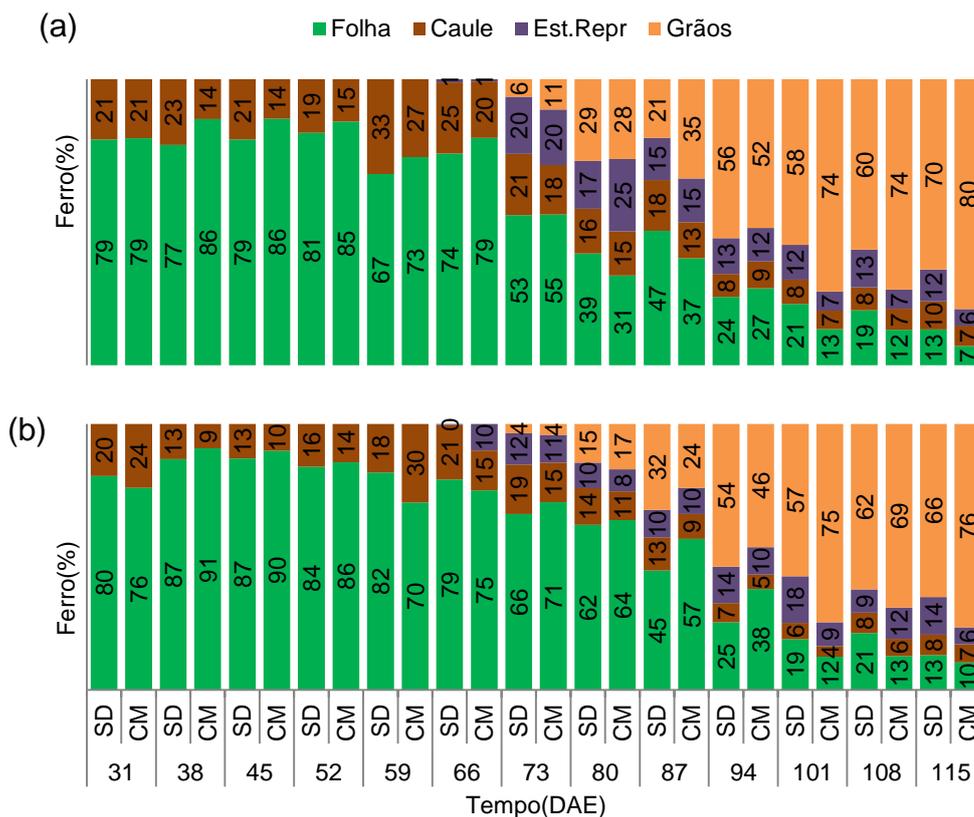
inteira de soja sob *Crotalaria spectabilis*; em que a SD proporcionou maior acúmulo nas repartições citadas em comparação ao CM. Já sob milho a diferença foi observada para o acúmulo nas folhas, estruturas reprodutivas, grãos e planta inteira, sendo até os 66 DAE maiores acúmulos proporcionados pela SD (Tabela 26).

**Tabela 26.** Acúmulo de ferro (Fe) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE                           | Folha                         |      | Caule |     | Estr. Reprodutivas |      | Grãos |      | Total |      |
|-------------------------------|-------------------------------|------|-------|-----|--------------------|------|-------|------|-------|------|
|                               | -----g ha <sup>-1</sup> ----- |      |       |     |                    |      |       |      |       |      |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                               |      |       |     |                    |      |       |      |       |      |
|                               | SD                            | CM   | SD    | CM  | SD                 | CM   | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 101a <sup>1</sup>             | 56a  | 27a   | 15a | -                  | -    | -     | -    | 128a  | 100a |
| 38                            | 121a                          | 103a | 36a   | 17a | -                  | -    | -     | -    | 158a  | 120a |
| 45                            | 133a                          | 113a | 36a   | 18  | -                  | -    | -     | -    | 169a  | 131a |
| 52                            | 182a                          | 133a | 42a   | 23a | -                  | -    | -     | -    | 225a  | 147a |
| 59                            | 89a                           | 78a  | 44a   | 29a | -                  | -    | -     | -    | 133a  | 151a |
| 66                            | 167a                          | 122a | 56a   | 30a | 3a                 | 1a   | -     | -    | 226a  | 153a |
| 73                            | 147a                          | 135a | 60a   | 44a | 56a                | 50a  | 17a   | 27a  | 281a  | 244a |
| 80                            | 141a                          | 76a  | 56a   | 37a | 60a                | 61a  | 103a  | 67a  | 361a  | 241b |
| 87                            | 147a                          | 102a | 55a   | 34a | 46a                | 41 a | 64a   | 95a  | 313a  | 272a |
| 94                            | 145a                          | 103a | 48a   | 36a | 76a                | 45b  | 337a  | 199b | 606a  | 511a |
| 101                           | 119a                          | 77a  | 47a   | 39a | 68a                | 40a  | 322b  | 451a | 556a  | 606a |
| 108                           | 104a                          | 56a  | 43a   | 33a | 72a                | 30b  | 324a  | 335a | 544a  | 455a |
| 115                           | 33a                           | 30a  | 42a   | 32a | 48a                | 26a  | 288b  | 355a | 411a  | 400a |
| Milho                         |                               |      |       |     |                    |      |       |      |       |      |
|                               | SD                            | CM   | SD    | CM  | SD                 | CM   | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 85a                           | 24b  | 21a   | 7a  | -                  | -    | -     | -    | 105a  | 31a  |
| 38                            | 160a                          | 85b  | 24a   | 9a  | -                  | -    | -     | -    | 185a  | 93a  |
| 45                            | 187a                          | 98b  | 28a   | 11a | -                  | -    | -     | -    | 215a  | 109b |
| 52                            | 197a                          | 105b | 38a   | 18a | -                  | -    | -     | -    | 235a  | 123b |
| 59                            | 197a                          | 45b  | 44a   | 19a | -                  | -    | -     | -    | 241a  | 63b  |
| 66                            | 220a                          | 167a | 57a   | 33a | 1b                 | 22a  | -     | -    | 279a  | 222a |
| 73                            | 254a                          | 303a | 71a   | 64a | 45a                | 45a  | 14a   | 18a  | 385a  | 429a |
| 80                            | 272a                          | 334a | 60a   | 57a | 42a                | 43a  | 64a   | 90a  | 438a  | 523a |
| 87                            | 169b                          | 267a | 47a   | 44a | 38a                | 47a  | 122a  | 113a | 377a  | 471a |
| 94                            | 150b                          | 267a | 43a   | 38a | 81a                | 72a  | 317a  | 326a | 591b  | 703a |
| 101                           | 138a                          | 118a | 44a   | 38a | 127a               | 85b  | 414b  | 707a | 723b  | 948a |
| 108                           | 116a                          | 70a  | 42a   | 35a | 48a                | 64a  | 340a  | 378a | 546a  | 548a |
| 115                           | 48a                           | 47a  | 30a   | 31a | 55a                | 29b  | 252b  | 348a | 385a  | 455a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Até os 87 DAE maior acúmulo de Fe na soja em ambas as coberturas se deu em contribuição das folhas, apresentando neste período em SD 47 e 45% e em CM 37 e 57%. A partir deste período os grãos passaram a representar maior acúmulo chegando ao final do ciclo em SD com 70 e 66% e em CM com 80 e 76%, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 13a,b).



**Figura 13.** Porcentagem do acúmulo de ferro na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho(b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O acúmulo máximo de Fe nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 509 g ha<sup>-1</sup> de Fe (113 DAE) e 479 g ha<sup>-1</sup> de Fe (114 DAE), em SD e CM, respectivamente. Sob o milho foi de 538 g ha<sup>-1</sup> de Fe (102 DAE) e 727 g ha<sup>-1</sup> de Fe (99 DAE), em SD e CM, respectivamente (Tabela 27).

Em SD a taxa máxima de acúmulo diário foi 4,34 e 5,02 g ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>, e em CM foi de 3,82 e 5,73 g ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. O ponto de inflexão se deu mais cedo nas plantas sob milho e em SD, ocorrendo aos 65 DAE.

O Fe foi o micronutriente mais exigido pela soja e diante dos resultados expostos o máximo acúmulo aconteceu entre 97 e 114 DAE, período que compreende ao enchimento completo dos grãos e maturação plena. Os valores obtidos no presente estudo encontram-se inferiores aos obtidos por Bender et al. (2015), que estudando o acúmulo de nutrientes na soja cultivada em três lugares distintos obtiveram acúmulo máximo de 814 a 904 g ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>, no período correspondente ao enchimento completo dos grãos.

**Tabela 27.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de ferro e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                   | TMAD | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                      |      |       |
|                               |                | g ha <sup>-1</sup>                  | Dias após emergência (DAE) |                               | g ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                      |      |       |
| Folha                         | SD             | 155*                                | 39*                        | 67*                           | 28                                   | 3,35 | 0,72  |
|                               | CM             | 118*                                | 35*                        | 65*                           | 30                                   | 2,38 | 0,78  |
| Caule                         | SD             | 56*                                 | 41*                        | 80*                           | 39                                   | 0,87 | 0,94  |
|                               | CM             | 39*                                 | 39*                        | 89*                           | 50                                   | 0,47 | 0,93  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 73*                                 | 21*                        | 98*                           | 77                                   | 0,57 | 0,80  |
|                               | CM             | 52*                                 | 18*                        | 89*                           | 71                                   | 0,44 | 0,71  |
| Grãos                         | SD             | 356*                                | 14*                        | 105*                          | 91                                   | 2,37 | 0,92  |
|                               | CM             | 408*                                | 12*                        | 107*                          | 95                                   | 2,60 | 0,94  |
| Total                         | SD             | 509*                                | 42*                        | 113*                          | 71                                   | 4,34 | 0,89  |
|                               | CM             | 479*                                | 38*                        | 114*                          | 76                                   | 3,82 | 0,89  |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                      |      |       |
| Folha                         | SD             | 240*                                | 29*                        | 69*                           | 40                                   | 3,63 | 0,92  |
|                               | CM             | 314*                                | 16*                        | 81*                           | 65                                   | 2,93 | 0,90  |
| Caule                         | SD             | 59*                                 | 30*                        | 78*                           | 48                                   | 0,74 | 0,91  |
|                               | CM             | 51*                                 | 24*                        | 85*                           | 61                                   | 0,50 | 0,89  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 92*                                 | 14*                        | 99*                           | 85                                   | 0,65 | 0,80  |
|                               | CM             | 72*                                 | 18*                        | 96*                           | 78                                   | 0,56 | 0,84  |
| Grãos                         | SD             | 408*                                | 11*                        | 103*                          | 92                                   | 2,69 | 0,98  |
|                               | CM             | 598*                                | 9*                         | 103*                          | 94                                   | 3,85 | 0,92  |
| Total                         | SD             | 538*                                | 37*                        | 102*                          | 65                                   | 5,02 | 0,88  |
|                               | CM             | 728*                                | 20*                        | 97*                           | 77                                   | 5,73 | 0,93  |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de ferro na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de ferro.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

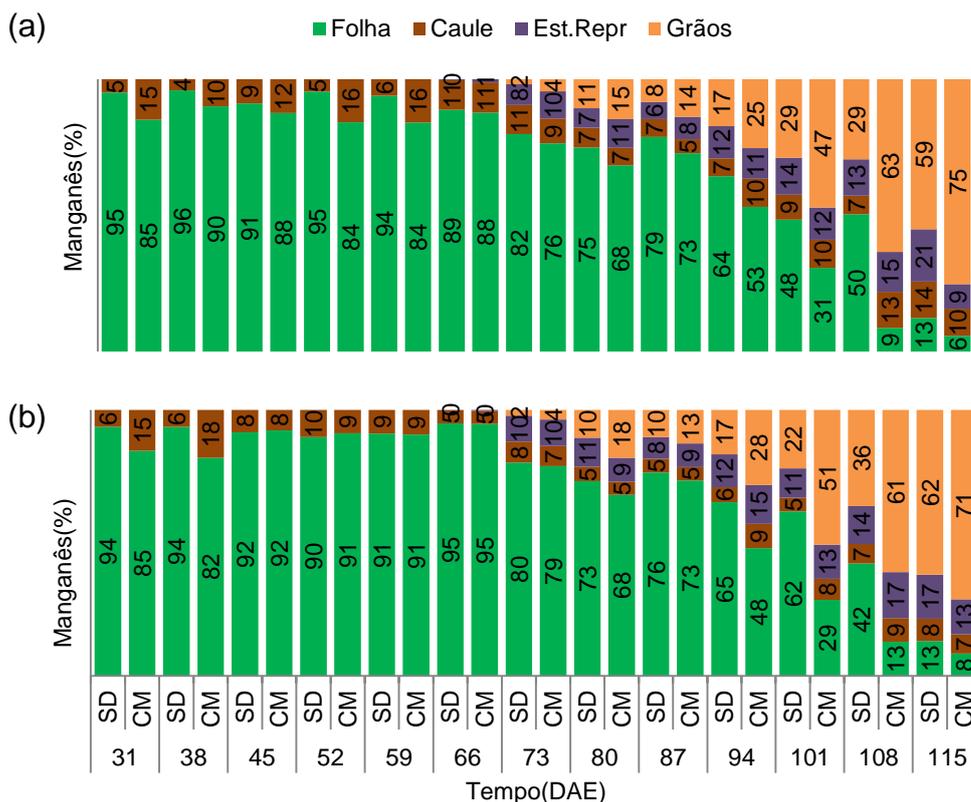
Os sistemas de manejo do solo foram diferentes estatisticamente quanto ao acúmulo de manganês (Mn) para todas as estruturas e na planta inteira sob ambas as plantas de cobertura estudadas. O maior acúmulo foi proporcionado pela SD em comparação ao CM até os 108 DAE, com ressalva para o acúmulo nos grãos que apresentou maior acúmulo quando em CM aos 101 DAE (Tabela 28).

**Tabela 28.** Acúmulo de manganês (Mn) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE                           | Folha                          |      | Caule |     | Estr. Reprodutivas |     | Grãos |      | Total |      |
|-------------------------------|--------------------------------|------|-------|-----|--------------------|-----|-------|------|-------|------|
|                               | ----- g ha <sup>-1</sup> ----- |      |       |     |                    |     |       |      |       |      |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                                |      |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                             | CM   | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 77a <sup>1</sup>               | 19b  | 4a    | 3a  | -                  | -   | -     | -    | 81a   | 23b  |
| 38                            | 95a                            | 39b  | 4a    | 4a  | -                  | -   | -     | -    | 99a   | 43b  |
| 45                            | 95a                            | 41b  | 9a    | 6a  | -                  | -   | -     | -    | 104a  | 47b  |
| 52                            | 258a                           | 49b  | 12a   | 9a  | -                  | -   | -     | -    | 270a  | 58b  |
| 59                            | 312a                           | 56b  | 20a   | 16b | -                  | -   | -     | -    | 333a  | 67b  |
| 66                            | 229a                           | 74b  | 28a   | 9b  | 1a                 | 1a  | -     | -    | 258a  | 84b  |
| 73                            | 198a                           | 166a | 26a   | 20b | 19a                | 22a | 5a    | 10a  | 243a  | 217a |
| 80                            | 230a                           | 155b | 22a   | 15b | 22a                | 24a | 33a   | 33a  | 307a  | 227b |
| 87                            | 259a                           | 221a | 21a   | 16b | 21a                | 25a | 27a   | 42a  | 329a  | 304a |
| 94                            | 206a                           | 114b | 21a   | 22a | 38a                | 24b | 55a   | 54a  | 320a  | 214b |
| 101                           | 97a                            | 55a  | 18a   | 19a | 27a                | 21b | 58b   | 85a  | 200a  | 181a |
| 108                           | 107a                           | 8b   | 15a   | 13a | 28a                | 14b | 63a   | 63a  | 213a  | 99b  |
| 115                           | 6a                             | 8a   | 17a   | 13a | 24a                | 12b | 70a   | 65a  | 117a  | 134a |
| Milheto                       |                                |      |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                             | CM   | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 66a                            | 12a  | 4a    | 2a  | -                  | -   | -     | -    | 70    | 14a  |
| 38                            | 74a                            | 11b  | 5a    | 2a  | -                  | -   | -     | -    | 79a   | 13b  |
| 45                            | 84a                            | 50a  | 8a    | 4b  | -                  | -   | -     | -    | 92a   | 54a  |
| 52                            | 117a                           | 73a  | 13a   | 7b  | -                  | -   | -     | -    | 130a  | 80a  |
| 59                            | 120a                           | 114a | 12a   | 12a | -                  | -   | -     | -    | 131a  | 125a |
| 66                            | 203a                           | 143b | 11a   | 7b  | 0,3a               | 1a  | -     | -    | 214a  | 151b |
| 73                            | 205a                           | 141b | 20a   | 13b | 25a                | 18a | 5a    | 6a   | 255a  | 178b |
| 80                            | 233a                           | 173b | 17a   | 12b | 35a                | 23a | 33a   | 46a  | 318a  | 254b |
| 87                            | 229a                           | 217a | 16a   | 15a | 24a                | 26a | 31a   | 37a  | 300a  | 295a |
| 94                            | 285a                           | 112b | 25a   | 21b | 54a                | 34b | 73a   | 66a  | 437a  | 234b |
| 101                           | 212a                           | 54b  | 18a   | 15a | 38a                | 24a | 76b   | 95a  | 343a  | 189b |
| 108                           | 82a                            | 17b  | 14a   | 12a | 27a                | 23a | 70a   | 80a  | 193a  | 131b |
| 115                           | 17a                            | 12a  | 12a   | 10a | 23a                | 19a | 86b   | 103a | 138a  | 145a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Até os 108 DAE em SD maior acúmulo de Mn na soja sob as duas plantas de cobertura foi em contribuição nas folhas, com 50 e 42% (*Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente). Já em CM as folhas representaram maior parte do nutriente até os 94 DAE com 53 e 48% (*Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente). Em comparação aos demais nutrientes o Mn, foi mais acumulado nos grãos próximo a colheita, chegando a 59 e 62% em SD e 75 e 71% em CM, sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 14a,b).



