

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**Produção de massa de matéria seca da parte aérea e
marcha de absorção de nutrientes em *Crotalaria juncea* e
*Crotalaria spectabilis***

IZABELA RICHENA BARBOSA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019**

Produção de matéria seca, marcha de absorção de nutrientes em
Crotalaria juncea e *Crotalaria spectabilis*

IZABELA RICHENA BARBOSA
Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. DR. MUNIR MAUAD

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia – Produção
Vegetal, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2019

Aos meus pais, Antonio Lino Barbosa Neto e Andreia L. Richena Barbosa e aos meus avós Erodith Nogueira Barbosa e Valdomiro Garcia Barbosa, por nunca me deixarem desistir através dos exemplos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre trilhar meus caminhos e me permitir chegar até aqui.

Aos meus familiares por todo amor e incentivo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Munir Mauad pela paciência, por dividir comigo todo conhecimento e principalmente, por nunca desistir de mim e do meu projeto.

Ao Dr. Rodrigo Arroyo Garcia pela disponibilidade e por toda ajuda durante esse período.

À minha amiga e colega de profissão, Rafaela Silva Santana, por não medir esforços para me ajudar, por toda disponibilidade e solicitude durante esse período.

À Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD e ao Programa da Pós-Graduação em Agronomia - “Produção Vegetal”.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida.

À Embrapa Agropecuária Oeste por disponibilizar a área experimental.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho, meu franco agradecimento.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 O gênero <i>Crotalaria</i> L.....	3
2.1.1 <i>Crotalaria juncea</i>	4
2.1.2 <i>Crotalaria spectabilis</i>	7
2.2 Dinâmica dos nutrientes na planta.....	10
2.2.1 Nitrogênio.....	10
2.2.2 Fósforo.....	11
2.2.3 Potássio.....	11
2.2.4 Cálcio.....	12
2.2.5 Magnésio.....	12
2.2.6 Enxofre.....	13
2.2 Marcha de absorção.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Local, clima e solo.....	15
3.2 Delineamento experimental.....	16
3.3. Instalação e condução da área experimental.....	16
3.4 Variáveis analisadas.....	16
3.4.1 Acúmulo de matéria seca.....	16
3.4.2 Marcha de absorção de nutrientes.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5. CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

RESUMO

Inúmeros são os benefícios do cultivo de crotalárias, entre os quais pode-se destacar a alta de produção de biomassa e acúmulo de N, ciclagem de nutrientes e ação antagônica sobre alguns nematoides, que têm despertado o interesse dos agricultores. Entretanto, informações sobre a exigência nutricional para essas espécies ainda são escassas, assim, objetivou-se com este estudo determinar a produção de matéria seca e a marcha de absorção de macronutrientes na parte aérea de *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*. O experimento foi realizado na Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, Mato Grosso do Sul, no período compreendido entre março a agosto de 2017, sob delineamento experimental de blocos ao acaso, com duas espécies de crotalaria (*C. juncea* e *C. spectabilis*) e treze épocas de coleta para *C. juncea*, dez épocas de coleta para *C. spectabilis* e três repetições. Posteriormente realizou-se a secagem e pesagem e, por fim as amostras foram submetidas à análise laboratorial para determinação dos teores de nutrientes em cada estrutura. O acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas apresentou a ordem: K>N>Ca>Mg>P>S para ambas espécies, onde o colmo foi o principal órgão de acúmulo de nutrientes, A exportação de nutrientes pelos grãos seguiu a ordem N>K>Ca>Mg>P>S para *C. juncea* e N>K>P>Ca>S>Mg para *C. spectabilis*. A *C. juncea* acumulou maiores quantidades de nutrientes e matéria seca, bem como o tempo necessário para o máximo acúmulo foi maior em relação à *C. spectabilis*.

Palavras-chave: Adubo verde, acúmulo de nutrientes, fitomassa.

ABSTRACT

There are many benefits of crotalaria cultivation, including the high biomass production and N accumulation, nutrient cycling and antagonistic action on some nematodes, which have aroused the interest of the farmers. However, information about the nutritional requirement for these species remain scarce, so the purpose of this study was to determine the dry matter production and macronutrient uptake in *Crotalaria juncea* and *Crotalaria spectabilis* shoots. The experiment was carried out at Embrapa Agropecuária Oeste, in Dourados, Mato Grosso do Sul, from March to August 2017, in a randomized block design with two species of crotalaria (*C. juncea* and *C. spectabilis*) and thirteen collecting times for *C. juncea*, ten collecting times for *C. spectabilis* and three replicates. Samples were dried, weighed and, finally, submitted to laboratory analysis to determine the nutrient contents in each structure. The accumulation of nutrients in the shoots of the plants presented the order: K>N>Ca>Mg>P>S for both species, in which the stem was the main organ of nutrient accumulation. The nutrient exportation by the grains followed the order N>K>Ca>Mg>P>S for *C. juncea* and N>K>P>Ca>S>Mg for *C. spectabilis*. *C. juncea* accumulated higher amounts of nutrients and dry matter, and the time required for maximum accumulation was greater when compared to *C. spectabilis*.

Keywords: Green manure, nutrient accumulation, phytomass.

1. INTRODUÇÃO

As crotalárias caracterizam-se pelo rápido crescimento vegetativo, alta produção de biomassa e extração de nutrientes, além de sua boa adaptação às condições de baixa fertilidade do solo (FONTANÉTTI et al., 2006; VARGAS et al., 2011), tornando-as uma boa opção para compor o sistema plantio direto. Algumas espécies destacam-se pela produção de fibras, forragem, além de seu uso como adubo verde (CAZETTA et al., 2005).

Entre as vantagens do cultivo de leguminosas, como as crotalárias, destacam-se a baixa relação C/N, resultando na rápida decomposição de resíduos e consequentemente, rápida liberação de nutrientes, principalmente nitrogênio, (AITA et al., 2001) que serão aproveitados pelas culturas subsequentes. Outra vantagem do cultivo dessas espécies refere-se ao aporte de altas quantidades de nitrogênio, devido ao estabelecimento de associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* (BODDEY et al., 2006). Além disso, seu sistema radicular, profundo e ramificado é eficaz na extração de nutrientes das camadas mais profundas do solo (ALCÂNTARA et al., 2000).

O cultivo dessas espécies em sistemas de rotação de culturas traz inúmeros benefícios para o sistema plantio direto e, consequentemente para as culturas subsequentes, entre os quais estão: a rápida cobertura do solo, incremento nos níveis de matéria orgânica e intensificação das atividades biológicas no solo, ciclagem de nutrientes, aumento da capacidade de armazenamento de água no solo e proteção deste contra os processos erosivos. Além disso, essas plantas contribuem para diminuição da infestação de plantas invasoras e incidência de pragas e patógenos nas culturas de interesse econômico.

Embora sejam plantas de dia curto, podem ser cultivadas na entressafra para compor o sistema de produção, visto que a contínua sucessão soja/milho tende a favorecer a degradação física do solo (FREDDI et al., 2017), reduzir a disponibilidade de nutrientes e diminuir a atividade biológica do solo (LOURENTE et al., 2010). Além disso, a sucessão de culturas também proporciona ambiente mais favorável para o

desenvolvimento de doenças, pragas e plantas daninhas (GARCIA et al., 2015), resultando na queda de produtividade das culturas.

Assim, todos os benefícios dessas espécies têm chamado a atenção dos produtores e, conseqüentemente acarretado na grande expansão do cultivo do gênero *Crotalaria* L. nas áreas de produção de grãos do cerrado brasileiro (COSTA et al., 2012). Dentre as principais espécies de crotalária destacam-se *C. juncea* e *C. spectabilis* entre as mais cultivadas pelos produtores rurais, devido à maior oferta de sementes no mercado. No entanto, são escassas as informações a respeito do manejo dessas espécies e as vantagens do cultivo das mesmas nas regiões produtoras de grãos de Mato Grosso do Sul, haja visto que as plantas são altamente influenciadas pelas condições edafoclimáticas da região.

Neste sentido, estudos como a marcha de absorção de nutrientes auxiliam na tomada de decisão para alcançar rendimentos elevados (ZOBIOLE et al., 2010; MAILLARD et al., 2015), visto que o manejo das crotalárias no momento correto pode proporcionar grandes aportes de nutrientes ao solo e cobertura vegetal satisfatória. Assim, tem-se a possibilidade de reduzir os custos de produção das culturas de interesse econômico, além de contribuir com informações para o sistema de produção do gênero *Crotalaria* L.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho determinar a produção de matéria seca e a marcha de absorção de macronutrientes na parte aérea de *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O gênero *Crotalaria* L.

O gênero *Crotalaria* L. constitui-se em um dos maiores gêneros da família Leguminosae, com cerca de 600 espécies distribuídas, principalmente, em regiões tropicais e subtropicais (GARCIA et al., 2013).

As crotalárias são plantas que fornecem rápida cobertura ao solo (FABIAN, 2009), o que as confere a capacidade de proteger o mesmo contra os processos erosivos e auxiliar no manejo de plantas daninhas. Podem atuar na descompactação biológica do solo (FOLONI et al., 2006), promover a ciclagem de nutrientes (SILVA, 2011) e, além disso, algumas espécies destacam-se no controle biológico de nematoides (PEREIRA, 2006).

Essas plantas caracterizam-se pela elevada produção de biomassa em um curto período de tempo e são muito utilizadas como adubo verde devido, principalmente, ao seu elevado potencial de acúmulo de nitrogênio, sendo cultivadas em várias regiões do mundo com esta finalidade (SILVA, 2011).

A adubação verde constitui-se em um dos principais usos das crotalárias. Essa prática pode ser definida como a utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciação de culturas, podendo incorporá-las no solo ou não, visando a proteção superficial e principalmente a manutenção e melhoria de suas características físicas, químicas e biológicas. Aliado a isso, o grande desafio das regiões tropicais, como o cerrado, é o acúmulo e manutenção da palhada, visto os altos índices pluviométricos e altas temperaturas, que acarretam alta decomposição da fitomassa acumulada, principalmente no período de entressafra, prejudicando o estabelecimento e continuidade do sistema plantio direto (PACHECO et al., 2008).

Nesse sentido, a alta fixação biológica de nitrogênio, produção de grandes quantidades de matéria seca e alta concentração de nutrientes na parte aérea das crotalárias fazem destas espécies uma boa opção para integrar o sistema plantio direto (SILVA e MENEZES, 2007). Além disso, a baixa relação C/N das crotalárias proporciona rápida decomposição de seus resíduos e, conseqüentemente, rápida liberação

de nutrientes, que poderão ser aproveitados pelas culturas subsequentes (ANDRIOLI et al., 2008).

Como já mencionado, inúmeras são as espécies de crotalárias e seus benefícios, todavia, é importante avaliar a adaptação, persistência e exigência destas, para assim identificar as espécies propícias para a utilização como cobertura do solo, adubação verde, entre outros fins (SOUSA, 2011).

2.1.1 *Crotalaria juncea*

A *Crotalaria juncea* é uma espécie originada da Índia e possui ampla adaptação às regiões tropicais. São plantas arbustivas, de crescimento ereto e determinado, produzem fibras e celulose de alta qualidade, próprias para a indústria de papel e outros fins (BRAGA et al., 1998).

Possui ampla adaptação às regiões tropicais, mesmo em solos arenosos e com baixa fertilidade e, embora seja muito sensível ao alumínio do solo, alcança uma produtividade média de 40 a 60 toneladas de massa verde e 11 a 20 toneladas de massa seca por ciclo (SILVA et al., 2017b). Esta espécie possui a capacidade de fixar entre 180 e 300 kg ha⁻¹ de N, dos quais 60% ficam no solo, 30% vão para as plantas semeadas em sucessão e 10% se perdem do sistema solo-planta (LOPES et al., 2005; FORMENTINI et al., 2008).

Essa espécie é recomendada para adubação verde, não apenas devido seu potencial de acúmulo de nitrogênio, mas por fornecer um grande aporte de fitomassa, o que confere à espécie a característica de elevada produtividade de matéria seca (PURQUERIO et al., 2011; COSTA et al., 2012; SORATTO et al., 2012) e consequentemente contribui para o incremento nos níveis de matéria orgânica do solo.

Menezes e Leandro (2004), avaliando a produção de fitomassa de diferentes plantas de cobertura em Goiânia (GO), observou que a *Crotalaria juncea*, juntamente com braquiária ruziziensis, destacou-se pela produção de 13 Mg ha⁻¹ de matéria seca aos 90 dias após emergência (DAE), seguida por milho (9,2 Mg ha⁻¹), aveia preta (4,7 Mg ha⁻¹) e trigo-sarraceno (3,5 Mg ha⁻¹). Nesse sentido, Perin et al. (2004), estudando o acúmulo de matéria seca de crotalária e milho em Viçosa (MG), relatou a alta produção de matéria seca pela *Crotalaria juncea*, (9,3 Mg ha⁻¹) em relação ao milho (7,1 Mg ha⁻¹).

¹), aos 68 dias após o plantio (DAP), perfazendo uma diferença do total acumulado superior a 2 Mg ha⁻¹.

Cavalcante et al. (2012), avaliando os teores de macronutrientes na parte área de *Crotalaria juncea* no estado de Alagoas, aos 65 DAE, observaram 22 g de N, 3 g de P, 17 g de K, 5 g de Ca, 3 de Mg e 1 g de S a cada quilo de matéria seca. Por outro lado, os teores médios encontrados por Purquerio et al. (2011) aos 53 dias após a semeadura (DAS) em São Carlos (SP), foram: 30 g de N, 3 g de P, 29 g de K, 14 g de Ca, 4 g de Mg e 3 g de S.

Em relação ao acúmulo de macronutrientes na parte aérea de *C. juncea*, Ribas et al. (2015) em um experimento conduzido em Arapiraca (AL), observaram acúmulo de 106 kg ha⁻¹ de N; 20 kg ha⁻¹ de P; 61 kg ha⁻¹ de K; 46 kg ha⁻¹ de Ca; 28 kg ha⁻¹ de Mg; 6 kg ha⁻¹ de S no florescimento. Para Silva et al. (2010), essa espécie cultivada em Botucatu (SP) acumulou 184 kg ha⁻¹ de N; 19 kg ha⁻¹ de P; 107 kg ha⁻¹ de K; 71 kg ha⁻¹ de Ca; 20 kg ha⁻¹ de Mg; e 14 kg ha⁻¹ de S aos 75 DAE.

