

Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão

Nutrient cycling in summer cover crops

Alan P. Pereira¹, André Schoffel², Jana Koefender^{3*}, Juliane N. Camera³, Diego P. Golle³ e Roberta C. Horn³

¹ Universidade de Cruz Alta. Centro de Ciências da Saúde e Agrárias/Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, CEP 98005-972, Cruz Alta, RS, Brasil

² Universidade Federal de Santa Maria. Departamento de Fitotecnia, CEP: 97105 – 900, Santa Maria, RS, Brasil

³ Centro de Ciências da Saúde e Agrárias-Universidade de Cruz Alta .UNICRUZ, Rodovia Municipal Jacob Della Múa, km 5.6- Parada Benito, CEP 98005-972, Cruz Alta, RS, Brasil

(*E-mail: jkoefender@unicruz.edu.br)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17065>

Recebido/received: 2017.03.20

Recebido em versão revista/received in revised form: 2017.06.13

Aceite/accepted: 2017.06.19

RESUMO

A utilização de espécies vegetais para cobertura do solo capazes de fornecer nutrientes e proteção ao solo é importante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de massa verde e seca, o teor e o acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura de verão. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com sete tratamentos (capim-sudão, crotalária, feijão-de-porco, guandu-anão, trigo-mourisco, mucuna-preta e pousio) e seis repetições. Avaliou-se a produção de massa fresca e seca, teor e acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea das plantas de cobertura. Os maiores teores de nutrientes foram obtidos com o cultivo de leguminosas. A crotalária e o feijão-de-porco apresentaram por seu lado maior produção de massa seca e acúmulo de macronutrientes e micronutrientes.

Palavras-chave: adubação verde, ciclagem de nutrientes, proteção do solo, sucessão de cultivos.

ABSTRACT

The utilization of plant species for ground cover in order to supply nutrients and protect the soil is important for the sustainability of agricultural systems. The objective of this study was to evaluate the production of fresh and dry matter, and the content and accumulation of nutrients in summer cover crops. The experimental design was of randomized blocks, with seven treatments (sudan grass, crotalaria, jack beans, pigeon pea, buckwheat, velvet bean and fallow) and six replications. The parameters evaluated in the cover crops were the fresh and dry matter yield and the content and accumulation of macronutrients and micronutrients in the above-ground biomass of the plants. The highest levels of nutrients were obtained in the legume crops. The crotalaria and jack beans had both higher dry matter yield and accumulation of macronutrients and micronutrients.

Key Words: Green fertilization, nutrient cycling, soil protection, succession of crops.

INTRODUÇÃO

É crescente a busca por alternativas de manejo que contribuam para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo com incrementos na produtividade, benéficos ao meio ambiente e com menores custos pela redução do uso de fertilizantes químicos (Kliemann *et al.*, 2006; Teixeira *et al.*, 2012).

A aplicação dos conceitos de sistema plantio direto e de sustentabilidade com a utilização de plantas para proteção do solo ou para a adubação verde e ciclagem de nutrientes em áreas agrícolas tornou-se uma prática importante, tanto no inverno/verão como nas entressafras. O cultivo subsequente de espécies sem rotação de culturas diminui consideravelmente a deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e tem como consequência

a redução dos níveis de matéria orgânica (Perin *et al.*, 2000) e a degradação de características físicas, químicas e biológicas do solo, com danos diretos ao meio ambiente (Ernani *et al.*, 2001).

A introdução de técnicas de manejo como o uso de espécies eficientes para a deposição de nutrientes no solo através da decomposição da biomassa beneficia o sistema produtivo, reduz os custos de produção e contribui para o fortalecimento da agricultura familiar (Barradas, 2010). Dentre as plantas de cobertura utilizadas como adubos verdes, as leguminosas apresentam a capacidade de fixar biologicamente o nitrogênio e disponibilizá-lo para a cultura sucessora. Porém, por apresentar baixa relação C/N e elevada taxa de decomposição da biomassa vegetal, tem menor tempo de cobertura de solo em comparação com as gramíneas (Teixeira *et al.*, 2009). Por sua vez, as gramíneas apresentam alto grau de rusticidade, elevado acúmulo de matéria verde (Barradas, 2010), atuam como reguladoras da temperatura e umidade do solo e diminuem os riscos de erosão (Brançalião e Moraes, 2008) pela alta relação C/N e menor velocidade de decomposição da biomassa vegetal (Alvarenga *et al.*, 2001). Assim, os adubos verdes são importantes para a agricultura por promoverem a ciclagem rápida de nutrientes, favorecendo seu uso pela cultura em sequência, principalmente daqueles elementos com potencial de lixiviação como o nitrogênio ou dos que podem ser retidos em solos intemperizados, como o fósforo (Rodrigues *et al.*, 2012).