**Figura 14.** Porcentagem do acúmulo de manganês na parte aérea de soja cultiva em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho(b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O acúmulo máximo de Mn nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* foi de 319 g ha<sup>-1</sup> de Mn (78 DAE) e 255 g ha<sup>-1</sup> de Mn (87DAE), em SD e CM, respectivamente. Sob o milho foi de 349 g ha<sup>-1</sup> de Mn (88DAE) e 255 g ha<sup>-1</sup> de Mn (87 DAE), em SD e CM, respectivamente (Tabela 29).

Em SD a taxa máxima de acúmulo diário foi 3,94 e 3,25 g Mn ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>. Já no CM foi de 2,24 e 2,37g Mn ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. O ponto de inflexão se deu em menor tempo nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* e em SD, ocorrendo aos 49 DAE.

Maior acúmulo de Mn representado pelas folhas próximo ao final do ciclo deve-se a sua baixa mobilidade no floema e a sua atuação como ativador e componente enzimático na fotossíntese. O Mn acumulado nas folhas não é mobilizado, a maior parte da redistribuição para os grãos procede do acúmulo contido em raízes e caule (Prado, 2008)

O menor acúmulo de Mn nas partes reprodutivas em comparação as vegetativas (principalmente folhas), indica que o nutriente apresenta

redistribuição limitada. E sua presença especialmente nas folhas é coerente com sua participação na fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004).

**Tabela 29.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de manganês e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                   | TMAD | $R^2$ |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|-------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                      |      |       |
|                               |                | g ha <sup>-1</sup>                  | Dias após emergência (DAE) |                               | g ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |       |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                      |      |       |
| Folha                         | SD             | 267*                                | 24*                        | 70*                           | 46                                   | 3,52 | 0,86  |
|                               | CM             | 190*                                | 13*                        | 81*                           | 68                                   | 1,69 | 0,91  |
| Caule                         | SD             | 25*                                 | 27*                        | 80*                           | 53                                   | 0,28 | 0,91  |
|                               | CM             | 18*                                 | 30*                        | 91*                           | 61                                   | 0,17 | 0,91  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 32*                                 | 19*                        | 99*                           | 80                                   | 0,24 | 0,87  |
|                               | CM             | 26*                                 | 17*                        | 90*                           | 73                                   | 0,21 | 0,86  |
| Grãos                         | SD             | 68*                                 | 21*                        | 112*                          | 91                                   | 0,45 | 0,95  |
|                               | CM             | 74*                                 | 17*                        | 105*                          | 88                                   | 0,51 | 0,94  |
| Total                         | SD             | 319*                                | 29*                        | 78*                           | 49                                   | 3,94 | 0,87  |
|                               | CM             | 255*                                | 18*                        | 87*                           | 69                                   | 2,24 | 0,92  |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                      |      |       |
| Folha                         | SD             | 248*                                | 23*                        | 81*                           | 58                                   | 2,59 | 0,87  |
|                               | CM             | 183*                                | 17*                        | 77*                           | 60                                   | 1,85 | 0,94  |
| Caule                         | SD             | 19*                                 | 31*                        | 87*                           | 56                                   | 0,20 | 0,87  |
|                               | CM             | 16*                                 | 28*                        | 91*                           | 63                                   | 0,15 | 0,91  |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 43*                                 | 16*                        | 95*                           | 79                                   | 0,33 | 0,82  |
|                               | CM             | 31*                                 | 17*                        | 95*                           | 78                                   | 0,24 | 0,90  |
| Grãos                         | SD             | 83*                                 | 19*                        | 110*                          | 91                                   | 0,55 | 0,94  |
|                               | CM             | 98*                                 | 22*                        | 113*                          | 91                                   | 0,65 | 0,93  |
| Total                         | SD             | 349*                                | 23*                        | 88*                           | 65                                   | 3,25 | 0,91  |
|                               | CM             | 255*                                | 22*                        | 87*                           | 65                                   | 2,37 | 0,96  |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de manganês na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de manganês.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

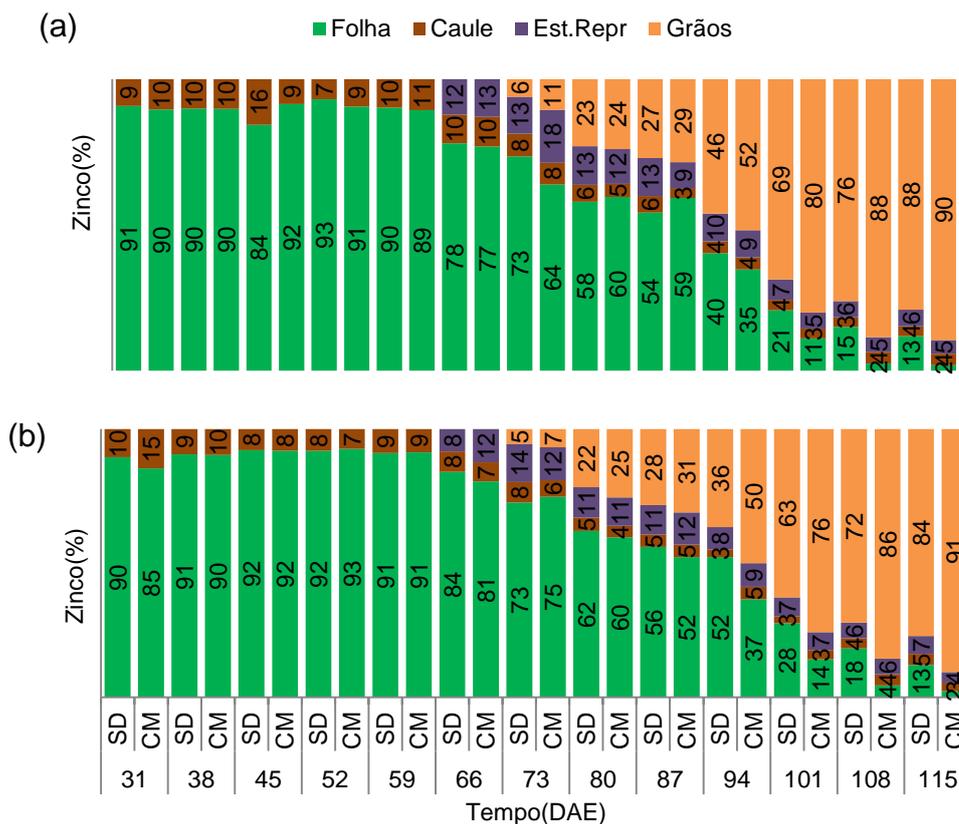
Os sistemas de manejo do solo apresentaram diferenças estatísticas entre si quanto ao acúmulo de zinco (Zn) em todas as repartições e na planta inteira de soja sob *Crotalaria spectabilis*, em que até os 66 DAE a SD proporcionou maior acúmulo. Já sob milheto a diferença foi obtida apenas no acúmulo pelas folhas, caule e grãos (Tabela 30).

**Tabela 30.** Acúmulo de zinco (Zn) na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

| DAE                           | Folha                         |      | Caule |     | Estr. Reprodutivas |     | Grãos |      | Total |      |
|-------------------------------|-------------------------------|------|-------|-----|--------------------|-----|-------|------|-------|------|
|                               | -----g ha <sup>-1</sup> ----- |      |       |     |                    |     |       |      |       |      |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                               |      |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                            | CM   | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 42a <sup>1</sup>              | 39a  | 4a    | 4a  | -                  | -   | -     | -    | 46a   | 43a  |
| 38                            | 60a                           | 46a  | 7a    | 5a  | -                  | -   | -     | -    | 67a   | 52a  |
| 45                            | 43a                           | 58a  | 8a    | 5a  | -                  | -   | -     | -    | 51a   | 64a  |
| 52                            | 112a                          | 81b  | 8a    | 8a  | -                  | -   | -     | -    | 120a  | 90b  |
| 59                            | 131a                          | 93b  | 14a   | 11a | -                  | -   | -     | -    | 145a  | 105b |
| 66                            | 170a                          | 90b  | 21a   | 12b | 26a                | 15b | -     | -    | 218a  | 117b |
| 73                            | 108a                          | 98a  | 11a   | 12a | 19b                | 28a | 9a    | 16a  | 147a  | 154a |
| 80                            | 101a                          | 115a | 10a   | 9a  | 23a                | 23a | 40a   | 46a  | 174a  | 192a |
| 87                            | 79b                           | 134a | 8a    | 8a  | 19a                | 20a | 39b   | 64a  | 146b  | 226a |
| 94                            | 74a                           | 54a  | 7a    | 6a  | 18a                | 15a | 85a   | 81a  | 184a  | 156b |
| 101                           | 34a                           | 22a  | 6a    | 7a  | 11a                | 11a | 112b  | 162a | 162b  | 202a |
| 108                           | 24a                           | 4a   | 5a    | 6a  | 9a                 | 8a  | 121a  | 136a | 159a  | 154a |
| 115                           | 3a                            | 3a   | 5a    | 6a  | 8a                 | 8a  | 119b  | 148a | 135b  | 165a |
| <i>Milho</i>                  |                               |      |       |     |                    |     |       |      |       |      |
|                               | SD                            | CM   | SD    | CM  | SD                 | CM  | SD    | CM   | SD    | CM   |
| 31                            | 50a                           | 19a  | 6a    | 3a  | -                  | -   | -     | -    | 56a   | 22a  |
| 38                            | 68a                           | 35a  | 7a    | 4b  | -                  | -   | -     | -    | 74a   | 39a  |
| 45                            | 85a                           | 76a  | 7a    | 7a  | -                  | -   | -     | -    | 92a   | 83a  |
| 52                            | 102a                          | 80a  | 9a    | 6a  | -                  | -   | -     | -    | 111a  | 87a  |
| 59                            | 145a                          | 133a | 14a   | 13a | -                  | -   | -     | -    | 159a  | 145a |
| 66                            | 183a                          | 147a | 17a   | 13b | 18a                | 23a | -     | -    | 218a  | 183a |
| 73                            | 126a                          | 128a | 13a   | 11a | 25a                | 21a | 9a    | 2a   | 173a  | 171a |
| 80                            | 133a                          | 130a | 11a   | 9a  | 24a                | 23a | 46a   | 56a  | 214a  | 219a |
| 87                            | 103a                          | 99a  | 8a    | 9a  | 20a                | 23a | 52a   | 59a  | 182a  | 190a |
| 94                            | 143a                          | 82b  | 8b    | 10a | 23a                | 20a | 100a  | 112a | 273a  | 225a |
| 101                           | 69a                           | 29b  | 6a    | 7a  | 18a                | 14a | 158a  | 157a | 251a  | 207a |
| 108                           | 35a                           | 8a   | 7a    | 7a  | 11a                | 10a | 139a  | 151a | 193a  | 177a |
| 115                           | 5a                            | 4a   | 6a    | 5a  | 10a                | 7a  | 121b  | 154a | 143a  | 170a |

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Até os 87 DAE sob *Crotalaria spectabilis* a maior contribuição de acúmulo foi nas folhas, representando neste período em SD 54% e em CM 59%. Sob o milho a contribuição desses órgãos se estende até os 94 DAE no sistema de SD com 52%, e quanto em CM a maior representatividade por parte das folhas se deu até os 87 DAE com 52%. A partir dos 94 DAE os grãos representaram maior parte do nutriente acumulado, chegando à última coleta em SD com 88 e 84% e em CM com 90 e 91% sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente (Figura 15a,b).



**Figura 15.** Porcentagem do acúmulo de zinco na parte aérea de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* (a) e milho (b), em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo, em função dos dias após emergência (DAE).

O acúmulo máximo de Zn nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* em SD foi de 183 g ha<sup>-1</sup> (86 DAE) e em CM de 193 g ha<sup>-1</sup> (93 DAE). Sob o milho foi de 230 g ha<sup>-1</sup> (89 DAE) em SD e 218 g ha<sup>-1</sup> (90 DAE) em CM (Tabela 31).

Em SD a taxa máxima de acúmulo diário foi 2,13 e 2,69 g Zn ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. Já no CM foi de 1,95 e 2,20 g Zn ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> sob *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente. O ponto de inflexão se deu antecipadamente nas plantas sob *Crotalaria spectabilis* e em SD, ocorrendo aos 52 DAE.

No presente estudo o acúmulo de Zn apresentou valores próximos entre folhas e grãos o que se torna justificável por ser um nutriente considerado de redistribuição limitada e pouco móvel no floema, (Malavolta; Kliemann, 1985).

Segundo Almeida et al. (2014) o Zn é ativador de várias enzimas como desidrogenase e proteinases e exerce papel importante na formação de auxinas essenciais para o crescimento da planta e formação dos grãos. Sendo

assim possivelmente a grande representatividade das folhas mesmo no período de enchimento de grãos deve-se a esse papel exercido pelo Zn.

O acúmulo mínimo de Zn deu-se para as plantas de soja cultivada em sucessão a milho no sistema de cultivo mínimo do solo que foi 183 g Zn ha<sup>-1</sup>. Mesmo sendo o menor acúmulo obtido, este ainda se encontra superior ao descrito por Malavolta et al. (1997), que foi de 145 g Zn ha<sup>-1</sup> para exportação de de 60 g t<sup>-1</sup> de grãos.

**Tabela 31.** Estimativa dos parâmetros do modelo ajustado para o acúmulo de zinco e respectivo ponto de inflexão (PI), taxa média de acúmulo diário (TMAD) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

| Estrutura                     | Manejo do solo | Parâmetros do modelo <sup>(1)</sup> |                            |                               | PI                                   | TMAD | R <sup>2</sup> |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------|----------------|
|                               |                | a <sup>(2)</sup>                    | b <sup>(3)</sup>           | X <sub>0</sub> <sup>(4)</sup> |                                      |      |                |
|                               |                | g ha <sup>-1</sup>                  | Dias após emergência (DAE) |                               | g ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> |      |                |
| <i>Crotalaria spectabilis</i> |                |                                     |                            |                               |                                      |      |                |
| Folha                         | SD             | 138*                                | 20*                        | 67*                           | 47                                   | 1,78 | 0,93           |
|                               | CM             | 113*                                | 22*                        | 70*                           | 52                                   | 1,55 | 0,88           |
| Caule                         | SD             | 14*                                 | 24*                        | 68*                           | 44                                   | 0,19 | 0,80           |
|                               | CM             | 10*                                 | 32*                        | 72*                           | 40                                   | 0,15 | 0,83           |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 25*                                 | 37*                        | 58*                           | 21                                   | 0,72 | 0,93           |
|                               | CM             | 23*                                 | 20*                        | 78*                           | 58                                   | 0,24 | 0,90           |
| Grãos                         | SD             | 124*                                | 17*                        | 110*                          | 93                                   | 0,80 | 0,98           |
|                               | CM             | 152*                                | 17*                        | 110*                          | 93                                   | 0,99 | 0,95           |
| Total                         | SD             | 183*                                | 34*                        | 86*                           | 52                                   | 2,13 | 0,86           |
|                               | CM             | 193*                                | 33*                        | 93*                           | 60                                   | 1,95 | 0,94           |
| Milheto                       |                |                                     |                            |                               |                                      |      |                |
| Folha                         | SD             | 154*                                | 24*                        | 70*                           | 46                                   | 2,03 | 0,90           |
|                               | CM             | 146*                                | 19*                        | 70*                           | 51                                   | 1,73 | 0,97           |
| Caule                         | SD             | 13*                                 | 30*                        | 70*                           | 40                                   | 0,19 | 0,80           |
|                               | CM             | 11*                                 | 30*                        | 76*                           | 46                                   | 0,14 | 0,86           |
| Estruturas Reprodutivas       | SD             | 24*                                 | 24*                        | 81*                           | 57                                   | 0,25 | 0,93           |
|                               | CM             | 24*                                 | 24*                        | 78*                           | 54                                   | 0,27 | 0,98           |
| Grãos                         | SD             | 150*                                | 14*                        | 105*                          | 91                                   | 1,00 | 0,97           |
|                               | CM             | 161*                                | 17*                        | 109*                          | 92                                   | 1,06 | 0,98           |
| Total                         | SD             | 230*                                | 33*                        | 89*                           | 56                                   | 2,69 | 0,91           |
|                               | CM             | 218*                                | 30*                        | 90*                           | 60                                   | 2,20 | 0,97           |

<sup>(1)</sup> Média de acúmulo de zinco na soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

<sup>(2)</sup> Acúmulo máximo de zinco.

<sup>(3)</sup> Amplitude no valor de x em DAE entre o ponto de inflexão e o ponto máximo.

<sup>(4)</sup> Dias após a emergência (DAE) que forneceu a máximo acúmulo.

\* e ns: significativo a 5% e não significativo pelo teste t, respectivamente.

O acúmulo dos micronutrientes na soja sob as duas coberturas e manejos estudados seguiu a ordem decrescente: Fe>Mn>Zn>B>Cu.

### 3.5 Extração e exportação dos nutrientes

Das quantidades de nutrientes extraídas, parte retorna ao solo via decomposição de resíduos culturais, e parte é removida pelos grãos. Dessa forma é importante que se quantifique os nutrientes acumulados na parte colhida da planta para avaliar a remoção dos nutrientes da área de cultivo. As quantidades exportadas pelos grãos de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho, com o manejo do solo em semeadura direta e cultivo mínimo estão apresentadas na Tabela 11.