Estudos conduzidos por Souza et al. (2015) no estado de Amapá, demonstram a partição dos nutrientes na parte aérea desta espécie aos 68 dias após o plantio, os quais segundo os autores estão distribuídos da seguinte maneira: 55 kg ha⁻¹ de N nas folhas e 48 kg ha⁻¹ nos ramos; 4 kg ha⁻¹ de P nas folhas e 4 kg ha⁻¹ nos ramos; 17 kg ha⁻¹ de K nas folhas e 49 kg ha⁻¹ de K nos ramos; 19 kg ha⁻¹ de Ca nas folhas e 23 kg ha⁻¹ nos ramos; 17 kg ha⁻¹ de Mg nas folhas e 11 kg ha⁻¹ nos ramos.

Além da ciclagem e extração de nutrientes, o cultivo de *C. juncea* pode promover melhorias nos atributos químicos do solo. De acordo com Lamônica (2008), a rápida decomposição da fitomassa e a liberação de nutrientes promove aumento nos teores de K e redução de H+Al do solo, colaborando com a manutenção dos níveis de Ca e Mg no sistema e, conseqüentemente aumenta os valores de soma de base na camada de 0-5 cm do solo. Derlarmelinda et al. (2010) também observaram melhorias nos atributos químicos do solo com o cultivo da *C. juncea* em Rondônia, entre os quais destacaram-se o aumento nos níveis de matéria orgânica e da capacidade de troca de cátions

Em se tratando do sistema plantio direto, sabe-se o sucesso da prática deve-se, entre outros fatores, ao fato de que a palhada e restos culturais proporcionam um ambiente favorável à recuperação ou à manutenção das propriedades biológicas do solo

(MENEZES et al., 2004) e favorecem, também, as comunidades da macrofauna edáfica (MARCHÃO, 2007; SILVA et al., 2007). Em regiões tropicais, a caracterização da atividade biológica, bem como a diversidade da macrofauna presente no solo, pode auxiliar na compreensão da dinâmica da estrutura do solo e o fluxo de nutrientes no sistema solo-planta (BLANCHART et al., 2006).

Nesse contexto, Santos et al. (2008) avaliando o efeito de plantas de cobertura em plantio direto nos principais grupos da macrofauna do solo no estado de Goiás, observou que *Crotalaria juncea* destacou-se entre as demais, apresentando maior densidade de macrofauna, de modo que o cultivo da mesma favoreceu a colonização do solo por esses organismos. Além disso, houve incremento na população destes organismos, sendo observado aproximadamente 288 e 396 indivíduos m² na primeira e segunda avaliação respectivamente. Ainda de acordo com os autores, a maior densidade de invertebrados observada nas áreas sob cultivo de crotalária representou cerca de 16% da densidade total, fato este que pode estar relacionado à preferência alimentar destes organismos por espécies leguminosas, devido principalmente à sua baixa relação C/N (SILVA et al., 2007).

Em um experimento em Campo dos Goytacazes (RJ), Lamônica (2008) avaliando a atividade enzimática do solo sob a copa de frutíferas que receberam resíduos de *C. juncea* na estação seca e chuva, constatou que a presença de *C. juncea* promoveu aumentos na atividade enzimática microbiana do solo na estação seca. Segundo a autora, a adição dos resíduos da crotalária pode ter atuado na conservação da umidade do solo e, assim, o mesmo teve condições favoráveis à ação dos microrganismos, mantendo a atividade enzimática durante o período de seca.

Embora as raízes das gramíneas forrageiras sejam destaque na melhoria das características físicas do solo, a inclusão da *C. juncea* no sistema de cultivo também apresenta potencial considerável em promover a descompactação do solo (FOLONI et al., 2006), visto o crescimento de raízes através do perfil do solo favorece a formação de canais naturais, estimulando o crescimento radicular das culturas em sucessão (BONFIM-SILVA et al., 2012).

Pacheco et al. (2015), avaliando o desempenho de espécies de crotalária como agentes biológicos de descompactação de solos em Rondonópolis (MT), obteve para *C. juncea* uma relação entre a produção de fitomassa de raízes e parte aérea de,

aproximadamente, 65 % até a densidade 1,6 Mg m³. Os autores observaram ainda que cerca de 20 % das raízes estavam presentes na camada compactada (10-20 cm), o que ao se repetir ao longo dos anos, pode melhorar a qualidade física do solo.

Sabe-se que o aumento da impedância mecânica do solo pode promover a proliferação de raízes secundárias, que são mais finas e, portanto, mais eficientes para penetrar nos poros do solo, mesmo naqueles mais argilosos (FOLONI et al., 2006). Tal condição confere à *C. juncea* o potencial de formar bioporos, que, após a decomposição das raízes, formam canais para as raízes da cultura sucessora crescerem. Assim, ao promover o aumento da porosidade, esperam-se melhorias tanto nas condições físicas como nos aspectos microbiológicas do solo, por meio do aumento das trocas gasosas e da infiltração de água (ABREU et al., 2004).

Além das características mencionadas acima, esta espécie apresenta ciclo relativamente curto e se desenvolve bem em solos argilosos a franco-arenosos e é tolerante à seca (PADOVAN, et al., 2014). Tais vantagens fazem com que a *C. juncea* tenha boa aceitação pelos agricultores no planejamento da implementação do sistema de rotação de culturas (SILVA et al., 2017b), contudo ainda são necessários estudos voltados ao desempenho desta espécie cultivada nas condições edafoclimáticas do estado de Mato Grosso do Sul.

2.1.2 *Crotalaria spectabilis*

A *Crotalaria spectabilis* é uma planta anual, arbustiva, de crescimento ereto e determinado, podendo atingir de 1,0 a 1,5 m de altura (BRAGA et al., 1998). Apresenta produtividade entre 20 a 30 Mg ha⁻¹ de massa verde, com potencial de produção de matéria seca de 4 a 6 Mg ha⁻¹ (RODRIGUES et al., 2014), além de acumular cerca 60 a 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio (MATEUS e WUTKE, 2006).

Cavalcante et al. (2012), no município de Arapiraca (AL), avaliaram a produção de massa fresca e seca de diferentes adubos verdes, onde o tratamento com *C. spectabilis* apresentou 19 Mg ha⁻¹ de massa fresca e 2,5 Mg ha⁻¹ de massa seca. De acordo com os autores, para cada quilo de matéria seca, os teores de macronutrientes na parte área desta espécie foram da ordem de: 28 g de N; 3 g de P; 27 g de K; 8 g de Ca; 3 de Mg e 1 g de S.

Em Piracicaba (SP), a quantidade de matéria seca produzida por *C. spectabilis* foi de 5,8 Mg ha⁻¹, quando manejada aos 110 DAE (SALGADO et al., 2015). Os teores encontrados pelos autores foram de 17,82 g de N; 2 g de P; 18 g de K; 10 g de Ca; 5 g de Mg.

Quanto ao acúmulo de macronutrientes, Ribas et al. (2015), em um experimento conduzido em Arapiraca (AL), observaram que no florescimento as quantidades de nutrientes acumuladas na parte aérea *C. spectabilis* foram: 119 kg ha⁻¹ de N; 20 kg ha⁻¹ de P; 67 kg ha⁻¹ de K; 85 kg ha⁻¹ de Ca; 31 kg ha⁻¹ de Mg e 9,35 kg ha⁻¹ de S. Por outro lado, no trabalho de Cavalcante et al. (2012), a extração de nutrientes na parte aérea desta espécie aos 78 DAE em Arapiraca (AL) foi de 79 kg ha⁻¹ de N 8 kg ha⁻¹ de P 77 kg ha⁻¹ de K, 23 kg ha⁻¹ de Ca 9 kg ha⁻¹ de Mg e 4 kg ha⁻¹ de S.

Em virtude do aporte de nutrientes que esta espécie fornece ao solo, pode ser empregada como adubo verde em sucessão às culturas de milho e soja, com a finalidade de restaurar e preservar os teores de matéria orgânica e nutrientes (SILVA et al., 1999). Além disso, em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, a *C. spectabilis* é citada como uma das espécies de adubo verde mais indicadas na reforma de canaviais, o que se deve, entre outros fatores, a sua produção satisfatória de massa e seca (BOLONHEZI et al., 2014) e concentração de nutrientes em seus tecidos.

Além da adubação verde, atributos químicos do solo também podem ser influenciados pelo uso desta espécie no sistema plantio direto. Nesse sentido, um experimento conduzido por Delarmelinda et al. (2010) evidenciou o potencial de *C. spectabilis* em promover o aumento da saturação por bases em um cambissolo no estado de Rondônia.

Devido suas raízes pivotantes e profundas, podem promover a descompactação do solo e, estas, após sua decomposição, favorecem o crescimento das culturas subsequentes permitindo a extensão dos seus sistemas radiculares pelos canais produzidos (CALEGARI et al., 1993). Carvalho et al. (2002) também confirmaram a habilidade dessa espécie em explorar maior volume de solo em profundidade e, por meio da formação de bioporos, aumentaram-se também o movimento de água no solo e difusão de gases.

Outro benefício desta espécie na melhoria das características físicas do solo foi relatado por Rosa et al. (2018). Os autores constataram que solos cultivados com

Crotalaria spectabilis apresentaram redução significativa na densidade do solo em comparação à área de pousio, demonstrando o potencial estruturante desta espécie após o primeiro ano de cultivo.

A escolha das espécies para compor a rotação de culturas deve levar em consideração vários fatores, entre os quais pode-se citar o desenvolvimento das plantas em condições edáficas restritivas. Nesse contexto, Silva et al. (2017a), avaliando o desenvolvimento morfológico de *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis* em diferentes níveis de compactação do solo, mostraram que não houve restrição na altura das plantas, além disso a *Crotalaria spectabilis* apresentou maior diâmetro caulinar e maior número de folhas em relação a *Crotalaria juncea* em resposta ao aumento dos níveis de compactação do solo, figurando como uma boa opção para a rotação de culturas em solos compactados.

Entre as principais características da *C. spectabilis*, destaca-se sua ação antagonista sobre nematoides e, somado a isso, sua ampla adaptação ecológica permite que a mesma seja comumente utilizada como planta-armadilha em solos infestados.

Por ser má hospedeira/não multiplicadora de nematoides, a utilização de *C. spectabilis* contribui para a redução populacional de nematoides formadores de galhas, visto que o cultivo desta espécie reduz os fatores de reprodução e a população final de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (GIRALDELI et al., 2017).

Santana-Gomes et al. (2019), em um experimento avaliando a reprodução de *Pratylenchus zae* e *P. brachyurus* em plantas leguminosas usadas como adubos verdes, observaram que *C. spectabilis* exerceu efeito antagonista sobre as populações de *P. zae* e *P. brachyurus*. A eficiência desta leguminosa na redução dos níveis de *P. zae* e *P. brachyurus* corrobora os resultados obtidos por Santana et al. (2012) e Debiasi et al. (2016), respectivamente.

Também destaca-se no controle *Heterodera glycines*, de modo que sua densidade populacional no solo cultivado com esta crotalária diminui significativamente em comparação ao solo em pousio (KUSHIDA et al., 2005).

Mediante as inúmeras vantagens do cultivo de *C. spectabilis* para o sistema plantio direto, ainda fazem-se necessários estudos direcionados às regiões produtoras de

grãos de Mato Grosso do Sul, em diferentes épocas de manejo (corte) para avaliar o desempenho da mesma em proporcionar os benefícios relatados.

2.2 Dinâmica dos nutrientes na planta

A capacidade de absorção dos nutrientes é influenciada por vários fatores, entre os quais destacam-se clima, genótipo e sistema de plantio. Geralmente a absorção acontece durante todo o ciclo, contudo em diferentes velocidades.

Em relação à extração, a mesma dependerá do rendimento obtido e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada (FRANÇA e COELHO, 2001). Essa diferença que existe entre a quantidade de nutrientes que entra e que sai no sistema refere-se ao princípio do balanço de nutrientes, o qual é importante para conhecer a cultura e determinar quais épocas cada nutriente é mais ou menos absorvido (CUNHA et al., 2010).

2.2.1 Nitrogênio

O N é um componente de vitaminas e aminoácidos, os quais darão origem às proteínas (FURLANI, 2004; DECHEN e NACHTIGALL, 2007). O nitrogênio na forma de nitrato é armazenado no vacúolo celular e tem a função importante de equilíbrio das cargas e absorção de cátions e ânions. Além disso, faz parte das estruturas de proteínas e de outros compostos orgânicos constituintes de estruturas celulares, assim como atua como elemento regulatório na forma orgânica, e reações de sínteses (FURLANI, 2004).

O N faz parte de todas as proteínas e sua falta causa o amarelecimento das folhas mais velhas, devido a fácil mobilidade desse nutriente na planta (MALAVOLTA, 2006). Devido sua alta mobilidade nas plantas, transloca-se facilmente de um órgão para outro, sendo no florescimento o período que há maior translocação da parte aérea para a inflorescência, sendo essa translocação dependente de fatores como o teor de N na parte aérea (MARSCHNER, 2012).

Os teores de N nas plantas variam entre 20 e 50 g kg⁻¹ de matéria seca levando em conta um crescimento normal (FURLANI, 2004). Em leguminosas, 90% do N está na forma orgânica, como aminoácidos livres, proteínas, nucleotídeos, aminas, purinas, coenzimas e outros, de modo que a deficiência de N ocasiona baixos teores de proteínas nos grãos (SFREDO, 2008).

As leguminosas possuem capacidade de formação de associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, o qual será incorporado no sistema de

cultivo (CORRÊA et al., 2014). A fixação biológica de nitrogênio (FBN) por estirpes de bactéria dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, apresenta vantagens como o aumento da produção de biomassa em leguminosas, maior fixação de N, redução dos custos e incremento na produção (BODDEY et al., 2006). Assim, ao estabelecerem associações simbióticas com bactérias do solo, as crotalárias aproveitam o nitrogênio fixado a partir do ar por esses microrganismos e proporcionam redução na necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados.

2.2.2 Fósforo

O fósforo (P) é absorvido pelas plantas, preferencialmente na forma de fosfato ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ e HPO_4^{2-}). É um componente integral de células vegetais, principalmente na forma dos fosfolípidos que compõe as membranas vegetais, intermediário da respiração e fotossíntese, bem como um componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (ATP, DNA e RNA) (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O P é um nutriente de grande uso na fertilização das culturas no Brasil e, devido sua utilização constante, os custos com a adubação fosfatada são elevados. Além disso, nem todo fósforo aplicado nas culturas é absorvido pelas plantas, o que ocorre devido à sua forte interação com os minerais de argila, principalmente óxidos de ferro e alumínio, ocasionando alta capacidade de adsorção e baixa disponibilidade do nutriente (NOVAIS et al., 2007). Nesse sentido, o uso de plantas de cobertura pode ser eficiente na maior disponibilidade de P para as culturas em sucessão.