Dentre as leguminosas com potencial de utilização para adubação verde, destacam-se: a crotalária (*Crotalaria juncea*), o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), o guandu-anão (*Cajanus cajan*) e a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*). De acordo com Foloni *et al.* (2006), a produção de massa seca da parte aérea da crotalária não é influenciada pela compactação do solo e a espécie auxilia na melhoria das características físicas do solo, além de apresentar bom aporte de macronutrientes na massa seca da parte aérea (Leal *et al.*, 2013). O feijão-de-porco adapta-se a diferentes condições edafoclimáticas (Teodoro *et al.*, 2011) e a rusticidade credencia-o como alternativa para adubação verde em regiões que apresentam solos ácidos, salinos, mal drenados e de baixa fertilidade (Padovan *et al.*, 2011). O guandu-anão apresenta sistema radicular profundo e

possibilita a reciclagem de nutrientes em camadas mais profundas do solo (Farias *et al.*, 2013). Apesar de apresentar alto acúmulo de nitrogênio na massa seca da parte aérea (Barros *et al.*, 2013), a mucuna-preta apresenta ciclo de desenvolvimento mais longo, que pode prejudicar seu uso em sistema de rotação de culturas (Teodoro *et al.*, 2011).

Dentre as gramíneas verão, o capim-sudão (*Sorghum sudanense*) destaca-se por apresentar alta produtividade de fitomassa (Borges *et al.*, 2015). Por outro lado, o trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*), pertencente à família Polygonaceae, é uma planta de elevada rusticidade e ciclo curto. Destaca-se pela tolerância à acidez do solo e pela capacidade de absorção de sais de fósforo e potássio que são de baixa solubilidade. Além disso, apresenta bom desenvolvimento em solos de baixa fertilidade (Klein *et al.*, 2010).

Para o cultivo de plantas de cobertura, Pauletti *et al.* (2009) salientam que a capacidade de promover a absorção de nutrientes em camadas profundas do solo e acumulá-los na parte aérea proporciona benefícios para a cultura sucessora após a degradação da palhada na superfície do solo, além de demonstrar importância no manejo para o controle de plantas daninhas (Sodré filho *et al.*, 2008). A adubação verde com espécies anuais demonstrou incremento na produção de videira cultivar Cabernet Sauvignon (Zalamena *et al.*, 2013). Em sistema orgânico de produção, Fontanetti *et al.* (2006) observaram que a adubação verde pode ser uma técnica de manejo promissora no cultivo de alface e repolho.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar as produções de massa verde e seca, o teor e o acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura de verão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na safra 2013/2014 no município de Salto do Jacuí, localizado no noroeste do Rio Grande do Sul, sob as coordenadas 29° 05' 18" S, 53° 12' 45" W e altitude de 322 metros. O clima da região é subtropical tipo Cfa e os dados de precipitação (mm), temperatura média mensal (°C) e umidade relativa do ar (%) durante a condução

do trabalho estão representados na Figura 1. O solo é classificado como Typic Hapludox (Soil Survey Staff, 2010), com as seguintes características na camada de 0-20 cm: Argila 340 g kg⁻¹; pH Água 5,9; Matéria Orgânica 25 g kg⁻¹; Fósforo 6,9 mg dm⁻³; Potássio 216 mg dm⁻³; Alumínio 0,0 cmol_c dm⁻³; Cálcio 10,1 cmol_c dm⁻³; Magnésio 2,3 cmol_c dm⁻³; Enxofre 4,3 mg dm⁻³; Zinco 7,2 mg dm⁻³; Cobre 12,7 mg dm⁻³; Boro 0,4 mg dm⁻³; Manganês 45 mg dm⁻³ e saturação de bases 80,4%.