**Tabela 32** - Extração e exportação de nutrientes pela cultura da soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo

|                                 | N                                       | P   | K    | Ca   | Mg  | S   | B                                   | Cu   | Fe    | Mn   | Zn   |
|---------------------------------|---|-----|------|------|-----|-----|-------------------------------------|------|-------|------|------|
|                                 | ----- kg t <sup>-1</sup> de grãos ----- |     |      |      |     |     | ----- g t <sup>-1</sup> grãos ----- |      |       |      |      |
| <i>Crotalaria spectabilis</i>   |   |     |      |      |     |     |                                     |      |       |      |      |
| -----Semeadura direta (SD)----- |   |     |      |      |     |     |                                     |      |       |      |      |
| Extração                        | 56,0                                    | 5,7 | 39,1 | 11,1 | 4,5 | 2,8 | 35,2                                | 11,7 | 153,4 | 96,1 | 55,1 |
| Exportação                      | 52,7                                    | 4,8 | 21,1 | 1,8  | 3,0 | 2,6 | 26,8                                | 8,4  | 107,3 | 20,5 | 37,3 |
| %                               | 94                                      | 84  | 54   | 16   | 67  | 93  | 76                                  | 72   | 70    | 21   | 68   |
| -----Cultivo mínimo (CM)-----   |   |     |      |      |     |     |                                     |      |       |      |      |
| Extração                        | 55,1                                    | 5,4 | 36,2 | 9,0  | 3,3 | 3,5 | 23,8                                | 10,0 | 114,2 | 60,8 | 46,0 |
| Exportação                      | 52,4                                    | 4,7 | 22,6 | 1,6  | 1,6 | 3,1 | 21,9                                | 9,7  | 97,3  | 17,6 | 36,2 |
| %                               | 95                                      | 87  | 62   | 18   | 50  | 87  | 92                                  | 98   | 75    | 29   | 79   |
| Milho                           |   |     |      |      |     |     |                                     |      |       |      |      |
| -----Semeadura direta (SD)----- |   |     |      |      |     |     |                                     |      |       |      |      |
| Extração                        | 58,1                                    | 5,7 | 48,6 | 9,5  | 4,3 | 6,7 | 39,                                 | 11,6 | 146,1 | 94,8 | 59,7 |
| Exportação                      | 54,3                                    | 4,6 | 25,5 | 2,1  | 2,1 | 5,1 | 24,4                                | 9,2  | 110,8 | 22,5 | 40,7 |
| %                               | 93                                      | 81  | 52   | 23   | 50  | 76  | 62                                  | 79   | 76    | 24   | 68   |
| -----Cultivo mínimo (CM)-----   |   |     |      |      |     |     |                                     |      |       |      |      |
| Extração                        | 54,                                     | 5,3 | 42,9 | 9,2  | 3,6 | 4,1 | 34,4                                | 10,6 | 168,1 | 58,8 | 50,8 |
| Exportação                      | 51,9                                    | 4,8 | 21,4 | 2,0  | 1,8 | 3,9 | 21,2                                | 8,0  | 138,1 | 22,6 | 37,1 |
| %                               | 95                                      | 91  | 50   | 22   | 50  | 94  | 62                                  | 76   | 82    | 38   | 73   |

Nas condições do presente estudo e mediante as plantas utilizadas como cobertura e manejo do solo, o nutriente mais exportado pela cultura da soja foi o N, com 93 a 95%. Nas plantas cultivadas sob *Crotalaria spectabilis* a

soja exportou em média 52 kg ha<sup>-1</sup> de N por tonelada de grãos e quando cultivada em sucessão ao milho a exportação foi de 54 e 51 kg ha<sup>-1</sup> de N por tonelada de grãos, em SD e CM, respectivamente.

Os resultados apresentados corroboram com os obtidos por Borges et al. (2015) que foi de 51 kg ha<sup>-1</sup> de N por tonelada de grãos. Segundo o autor tais resultados comprovam a literatura que relata ser o N o nutriente mais requerido e exportado em maior quantidade pela cultura da soja.

Os nutrientes menos exportados foram o Ca e o Mn, que segundo Prado (2008), o Ca é mais acumulado em órgão como folhas velhas e caule, enquanto que nos grãos sua acumulação torna-se menor. Em relação ao Mn, este também apresenta maior acúmulo na folha. Assim estas informações comprovam a baixa exportação desses nutrientes no presente estudo, dessa forma parte do Ca e Mn são deixados no solo pelos resíduos culturais (folhas e caule).

#### 4. CONCLUSÕES

O sistema de semeadura direta com resíduos de *Crotalaria spectabilis*, proporcionou maior altura de plantas de soja em sucessão.

O sistema de cultivo mínimo propiciou maior acúmulo de massa seca nas plantas de soja comparado ao sistema de semeadura direta.

O acúmulo máximo de MS nas plantas de soja ocorreu entre 102 e 107 dias após a emergência.

O sistema de semeadura direta permitiu maior acúmulo de macronutrientes na soja em sucessão ao milho e *Crotalaria spectabilis* até 66 DAE.

A soja cultivada em SD apresentou a seguinte ordem decrescente de acúmulo: N >K >Ca >P> Mg >S e N >K >Ca >S> P >Mg, quando em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho, respectivamente.

Em CM a ordem decrescente de acúmulo de macronutrientes da soja em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e milho foi N> K> Ca> P> S> Mg.

Para os micronutrientes a ordem decrescente de acúmulo da soja em ambos os manejos e planta de cobertura foi: Fe> Mn> Zn >B> Cu.

Independente da planta de cobertura e do manejo de solo adotado o macronutriente mais exportado pela soja foi o N, e o menos exportado foi o Ca.

O Cu e o Fe foram os micronutrientes mais exportados pela soja sob *Crotalaria spectabilis* e milho respectivamente, enquanto que o Mn foi o menos exportado em ambas as coberturas.

## REFERÊNCIAS

- Almeida EIB, Nóbrega GN, Corrêa MC, Pinheiro EAR, Araújo NA. Crescimento e marcha de absorção de micronutrientes para acultivar de melancia Crimson Sweet. *Revista Agro@ambiente On-line*, 8:74-80, 2014.
- Andrade Junior AS, Bastos EA, Barros AH, Figueiredo Júnior LG, Oliveira C, Gomes A A, Peixoto LO. *Atlas Climatológico do Estado do Piauí*. Teresina, Embrapa Meio-Norte. p.151, 2004.
- Araújo WAD. Acúmulo de matéria seca e marcha de absorção de nutrientes em soja de crescimento determinado e indeterminado. Universidade Federal da Grande Dourados, CIDADE, Brasil. 2018. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal).
- Balboa GR, Sadras VO, Ciampitti, IA. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: A historical synthesis-analysis. *Crop Science*, 58:43-54, 2018.
- Bender RR, Haegerle JW, Below FE. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. *Agronomy Journal*, 107(2): 563-573, 2015.
- Borges WLB, Freitas RS, Mateus GP, Sá ME, Alves MC. Produção de soja e milho cultivados sobre diferentes coberturas. *Revista Ciência Agronômica*, 46:89-98, 2015.
- Bogunovic I, Pereira P, Kisic I, Sajko K, Sraka M. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). *Catena*, 160:376-384, 2018.
- Caires EF, Sharr DA, Joris HAW, Haliski A, Bini AR. Phosphate fertilization strategies for soybean production after conversion of a degraded pastureland to a no-till cropping system. *Geoderma*, 308:120-129, 2017.
- Chavarría DN, Verdenelli RA, Serri DL, Restovich SB, Andriulo AE, Meriles JM, Vargas-Gil S. Effect of cover crops on microbial community structure and

related enzyme activities and macronutrient availability. *European journal of soil biology*, 76:74-8, 2016.

Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Quarto levantamento, janeiro 2019– safra 20182/2019. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em:< <https://www.conab.gov.br/OlalaCMS>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

Duval ME, Galantini JA, Capurro JE, Martinez JM. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. *Soil and Tillage Research*, 161:95-105, 2016.

Sousa DC. *Acúmulo de massa seca, nutrientes e decomposição de plantas de cobertura*. Universidade Federal do Piauí, Piauí, 2017, p.12-30. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

Ferreira DF. Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*. 38:109-112, 2014.

Fernández-Tirado F, Parra-López C, Calatrava-Requena J. A methodological proposal for Life Cycle Inventory of fertilization in energy crops: The case of Argentinean soybean and Spanish rapeseed. *Biomass and bioenergy*, 58:104-116, 2013.

Franco AAN. *Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo*. Universidade Estadual de Montes Claros. 2011.78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal)

Houx III, JH, Wiebold WJ, Fritschi, FB. Rotation and tillage affect soybean grain composition, yield, and nutrient removal. *Field Crops Research*, 164:12-21, 2014.

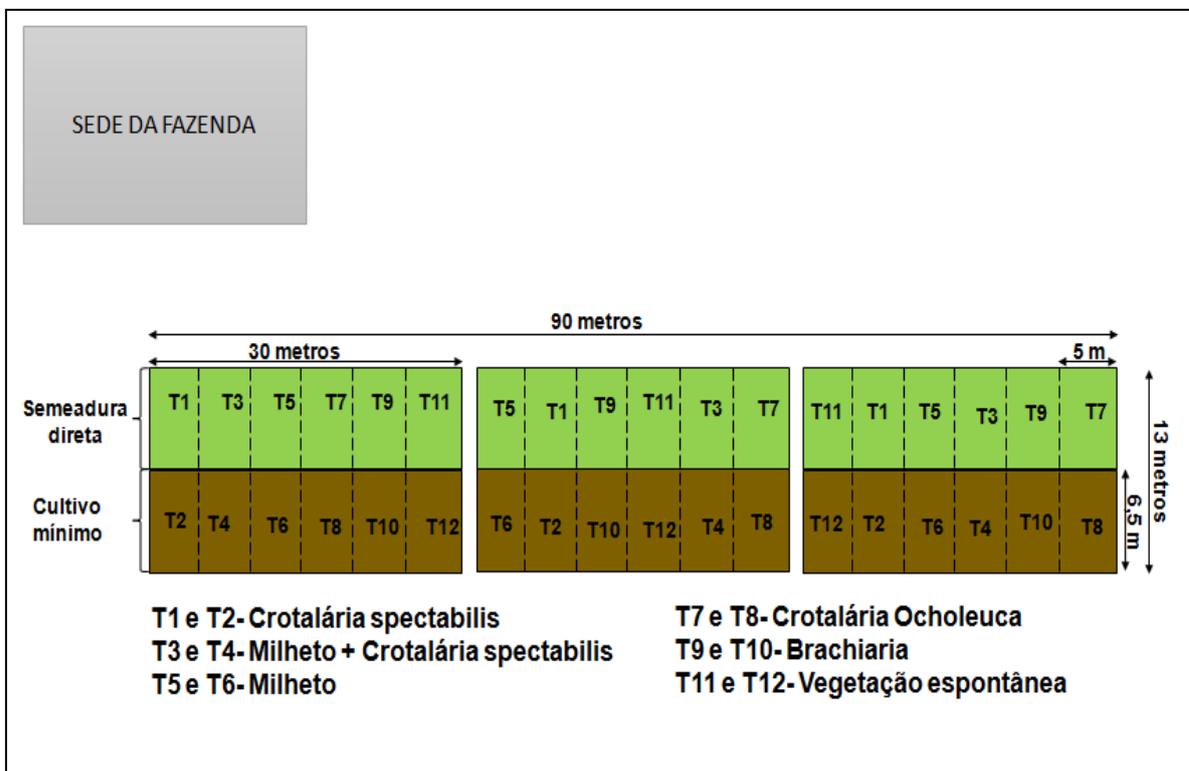
Mbuthia L W, Acosta-Martínez V, DeBruyn J, Schaeffer S, Tyler D, Odoi E, Eash N, Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 89:24-34, 2015.

- Milanesi JH. Adubação da cultura da soja baseada nos teores mínimos de fósforo e potássio no solo. 2018. 73p. Dissertação (Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafos; 1997. 319p.
- Malavolta E, Kliemann HJ. *Desordens nutricionais no cerrado*. Piracicaba-SP: Potafós, 1985. 136 p.
- Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. *Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa, 2009. p191-234
- Oliveira FC, Benett CGS, Benett KSS, Silva LM, Vieira CB. Diferentes doses e épocas de aplicação de zinco na cultura da soja. *Journal Of Neotropical Agriculture*, 4:28-35, 2017.
- Ometto JC. *Bioclimatologia vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.
- Prado, R. de M. *Nutrição de Plantas*. 1. ed. São Paulo, UNESP/FUNESP, 2008. 408 p.
- Pereira RG, Albuquerque AW, Souza OR, Silva AD, Santos JPA, Barros SE, Medeiros PVQ. Sistemas de manejo do solo: soja *Glycine max* (L.) consorciada com *Brachiaria decumbens* (STAPF). *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, 41:44-51, 2011.
- Pittelkow FK, Scaramuzza JF, Weber SOL, Maraschin L, Valadão AFC, Oliveira SE. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Agrarian*, 5:212-222, 2012.
- Pragana RB. *Caracterização pedológica e diagnóstico da qualidade de Solos sob plantio direto na Serra do Quilombo, sudoeste Piauiense*. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil, 2011, 159p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) –Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

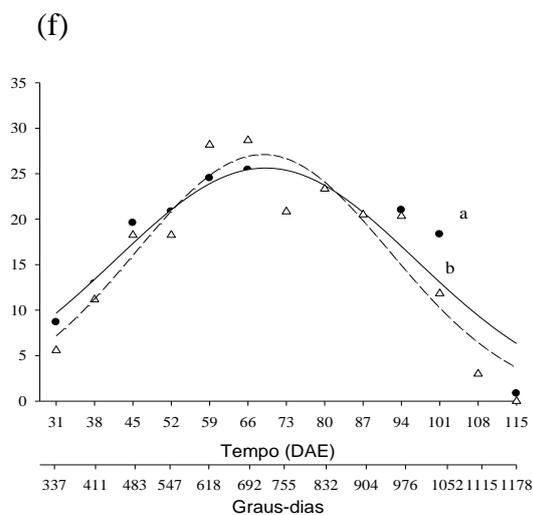
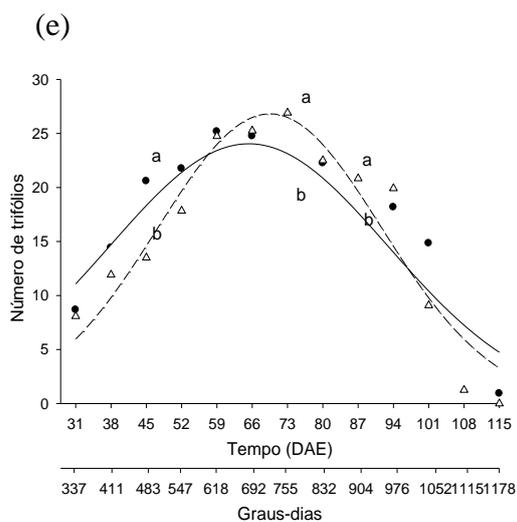
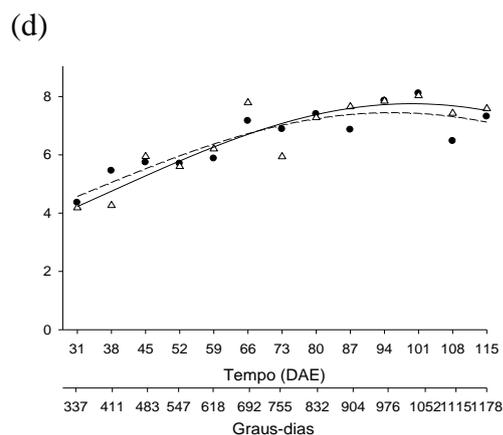
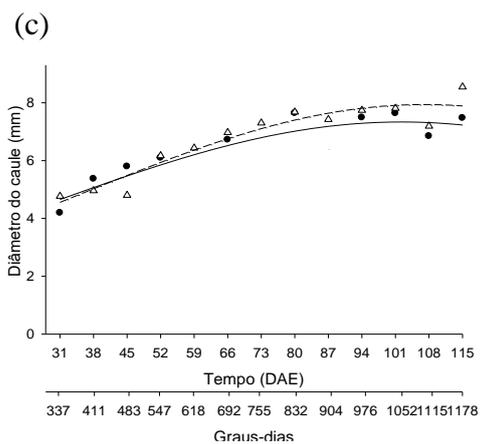
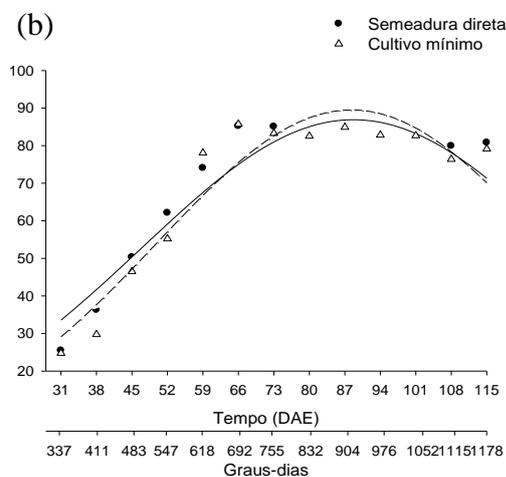
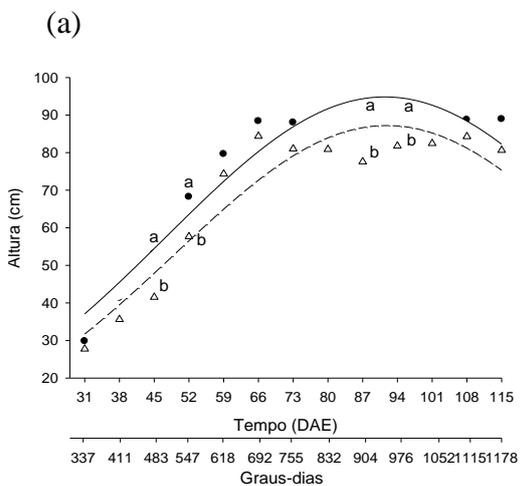
- Romaniuk R, Beltrán M, Brutti L, Costantini A, Bacigaluppo S, Sainz-Rozas H, Salvagiotti F. Soil organic carbon, macro-and micronutrient changes in soil fractions with different lability in response to crop intensification. *Soil and Tillage Research*, 181:136-143, 2018.
- Silva DMND, Oliveira FLD, Teodoro RB, Fávero C, Quaresma MAL. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciência do solo*.35: 635-643, 2011.
- Souza MAS, Faquin V, Silva DRG, Oliveira GC, Bastos CEA. Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-marandu, correção e compactação do solo. *Revista Ciência Agronômica*, 43:611-622, 2012.
- Taiz L, Zeiger E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2013. 952p.
- Zobiole LHS, Oliveira Junior RS, Constantin J, Oliveira Junior A, Castro C, Oliveira FA, Romagnoli LM. Acúmulo de nutrientes em soja convencional e soja RR em diferentes tipos de controle de planta daninha. *Embrapa Soja- Artigo em periódico indexado (ALICE)*. 30:75-85,2012.