2.2.3 Potássio

O potássio destaca-se entre os nutrientes minerais requeridos em maior quantidade pelas espécies vegetais. Este nutriente tem alta mobilidade na planta, em qualquer nível de concentração, seja dentro da célula, no tecido vegetal, seja, ainda, no xilema e floema (MALAVOLTA, 2006).

Destaca-se como nutriente liberado de forma mais rápida pelos restos vegetais, visto que forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade, assim sua translocação se dá facilmente devido a mais de 80% deste elemento estar presente nos tecidos vegetais na forma solúvel (MENDONÇA et al., 2015). Assim, o K torna-se prontamente disponível com decomposição da palhada (COSTA et al., 2012; SORATTO et al., 2012), pelo fato desse nutriente não participar de compostos estruturais em plantas, facilitando a sua liberação para o solo (VIANA e KIEHL, 2010).

É o cátion mais abundante no citoplasma das células vegetais, a sua maior contribuição no metabolismo das plantas está relacionada à regulação do potencial osmótico das células, ativação de várias enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (AMTMANN e ARMENGAUD, 2009), além de ser primordial para os processos de abertura e fechamento estomático (CAVALCANTE et al., 2015).

Uma das características fundamentais do K é a influência direta na tolerância e/ou resistência a doenças, que por sua vez, interfere também na qualidade de sementes (BORKERT et al., 2005).

2.2.4 Cálcio

O cálcio é um dos nutrientes constituintes da lamela média da parede celular e possui as funções de componente da parede celular e manutenção da estrutura das membranas (VITTI et al., 2006), formando um dos componentes mais recalcitrantes dos tecidos vegetais.

Segundo Malavolta (2006) há duas formas pelas quais o Ca pode ser absorvido pelas raízes. Na forma de íon Ca^{+2} e o cálcio quelatizado, ambos da solução do solo. O contato com a raiz, como se faz essencialmente por fluxo de massa o que significa a necessidade de umidade maior no solo e, conseqüentemente, possibilidade de falta nos períodos quentes e secos.

Atuando em diversas funções na planta, tem-se o Ca^{+2} , como elemento estrutural (parede celular), elemento regulatório (equilíbrio entre cátions e ânions, divisão e extensão celular e nos processos secretórios e também atuando como segundo mensageiro no citoplasma (FURLANI, 2004). Nos estádios reprodutivos este nutriente é essencial para o processo de fecundação das plantas, resultando na maior produção de frutos e sementes, e, conseqüentemente maior produtividade (POSSAN, 2010).

O Ca após ser transportado, pelo xilema e parte pelo floema, ao chegar nas folhas reduz sua mobilidade, que já é baixa, permanecendo nessas estruturas sob formas insolúveis como os pectatos, oxalatos, carbonatos e outros. Pela razão da baixa mobilidade desse nutriente, os sintomas de deficiência tornam-se visíveis nas folhas e demais tecidos jovens da planta (FLOSS, 2011).

2.2.5 Magnésio

O Mg é um nutriente bastante móvel no floema e xilema, e seu transporte e redistribuição se dá na forma iônica. Caracteriza-se pela participação em várias reações

enzimáticas que envolvem ATP e ADP, desempenhando um papel fundamental na célula vegetal como componente da molécula de clorofila (TAIZ e ZEIGER, 2013), assim como contribui para a integridade dos ribossomos, facilitando a ligação peptídica (MARENCO e LOPES, 2005).

Dentre os nutrientes, destaca-se como um dos principais ativadores enzimáticos, desempenhando funções em inúmeros processos fisiológicos e bioquímicos nas células vegetais (BOSE et al., 2011). Além disso, este nutriente exerce influência sobre o transporte de fotoassimilados no floema e afetando, sobremaneira, a distribuição de carboidratos entre os órgãos fonte e dreno.

A insuficiência de magnésio é extremamente danosa para o metabolismo vegetal, pois esta compromete a biossíntese de clorofilas e citocromos, sem os quais não há transferência de elétrons e, conseqüentemente, a produção de energia na célula cessa (TAIZ et al., 2015).

O sintoma geral de deficiência de Mg nas plantas é caracterizado por clorose entre as nervuras foliares. Forma-se um “v” invertido em relação a pecíolo em casos mais graves da deficiência, a qual ocorre primeiro nas folhas velhas devido à alta mobilidade do nutriente no floema (TAIZ e ZEIGER, 2013). Ocorre também a redução da produtividade e, em alguns casos, pode haver queda das folhas.

2.2.6 Enxofre

O S é absorvido pelas plantas na forma de SO_4^{2-} sendo, em muitos casos, retido no solo. Em solos nos quais predominam óxidos de ferro e alumínio, pode haver adsorção de SO_4^{2-} no subsolo, sendo o pH do solo um fator muito importante para esse processo, de tal modo que quanto maior for o pH, menor será a adsorção do ânion (RAIJ, 2011). O movimento desse íon para a superfície radicular ocorre predominantemente por fluxo de massa (MALAVOLTA, 2006).

Na planta o S é importante para a produção de aminoácidos, proteínas e clorofila, além de ser componente de vitaminas e de alguns hormônios da planta. Nos tecidos vegetais pode ser encontrado nas formas orgânicas de aminoácidos (cisteína, cistina e metionina) ou em compostos de S (adenosina 5-fosfosulfato e 3-fosfoadenosina 5-fosfosulfato) (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

O enxofre é importante não somente como nutriente, mas também por seu papel no mecanismo de defesa das plantas contra pragas e doenças. Os compostos secundários contendo N e S em sua estrutura como precursores inativos, são convertidos

na forma ativa pela ação de enzimas em resposta ao ataque de patógenos ou pragas (STIPP e CASARIN, 2010).

2.3 Marcha de absorção de nutrientes

A exigência nutricional das plantas, para o funcionamento adequado de seu metabolismo, pode ser estimada por modelos matemáticos, utilizando-se como parâmetro a quantidade de matéria seca produzida em determinado órgão (KURIHARA et al., 2013). Neste contexto, o acúmulo de nutrientes em função do tempo, expresso na forma da marcha de absorção de nutrientes fornece informações importantes, no que se refere à nutrição mineral de plantas, destacando-se como uma ferramenta importante para definição dos mecanismos relativos a adubação das culturas (ZOBIOLE et al., 2010).

Atualmente, diversos estudos estão sendo desenvolvidos sobre o gênero *Crotalaria*, entretanto, pouco se sabe a respeito da exigência nutricional dessas espécies. Nesse sentido, destaca-se o estudo da marcha de absorção de nutrientes, em forma de curva de resposta, a qual indica em qual estágio a planta absorve e acumula maiores quantidades de nutrientes (VIDIGAL et al., 2009), o que é importante no manejo das plantas no sistema de produção.

Assim, o conhecimento da exigência nutricional da espécie de interesse econômico, bem como o aporte de nutrientes fornecido pelas crotalárias pode otimizar a adubação, reduzir os custos e contribuir para manutenção da fertilidade dos solos, maximizando resultados positivos (MAILLARD et al., 2015). Assim, faz-se necessário o estudo do acúmulo de nutrientes em cada estágio fenológico da planta para determinar o momento em que os nutrientes são extraídos em maiores quantidades e, assim, definir estratégias para utilização destas espécies como adubo verde.

Mauad et al. (2019), em seus estudos sobre a marcha de absorção de nutrientes em *Crotalaria spectabilis*, relataram que as quantidades máximas acumuladas na parte aérea foram de: 291 mg planta⁻¹ de N, 37 mg planta⁻¹ de P, 317 mg planta⁻¹ de K, 136 mg planta⁻¹ de Ca, 33 mg planta⁻¹ de Mg e 22 mg planta⁻¹ de S, relatadas entre 125 e 140 DAE. Quanto à produção de matéria seca, os autores observaram o total de 16 g planta⁻¹, sendo o colmo a estrutura com o maior acúmulo de nutrientes e matéria seca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local, clima e solo

O experimento foi realizado na Embrapa Agropecuária Oeste em Dourados, Mato Grosso do Sul, sob as coordenadas geográficas 22° 16' S e 54° 49' W e altitude de 408m. O clima, conforme a classificação de Koppen, é do tipo Am (ALVARES et al., 2013), com verões quentes e invernos secos, temperaturas máximas observadas nos meses de dezembro e janeiro e as temperaturas mínimas entre maio e agosto. As precipitações pluviiais e as temperaturas médias, registradas durante o período experimental (fevereiro a agosto de 2017), são apresentadas na Figura 1.

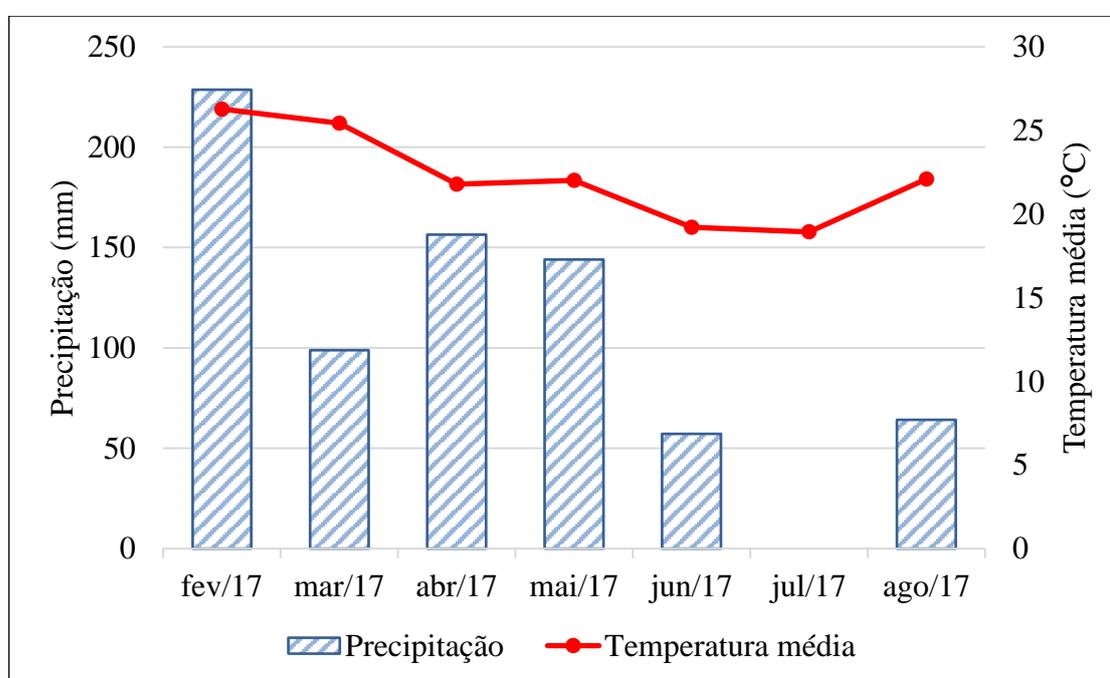


FIGURA 1. Precipitação pluvial e temperatura média do período experimental.

Fonte: Estação Agrometeorológica Embrapa Agropecuária Oeste.

O solo foi classificado como Latosso Vermelho Distroférrico (LVDF), de textura predominantemente argilosa (630 g kg⁻¹ de argila) e apresentou as seguintes características químicas de acordo com o quadro 1.

QUADRO 1. Resultado da análise química do solo, na camada de 0-20 cm, realizada em pré-semeadura, município de Dourados, MS

pH (CaCl ₂)	M.O. g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K -----	Ca mmol _c dm ⁻³	Mg -----	CTC -----	V %
5,5	33,3	18	2,9	36	15	97	56

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com duas espécies de crotalaria (*C. juncea* e *C. spectabilis*) e treze épocas de coleta para *C. juncea* (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 e 195 dias após emergência), dez épocas de coleta para *C. spectabilis* (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias após a emergência) e três repetições.

3.3 Instalação e condução da área experimental

A semeadura foi realizada mecanicamente no dia 23 de fevereiro de 2017, com o auxílio da máquina Semeato SHM 1517 e sem adição de fertilizantes, em uma área anteriormente cultivada com soja. A densidade de semeadura foi de 25 kg de sementes ha⁻¹ para *Crotalaria juncea* e 15 kg ha⁻¹ para *Crotalaria spectabilis*, totalizando cerca de 500 mil plantas ha⁻¹ para *C. juncea* e 640 mil plantas ha⁻¹ para *C. spectabilis*.

Cada unidade experimental foi constituída por 14 linhas de 12 metros de comprimento, espaçadas em 45 cm. Para as avaliações, foram consideradas as 12 linhas centrais, desprezando 1 metro em cada extremidade, perfazendo uma área útil de 54 m².

3.4 Variáveis analisadas

3.4.1 Acúmulo de matéria seca: inicialmente foram coletadas amostras da parte aérea de 15 plantas de *C. juncea* e 20 plantas de *C. spectabilis* aos 15 DAE e, a partir da segunda coleta (30 DAE) foram coletadas 10 plantas de ambas espécies, totalizando 13 épocas de coleta para *C. juncea* (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 e 195 DAE) e 10 épocas de coleta para *C. spectabilis* (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150 DAE).

A cada coleta, as plantas foram divididas em folha (limbo e pecíolo), caule e ramos, e após o aparecimento de vagens e grãos (90 DAE), estas estruturas também foram

consideradas nas avaliações. Em seguida, as diversas partes das plantas foram lavadas, armazenadas em sacos de papel perfurado e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, por aproximadamente de 72 horas, até atingir massa constante. Posteriormente, mensurou-se a matéria seca da parte aérea e, por fim, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley.

3.4.2 Marcha de absorção de nutrientes: os teores de N, P, K, Ca, Mg e S do tecido vegetal, em cada parte da planta, foram determinados de acordo com os procedimentos propostos por Malavolta et al. (1997). Para a determinação do nitrogênio os materiais foram submetidos à digestão sulfúrica, sendo que os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método de Kjeldahl. Do extrato proveniente da digestão nitroperclórica, foram determinados os teores de fósforo por colorimetria, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica, potássio por fotometria de chama e enxofre por turbidimetria.

O ajuste para a produção de matéria seca e acúmulo dos nutrientes em cada estrutura, em função dos dias após emergência, foi realizado por meio de ajustes de modelos de regressão, utilizando-se o modelo Gaussiano com três parâmetros (Equação 1), conforme descrito por Zobiole et al. (2010).

$$\hat{y} = a e^{\left[-0,5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right]} \quad (1)$$

A equação é dada por: y = acúmulo de nutrientes; a = valor de máximo acúmulo; x₀ = valor de x, em DAE, que proporciona o máximo em y; e b = amplitude no valor de x, em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo. Determinou-se também o valor do ponto de inflexão (PI) da curva de acordo com a Equação 2:

$$PI = x_0 - b \quad (2)$$

O PI 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.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca na parte aérea das plantas de *Crotalaria* apresentou comportamento distinto entre as espécies avaliadas. Para *C. spectabilis* o acúmulo foi lento até os 45 DAE, enquanto que em *C. juncea* a produção de matéria seca já havia se intensificado a partir de 30 DAE (Figura 2a e c).