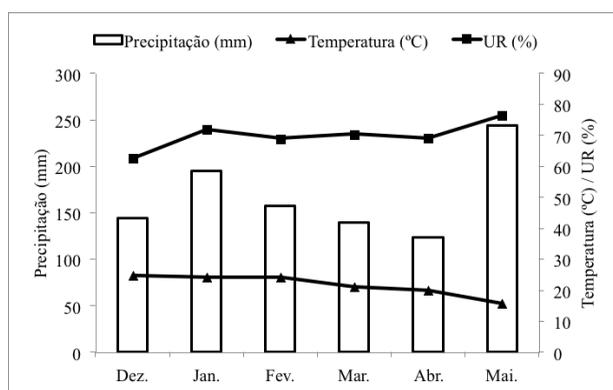


Figura 1 - Precipitação (mm), temperatura média mensal (°C) e umidade relativa do ar (%) durante a condução do experimento (dezembro 2013 - maio 2014).

O delineamento experimental utilizado foi o blocos casualizados, com sete tratamentos e seis repetições, com parcelas de 4 m². Os tratamentos foram constituídos pelas espécies de plantas de cobertura de verão para adubação verde: capim-sudão cultivar Ipa sudan 4202, crotalária, feijão-de-porco, guandu-anão cultivar Iapar 43, trigo-mourisco, mucuna-preta e pousio (vegetação espontânea), que apresentou predomínio das espécies: *Cyperus rotundus*, *Digitaria horizontalis*, *Bidens pilosa*, *Amaranthus* spp., *Commelina* spp. e *Brachiaria plantaginea*.

Antecedendo a semeadura, foram aplicados 200 kg ha⁻¹ de calcário distribuído a lanço. A semeadura das plantas foi realizada em 3 dezembro de 2013, em sistema convencional com uma aração e o nivelamento do solo foi feito com o uso de grade niveladora. O espaçamento entre linhas foi de 0,5 m com ausência de adubação adicional nas seguintes

densidades de semeadura: capim-sudão (25 kg de sementes ha⁻¹), crotalária (25 kg de sementes ha⁻¹), feijão-de-porco (120 kg de sementes ha⁻¹), guandu-anão (35 kg de sementes ha⁻¹), trigo-mourisco (80 kg de sementes ha⁻¹) e mucuna-preta (80 kg de sementes ha⁻¹). Foram obtidas as seguintes densidades de plantas m⁻²: capim-sudão: 35 plantas m⁻²; crotalária: 60 plantas m⁻²; feijão-de-porco: 12 plantas m⁻²; guandu-anão: 50 plantas m⁻²; trigo-mourisco: 55 plantas m⁻² e mucuna-preta: 10 plantas m⁻². O controle de plantas invasoras foi realizado com capina manual aos sete e vinte e um dias após a emergência.

O ponto de colheita para determinação da massa fresca foi no período reprodutivo entre o florescimento e o estágio de grão leitoso, que ocorreu 71 dias após o plantio (DAP) para o trigo-mourisco, 81 DAP para o capim-sudão, 92 DAP para o feijão-de-porco, 100 DAP para o guandu-anão, 120 DAP para a crotalária, 159 DAP para a mucuna-preta e o pousio foi colhido 119 dias após a implantação do experimento. Conforme Padovan *et al.* (2012) o manejo de adubos verdes é no período do florescimento, entretanto, se o manejo for realizado no período da formação e enchimento de grãos quando ocorre alta taxa de acumulação de matéria seca e nutrientes pode-se viabilizar maior aporte de massa e nutrientes para o sistema solo.

A massa fresca foi determinada através de duas amostras aleatórias retiradas em cada parcela com a utilização de um quadro metálico de 0,50 m² e a matéria seca pela secagem do material em estufa de secagem com ventilação forçada de ar a 65°C até atingir massa constante, com resultados expressos em t ha⁻¹. As amostras da massa seca das plantas foram moídas em moinho tipo Wiley, acondicionadas em recipientes com 100 g e enviadas ao Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a determinação dos teores de nutrientes, segundo metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Os acúmulos de macronutrientes e micronutrientes foram obtidos pela multiplicação da massa seca e do teor dos nutrientes da parte aérea das plantas de cobertura (Malavolta *et al.*, 1997).

Antes da análise de variância, foi realizada a verificação ao atendimento dos pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidade de variâncias,

pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Por não atender aos pressupostos, os dados foram transformados (raiz quadrada de $Y + 0.5 - \text{SQRT}(Y + 0.5)$) e logo após submetidos à análise de variância. Na análise complementar, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, em 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico Sisvar 5.3 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa entre as plantas de cobertura para a massa fresca e massa seca, acúmulo e teor de nutrientes, exceto para os teores de potássio, magnésio e zinco (Quadros 1 e 2).