## APÊNDICES

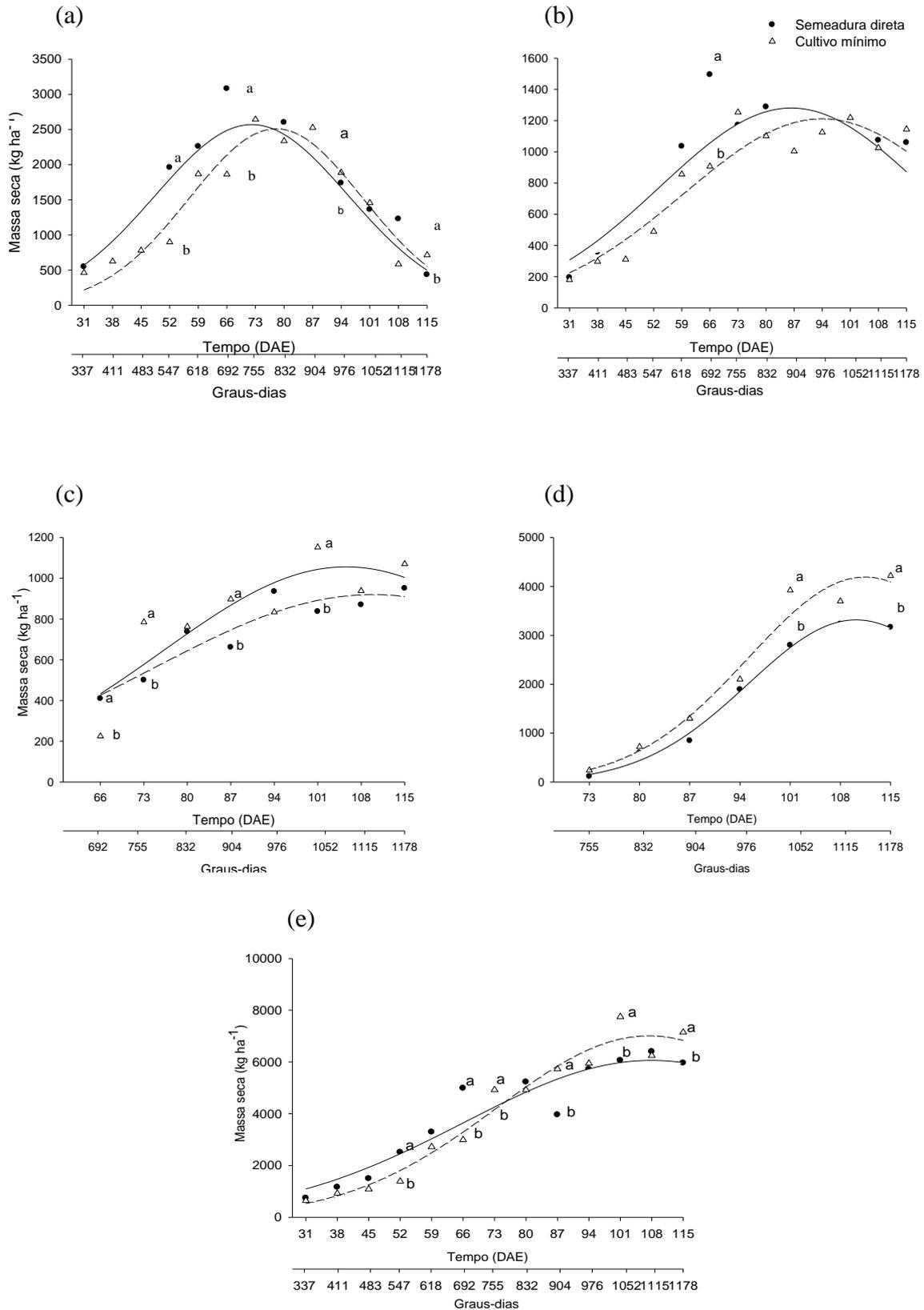
### Apêndice 1 – Croqui da área experimental.



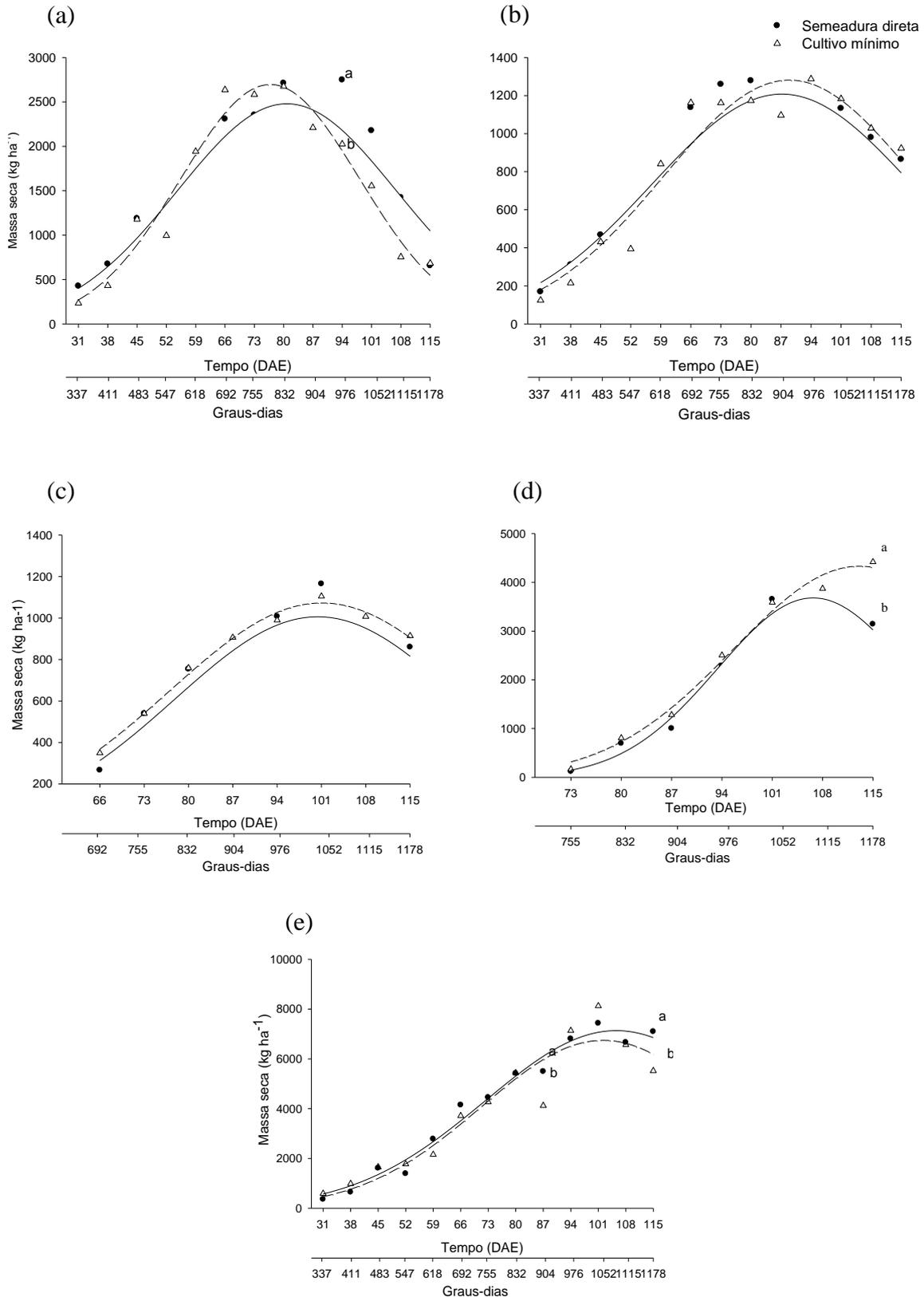
**Apêndice 2** – Altura de planta (a), diâmetro do caule (c), número de trifólios (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis* e altura de planta (b), diâmetro do caule (d) e número de trifólios (f) de soja cultivada em sucessão a milho em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



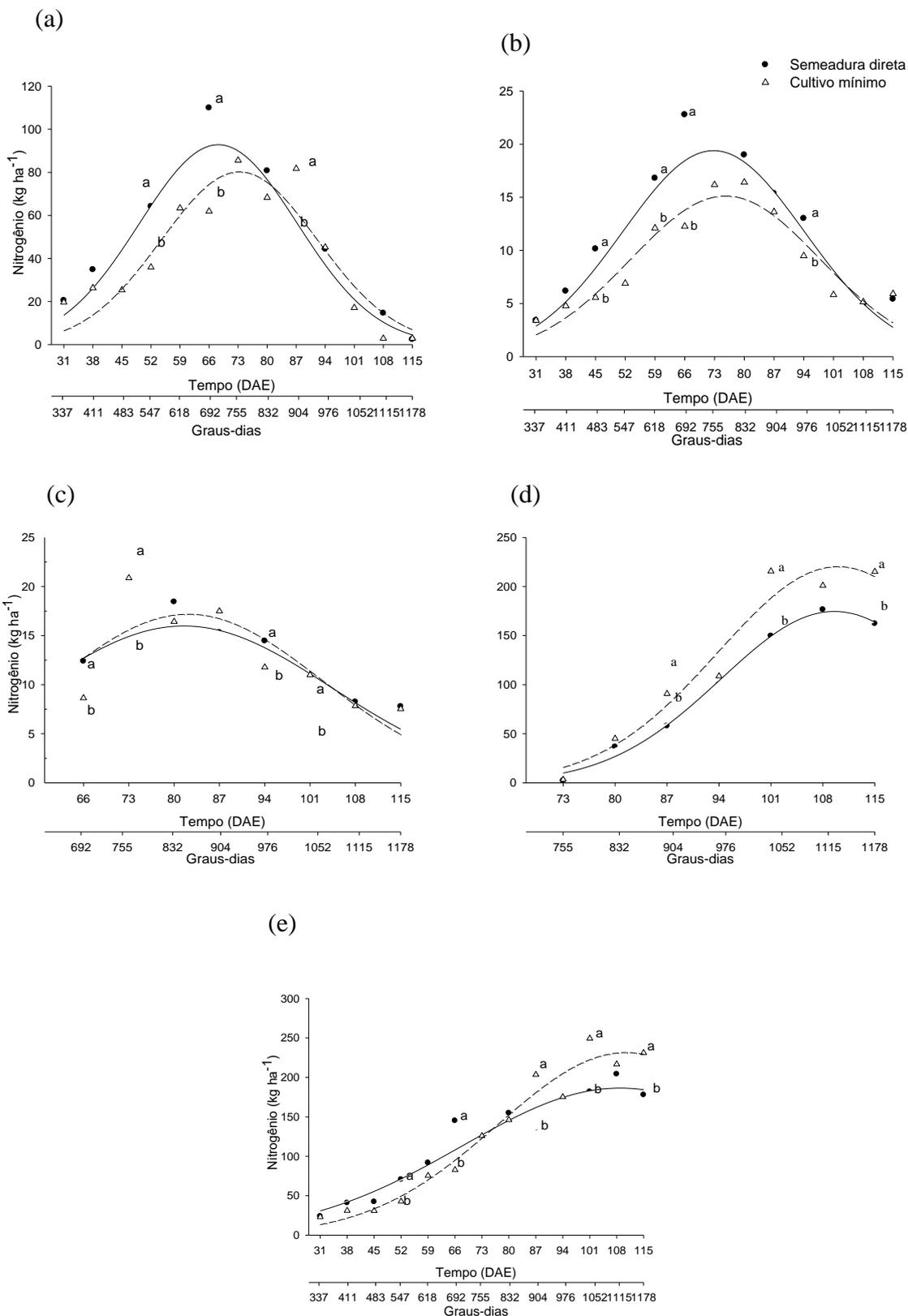
**Apêndice 3** – Acúmulo de massa seca da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



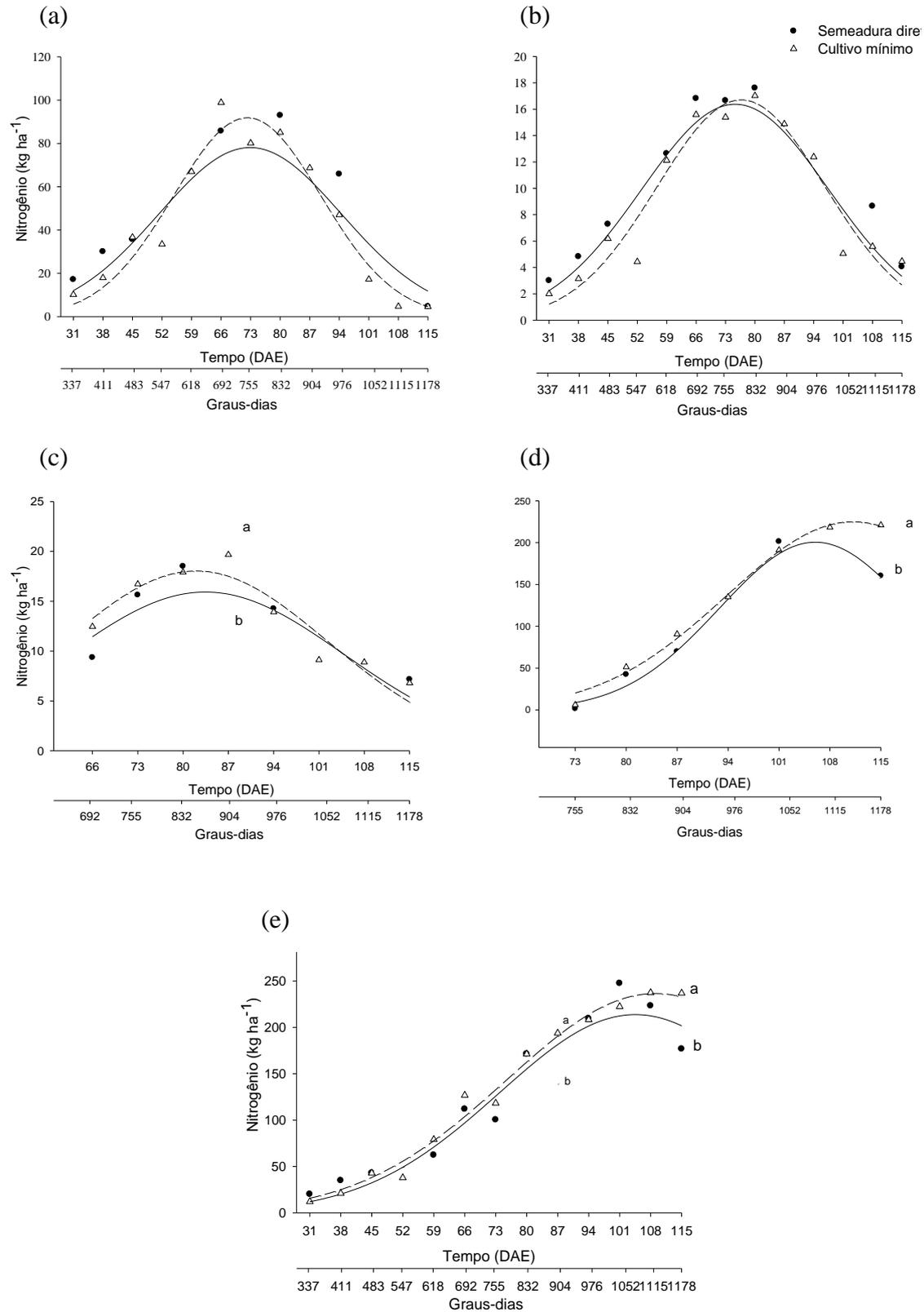
**Apêndice 4**– Acúmulo de massa seca da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



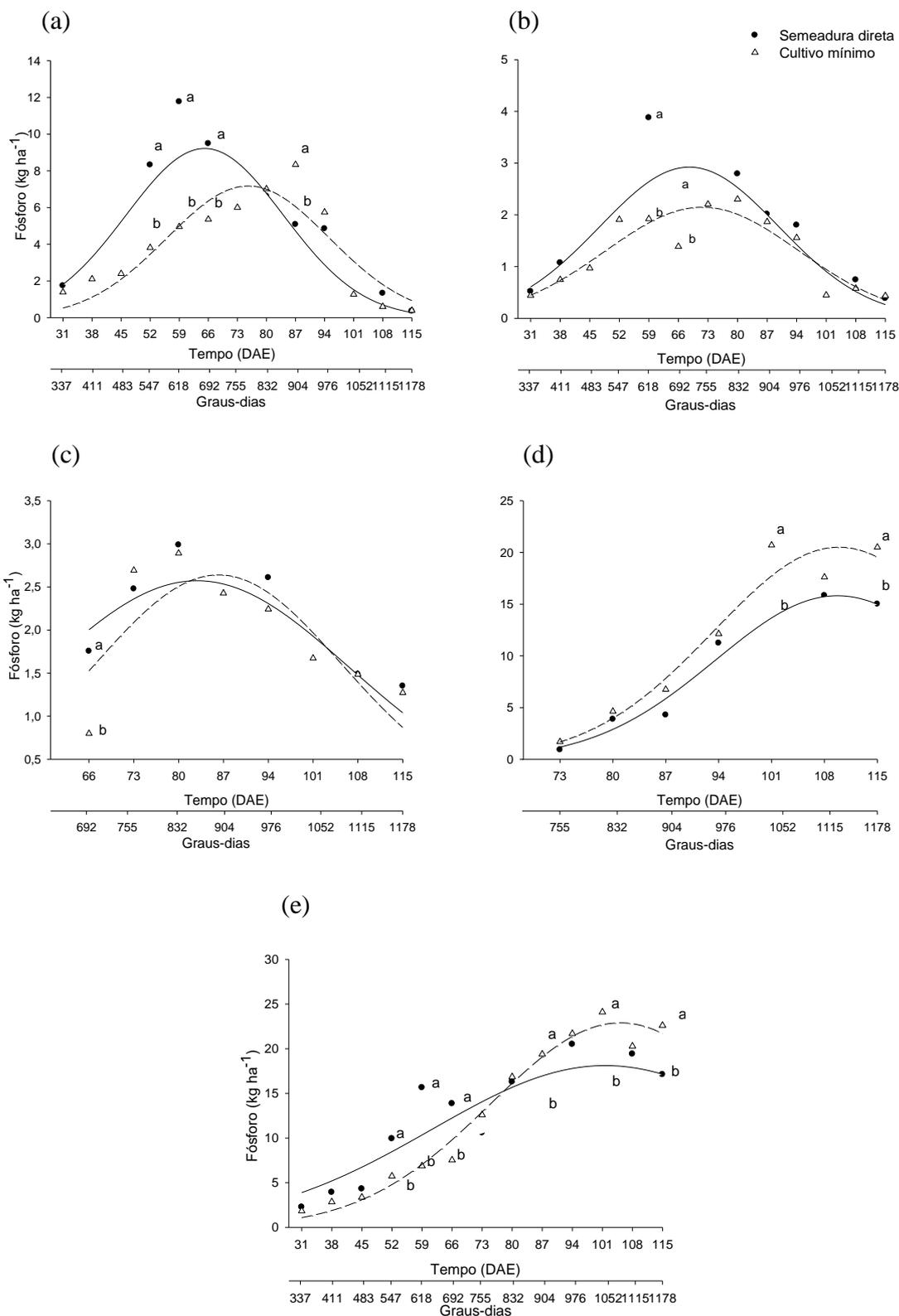
**Apêndice 5** – Acúmulo de nitrogênio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