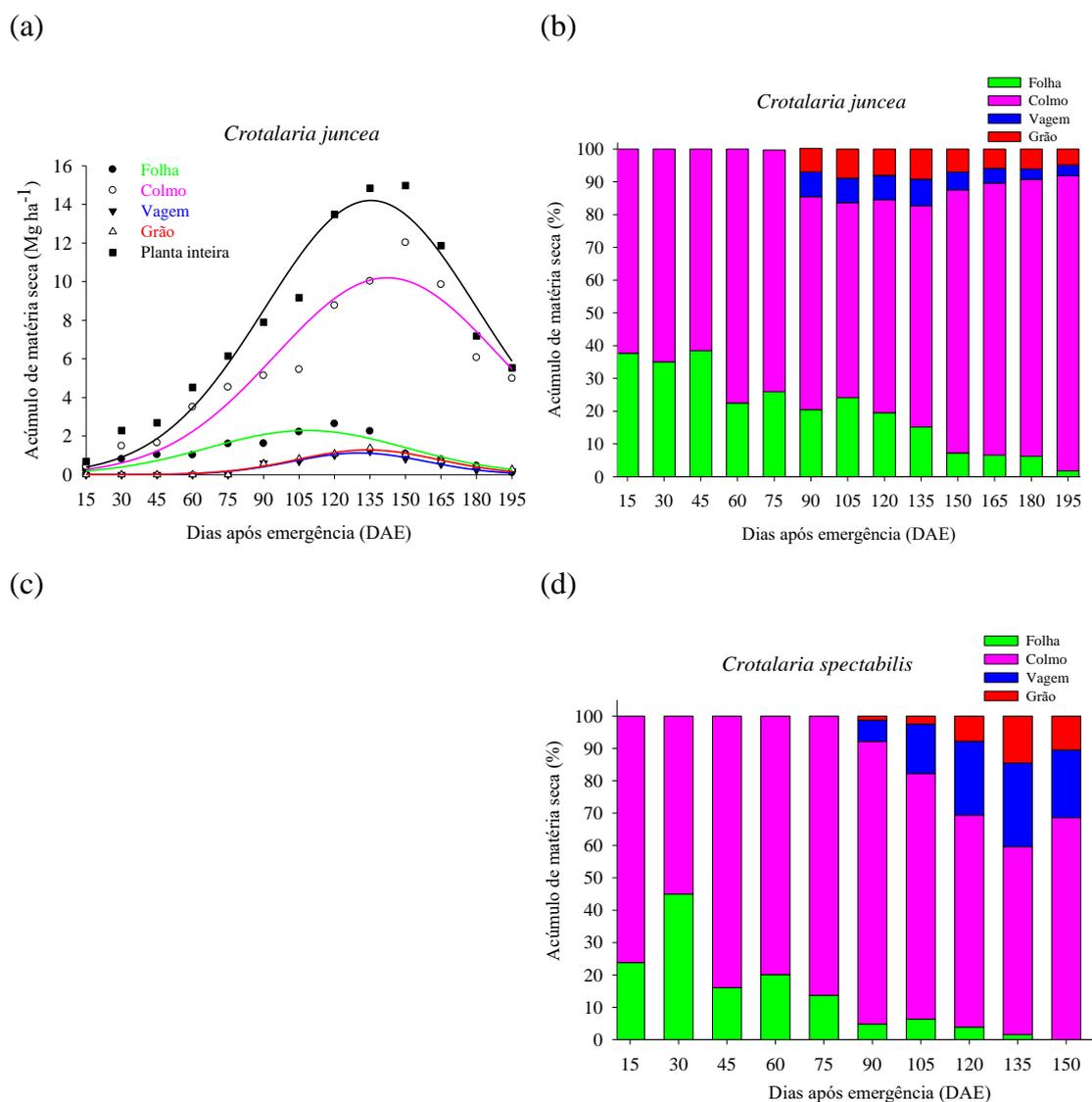


FIGURA 2. Acúmulo de matéria seca na parte aérea de *Crotalaria juncea* (a, b) e *Crotalaria spectabilis* (c, d) em função dos dias após emergência.

Uma das possíveis explicações para o resultado observado deve-se ao rápido crescimento vegetativo de *C. juncea* nos primeiros meses de cultivo, caracterizando-a como espécie de arranque inicial mais acelerado em relação à *C. spectabilis*. Assim, a maior produção de matéria seca de *C. juncea* pode ser explicada pela taxa de crescimento

acelerada, comparativamente à *C. spectabilis* (GITTI et al., 2012; PACHECO et al., 2015). Em geral, *C. juncea* apresenta rápido crescimento até os 40 dias após a semeadura (DAS), reduz entre 40 e 60 e, após os 60 DAS, retoma o crescimento acelerado, ao passo que *C. spectabilis* possui taxa de crescimento lenta e constante (TEODORO et al., 2011).

A partir de 45 DAE a produção de matéria seca na planta inteira intensificou-se, atingindo seu máximo acúmulo aos 135 e 104 DAE para *C. juncea* e *C. spectabilis* respectivamente (Quadro 2). Nesse período (45 DAE), os colmos passaram a contribuir de maneira mais expressiva para a produção de matéria seca na parte aérea, caracterizando-se como drenos do fotoassimilado produzido neste período.

QUADRO 2. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de matéria seca em diferentes partes das plantas de *Crotalaria* em função do tempo

Matéria seca	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ - b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	Mg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
<i>Crotalaria juncea</i>					
Folha	2,28	108,44	41,90	66,54	0,8438**
Colmo	10,19	142,24	47,23	95,01	0,8904**
Vagem	1,12	130,46	28,38	102,08	0,9462**
Grão	1,27	134,05	30,09	103,96	0,9638**
Planta inteira	14,20	135,39	44,89	90,50	0,9395**
<i>Crotalaria spectabilis</i>					
Folha	0,60	72,10	32,91	39,19	0,8746**
Colmo	5,82	94,99	33,06	61,93	0,8042**
Vagem	1,55	129,55	25,89	103,66	0,9552**
Grão	0,93	135,87	13,67	122,20	0,9611**
Planta inteira	7,14	104,41	39,76	64,65	0,8743**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAE, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

Para a *C. juncea*, a máxima produção de matéria seca na planta inteira foi de 14 Mg ha⁻¹, em que folha, colmo, vagem e grão contribuíram com cerca de 15; 70; 7 e 8% respectivamente (Quadro 2, Figura 2b). Nota-se que esta foi a espécie que apresentou

maior produção de matéria seca na parte aérea, bem como maior tempo para atingir o ponto de máximo acúmulo (Quadro 2).

Assim, pode-se inferir que a *C. juncea* é uma espécie promissora como planta de cobertura para áreas destinadas ao pousio, principalmente em virtude do maior período de tempo necessário para atingir sua máxima produção de matéria seca, além disso contribui com um grande aporte de resíduos vegetais que poderão ser incorporados ao solo.

Em relação à *C. spectabilis* o máximo acumulado foi da ordem de 7 Mg ha⁻¹, onde as folhas, colmo, vagens e grãos corresponderam a 8; 75; 8 e 9% do montante acumulado (Quadro 2, Figura 2d). Nota-se que esta espécie apresentou menor acúmulo de matéria seca em relação à *C. juncea*, o que pode estar atribuído às suas características morfológicas como o porte baixo e caule pouco ramificado. Por outro lado, a *C. spectabilis* figura como opção viável para o sistema de rotação de culturas, haja visto seu menor ciclo em relação às demais, o que não resultaria em atraso na semeadura da cultura subsequente. Além disso, esta espécie auxilia no manejo dos principais nematoides incidentes em lavouras produtoras de grãos, contribuindo para redução da população e dos danos causados por *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja (DEBIASI et al., 2016).

Diante das quantidades acumuladas de matéria seca é possível inferir que, visando o máximo aporte de biomassa ao solo, recomendaria-se o corte das espécies aos 135 DAE (*C. juncea*) e 104 DAE (*C. spectabilis*). Todavia, neste estágio as plantas já possuem sementes viáveis, o que poderia causar a infestação da área com as sementes do adubo verde, ocasionando problemas para cultivos subsequentes. Nesse sentido, pode-se recomendar o corte das espécies até 90 DAE, pois apesar das plantas apresentarem menores quantidades de matéria seca, os teores de nutrientes em seus tecidos estão altos (Quadros 4 e 5). Outra alternativa seria o cultivo das plantas até a colheita dos grãos/sementes para posterior utilização.

O manejo (corte) das crotalárias, se realizado aos 90 DAE, forneceria 7,9 e 7,1 Mg ha⁻¹ de palhada para *C. juncea* e *C. spectabilis* respectivamente, o que de acordo com Alvarenga et al. (2001) é suficiente para promover uma boa cobertura ao solo. Os 7,9 Mg ha⁻¹ de palhada de *C. juncea* adicionaria ao solo cerca de 223 kg ha⁻¹ de N, 27 kg ha⁻¹ de P, 247 kg ha⁻¹ de K, 112 kg ha⁻¹ de Ca, 25 kg ha⁻¹ de Mg e 25 kg ha⁻¹ de S. Para

C. spectabilis o total de 7,1 Mg ha⁻¹ de palhada forneceria, aproximadamente, 142 kg ha⁻¹ de N, 13 kg ha⁻¹ de P, 182 kg ha⁻¹ de K, 48 kg ha⁻¹ de Ca, 19 kg ha⁻¹ de Mg e 16 kg ha⁻¹ de S.

O ponto de inflexão foi estimado aos 90 e 64 DAE para *C. juncea* e *C. spectabilis* respectivamente, o que em termos práticos significa que a taxa de produção de matéria seca, ainda que positiva, passa a decrescer após esse período (Quadro 2). Assim, sugere-se que a taxa de crescimento da parte aérea é máxima no 3º mês de cultivo para *C. juncea* e por volta do 2º mês de cultivo para *C. spectabilis*.

O acúmulo de N foi pouco expressivo até os 30 DAE (Figuras 3a e c), acentuando-se a partir desse período, sendo a folha o principal órgão responsável pelo aporte do nutriente no dado momento (Figura 3). O máximo de acúmulo de N nas folhas ocorreu aos 96 e 66 DAE para *C. juncea* e *C. spectabilis* respectivamente (Quadro 3).

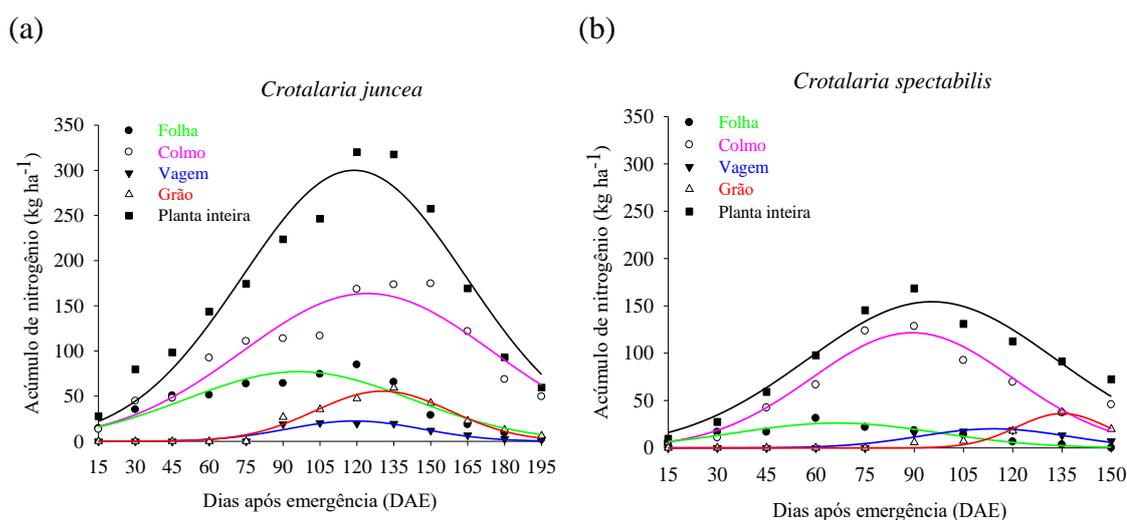


FIGURA 3. Acúmulo de nitrogênio na parte aérea de *Crotalaria juncea* (a) e *Crotalaria spectabilis* (b) em função dos dias após emergência.

Os colmos foram as estruturas que apresentaram maior acúmulo de N em ambas espécies, contudo, nota-se que em *C. juncea* o montante acumulado foi mais expressivo em relação à *C. spectabilis*, perfazendo uma diferença de aproximadamente 42 kg ha⁻¹ (Quadro 3). Observa-se que a quantidade máxima acumulada nos colmos ocorre em períodos mais tardios em relação às folhas, com defasagem de mais de 20 dias após atingir o máximo acúmulo de N nas folhas em ambas espécies.

QUADRO 3. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de nitrogênio em diferentes partes das plantas de *Crotalaria* em função do tempo

Nitrogênio	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ – b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
<i>Crotalaria juncea</i>					
Folha	77,07	96,34	45,76	50,58	0,8626**
Colmo	163,58	124,25	50,92	73,33	0,8580**
Vagem	22,47	119,09	27,42	91,67	0,8800**
Grão	55,50	130,44	27,52	102,92	0,9608**
Planta inteira	299,98	118,89	45,50	73,39	0,9228**
<i>Crotalaria spectabilis</i>					
Folha	26,22	66,48	31,01	35,47	0,8688**
Colmo	121,58	89,38	30,64	58,74	0,8830**
Vagem	20,17	114,24	22,78	91,46	0,9030**
Grão	36,27	135,13	13,91	121,22	0,9522**
Planta inteira	154,34	95,32	37,84	57,48	0,9260**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAE, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

Nas vagens e grãos, o máximo acúmulo de N ocorreu em períodos próximos comparando-se as duas espécies, onde a diferença observada foi inferior a 5 dias (Quadro 3). Com o início da formação das vagens e posterior desenvolvimento dos grãos estas estruturas tornam-se o dreno preferencial do N nas plantas, haja visto que este nutriente está envolvido nos processos de síntese de aminoácidos e proteínas (HELALI et al., 2010; MASAKAPALLI et al., 2013), além de atuar diretamente sobre a divisão e diferenciação celular e na constituição de tecidos (LUO et al., 2017), justificando a demanda no dado período.

Os teores de N em ambas espécies foram elevados no início do período de avaliação e diminuíram ao longo do desenvolvimento das plantas (Quadros 4 e 5).