Quadro 1 - Massa fresca e massa seca (t ha^{-1}) da parte aérea de plantas de cobertura de verão

Planta de cobertura	Massa fresca t ha^{-1}	Massa seca t ha^{-1}
Pousio	11,17* d	2,95 c
Trigo-mourisco	26,97 c	6,78 b
Mucuna-preta	35,04 c	7,32 b
Guandú-anão	43,45 b	10,83 b
Capim-sudão	56,01 b	20,77 a
Crotalária	66,67 a	22,71 a
Feijão-de-porco	76,09 a	24,99 a
EP**	9,79	7,93
GLe**	30	30

* Médias não seguidas pela mesma letra, na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Dados transformados Raiz quadrada de $Y + 0.5 - \text{SQRT}(Y + 0.5)$.

** EP = Erro padrão; GLe = Graus de liberdade do erro.

O cultivo da crotalária e do feijão-de-porco proporcionaram os melhores resultados para massa fresca ($66,7 \text{ t ha}^{-1}$ e $76,1 \text{ t ha}^{-1}$) e massa seca ($22,7 \text{ t ha}^{-1}$ e $25,0 \text{ t ha}^{-1}$), porém, não diferiram do capim-sudão para massa seca ($20,8 \text{ t ha}^{-1}$). A massa fresca observada para o feijão-de-porco é inferior aos resultados observados por Almeida e Camara (2011), verificando-se o inverso para massa seca. Em cultivo solteiro, estes autores obtiveram produção de $78,5 \text{ t ha}^{-1}$ de massa fresca e $14,1 \text{ t ha}^{-1}$ de massa seca para o feijão-de-porco. Estes autores

realizaram o manejo das plantas de cobertura no estágio de grão leitoso, ou seja, em um estágio fisiológico similar em relação ao presente estudo.

Para a crotalária, Fontanétti (2003) obteve produção de massa fresca de $39,33 \text{ t ha}^{-1}$ e massa seca de $12,75 \text{ t ha}^{-1}$. Por outro lado, Cardoso *et al.* (2013) verificaram produção de $62,5 \text{ t ha}^{-1}$ e $23,25 \text{ t ha}^{-1}$ para massa fresca e massa seca no estado de Minas Gerais. Este resultado está de acordo com obtido no presente estudo e demonstra a capacidade de produção de massa fresca e massa seca da crotalária em diferentes condições edafoclimáticas. Ainda, a alta produção de massa seca obtida sem adubação adicional credencia a crotalária como alternativa para sistemas de rotação de culturas, principalmente para a recuperação de áreas degradadas.

O capim-sudão apresentou produção de massa seca de $20,77 \text{ t ha}^{-1}$. Pela maior relação C/N, o capim-sudão apresenta maior tempo de cobertura do solo em comparação com as leguminosas e contribui na regulação da temperatura do solo e manutenção da umidade do solo no verão, além da incorporação de C-orgânico devido a alta produção de massa seca. Apesar de diferir significativamente do feijão-de-porco, crotalária e capim-sudão, o trigo-mourisco obteve massa seca de $6,78 \text{ t ha}^{-1}$. Esta produção está acima da quantidade mínima necessária de massa seca depositada anualmente para cobertura adequada do solo no sistema plantio direto, principalmente para mitigar os efeitos erosivos (Alvarenga *et al.*, 2001). Possivelmente, a precipitação pluviométrica observada durante a condução do experimento (Figura 1) está relacionada com a alta produção de massa seca das plantas de cobertura.