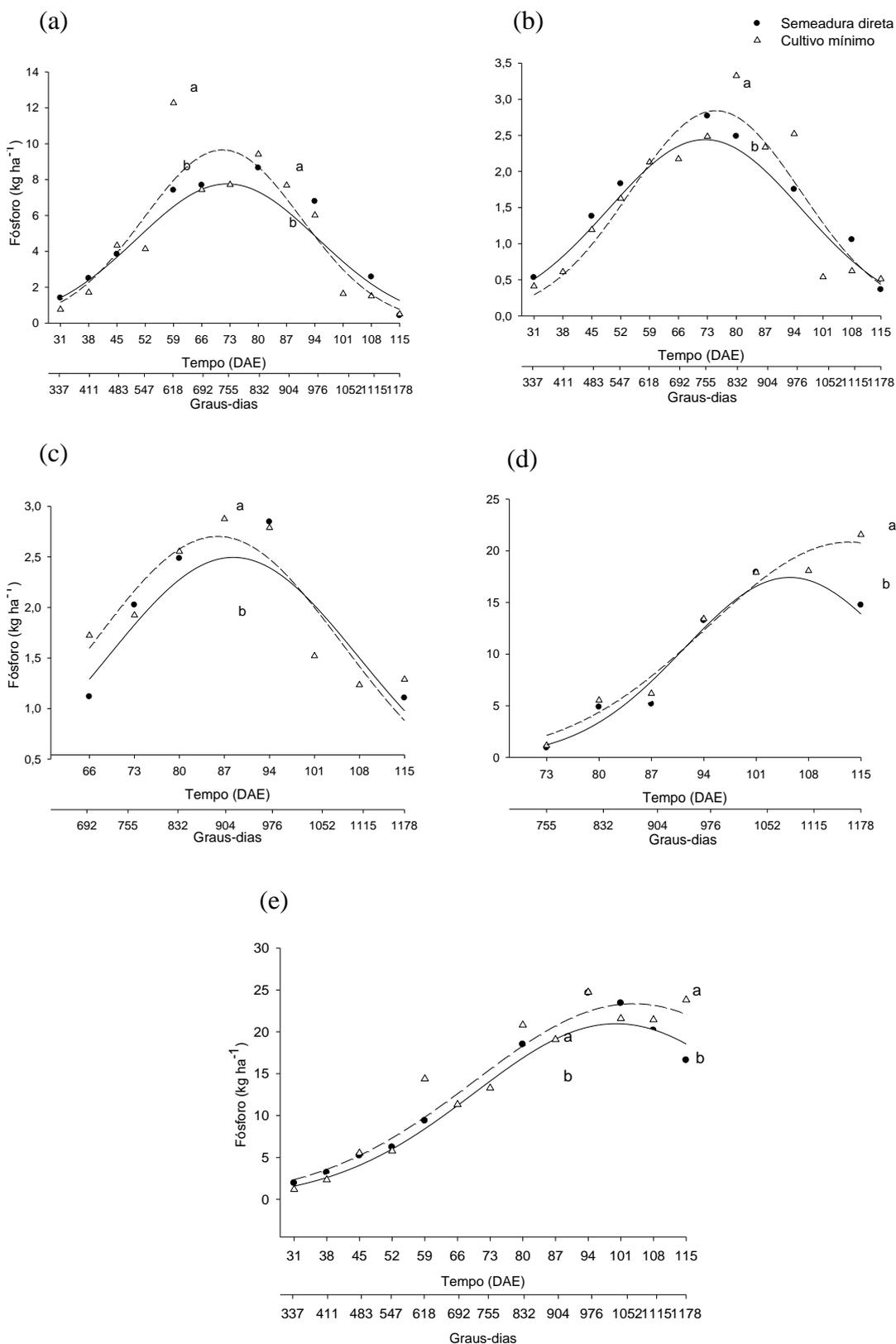
**Apêndice 6** – Acúmulo de nitrogênio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



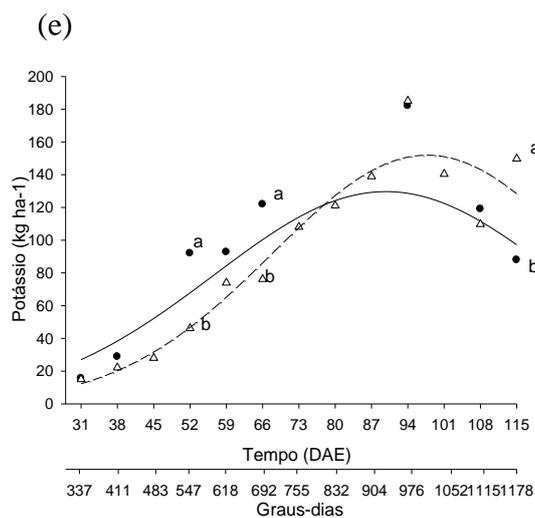
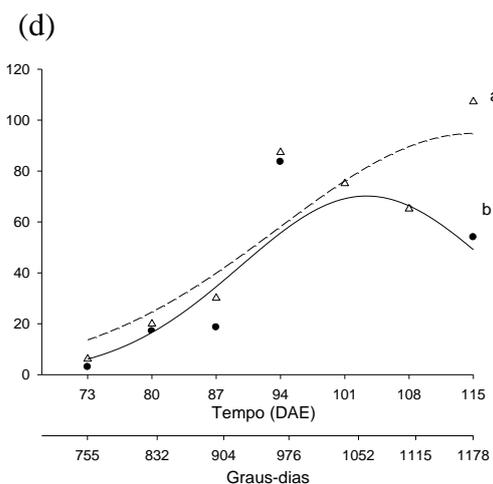
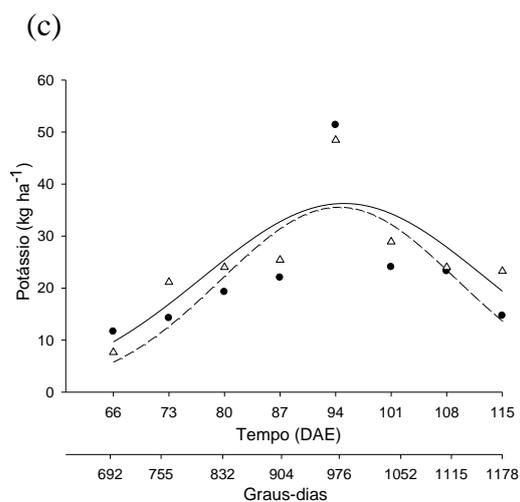
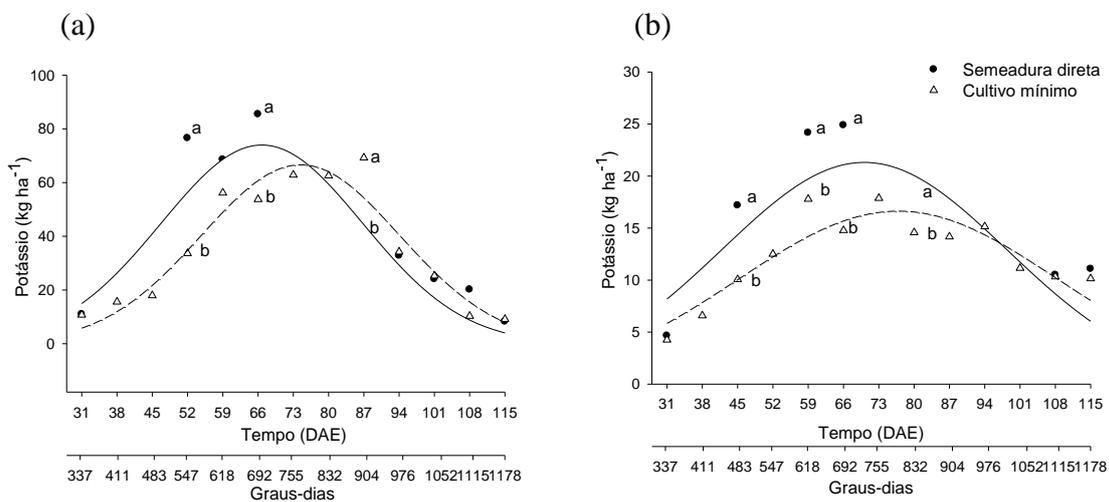
**Apêndice 7** – Acúmulo de fósforo da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



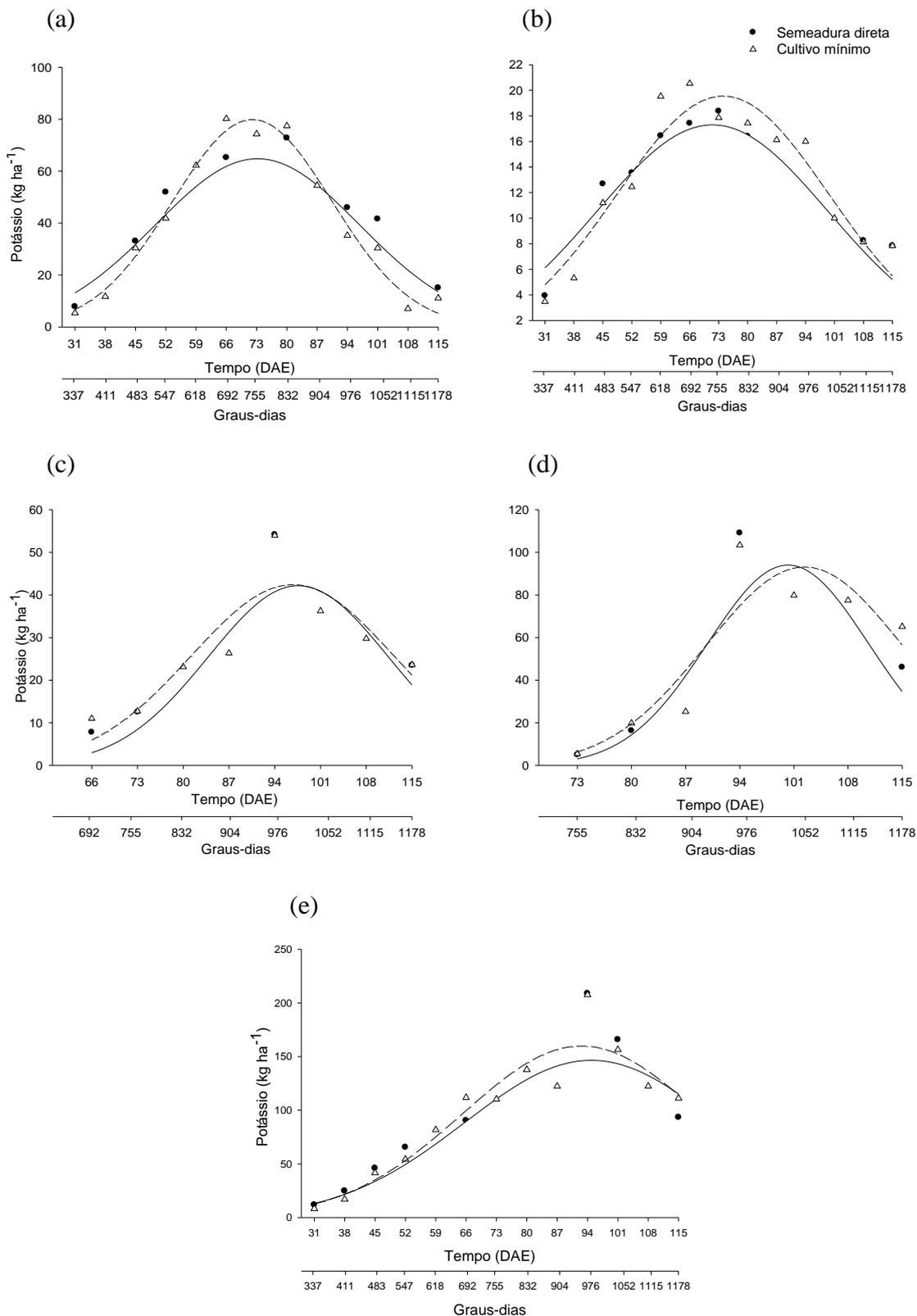
**Apêndice 8** – Acúmulo de fósforo da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



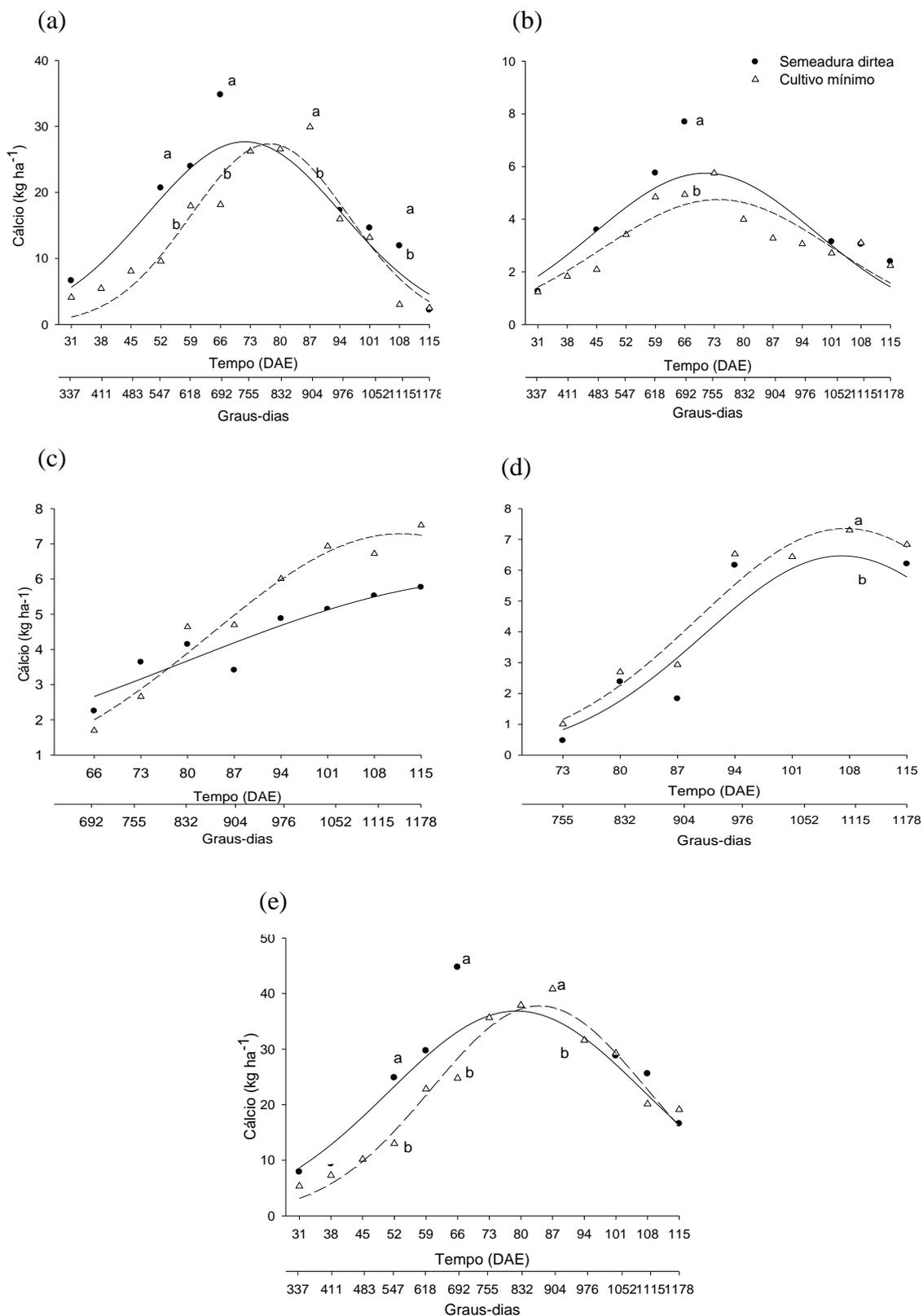
**Apêndice 9** – Acúmulo de potássio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