QUADRO 4. Teores médios de N, P e K nas diferentes estruturas da parte aérea das plantas de *Crotalaria juncea*, em função dos dias após emergência

Dias após a emergência	Folha	Colmo	Vagens	Grãos	Planta Inteira
-----g kg ⁻¹ -----					
Nitrogênio					
15	56,33	31,48	---	---	40,85
30	50,42	30,05	---	---	34,89
45	48,90	28,97	---	---	36,64
60	43,87	26,37	---	---	31,78
75	39,75	24,44	---	---	28,34
90	39,69	22,17	31,70	46,92	28,31
105	33,48	21,39	29,65	43,74	26,88
120	32,18	19,21	19,60	43,29	23,74
135	29,11	17,30	16,22	43,29	21,40
150	26,61	14,51	14,54	40,24	17,19
165	23,46	12,35	12,44	32,23	14,26
180	20,41	11,30	11,13	29,20	12,94
195	20,31	9,92	9,96	22,87	10,74
Fósforo					
15	7,15	4,08	---	---	5,24
30	6,61	3,10	---	---	4,33
45	5,63	3,03	---	---	4,03
60	5,77	2,96	---	---	3,59
75	4,27	2,95	---	---	3,28
90	4,24	2,64	4,29	6,79	3,39
105	4,09	2,57	4,21	7,05	3,46
120	4,03	2,19	4,00	6,46	3,03
135	3,89	1,84	3,11	5,84	2,62
150	4,79	1,41	1,92	4,13	1,87
165	3,97	0,95	1,19	3,77	1,32
180	3,07	0,87	1,10	2,91	1,14
195	2,21	0,69	0,43	1,87	0,77
Potássio					
15	42,19	46,64	---	---	44,97
30	32,54	44,19	---	---	40,11
45	27,00	40,67	---	---	35,41
60	27,52	41,78	---	---	38,57
75	24,06	38,42	---	---	34,57
90	24,03	36,01	25,69	13,99	31,28
105	21,56	34,35	24,50	13,15	28,64
120	20,21	33,37	20,22	12,91	28,18
135	19,24	30,05	22,33	11,21	26,05
150	17,37	26,46	19,28	11,04	24,33
165	16,34	23,78	16,26	10,13	22,15
180	15,17	21,25	14,21	9,60	19,94
195	13,93	16,41	13,11	8,49	15,87

QUADRO 5. Teores médios de N, P e K nas diferentes estruturas da parte aérea das plantas de *Crotalaria spectabilis*, em função dos dias após emergência

Dias após a emergência	Folha	Colmo	Vagens	Grãos	Planta Inteira
-----g kg ⁻¹ -----					
Nitrogênio					
15	51,43	30,88	---	---	35,77
30	48,38	25,77	---	---	35,94
45	47,94	23,14	---	---	27,13
60	45,56	24,44	---	---	28,69
75	39,82	23,74	---	---	25,95
90	39,08	18,26	24,96	45,31	20,06
105	32,18	19,94	16,61	42,31	20,76
120	30,12	18,79	15,02	41,76	20,15
135	31,12	14,53	7,73	39,15	16,61
150	---	15,11	6,65	36,90	15,62
Fósforo					
15	6,05	3,61	---	---	4,19
30	4,35	3,57	---	---	3,92
45	4,12	2,46	---	---	2,73
60	4,00	2,40	---	---	2,72
75	3,25	2,51	---	---	2,61
90	3,04	1,62	4,11	6,62	1,91
105	2,91	1,80	4,77	7,00	2,45
120	2,51	1,38	3,71	7,64	2,44
135	3,02	0,96	1,86	6,14	1,98
150	---	0,90	1,05	5,31	1,39
Potássio					
15	41,26	47,24	---	---	45,82
30	30,10	45,00	---	---	38,30
45	29,78	44,27	---	---	41,95
60	24,29	43,12	---	---	39,33
75	23,74	39,21	---	---	37,09
90	22,23	26,46	19,55	13,07	25,63
105	17,54	24,60	22,80	14,71	23,64
120	16,58	22,03	22,98	16,93	21,64
135	13,91	19,21	22,05	17,30	19,58
150	---	18,08	20,50	18,15	18,59

Para *C. juncea*, folha e colmo inicialmente apresentaram os respectivos teores de N de 56,33 e 31,48 g kg⁻¹ e ao final esses teores foram de 20,31 e 9,92 g kg⁻¹ de N (Quadro 4), enquanto para *C. spectabilis*, esses valores no início foram de 51,43 e 30,88 g kg⁻¹ e no final de 31,12 e 15,11 g kg⁻¹ respectivamente (Quadro 5).

A queda nos teores de N nas folhas a partir da primeira coleta pode estar relacionada ao efeito de diluição, bem como à posterior translocação deste elemento para

a formação do colmo e ramificações, evidenciando a mobilidade do nitrogênio na planta, e sua participação na constituição de novos órgãos por meio da divisão celular e constituição de tecidos (LUO et al., 2017).

Com o desenvolvimento das vagens e grãos, observa-se que também houve diminuição nos teores de N no colmo, todavia esta queda foi gradual, o que pode ser atribuído ao fato desta estrutura participar nesta fase com uma menor remobilização do nutriente para o dreno (vagens e grãos) e, portanto, não apresentar uma redução acentuada nos teores do nutriente. Nota-se que as quedas nos teores de N na *C. juncea* ocorreu de maneira mais expressiva em relação à *C. spectabilis*, sugerindo que o efeito de diluição nesta espécie é maior, fato este que pode ser atribuído à maior produção de matéria seca pela mesma (Quadro 2).

Em relação ao P, houve um decréscimo nos teores deste nutriente nas folhas e no colmo com início do desenvolvimento dos órgãos reprodutivos, sendo esse mais pronunciado nos colmos (Quadros 4 e 5), evidenciando que o colmo é o principal dreno de P para formação dos órgãos reprodutivos. Estes resultados assemelham-se ao observado por Mauad et al. (2019), estudando a marcha de absorção de nutrientes em *Crotalaria spectabilis*, observaram que os caules caracterizaram-se como a principal fonte de P para os órgãos reprodutivos. Os autores salientam ainda que devido a produção dos legumes concentrar-se na haste principal, a mesma torna-se a fonte mais próxima de P para os drenos (órgãos reprodutivos).

As curvas de acúmulo (Figuras 4a e b) mostram que *C. juncea* apresentou maior acúmulo de P em relação à *C. spectabilis* em todas as estruturas avaliadas, com exceção das vagens, e a quantidade máxima acumulada de 37 kg ha⁻¹ (*C. juncea*) e 16 kg ha⁻¹ (*C. spectabilis*) foi constatada na planta inteira aos 116 e 99 DAE, respectivamente (Quadro 6).

Nas folhas, o maior acúmulo de P se deu por volta dos 100 e 65 DAE para *C. juncea* e *C. spectabilis* respectivamente (Quadro 6). Da mesma forma que para o N, o maior acúmulo de P em *C. juncea* foi relatado mais tarde, bem como a quantidade máxima acumulada do nutriente nas folhas mostrou-se superior a *C. spectabilis*.

(a)

(b)

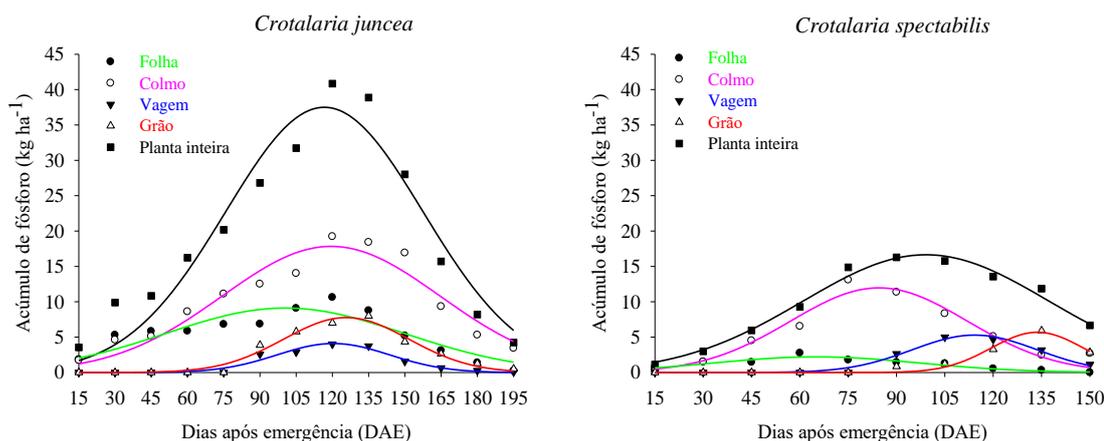


FIGURA 4. Acúmulo de fósforo na parte aérea de *Crotalaria juncea* (a) e *Crotalaria spectabilis* (b) em função dos dias após emergência.

Para o colmo, as quantidades máximas acumuladas de 18 kg ha⁻¹ (*C. juncea*) e 12 kg ha⁻¹ (*C. spectabilis*), relatadas aos respectivos 119 e 84 DAE, evidenciam que o acúmulo nesse órgão ocorre em períodos mais tardios em relação às folhas (Quadro 6).

QUADRO 6. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de fósforo em diferentes partes das plantas de *Crotalaria* em função do tempo

Fósforo	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ - b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
<i>Crotalaria juncea</i>					
Folha	9,10	100,47	49,36	51,11	0,7768**
Colmo	17,82	119,47	45,06	74,41	0,8932**
Vagem	4,09	120,40	23,34	97,06	0,9384**
Grão	7,76	125,73	25,93	99,80	0,9571**
Planta inteira	37,50	116,67	40,83	75,84	0,9098**
<i>Crotalaria spectabilis</i>					
Folha	2,20	65,17	32,05	33,12	0,8272**
Colmo	11,96	84,54	27,47	57,07	0,9145**
Vagem	5,28	114,27	19,43	94,84	0,9722**
Grão	5,68	133,70	14,36	119,34	0,9640**
Planta inteira	16,64	99,15	38,14	61,01	0,9787**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAE, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

Nas vagens e nos grãos a quantidade máxima acumulada de P foi superior na *C. juncea*, assim como a mesma demandou um maior período de tempo para atingir seu máximo acúmulo de P nesses órgãos, perfazendo uma diferença de aproximadamente 7 dias em relação à *C. spectabilis*.

De maneira geral, os órgãos reprodutivos foram as estruturas que apresentaram o máximo acúmulo de P em períodos mais tardios em relação aos órgãos vegetativos (Quadro 6). Sabe-se que este nutriente atua diretamente sobre os processos de formação, desenvolvimento e maturação de legumes e sementes contribuindo para o maior “pegamento” de floradas, viabilidade de sementes e incremento em carboidratos, óleos, gorduras e proteínas (MALAVOLTA, 2006), justificando sua maior remobilização a partir do florescimento, e acúmulo mais tardio nos órgãos reprodutivos.

O K foi o nutriente mais acumulado pelas plantas de *Crotalaria* (Quadro 7), concordando com os resultados de Silva et al. (2002), Pott e Feltrin (2008) e Mauad et al. (2019), que também relataram que o K foi macronutriente mais absorvido por *Crotalaria spectabilis*.

QUADRO 7. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de potássio em diferentes partes das plantas de *Crotalaria* em função do tempo

Potássio	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ – b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
<i>Crotalaria juncea</i>					
Folha	47,53	98,29	46,64	51,65	0,8175**
Colmo	288,56	128,54	48,68	79,86	0,8494**
Vagem	24,25	126,69	27,45	99,24	0,9128**
Grão	15,23	129,97	29,25	100,72	0,9605**
Planta inteira	364,25	124,89	47,16	77,73	0,8919**
<i>Crotalaria spectabilis</i>					
Folha	14,89	64,97	31,87	33,10	0,9173**
Colmo	186,97	83,46	28,63	54,83	0,8728**
Vagem	35,09	128,27	24,35	103,92	0,9634**
Grão	16,36	136,37	13,54	122,83	0,9771**
Planta inteira	198,97	90,04	36,23	53,81	0,8412**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAE, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

Os teores foram elevados no início e diminuíram ao longo do tempo, sendo que a partir do florescimento, a queda nos teores de K foi mais intensa, principalmente nos colmos. Assim, sugere-se que estes órgãos são fonte de redistribuição de K para a formação das vagens e enchimento dos grãos, haja visto que a mesma ocorre das estruturas vegetativas para as reprodutivas. Comportamento semelhante também foi relatado em plantas de girassol, crambe e niger (ZOBIOLE et al., 2010; MAUAD et al., 2013; MAUAD et al., 2015), onde os teores de K tiveram redução mais acentuada a partir do florescimento.

Uma possível explicação para diminuição dos teores K nas folhas e colmos, acompanhada de aumento nas estruturas reprodutivas deve-se ao fato deste elemento não possuir função estrutural, mas sim atuar sobre as reações enzimáticas, no metabolismo dos carboidratos e proteínas, na translocação do açúcar e do amido (FAGERIA, 2009), produtos esses utilizados para formação e acúmulo nos órgãos reprodutivos. Assim, com a formação das vagens e posterior enchimento de grãos, esses órgãos tornam-se os drenos preferenciais e demandam a translocação e redistribuição de metabólitos, as quais são mediadas pelo K por meio de reações enzimáticas ligadas ao metabolismo, como a síntese e transporte de carboidratos e água para os frutos (AULAR e NATALLE, 2013).

O máximo acúmulo de K na planta inteira ocorreu aos 125 (*C. juncea*) e 90 DAE (*C. spectabilis*) com 364 e 199 kg ha⁻¹, respectivamente (Quadro 7). Para *C. juncea*, o órgão que mais acumulou K foi o colmo, seguido por folhas, vagens e grãos (Figura 5). Em relação à *C. spectabilis*, o colmo também foi órgão com maior quantidade acumulada de K, seguido de vagens, grãos e, por fim, folhas, corroborando os resultados obtidos por Mauad et al. (2019), em que os autores também observaram a mesma ordem de acúmulo de K em *Crotalaria spectabilis*.

O K foi o segundo elemento mais exportado via colheita dos grãos, com valores da ordem de 15 kg ha⁻¹ (*C. juncea*) e 16 kg ha⁻¹ (*C. spectabilis*). Este nutriente foi o mais acumulado pela parte aérea das plantas, o que torna a palhada de *Crotalaria* uma fonte desse elemento no sistema de plantio direto. Sabe-se que K é o cátion mais abundante no citoplasma das células vegetais, formando ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade e, portanto, de rápida liberação (MENDONÇA et al., 2015), fazendo com que o cultivo dessas espécies proporcione alta oferta de K no solo durante a decomposição dos resíduos vegetais.