Os maiores teores de nitrogênio ($36,0 \text{ g kg}^{-1}$) e fósforo ($3,30 \text{ g kg}^{-1}$) foram verificados na crotalária (Quadro 2). Este resultado indica a capacidade das leguminosas em fixar o nitrogênio atmosférico pela associação simbiótica com bactérias do gênero *Rizobium* (Perin *et al.*, 2004) e confirma que, geralmente, as leguminosas apresentam elevado teor deste nutriente na massa seca da parte aérea. Os resultados obtidos são superiores aos observados por Leal *et al.* (2013), que verificaram teor de nitrogênio de $25,6 \text{ g kg}^{-1}$ e de fósforo de $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ na parte aérea de plantas de crotalária cultivada na entressafra da cultura do milho no estado do Mato

Quadro 2 - Teor e acúmulo de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea de plantas de cobertura de verão

Plantas de cobertura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Capim-sudão	5,10* e	1,20 e	15,00 a	3,05 g	1,20 a	0,65 b
Crotalária	36,00 a	3,30 a	16,00 a	15,00 b	4,10 a	1,75 a
Feijão-de-Porco	29,50 b	2,20 d	21,50 a	27,00 a	2,30 a	1,50 a
Guandú-anão	30,00 b	2,50 c	20,50 a	8,55 d	2,50 a	1,65 a
Mucuna-preta	30,00 b	2,75 b	21,00 a	11,00 c	2,30 a	1,40 a
Pousio	7,15 d	2,05 d	19,00 a	4,00 f	2,55 a	1,55 a
Trigo-mourisco	10,15 c	2,45 c	19,50 a	6,45 e	2,95 a	0,95 b
EP**	0,08	0,08	0,07	0,05	0,05	0,12
GLe**	7	7	7	7	7	7

Plantas de cobertura	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
Capim-sudão	106,17 c	24,83 c	311,83 b	63,33 c	24,83 c	13,67 b
Crotalária	817,33 a	75,17 a	363,33 b	340,67 b	92,83 a	39,83 a
Feijão-de-porco	737,17 a	55,00 b	537,17 a	674,50 a	57,50 b	37,50 a
Guandú-anão	325,17 b	26,83 c	222,00 c	92,83 c	26,83 c	17,83 b
Mucuna-preta	219,50 b	20,17 c	153,67 c	80,67 c	17,00 c	10,50 b
Pousio	21,33 d	6,16 d	56,00 d	9,00 d	7,50 d	4,67 c
Trigo-mourisco	68,83 c	16,67 c	132,50 c	43,67 c	20,17 c	6,50 c
EP	0,23	0,09	0,27	0,14	0,07	0,25
GLe	7	7	7	7	7	7

Plantas de cobertura	Cobre	Zinco	Manganês	Boro
Capim-sudão	6,00* b	30,50 a	87,00 b	4,50 d
Crotalária	13,00 a	40,00 a	155,50 a	35,00 a
Feijão-de-porco	7,50 b	18,00 a	97,50 b	30,00 a
Guandú-anão	17,00 a	28,50 a	109,50 b	24,50 b
Mucuna-preta	18,50 a	30,00 a	148,00 a	37,00 a
Pousio	8,00 b	39,00 a	140,50 a	8,00 c
Trigo-mourisco	9,50 b	29,50 a	121,50 a	23,00 b
EP	0,24	0,23	0,36	0,15
GLe	7	7	7	7

Plantas de cobertura	Cobre	Zinco	Manganês	Boro
Capim-sudão	124,67 c	633,67 b	1807,33 b	93,50 d
Crotalária	295,00 a	908,67 a	3531,00 a	794,67 a
Feijão-de-porco	187,67 b	449,67 c	2436,50 b	749,50 a
Guandú-anão	184,17 b	308,83 d	1186,50 c	265,50 b
Mucuna-preta	135,13 c	219,50 d	1084,00 c	271,00 b
Pousio	23,83 e	115,00 e	415,00 d	23,83 e
Trigo-mourisco	64,50 d	200,17 d	824,33 c	156,00 c
EP	1,04	0,82	1,35	0,59
GLe	7	7	7	7

*Médias não seguidas pela mesma letra, na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Dados transformados Raiz quadrada de $Y + 0.5 \cdot \sqrt{Y + 0.5}$.

**EP = Erro padrão; GLe = Graus de liberdade do erro.

Grosso do Sul. Além disso, os teores também são superiores aos observados por Silva *et al.* (2010) em pesquisa conduzida no estado de São Paulo. Para a cultivar IAC-KR1 de crotalária, que foi manejada 75 dias após a emergência, os autores observaram teor de nitrogênio de 22,9 g kg⁻¹ e de fósforo de 2,3 g kg⁻¹.