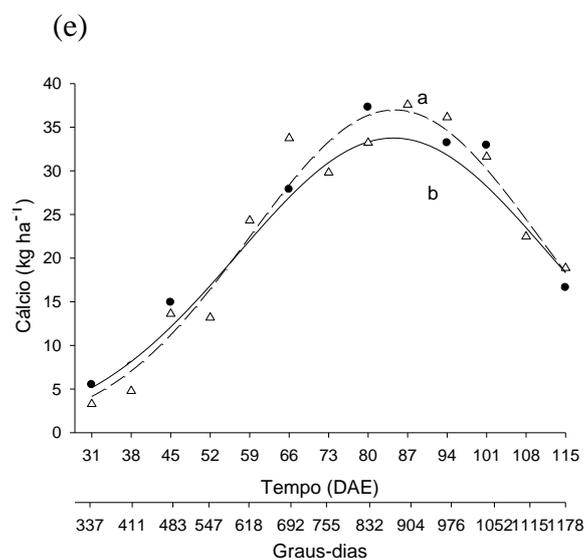
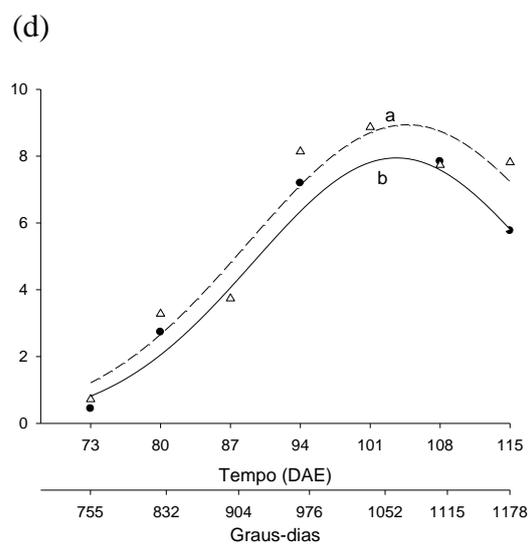
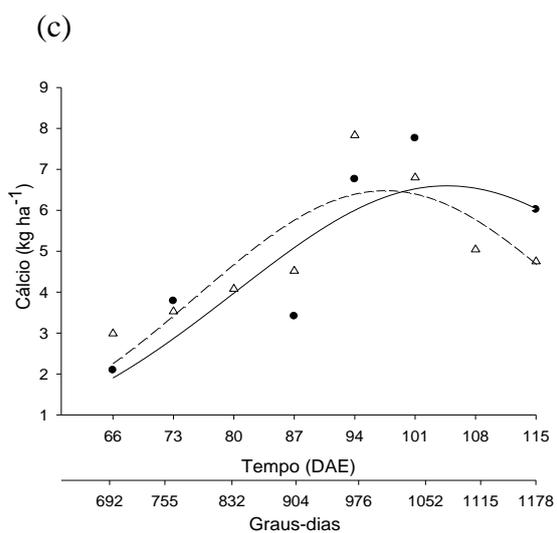
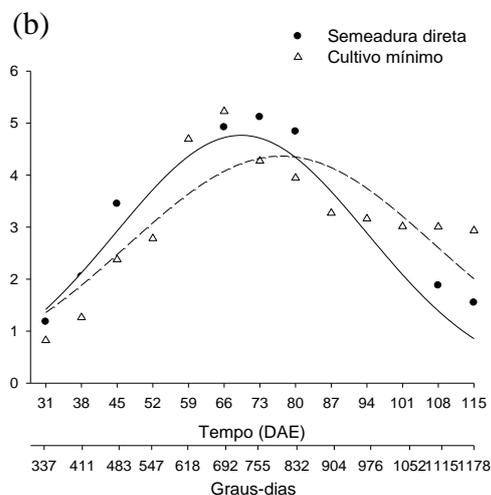
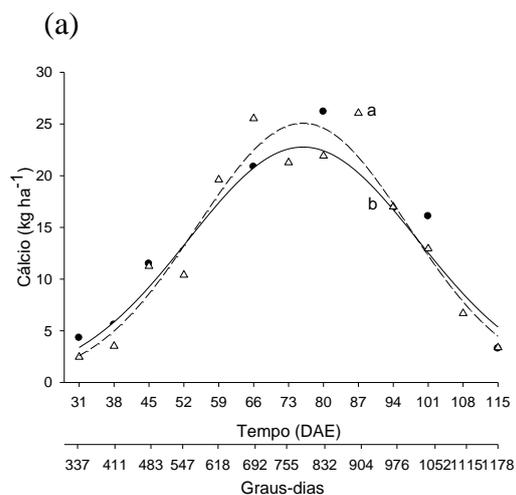
**Apêndice 10** – Acúmulo de potássio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



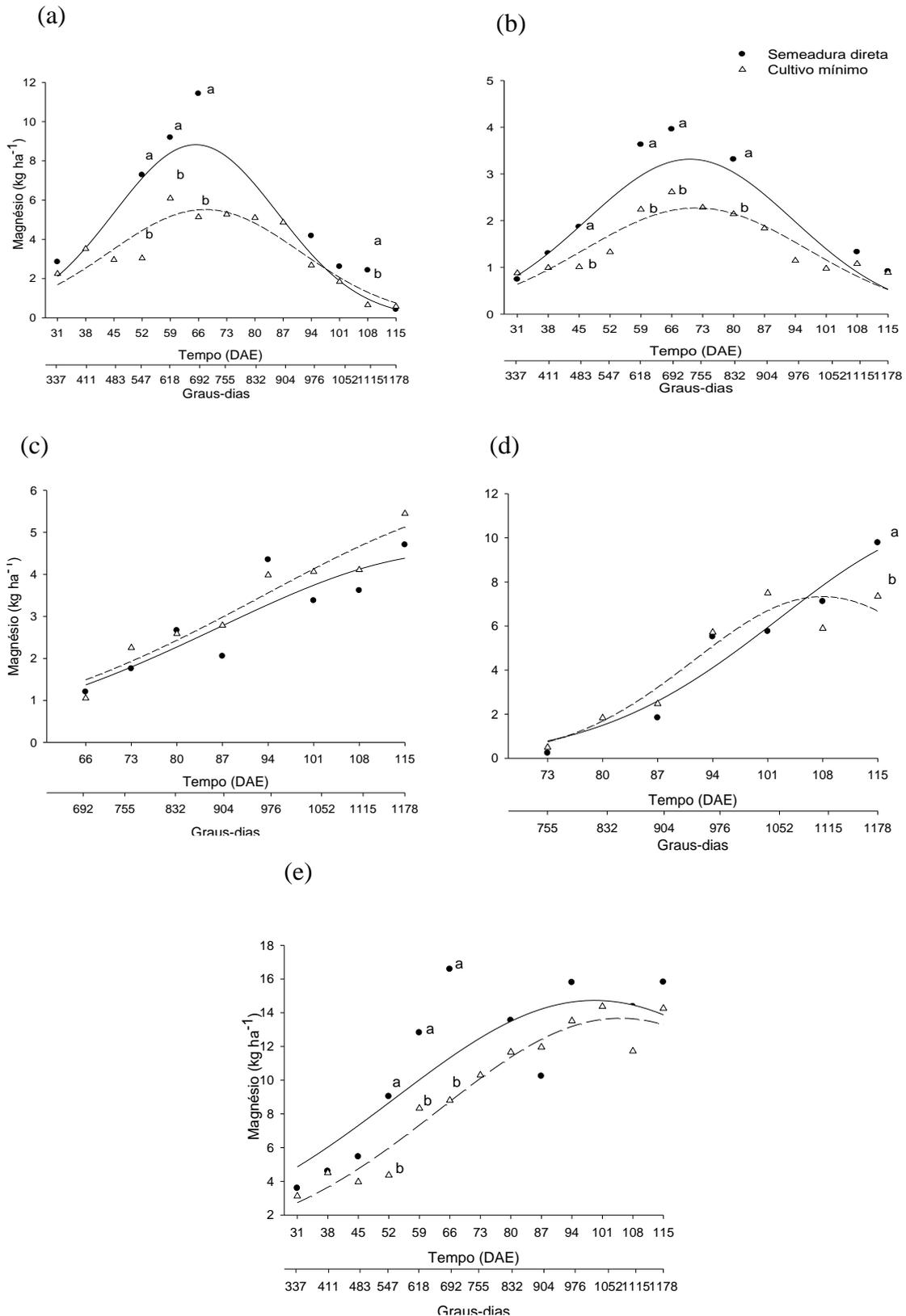
**Apêndice 11** – Acúmulo de cálcio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



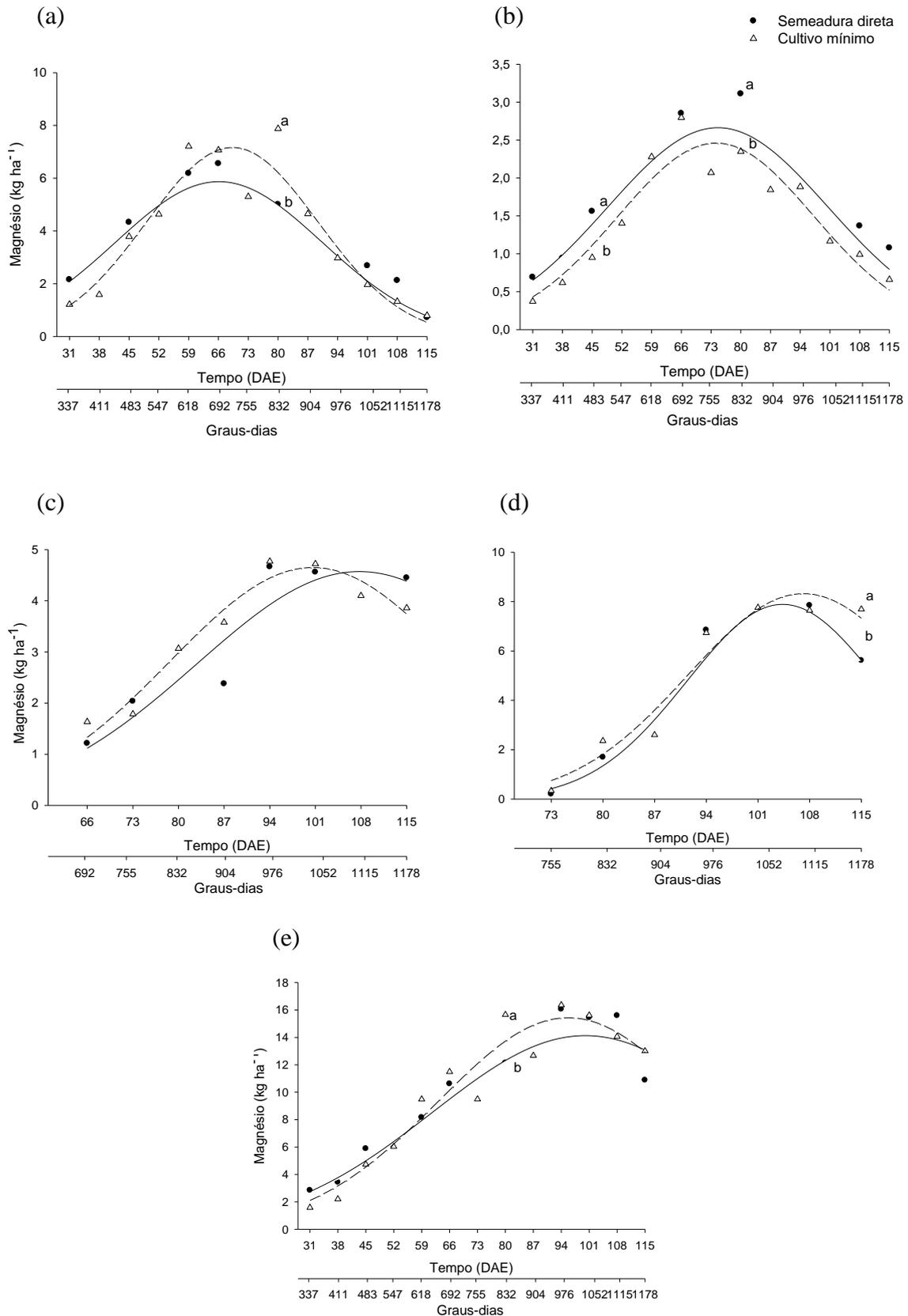
**Apêndice 12** – Acúmulo de cálcio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



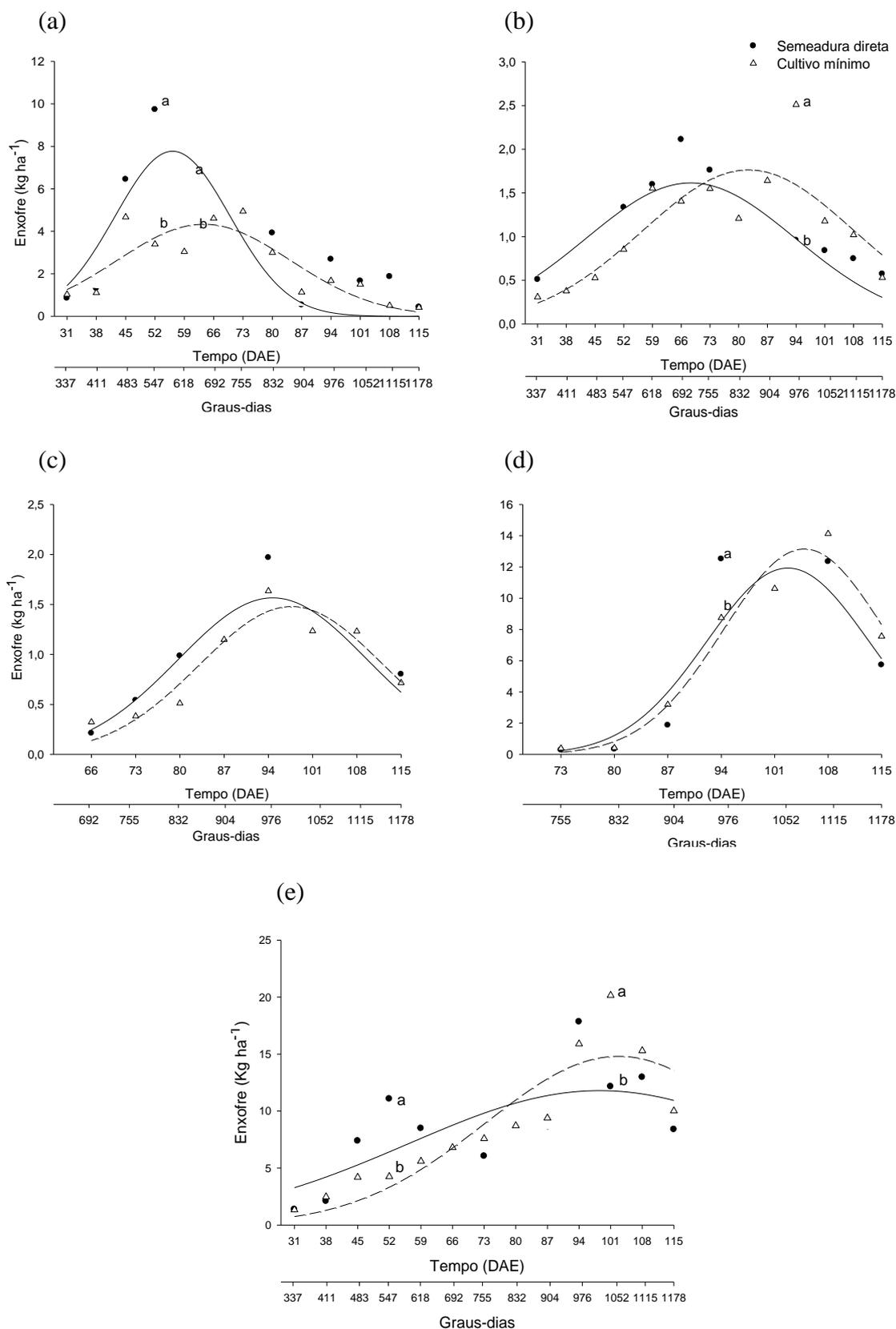
**Apêndice 13** – Acúmulo de magnésio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



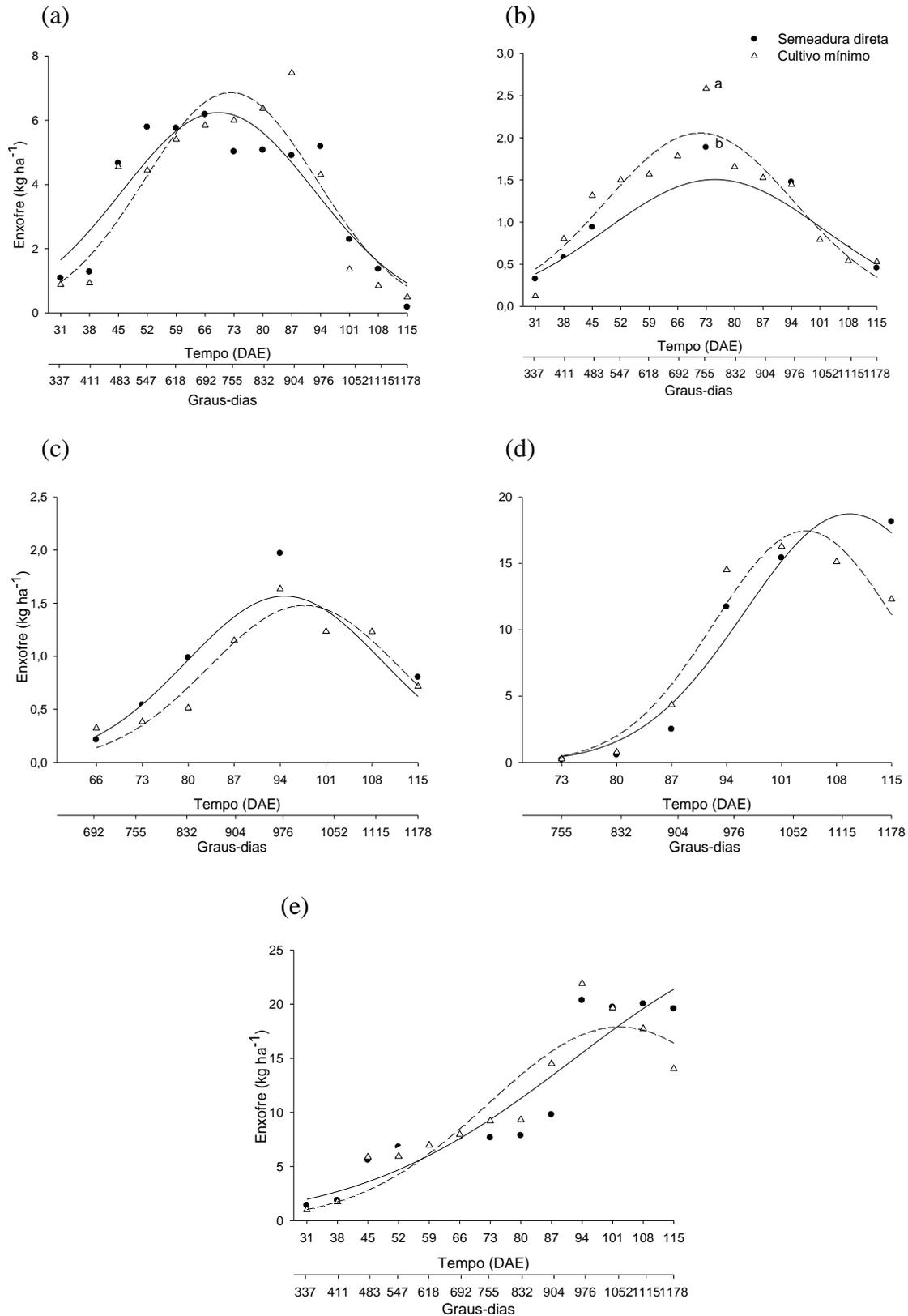
**Apêndice 14** – Acúmulo de magnésio da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo



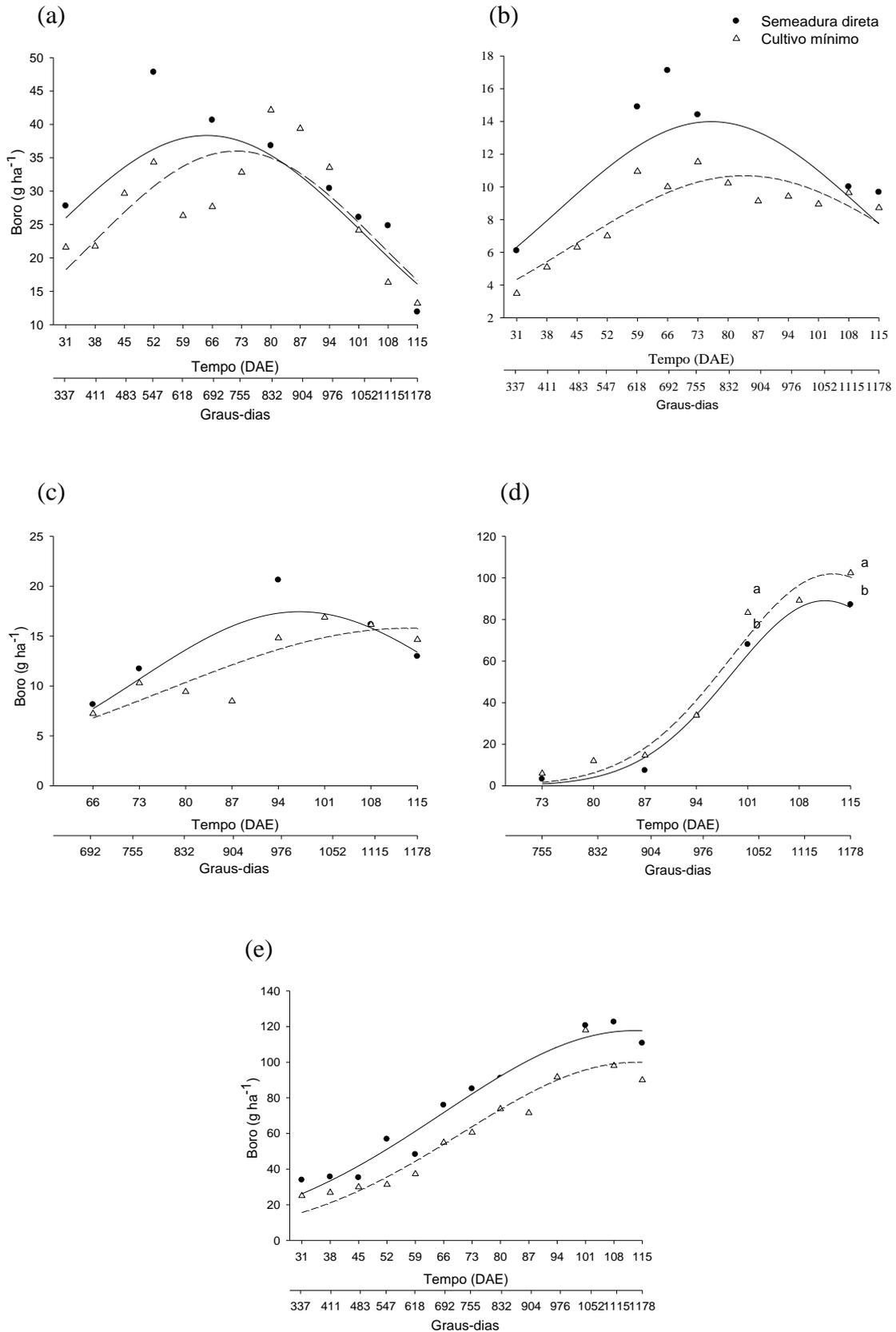
**Apêndice 15** – Acúmulo de enxofre da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



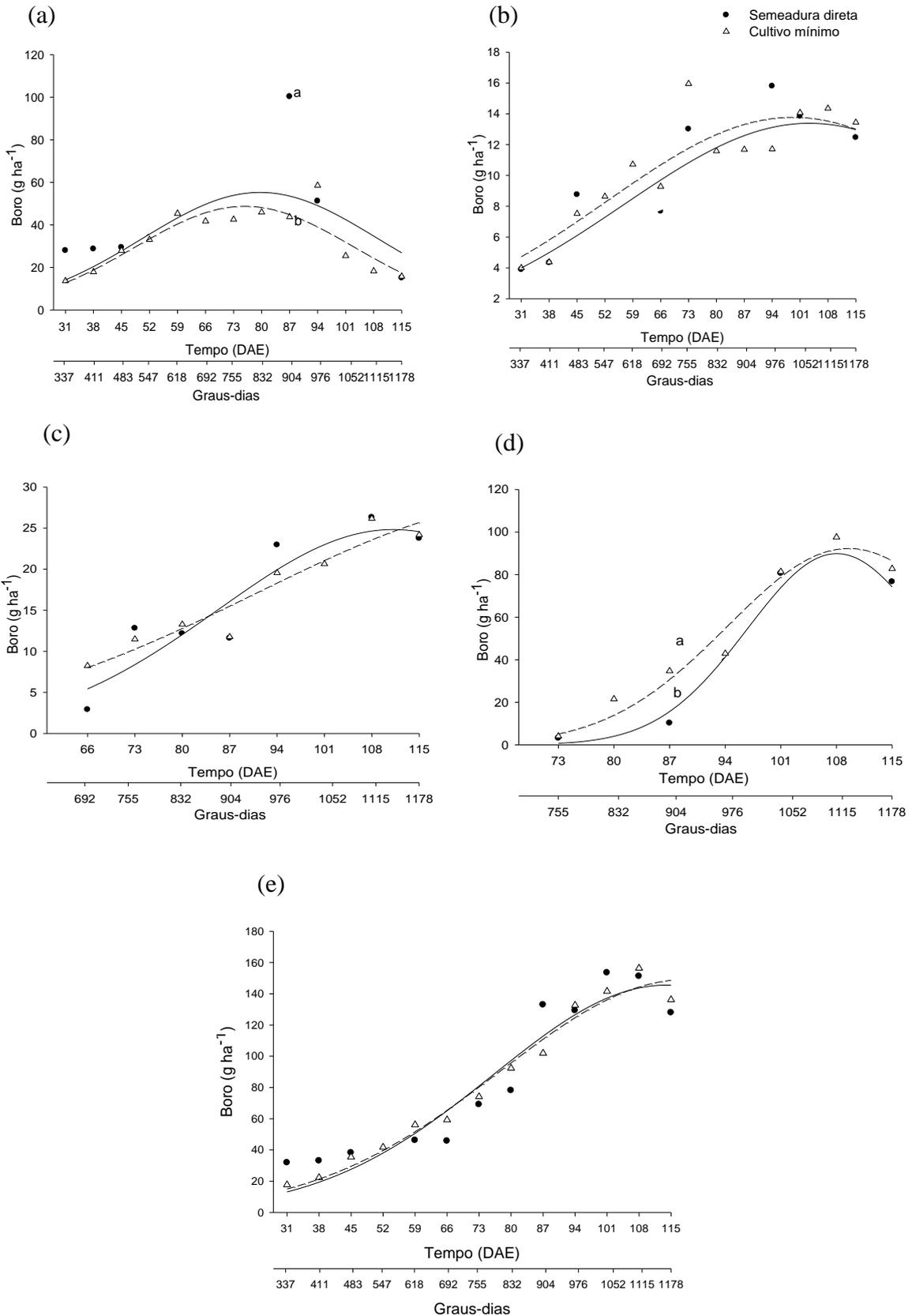
**Apêndice 16** – Acúmulo de enxofre da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



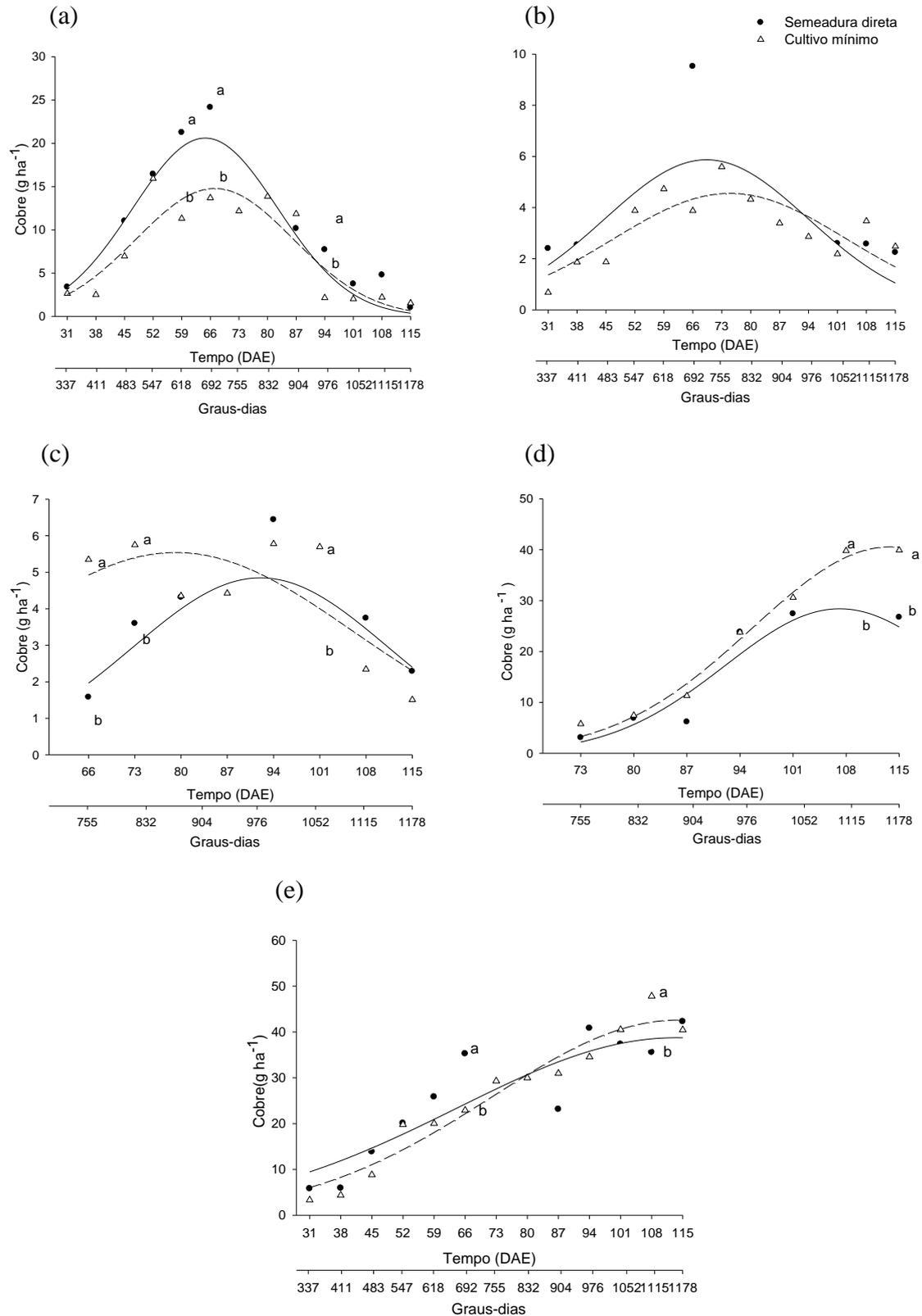
**Apêndice 17**– Acúmulo de boro da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



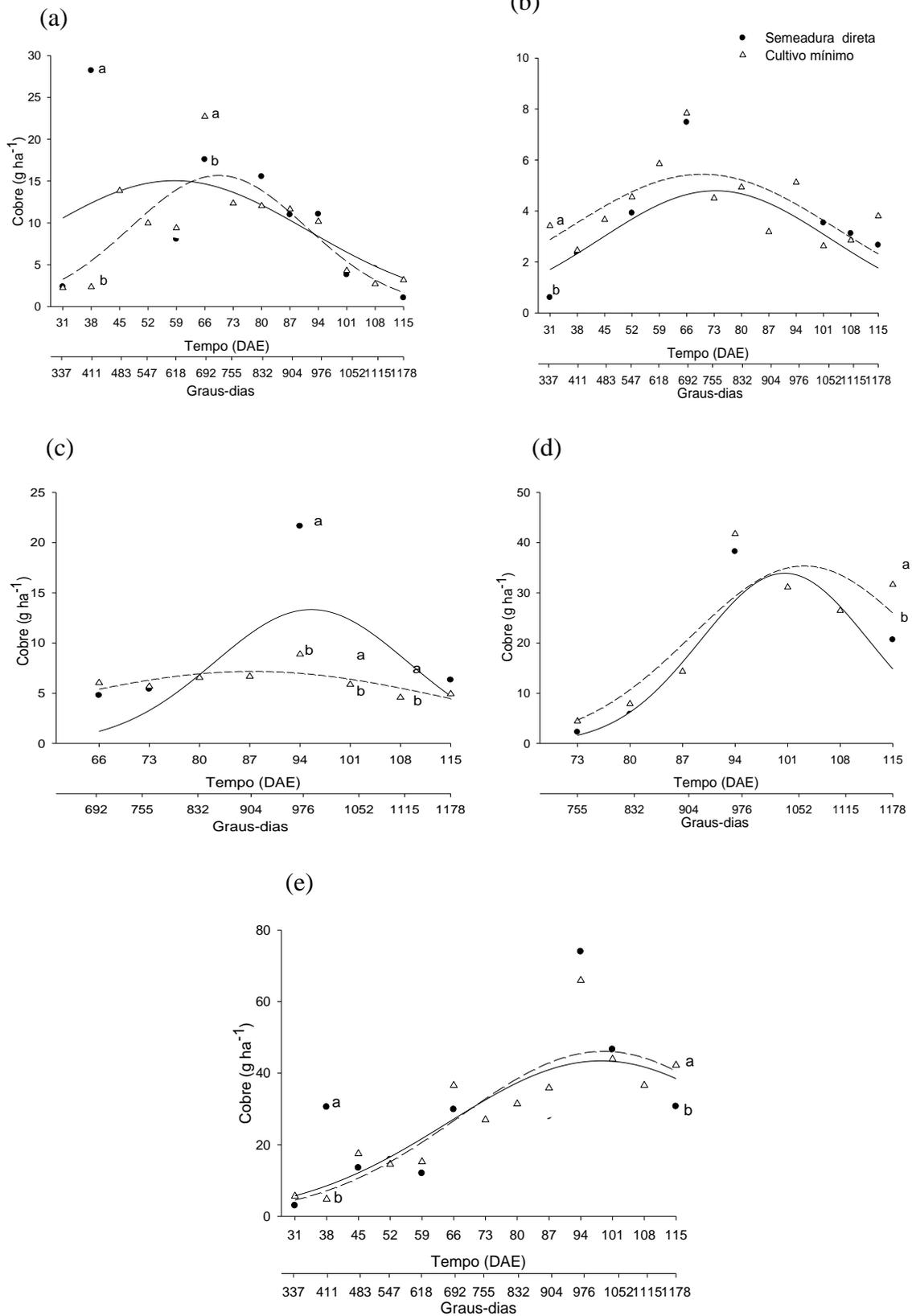
**Apêndice 18**– Acúmulo de boro da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