As quantidades de K acumuladas na parte aérea das plantas são elevadas, contribuindo na disponibilização deste nutriente para a cultura em sucessão. Nesse sentido, a antecipação de parte da adubação potássica da cultura comercial na semeadura das crotalárias pode ser viável, o que também poderia aumentar a produção de fitomassa dessas espécies de cobertura. Vale ressaltar que o K representa cerca de 6% da matéria seca total das plantas (ALEMÁN et al., 2011) e atua na regulação da abertura e fechamento estomático, proporcionando uma maior taxa fotossintética e consequentemente maior produção de fitomassa.

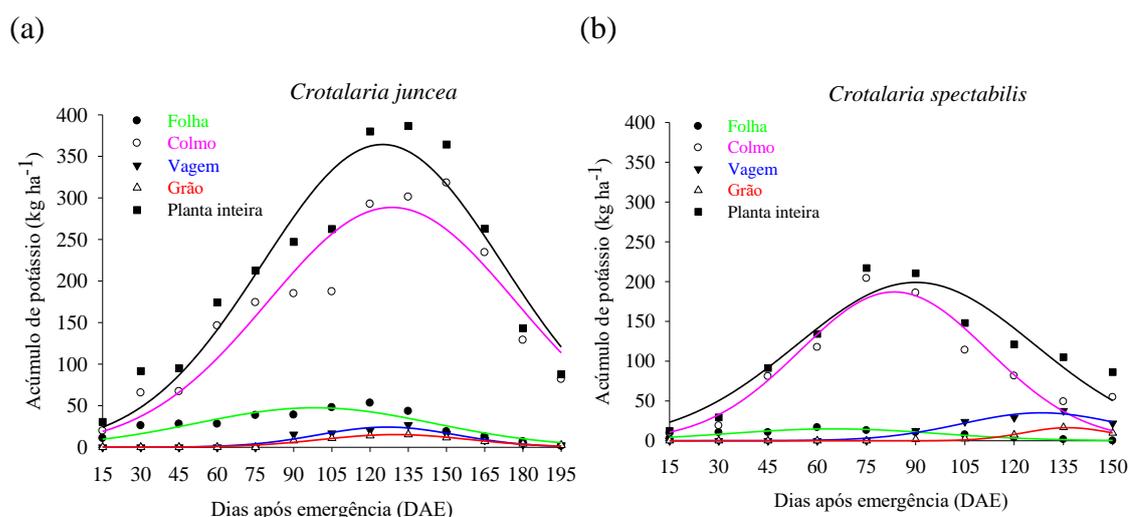


FIGURA 5. Acúmulo de potássio na parte aérea de *Crotalaria juncea* (a) e *Crotalaria spectabilis* (b) em função dos dias após emergência.

O Ca foi o terceiro nutriente mais extraído pelas plantas de *Crotalaria*, sendo as folhas os órgãos com a maior concentração do nutriente e, em contrapartida, os menores teores foram observados nos grãos (Quadros 8 e 9). Isto se deve provavelmente ao fato da folha apresentar maior transpiração em relação ao colmo, apresentado concentração de Ca em seus tecidos. Cabe ressaltar que esse elemento, apresenta baixa mobilidade no floema, justificando os baixos teores assim como o menor acúmulo deste nutriente nos órgãos reprodutivos. Rengel et al. (2011) observaram maiores teores de cálcio em folhas de cana-de-açúcar em relação ao colmo, o que segundo os autores está relacionado a maior transpiração da folha.

QUADRO 8. Teores médios de Ca, Mg e S nas diferentes estruturas da parte aérea das plantas de *Crotalaria juncea* em função dos dias após emergência

Dias após emergência	Folha	Colmo	Vagens	Grãos	Planta Inteira
	----- g kg ⁻¹ -----				
Cálcio					
15	39,21	16,57	---	---	25,11
30	38,02	13,38	---	---	22,02
45	35,00	13,33	---	---	21,68
60	35,62	11,77	---	---	17,14
75	31,41	11,50	---	---	16,64
90	31,21	10,40	8,73	5,31	14,19
105	29,35	9,98	7,93	4,86	14,06
120	26,72	8,78	7,25	4,53	11,83
135	22,86	7,67	6,76	4,04	9,56
150	21,94	6,61	5,87	3,96	7,50
165	16,88	5,51	4,91	3,44	6,11
180	16,81	4,88	4,83	3,02	5,52
195	14,45	4,13	3,47	2,99	4,24
Magnésio					
15	3,03	5,07	---	---	4,30
30	2,54	4,97	---	---	4,12
45	2,13	4,85	---	---	3,80
60	2,18	4,25	---	---	3,79
75	2,06	3,91	---	---	3,42
90	2,05	3,85	2,48	1,62	3,23
105	1,96	3,79	2,82	1,86	3,11
120	1,90	2,57	2,38	2,05	2,38
135	1,63	2,44	1,91	2,23	2,25
150	1,49	2,16	1,51	2,39	2,09
165	1,26	1,85	1,28	2,16	1,81
180	1,05	1,67	1,22	2,04	1,64
195	1,02	1,23	1,14	1,96	1,26
Enxofre					
15	2,14	6,04	---	---	4,57
30	2,01	5,74	---	---	4,43
45	1,81	5,41	---	---	4,02
60	1,79	4,10	---	---	3,59
75	1,57	3,93	---	---	3,31
90	1,57	3,77	2,22	4,20	3,24
105	1,30	3,69	1,95	3,89	3,00
120	1,10	2,14	1,22	2,99	1,94
135	1,03	1,82	0,92	2,39	1,68
150	0,92	1,35	0,82	2,01	1,34
165	0,88	1,19	0,72	1,92	1,19
180	0,86	1,11	0,62	1,79	1,12
195	0,84	1,02	0,48	1,19	1,00

QUADRO 9. Teores médios de Ca, Mg e S nas diferentes estruturas da parte aérea das plantas de *Crotalaria spectabilis* em função dos dias após emergência

Dias após a emergência	Folha	Colmo	Vagens	Grãos	Planta Inteira
	----- g kg ⁻¹ -----				
Cálcio					
15	34,68	14,57	---	---	19,39
30	30,48	13,58	---	---	21,18
45	30,14	11,60	---	---	14,58
60	22,87	10,43	---	---	12,93
75	22,56	10,46	---	---	12,12
90	17,97	6,11	7,94	2,21	6,75
105	16,84	6,53	7,44	3,17	7,24
120	15,01	6,23	6,06	5,16	6,45
135	14,54	5,60	4,09	3,54	5,06
150	---	5,58	4,08	3,09	5,01
Magnésio					
15	2,87	4,99	---	---	4,49
30	2,45	4,80	---	---	3,74
45	2,46	4,42	---	---	4,11
60	2,00	3,67	---	---	3,33
75	2,12	4,00	---	---	3,74
90	1,99	2,77	1,80	2,19	2,66
105	1,98	2,52	2,41	2,00	2,46
120	1,79	1,95	2,67	1,76	2,09
135	1,71	1,63	1,33	1,82	1,58
150	---	1,24	1,24	1,12	1,23
Enxofre					
15	2,05	5,47	---	---	4,66
30	1,77	5,25	---	---	3,68
45	1,75	4,14	---	---	3,75
60	1,34	3,63	---	---	3,17
75	1,41	3,51	---	---	3,22
90	1,44	2,36	1,37	2,93	2,26
105	1,08	2,69	1,33	2,07	2,36
120	1,08	1,46	0,79	2,20	1,35
135	1,10	1,22	0,56	1,67	1,11
150	---	1,13	0,36	1,53	1,01

O acúmulo de Ca na parte aérea das plantas seguiu a seguinte ordem: folha > colmo > legumes > grãos (Figura 6).

O máximo acúmulo de Ca na planta inteira foi observado aos 112 DAE (*C. juncea*) e 86 DAE (*C. spectabilis*) (Quadro 10; Figura 6). As folhas contribuíram com 44% e 24% do montante de Ca acumulado para *C. juncea* e *C. spectabilis* respectivamente, enquanto nos colmos esses valores corresponderam a 52% e 77%.

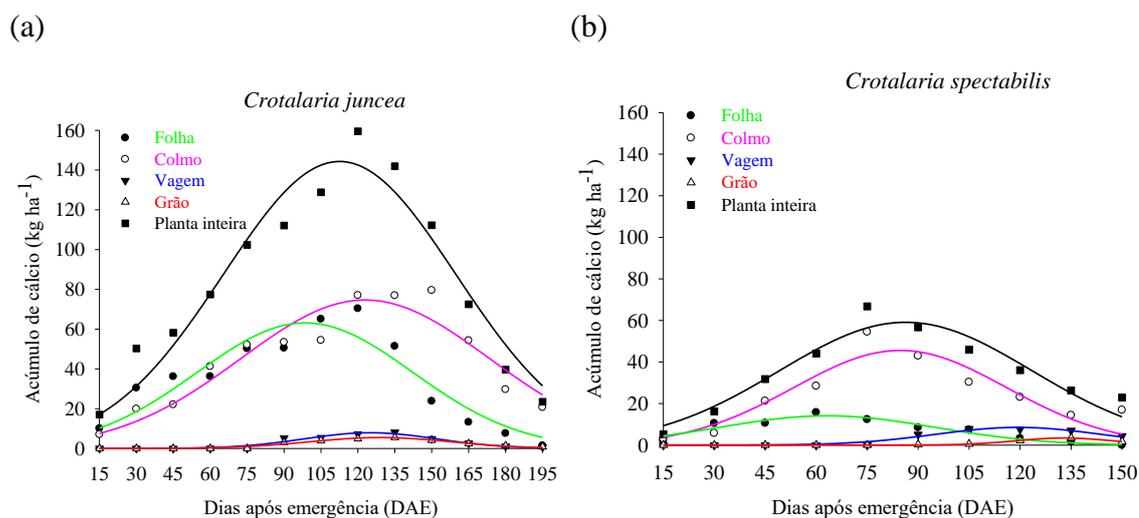


FIGURA 6. Acúmulo de cálcio na parte aérea de *Crotalaria juncea* (a) e *Crotalaria spectabilis* (b) em função dos dias após emergência

Nas vagens, o máximo acúmulo de Ca ocorreu em períodos próximos nas duas espécies, sendo relatado aos 125 e 119 DAE para *C. juncea* e *C. spectabilis* respectivamente (Quadro 10). Da mesma forma, a quantidade máxima acumulada de Ca nas vagens foi muito semelhante entre as espécies, apresentando uma diferença inferior a 1 kg ha⁻¹.

Para os grãos, assim como nas vagens, o acúmulo de Ca atingiu seu máximo em períodos próximos, onde a diferença entre as espécies foi de, aproximadamente, 4 dias. Por outro lado, a magnitude da quantidade acumulada de Ca nos grãos foi superior em *C. juncea*, perfazendo o total de 5 kg ha⁻¹, ao passo que em *C. spectabilis* esse valor foi de 3 kg ha⁻¹ (Quadro 10). Tais resultados apontam para uma tendência em relação ao número de dias necessários para alcançar o máximo acúmulo de Ca, entretanto, a magnitude da quantidade acumulada é variável de acordo com a espécie.

QUADRO 10. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de cálcio em diferentes partes das plantas de *Crotalaria* em função do tempo

Cálcio	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ - b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
<i>Crotalaria juncea</i>					
Folha	63,10	98,53	43,79	54,74	0,8458**
Colmo	74,63	122,96	50,45	72,51	0,8650**
Vagem	7,89	125,08	27,11	97,97	0,9248**
Grão	5,47	129,09	29,06	100,03	0,9546**
Planta inteira	144,31	112,57	47,23	65,34	0,9225**
<i>Crotalaria spectabilis</i>					
Folha	14,09	63,20	31,75	31,45	0,8949**
Colmo	45,55	84,71	31,37	53,34	0,7995**
Vagem	8,50	119,48	24,48	95,00	0,9402**
Grão	3,40	132,99	14,32	118,67	0,9934**
Planta inteira	59,10	86,33	37,13	49,20	0,8883**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAE, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

Os teores de Mg apresentaram pequenas variações do início ao final do ciclo em todas estruturas avaliadas, sendo os maiores valores encontrados no início e com leve decréscimo na última coleta (Quadros 8 e 9). A estrutura que apresentou maior teor do nutriente foi o colmo, enquanto que o menor teor foi observado nas vagens.

O acúmulo de Mg nas folhas apresentou flutuações discretas, comparando-se as coletas entre si, principalmente para *C. spectabilis* (Figura 7). Isso pode estar relacionado à função desempenhada por este nutriente no metabolismo fotossintético (TEKLIĆ et al., 2009) e na ativação enzimática (TAIZ et al., 2015), caracterizando uma demanda constante de Mg durante o ciclo de desenvolvimento das plantas. O máximo acúmulo de Mg nessas estruturas ocorreu aos 101 e 69 DAE para *C. juncea* e *C. spectabilis* respectivamente (Quadro 11).