Para o teor de potássio, não houve diferença significativa entre as plantas de cobertura. Em áreas com níveis baixos de potássio é importante o uso de plantas de cobertura de solo pela capacidade de ciclagem, acúmulo e disponibilização deste nutriente para a cultura sucessora, o que beneficia os sistemas agrícolas (Teodoro *et al.*, 2011). O feijão-de-porco apresentou o maior teor de cálcio (27,0 g kg⁻¹) e está acima do observado por Padovan *et al.* (2011), que foi de 17,25 g kg⁻¹. De acordo com estes autores, o estágio adequado para o manejo do feijão-de-porco é durante a formação das primeiras vagens, que corresponde a 90 dias após a emergência quando cultivado no Mato Grosso do Sul. Neste estágio, os autores afirmam que há acúmulo expressivo de nutrientes na parte aérea das plantas após o florescimento, principalmente de nitrogênio, potássio e cálcio. Menciona-se que, no presente estudo, a colheita do feijão-de-porco foi realizada aos 92 DAP e pode-se assumir que as diferenças nos teores podem ser atribuídas principalmente as diferentes condições edafoclimáticas.

O maior teor de enxofre presente nas leguminosas difere do observado por Silva *et al.* (2010), que verificaram maiores teores de enxofre em milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown). As leguminosas destacaram-se nos teores de cobre, manganês e boro. De acordo com Faquin (2001), em geral, a concentração de boro nos tecidos das dicotiledôneas é maior do que nas monocotiledôneas.

O estágio em que as plantas de cobertura devem ser manejadas é importante para que sua utilização não torne-se prejudicial ao cultivo em sequência, principalmente pela deposição de sementes viáveis e da ressemeadura natural no cultivo sucessor. De acordo com Calegari (1995), quando utilizadas para adubação verde, as plantas de cobertura devem ser roçadas ou dessecadas no estágio do florescimento, por possibilitar acúmulo satisfatório de matéria seca na superfície do solo. Apesar disso, de acordo com Padovan *et al.* (2011

e 2014), as plantas de cobertura (feijão-de-porco e crotalária) destinadas a adubação verde devem ser manejadas no início do estágio da formação dos grãos por potencializar o acúmulo de massa seca e também de nutrientes na parte aérea, além de não haver risco de competição com a cultura em sequência, pela não deposição de sementes viáveis das plantas de cobertura nas áreas de cultivo.

Os maiores acúmulos de nitrogênio e enxofre foram observados na crotalária e no feijão-de-porco. O acúmulo de nitrogênio para a crotalária (817,33 kg ha⁻¹) foi superior ao observado por Perin *et al.* (2004) (305 kg ha⁻¹). Este resultado deve-se possivelmente aos altos teores deste nutriente e da elevada produção de massa seca da espécie, que credencia o uso da crotalária para a adubação verde em cultivos agrícolas pela capacidade de acúmulo elevado de nitrogênio em espaço de tempo reduzido, principalmente se o cultivo em sucessão for de uma espécie gramínea. Este resultado corrobora com o observado por Padovan *et al.* (2014), que relatam a eficiência da crotalária para a ciclagem e imobilização de nitrogênio.

No feijão-de-porco, verificou-se os maiores acúmulos de potássio (537,17 kg ha⁻¹) e cálcio (674,50 kg ha⁻¹), sendo estes superiores ao observado por Barros *et al.* (2013) para o potássio (66 kg ha⁻¹) e para o cálcio (48,1 kg ha⁻¹). Provavelmente essa diferença observada em relação aos teores deve-se a diferença na produtividade de massa fresca. Os autores obtiveram produção de massa fresca de 13,14 t ha⁻¹, enquanto que no presente estudo a produção de massa fresca do feijão-de-porco foi de 76,09 t ha⁻¹. Padovan *et al.* (2011) verificaram acúmulo de 140,2 kg ha⁻¹ de potássio e 97,3 kg ha⁻¹ e enfatizam que o feijão-de-porco possui a capacidade de ciclagem de potássio e cálcio devido a elevada imobilização destes nutrientes na parte aérea.

A crotalária apresentou os maiores acúmulos de fósforo, magnésio, cobre, zinco, manganês e não diferiu significativamente do feijão-de-porco para o boro. Padovan *et al.* (2014) verificaram acúmulo máximo de fósforo de 29,3 kg ha⁻¹, inferior ao obtido no presente estudo (75,17 kg ha⁻¹), porém, enfatizam a eficiência da crotalária para a ciclagem de nutrientes. Estes resultados confirmam o observado por Silva *et al.* (2006), que verificaram que

leguminosas apresentam maior capacidade de ciclagem e acúmulo de macronutrientes e micronutrientes em comparação com gramíneas.