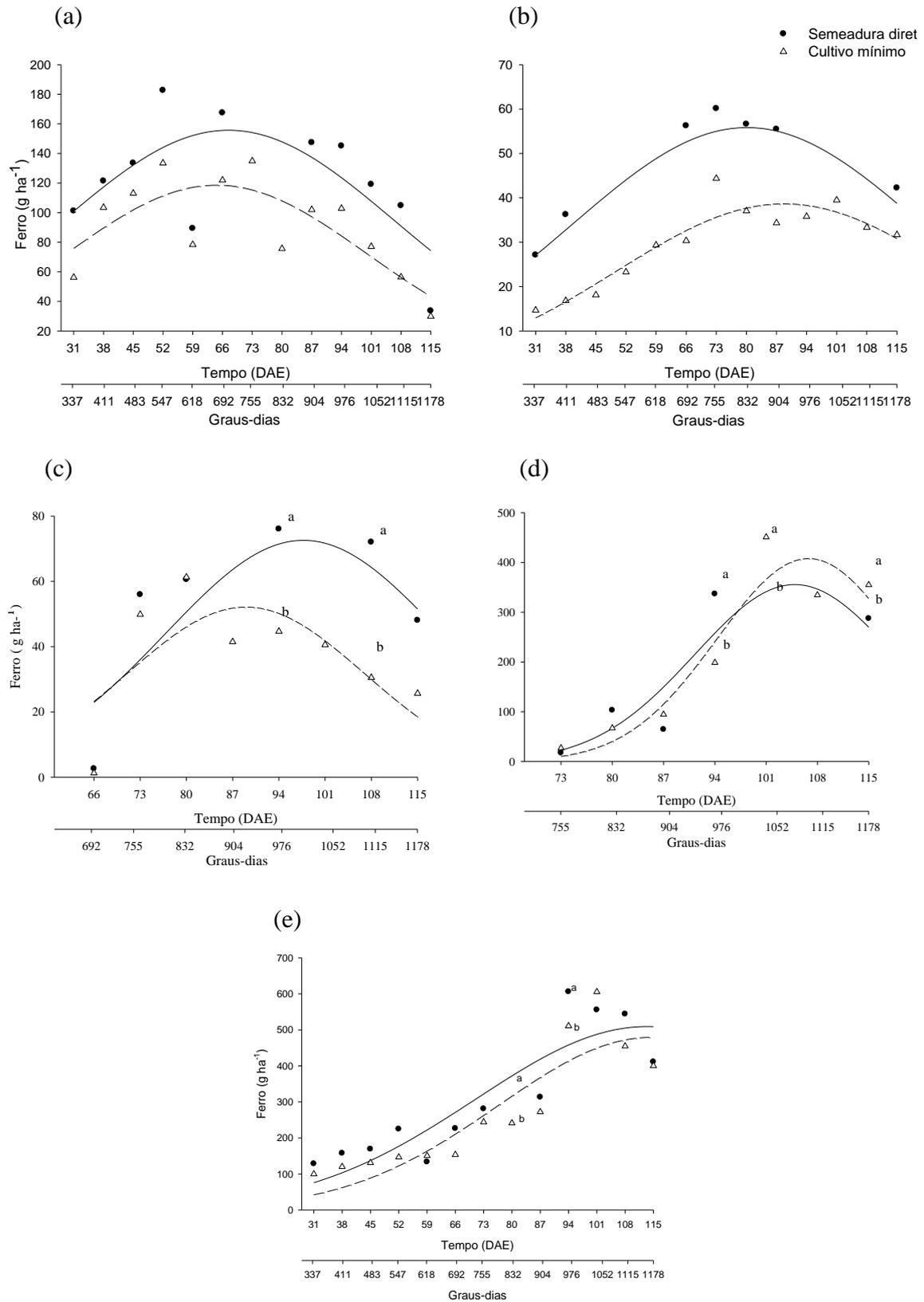
**Apêndice 19** – Acúmulo de cobre da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



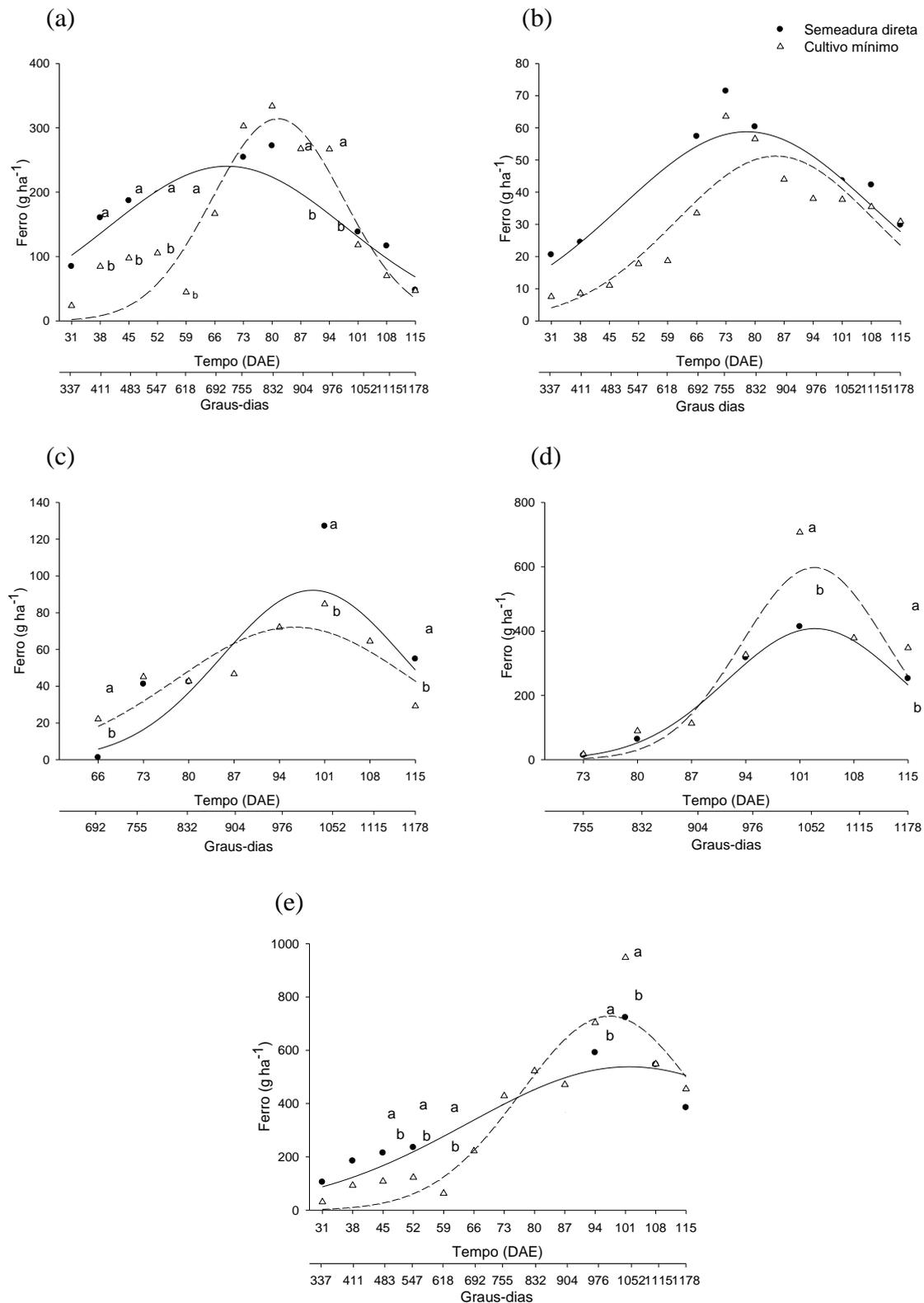
**Apêndice 20** – Acúmulo de cobre da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



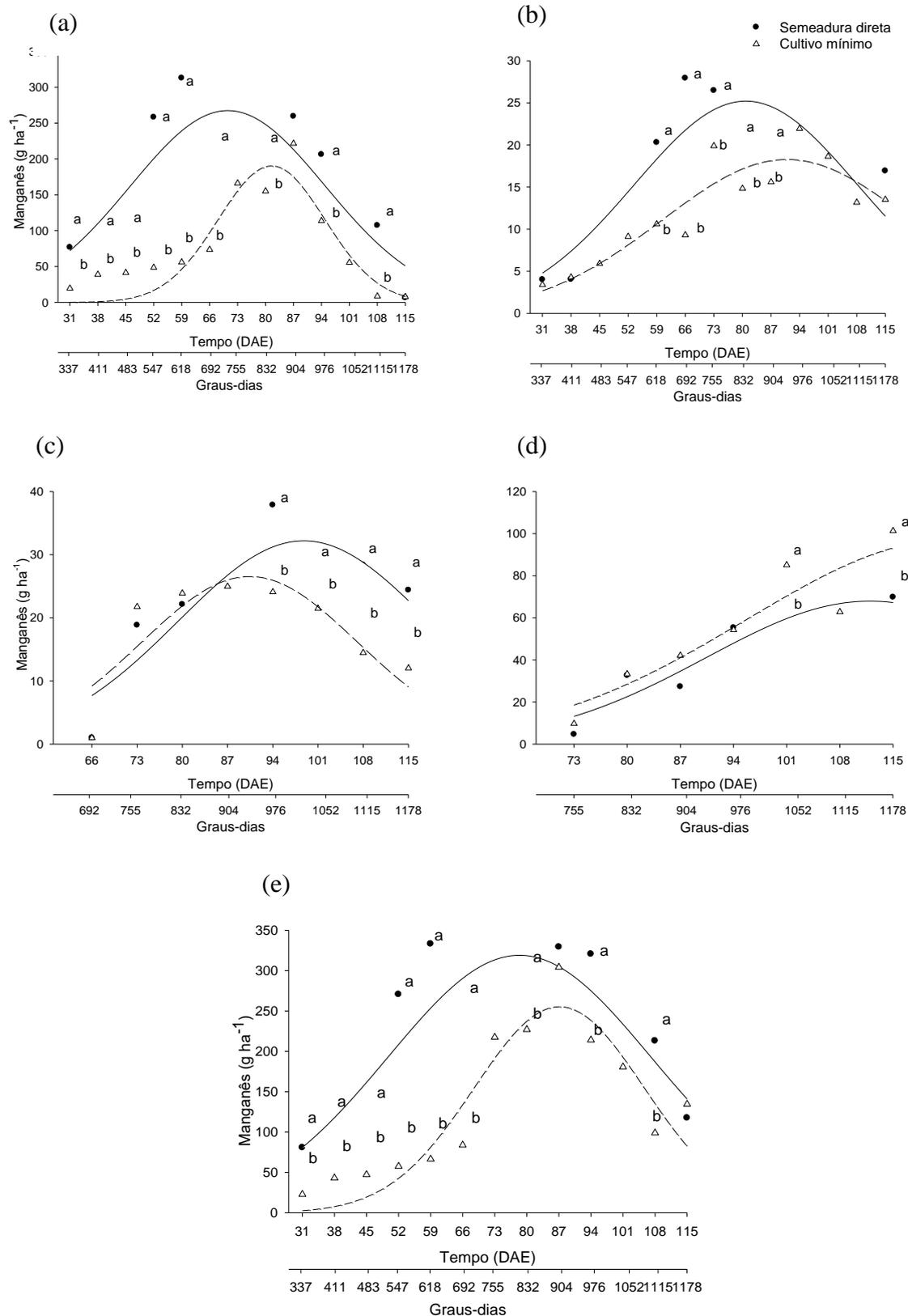
**Apêndice 21** – Acúmulo de ferro da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



**Apêndice 22** – Acúmulo de ferro da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

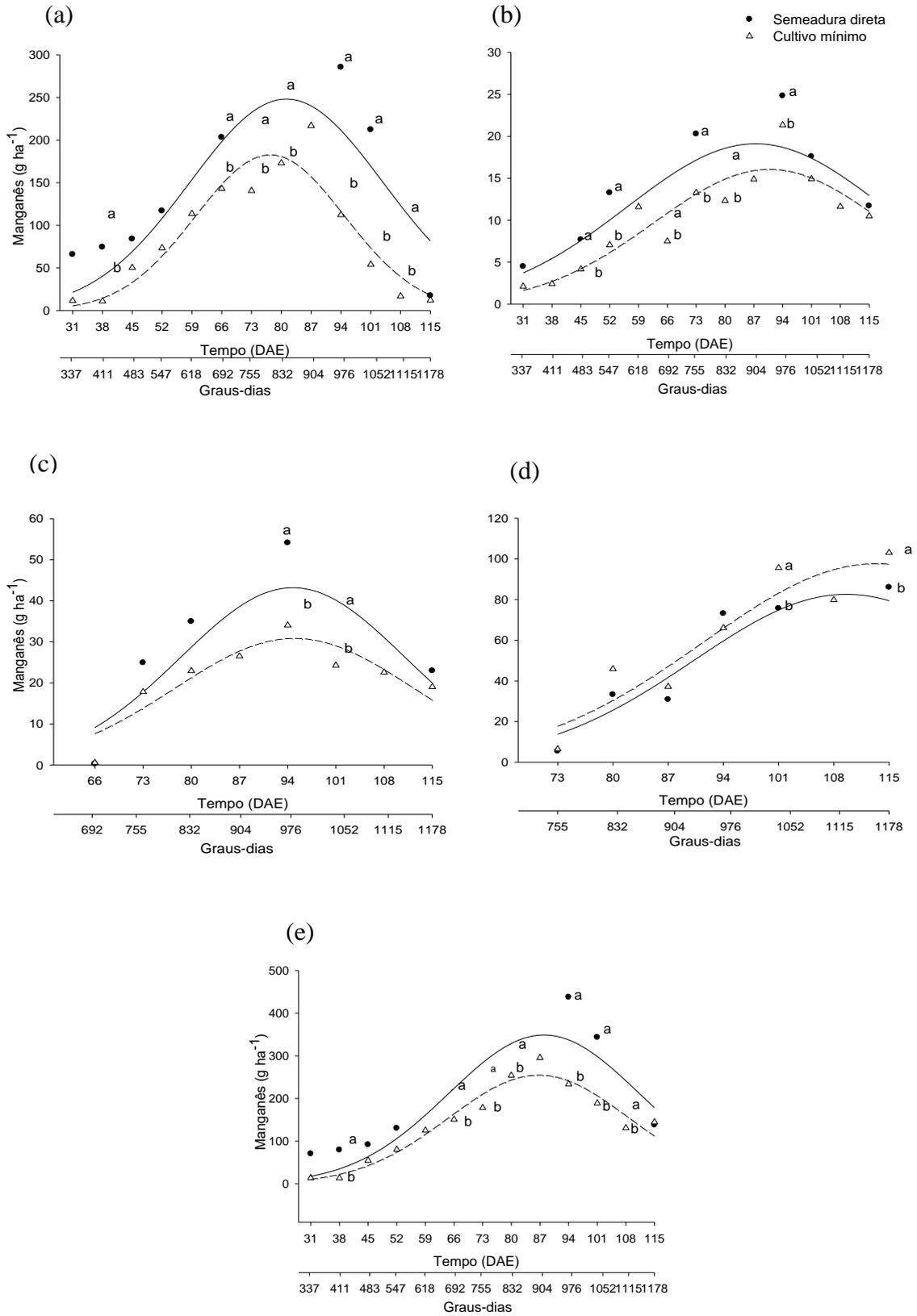


**Apêndice 23** – Acúmulo de manganês da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

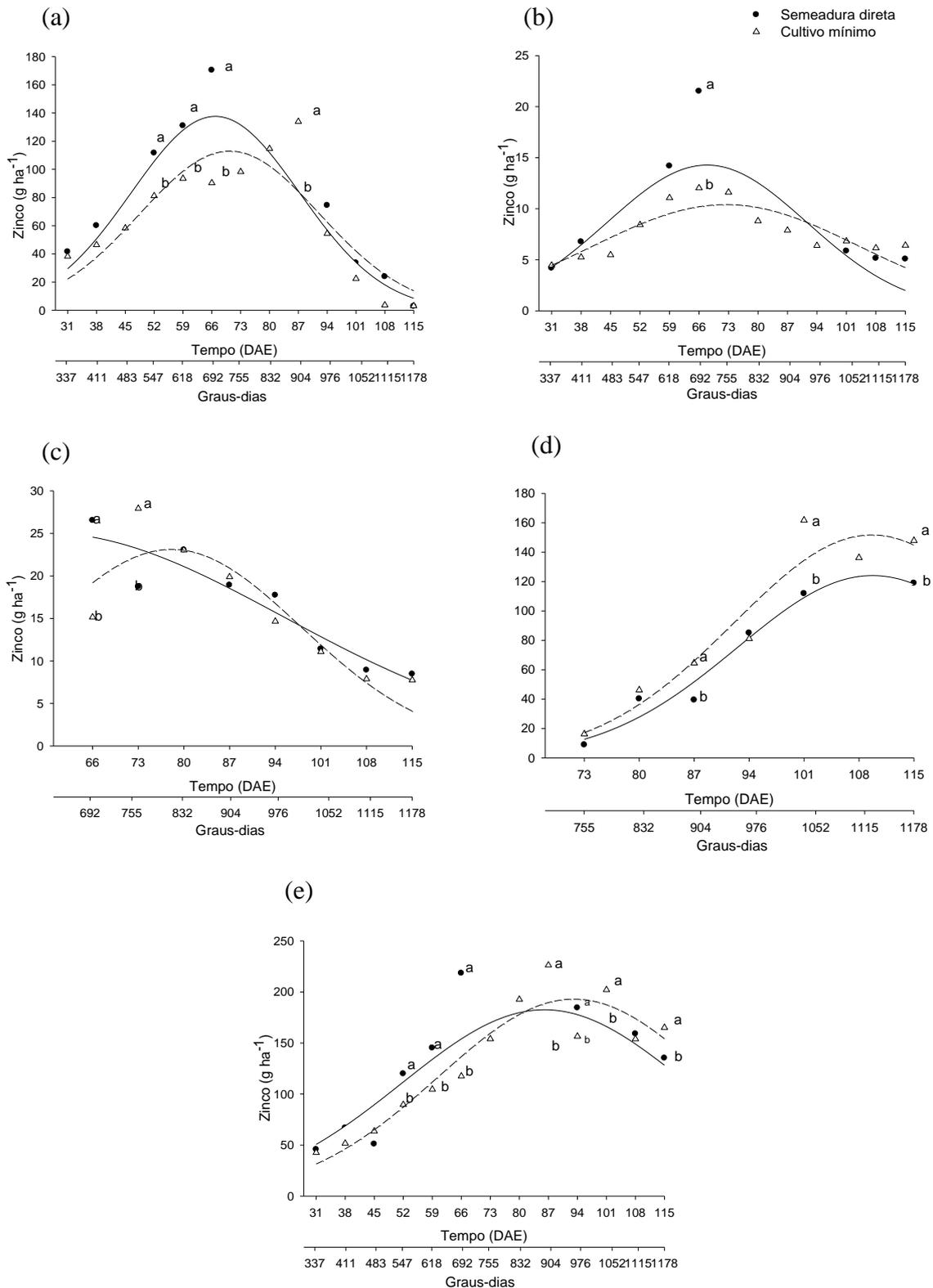


**Apêndice 24** – Acúmulo de manganês da folha (a), caule (b), estruturas

reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



**Apêndice 25** – Acúmulo de zinco da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a *Crotalaria spectabilis*, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.



**Apêndice 26** – Acúmulo de zinco da folha (a), caule (b), estruturas reprodutivas (c), grãos (d) e total (e) de soja cultivada em sucessão a milho, em sistema de semeadura direta e cultivo mínimo do solo.