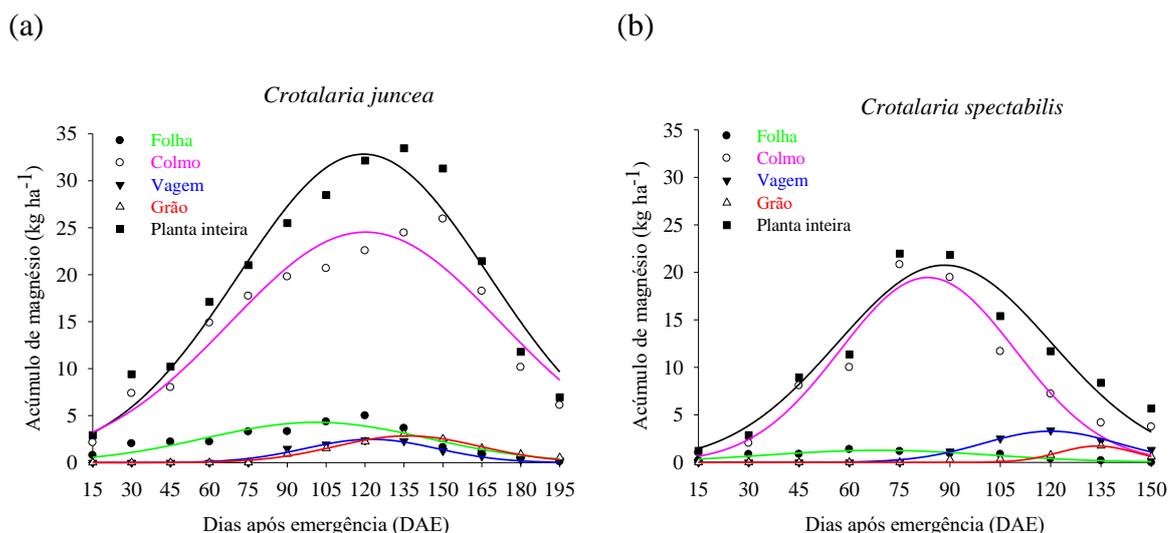


FIGURA 7. Acúmulo de magnésio na parte aérea de *Crotalaria juncea* (a) e *Crotalaria spectabilis* (b) em função dos dias após emergência

QUADRO 11. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de magnésio em diferentes partes das plantas de *Crotalaria* em função do tempo, e os respectivos valores do ponto de inflexão

Magnésio	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ - b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
<i>Crotalaria juncea</i>					
Folha	4,28	101,06	42,91	58,15	0,8141**
Colmo	24,53	120,12	52,24	67,88	0,8889**
Vagem	2,48	122,27	25,39	96,88	0,9500**
Grão	2,85	136,40	27,87	108,53	0,9774**
Planta inteira	32,82	119,44	48,31	71,13	0,9355**
<i>Crotalaria spectabilis</i>					
Folha	1,26	68,77	33,59	35,18	0,9007**
Colmo	19,45	83,37	26,14	57,23	0,9000**
Vagem	3,27	120,01	20,28	99,73	0,9830**
Grão	1,72	133,84	11,38	122,46	0,9265**
Planta inteira	20,75	88,36	31,86	56,50	0,9038**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAE, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

O colmo foi a estrutura que apresentou o maior acúmulo de Mg em relação às demais em todos os períodos avaliados (Quadro 11). Ao final do ciclo de cultivo, esse órgão representou cerca de 75% (*C. juncea*) e 94% (*C. spectabilis*) do total acumulado na parte aérea das plantas. Isso pode estar relacionado ao fato deste nutriente possuir alta mobilidade no floema, sendo facilmente translocado das folhas velhas até os lugares de intensa atividade metabólica, como caules. Além disso, os colmos também podem atuar como órgãos fotossintetizantes em espécies vegetais que apresentam caules de coloração verde (ÁVILA et al., 2014), sendo Fabaceae e Asteraceae as famílias com maior diversidade de espécies fotossintéticas do caule (NILSEN, 1995), o que pode ter contribuído para o montante de Mg acumulado nesse órgão.

Nas vagens, a marcha de absorção de Mg foi bastante similar entre as espécies, onde a quantidade máxima acumulada mostrou uma diferença de apenas 0,79 kg ha⁻¹, assim como o tempo necessário para o máximo acúmulo apresentou variação de apenas 2 dias (Quadro 11).

Assim como nas vagens, o máximo acúmulo de Mg nos grãos ocorreu em períodos muito próximos entre as espécies, com uma diferença inferior a 3 dias (Quadro 11). Em relação às demais partes das plantas, os grãos foram as estruturas com acúmulo mais tardio de Mg, o que se deve principalmente a função deste elemento na síntese proteica e translocação de fotoassimilados.

Em espécies leguminosas, o magnésio concentra-se nas sementes e cotilédones, sendo posteriormente utilizado pelas plantas jovens para assegurar o desenvolvimento do vegetal (BOARO et al., 1998). Sabe-se que, na semente, o magnésio juntamente com outros nutrientes como o fósforo, é armazenado principalmente como ácido fítico, constituindo a fitina, composto essencial para a germinação das sementes (MARSCHNER, 2012). Além disso, nos estágios iniciais de crescimento das plântulas, o embrião apresenta uma alta exigência nutricional, onde o Mg destaca-se nas reações de fosforilação e síntese proteica.

O S foi o nutriente menos acumulado pela parte aérea das plantas de *Crotalaria*, sendo o máximo acúmulo na planta inteira de 27 kg ha⁻¹ (*C. juncea*) e 18 kg ha⁻¹ (*C. spectabilis*) observado aos 109 e 89 DAE, respectivamente (Quadro 12). O acúmulo de S seguiu a ordem: colmo > grão > folha > vagem para *C. juncea*, enquanto *C. spectabilis* apresentou a ordem: colmo > grão > vagem > folha.

A marcha de absorção de S revelou que, à medida que se iniciou o desenvolvimento dos grãos, houve redução no acúmulo de S na planta inteira, o que pode ser explicado pela mudança do dreno preferencial para as sementes em formação, em detrimento aos demais órgãos da planta (Figura 8).

Os teores de S nas folhas, colmo, vagens e grãos foram maiores no início do cultivo e diminuíram ao longo das avaliações, sendo os grãos as estruturas com as maiores concentrações finais de S (Quadros 8 e 9), haja visto que este nutriente é precursor de aminoácidos e proteínas, produtos esses que se constituem nas principais substâncias de reserva encontradas em sementes de espécies leguminosas.

QUADRO 12. Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para o acúmulo de enxofre em diferentes partes das plantas de *Crotalaria* em função do tempo

Enxofre	Estimativa dos Parâmetros do modelo ⁽¹⁾			PI (X ₀ - b)	R ² Ajustado
	a	X ₀	b		
	kg ha ⁻¹	Dias Após Emergência			
<i>Crotalaria juncea</i>					
Folha	2,87	93,91	46,27	47,64	0,8849**
Colmo	20,61	107,53	52,26	55,27	0,9620**
Vagem	1,42	116,04	26,58	89,46	0,8501**
Grão	3,55	123,23	28,35	94,98	0,9220**
Planta inteira	27,48	109,22	48,37	60,85	0,9781**
<i>Crotalaria spectabilis</i>					
Folha	0,86	66,72	32,85	33,87	0,9214**
Colmo	17,40	82,90	26,72	56,18	0,9316**
Vagem	1,32	113,57	21,89	91,68	0,8923**
Grão	1,51	133,47	15,70	117,77	0,9308**
Planta inteira	18,41	85,66	30,06	55,60	0,9255**

⁽¹⁾ a: corresponde ao valor de máximo acúmulo; X₀: valor de x, em DAE, que proporciona o máximo em a; b: amplitude no valor de x, em DAE, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo; PI: valor de x, em DAE, em que a taxa de acúmulo diário, ainda que positiva, passa a decrescer. ** Significativo ao nível de 1 % pelo teste F.

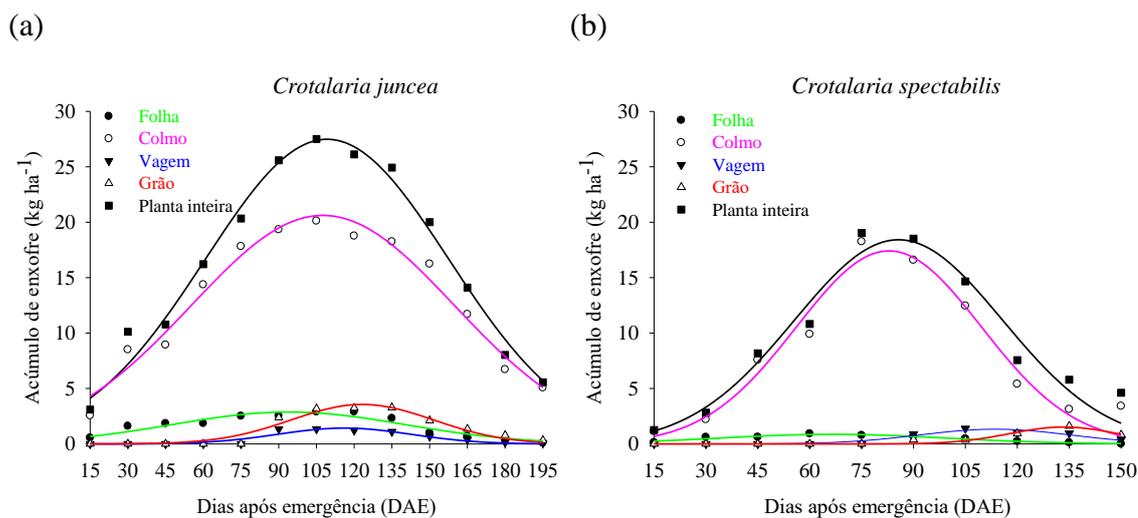


FIGURA 8. Acúmulo de enxofre na parte aérea de *Crotalaria juncea* (a) e *Crotalaria spectabilis* (b) em função dos dias após emergência

Uma possível explicação reside no fato de que, durante a germinação, as reservas proteicas são hidrolisadas a seus aminoácidos constituintes, os quais são utilizados para produção de novos aminoácidos, proteínas ou para fornecer energia e esqueletos carbônicos, por meio da via respiratória, após desaminação (CACCERE et al., 2013). Além de nitrogênio, as proteínas também fornecem enxofre, ambos essenciais para a síntese de novas proteínas, ácidos nucleicos e compostos secundários na plântula em crescimento (LIMA et al., 2008; TAIZ et al., 2015).

5. CONCLUSÃO

O máximo acúmulo de nutrientes na parte aérea de *C. juncea* e *C. spectabilis* apresentou a seguinte ordem: K>N>Ca>Mg>P>S para ambas espécies.

O colmo é o principal órgão de acúmulo de nutrientes em crotalária, bem como a principal fonte de nutrientes para formação das estruturas reprodutivas.

A exportação de nutrientes pelos grãos seguiu a ordem N>K>Ca>Mg>P>S para *C. juncea* e N>K>P>Ca>S>Mg para *C. spectabilis*.

A *C. juncea* acumulou maiores quantidades de nutrientes e matéria seca, bem como o tempo necessário para o máximo acúmulo foi maior em relação à *C. spectabilis*.

O manejo da parte aérea visando o aporte de nutrientes ao solo já poderia ser realizado cerca de 90 DAE para ambas espécies. Contudo, o acúmulo máximo de matéria seca se daria mais adiante, aos 135 DAE para *C. juncea* e 104 DAE para *C. spectabilis*. Nessa situação, vale ressaltar que as sementes estariam chegando em fase de apresentarem viabilidade para posterior infestação da área, sendo fundamental um correto diagnóstico no campo.

O cultivo das plantas até a colheita dos grãos seria outra alternativa para posterior utilização destes como sementes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-Arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004.

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; DE PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.

ALEMÁN, F.; NIEVES-CORDONES, M.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F. Root K(+) acquisition in plants: the Arabidopsis thaliana model. **Plant & Cell Physiology**, v. 52, n. 9, p. 1603-1612, 2011.

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

ALVARES, C. A.; STAPES, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 47-54, 2000.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; Da SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L.; F. TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 80-90, 2013.

AMTMANN, A.; ARMENGAUD, P. Effects of N, P, K and S on metabolism: new knowledge gained from multi-level analysis. **Plant Biology**, v. 12, p. 275-283, 2009.

ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, F. F.; COUTINHO, E. L. M. Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na pré-safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1691-1698, 2008.

AULAR, J.; NATALLE W. Nutrição mineral e qualidade do fruto de algumas frutíferas tropicas: goiabeira, mangueira bananeira e mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1214-1231, 2013.

AVILA, E.; HERRERA, A.; TEZARA, W. Contribution of stem CO₂ fixation to whole-plant carbon balance in nonsucculent species. **Photosynthetica**, v. 52, n. 1, p. 3–15, 2014.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3ed. Editora Ícone: São Paulo, 1990. 355p.

BLANCHART, E.; VILLENAVE, C.; VIALLATOUX, A.; BARTHÈS, B.; GIRARDIN, C.; AZONTONDE, A.; FELLER, C. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in Southern Benin. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 136-144, 2006.

BOARO, C. S. F.; MORAES, J. A. P. V.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O.; PEDRAS, J. F.; CURI, P. R. Magnésio, cálcio e potássio em sementes e cotilédones de feijoeiros e sua transferência para plantas jovens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 263-268, 1998.

BODDEY, M. R.; ALVES, B. J. R.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Biological nitrogen fixation in agroecosystems and in plant roots. In: HUPHOFF, N.; BALL, A. S.; FERNANDES, E.; HERREN, H.; HUSSON, O.; LAING, M.; PALM, C.; PRETTY, J.; SANCHEZ, P.; SANGINGA, N.; THIES, J. (Eds). **Biological approaches to sustainable soil systems**. Boca Raton: CRC Press – Taylor and Francis group. 2006. p. 177-189.

BOLONHEZI, D.; BOLONHEZI, A. C.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde e rotação de culturas para cana-de-açúcar. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Eds.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 127-158.

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

BORKERT, C. M.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KLEPKER, D.; JUNIOR OLIVEIRA, A. E. Potássio: Absorção, transporte e redistribuição na planta. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 179–238.

BOSE, J.; BABOURINA, O.; RENGEL, Z. Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. **Journal of Experimental Botany**, v 62, n.7. p. 2251 – 2264, 2011.

BRAGA, R. N; WUTKE, E. B; AMBROSANO, E. J.; BULISANI, E. A. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6ed. Campinas: Instituto Agrônômico, Boletim Nº 200, 1998. p. 295-296.

CACCERE, R.; TEIXEIRA, S. P.; CENTENO, D. C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L.; BRAGA, M. R. Metabolic and structural changes during early maturation of Inga veraseeds are consistent with the lack of a desiccation phase. **Journal of Plant Physiology**, v. 170, n. 9, p. 791-800, 2013.

CARVALHO, A. M.; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. **Manejo de adubos verdes no cerrado**. Planaltina: Embrapa-CPAC, Circular Técnica, 1999. p. 28.

CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milho, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1462-1470, 2012.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; NETO, A. L. S.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G.; COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 521–528, 2012.

CAVALCANTE, V.S.; PRADO, R.M.; ALMEIDA, H.J.; CRUZ, F.J.R.; SANTOS, D.M.M. Gaseous exchanges, growth and foliar anatomy of sugarcane plants grown in

potassium (K) deprived nutrient solution. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, n. 7, p. 577-584, 2015.

CAZETTA, D.A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milho e crotalária. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 4, p. 575-580, 2005.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário.**, v. 22, n. 212, p. 53-60, 2001.

CLARKE, E. C. G.; CLARKE, M. L. **Garner's Veterinary Toxicology**. 3ed. London: Baillière, 1967. 477p.

CORRÊA, A. L.; ABOUD, A. C. S.; GUERRA, J. G. M.; AGUIAR, L. A.; RIBEIRO, R. L. D. Adubação verde com crotalária consorciada ao minimilho antecedendo a couve-folha sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, v. 61, n. 6, p. 956-963, 2014.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; FERRANI NETO, J. COSTA, M. B. B. da. **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346p.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; FERRANI NETO, J. Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalária em função da fragmentação. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 384-394, 2012.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. **Balço de nutrientes na agricultura brasileira**. Informações agrônômicas N° 130, Piracicaba: IPNI, 2010. 11p.

DELARMELINDA, E. A.; SAMPAIO, F. A. R.; DIAS, J. R. M.; TAVELLA, L. B.; SILVA, J. S. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 3, 2010.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Práticas culturais na entressafra da soja para o controle de *Pratylenchus brachyurus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1720-1728, 2016.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.;

CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

ELFSTRAND, S.; BATH, B.; MARTENSSON, A. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. **Applied Soil Ecology**, v. 36, n. 1, p. 70-82, 2007.

FAGERIA, N.K. **The use of nutrients in crop plants**. Florida: CRC Press, 2009. 430p.

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P.; PIZZINATTO, M. A.; BETTI, J. A.; MELO, A. M. T.; FURLANI, A. M. C. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 396p.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 5ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2011. 733p.

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

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J.; GOMES, L. A. A.; ALMEIDA, K.; MORAES, S. R. G.; TEIXEIRA, C. M. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 146-150, 2006.

FORMENTINI, E.A.; LÓSS, F. R.; BAYERL, M. P.; LOVATI, R. D.; BAPTISTA, E. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**, Vitória: Incaper, 2008. 27p.

FRANÇA, G. E.; COELHO, A. M. Adubação do milho para silagem. In: CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A.; FERREIRA, J. J. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. p. 53-83.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 78f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Montes Claro, Jarnaúba, 2011.

FREDDI, O. N.; TAVANTI, R. F. R.; SOARES, M. B. ALMEIDA, F. T.; PERES, F. S. C. Qualidade físico-química de um latossolo sob semeadura direta e sucessão soja-milho no ecótono cerrado/Amazônia. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 991-1000, 2017.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. (Ed). **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.

GARCIA, J. M.; KAWAKITA, K.; SOUZA, M. C.; MIOTTO, S. T. S. O gênero *Crotalaria* L. (Leguminosae, Faboideae, Crotalarieae) na Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 2, p. 209-226, 2013.

GARCIA, R. A.; GOULART, A. C. P.; ÁVILA, C. J.; CONCENÇO, G.; SALTON, J. C. Sucessão soja/soja safrinha em Mato Grosso do Sul: um modelo de produção com sustentação agrônômica? **Comunicado Técnico n° 206**, dez/2015.

GIRALDELI, A. L.; SAN GREGORIO, J. P. R.; MONQUERO, P. A.; AGUILLERA, M. M.; RIBEIRO, N. M. Weeds Hosts of Nematodes in Sugarcane Culture. **Planta Daninha**, v. 35, 2017.

GITTI, D. C.; ARF, O.; VILELA, R. G.; PORTUGAL, J. R.; KANEKO, F. H.; RODRIGUES, R. A. F. Épocas de semeadura de crotalária em consórcio com milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 2, p. 156-158, 2012

HELALI, S. M.; NEBLI, H.; KADDOUR, R.; MAHMOUDI, H.; LACHAÂL, M.; OUERGHI, Z. Influence of nitrate-ammonium ratio on growth and nutrition of *Arabidopsis thaliana*. **Plant and Soil**, v. 336, p. 65–74, 2010.

JESUS, R. P.; CORCIOLI, G.; DIDONET, A. D.; BORGES, J. D.; MOREIRA, J. A. A.; SILVA, N. F. Plantas de cobertura de solo e seus efeitos no desenvolvimento da cultura do arroz de terras altas em cultivo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p. 214-220, 2007.

KIEHL, J. E. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985, 492 p.

KURIHARA, C. H.; ALVAREZ, V. H.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS R. F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.5, p. 690-698. 2013.

KUSHIDA, A.; SUWA, N.; UEDA, Y.; MOMOTA, Y. Effects of *Crotalaria juncea* and *C. spectabilis* on hatching and population density of the soybean cyst nematode,

Heterodera glycines (Tylenchida: Heteroderidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 38, n. 3, p. 393-399, 2005.

LAMÔNICA, K. R. **Benefícios da crotalária na nutrição e crescimento de mangueira, gravioleira e neem e nas alterações de características do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 85f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2008.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; ALVES, B. J. R.; CABALLERO, S. S. U.; SANTANA, D. G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, 2004.

LIMA, R. B. S.; GONÇALVES, J. F. C.; PANDO, S. C.; FERNANDES, V.; SANTOS, A. L. W. Primary metabolite mobilization during germination in rosewood (*Aniba rosaedora* Ducke) seeds. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 19-25, 2008.

LOPES, H. M.; QUEIROZ, O. A.; MOREIRA, L. B. Características Agronômicas e qualidades de sementes de crotalária (*Crotalaria juncea* L.) na maturação. **Revista Universidade Rural**, v. 25, n. 2, p. 24-30, 2005.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, L. C. F.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, M. C.; SILVA, M. A. G. Rotação de culturas e relações com atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho. **Semina**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 829-842, 2010.

LUO, L.; PAN, S.; LIU, X.; WANG, H.; XU, G. Nitrogen deficiency inhibits cell division-determined elongation, but not initiation, of rice tiller buds. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 64, n. 3, p. 32-40, 2017.

MAILLARD, A.; DIQUÉLOU, S.; BILLARD, V.; LAINE, P.; GARNICA, M.; PRUDENT, M.; GARCIA MINA, J. M.; YVIN, J. CLAUDE; OURRY, A. Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, artigo 317, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 2006, 638p.

MARCHÃO, R. L. **Integração lavoura-pecuária num Latossolo do Cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna**. 2007. 134f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

MARENCO, A. R.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 397p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ed. London: Academic Press, 2012. 651p.

MASAKAPALLI, S. K.; KRUGER, N. J.; RATCLIFFE, R. G. The metabolic flux phenotype of heterotrophic Arabidopsis cells reveals a complex response to changes in nitrogen supply. **The Plant Journal**, v. 74, p. 569–582, 2013.

MATEUS, G. P.; WUTKE, E. B. Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2006.

MATTOCKS, A. R. **Chemistry and Toxicology of Pyrrolizidine Alkaloids**. Orlando: Academic Press, 1986. 393p.

MAUAD, M.; GARCIA, R. A.; VITORINO, A. C. T.; SILVA, R. M. M. F.; GARBIATE, M. V.; COELHO, L. C. F. Matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de crambe. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 772-778, 2013.

MAUAD, M.; GARCIA, R. A.; SILVA, R. M. M. F.; SILVA, T. A. F.; SCHROEDER, I. M.; KNUDSEN, C. H.; QUARESMA, E. V. W. Produção de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de niger. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 533-540, 2015.

MAUAD, M.; SANTANA, R. S.; CARLI, T. H.; CARLI, F.; VITORINO, A. C. T.; MUSSURY, R. M.; RECH, J. Dry matter production and nutrient accumulation in *Crotalaria spectabilis* shoots. **Journal of plant nutrition**, v. 42, n. 6, p. 615-625, 2019.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas

com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 183-93, 2015.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. P.; FERREIRA, A. C. B.; SANTANA, J. G.; BARROS, R. G. Produção de fitomassa de diferentes espécies, isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 2, p. 7-12, 2009.

MONTEIRO, A. R. Controle de nematóides por espécies de adubos verdes. In: WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A.A. (Coord.). **Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônômico**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1993. p. 109-121.

NEAL, W. M.; RUSOFF, L. L.; AHMANN, C. F. The isolation and some properties of an alkaloid from *Crotalaria spectabilis* roth. **Journal of the American Chemical Society**, v. 57, n. 12, p. 2560-2561, 1935.

NILSEN, E. T. Stem photosynthesis: extent, pattern and role in plant carbon economy. In: GARTNER, B. (Ed). **Plant stems, physiology and functional morphology**. San Diego: Academic Press, 1995. p. 223-240.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCOPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 815-823, 2008.

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

PADOVAN, M. P.; CARNEIRO, L. F.; MOITINHO, M. R.; FELISBERTO, G.; CARNEIRO, D. N. M.; MOTTA, I. S. Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do Feijão-Guandu para fins de adubação verde. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, 2014.

PEREIRA, A. R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão**. 2ed. Belo Horizonte: FAPI, 2006. 239p.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 791-796, 2003.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p. 35-40, 2004.

PETITTE, J. M.; ORMROD, D. P. Effects of sulphur dioxide and nitrogen dioxide on shoot and root growth of Kennebec and Russet Burbank potato plants. **American Journal Potato Research**, v. 65. p. 517-527. 1988.

POSSAMAI, L. **Eficiência nutricional e características agronômicas de genótipos de crambe**. 2019. 56f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

POSSAN, A. **Avaliação na aplicação de cálcio e boro, no estágio de floração na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) nas regiões do oeste catarinense**. 2010. 41f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Comunitária da região de Chapecó, Chapecó, 2010.

POTT, C.A.; FELTRIN, D.M. Adubação verde em tomateiro cultivado em sistema de agricultura orgânica. **Ambiência**, v. 4, n. 2, p. 209-220, 2008.

PURQUERIO, L. F. V.; WUTKE, E. B.; MARIA, I. C. de; ANDRADE, C. A. de; TIVELLI, S. W.; OLIVEIRA, A. H. V. Produção de massa e acúmulo de nutrientes em *Crotalaria juncea* e milho em estufa agrícola com solo salinizado. In: XXXIII

Congresso Brasileiro de Ciência Do Solo. Uberlândia, 2011. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

RENGEL, M.; GIL, F.; MONTAÑO, J. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. Macronutrientes. **Bioagro**, v. 23, n. 1, p. 43-50, 2011.

RIBAS, R. G. T.; JUNQUEIRA, R. M.; OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. ALVES, B. J. R; RIBEIRO, R. L. D. Produção do quiabeiro consorciado com *Crotalaria juncea* sob manejo orgânico. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRRJ, Seropédica, 2001. **Anais...** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2001.

RIBAS, G. T. C.; ROCHA, A. M. S.; COSTA, L. C.; CAVALCANTE, V. S.; PRADO, R.M.; SANTOS, V. R. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em adubos verdes cultivados em área sob manejo orgânico. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, 2015. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

RODRIGUES, A. C. C.; KIKUTI, H.; ECCO, M.; LIMA, P. R.; INAGAKI, A. M.; CRISTALDO, C. M. Desempenho de linhagens de duas espécies de crotalária em função da aplicação de nitrogênio. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 2, p. 44-56, 2014.

ROSA, H. A.; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; MARTIS, A. C.; FORNASARI, C. H.; VELOSO, G. Structuring potential of cover crops in a clayey oxisol and their effect on crambe grain yield and oil content. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 160-167, 2018.

SÁ, J. C. M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.

SALET, R. L.; VARGAS, L. K.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; CONTE, E. Por que a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema plantio direto? In: Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto, Passo Fundo, 1997. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997.

SALGADO, G. C.; AMBROSANO, G. B.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TAVARES, S.; SACHS, R. C. C.; TORQUATO, S. A.; AMBROSANO, E. J. Adubos verdes com

potencial de uso em rotação com cana-de-açúcar. In: IX Workshop de Agroenergia, Ribeirão Preto, 2015. **Anais...** Ribeirão Preto: APTA/IAC, 2015.

SANTANA, S. M.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; BIELA, F.; CUNHA, T. P. L.; CHIAMOLERA, F. M.; PUERARI, H. H.; FONTANA, L. F. Manejo de *Pratylenchus zae* por plantas antagonistas, em solos de áreas de cultivo de cana-de-açúcar. **Nematropica**, v. 42, n. 1, p. 63-71, 2012.

SANTANA-GOMES, S. M.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERREIRA, J. C. A.; SCHWENGBER, R. P.; BALDISERA, S. S. Reproduction of *Pratylenchus zae* and *P. brachyurus* in cover crops. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 295-301, 2019.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 115-122, 2008.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F. Correção e Fertilização para Soja. In: PUIGNAU, J. P. (Ed). **Producción de soja**. Montevideo: IICA-PROCISUR, 1992. 261p.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148p.

SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: FUNEP, Boletim Citrícola Nº 9, 1999. 37p.

SILVA, J. A. A.; VITTI, G. S.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja pêra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 225-230, 2002.

SILVA, R. F.; TOMAZI, M.; PEZARICO, C. R.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M. Macrofauna invertebrada edáfica em cultivo de mandioca sob sistemas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 865-871, 2007.

SILVA, A. G.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 40, n. 10, p. 2092-2098, 2010.

SILVA, T. S. S.; SANTOS, D. N.; SANTOS, C. G.; BARBOSA, A. L. P.; FONSECA, C. S.; NORONHA, A. B. Avaliação das características morfológicas de *Crotalaria juncea* L. e *Crotalaria spectabilis* Roth sob diferentes níveis de compactação do solo. In: III Reunião Nordestina de Ciência do Solo, Aracaju, 2017. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2017a.

SILVA, M. S.; OLIVEIRA, G. R.; MERLOTI, F. L. F.; SÁ, M. E. Acúmulo de nutrientes e massa seca produzida por *Crotalaria juncea* cultivada no cerrado. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, n. 1, p. 26-36, 2017b.

SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria Juncea* – Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 51-61, 2007

SILVA, C. **Potencial fisiológico de sementes de *Crotalaria juncea***. 2011. 59f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M.; FERRANI NETO, J.; Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalária em função da fragmentação. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 384-394, 2012.

SOUSA, G. M. M. **Adubação orgânica e densidades de plantas em *Crotalaria juncea* antecedendo arroz**. 2011. 48f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

SOUZA, D. C. J.; RODRIGUES, D. M. S.; RIOS, R. M.; BORGES, W. L. Avaliação da cobertura do solo e acúmulo de biomassa e de nutrientes em leguminosas. In: IX Congresso Brasileiro de Agroecologia. Belém, 2015. **Anais...** Belém: UFRA, 2015.

STIPP, S. R.; CASARIM, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, **Informações Agronômicas**, n. 129, p. 14-20, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**. 6ed. Sinauer Associates: Sunderland, 2015. 761p.

TEKLIĆ, T.; VRATARIĆ, M.; SUDARIĆ, A.; KOVAČEVIĆ, V.; VUKADINOVIĆ, V.; BERTIĆ, B. Relationships among chloroplast pigments concentration and chlorophyll meter readings in soybean under influence of foliar magnesium application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, p. 706-725, 2009.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do alto vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 635-643, 2011.

VARGAS, T. O.; DINIZ, E. R.; SANTOS, R. H. S.; LIMA, C. T. A.; URQUIAGA, S.; CECON, P. R. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 562-568, 2011.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.

VIDIGAL, S.M.; PACHECO, D. D.; COSTA, E. L. C.; FACION, C. E. Crescimento e acúmulo de macro e micronutrientes pela melancia em solo arenoso. **Revista Ceres**, v. 56, p. 112-118, 2009.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, B.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. (Coord.). **Curso Sobre Adubação Verde no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 17-29.

ZOBIOLE L.H.S.; CASTRO C.; OLIVERIA F.A.; OLIVEIRA JUNIOR A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 425-433, 2010.