A utilização de plantas de cobertura de solo para adubação verde em sistemas de rotação de culturas tem a capacidade de depositar quantidades expressivas de massa seca, que é importante para a proteção do solo contra agentes erosivos, manutenção da temperatura, umidade e preservação da diversidade biológica do solo. Além disso, a ciclagem e o acúmulo de nutrientes na parte aérea podem reduzir a utilização de fertilizantes químicos aplicados na cultura subsequente e contribuir para a preservação do meio produtivo (Calegari, 2012).

CONCLUSÕES

Nas condições edafoclimáticas onde o experimento foi realizado e considerando um único ano de resultados conclui-se que o feijão-de-porco, a crotalária e o capim-sudão apresentam maior produção de massa seca.

O maior teor e acúmulo de nitrogênio e fósforo são encontrados na crotalária, bem como o acúmulo de magnésio e enxofre.

A crotalária apresenta maior acúmulo de cobre, zinco e manganês, enquanto o feijão-de-porco indica maior teor de cálcio, e acúmulo de potássio e cálcio. Assim, o uso de crotalária, feijão-de-porco e capim-sudão como adubação verde e cobertura de solo são uma alternativa para agricultura sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, K. & Camara, F.L.A. (2011) – Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. *Revista Brasileira de Agroecologia*, vol. 6, n. 2, p. 55-62.
- Alvarenga, R.C.; Cabezas, W.A.L.; Cruz, J.C. & Santana, D.P. (2001) – Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. *Informe Agropecuário*, vol. 22, p. 25-36.
- Barradas, C.A.A. (2010) – *Adubação Verde*. Niterói, Rio Rural. 10 p. (Manual Técnico, 25).
- Barros, D.L.; Gomide, P.H.O. & Carvalho G.J. (2013) – Plantas de cobertura e seus efeitos na cultura em sucessão. *Bioscience Journal*, vol. 29, n. 2, p. 308-318.
- Borges, W.L.B.; Freitas, R.S.; Mateus, G.P.; Sá, M.E. & Alves, M.C. (2015) – Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. *Ciência Rural*, vol. 45, n. 5, p. 799-805. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131018>
- Brançalião, S.R. & Moraes, M.H. (2008) – Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milho-soja em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, n. 1, p. 393-404. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100037>
- Calegari, A. (2012) – Plantas de cobertura em sistema Plantio Direto de Qualidade (SPDq). *Revista a Granja*, vol. 68, n. 763, p. 67-69.
- Calegari, A. (1995) – *Leguminosas para adubação de verão no Paraná*. Londrina, Paraná: IAPAR. 118 p.
- Cardoso, D.P.; Carvalho, G.J.; Silva, M.L.N.; Freitas, D.A.F. & Avanzi, J.C. (2013) – Atributos fitotécnicos de plantas de cobertura para a proteção do solo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 8, n. 1, p. 19-24.
- Ernani, P.R.; Bayer, C. & Fontoura, S.M.V. (2001) – Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, n. 4, p. 897-904. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000400012>
- Faquin, V. (2001) – *Nutrição mineral de plantas*. Lavras, UFLA/Faepe. 186 p.
- Farias, L.N.; Bonfim-Silva, E.M.; Pietro-Souza, W.; Vilarinho, M.K.C.; Silva, T.J.A. & Guimarães, S.L. (2013) – Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, n. 5, p. 497-503. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000500005>

- Ferreira, D.F. (2011) – Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência & Agrotecnologia*, vol. 35, n. 6, p. 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Foloni, J.S.S.; Lima, S.L. & Bull, L.T. (2006) – Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 30, n. 1, p. 49-57. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000100006>
- Fontanétti, A. (2003) – *Adubação verde no controle de plantas invasoras e na produção de alface americana e repolho*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 63 p.
- Fontanétti, A.; Carvalho, G.J.; Gomes, L.A.A.; Almeida, K.; Moraes, S.R.G. & Teixeira, C.M. (2006) – Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. *Horticultura Brasileira*, vol. 24, n. 2, p. 146-150. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362006000200004>
- Klein, V.A.; Navarini, L.L.; Baseggio, M.; Madalosso, T. & Costa, L.O. (2010) – Trigo mourisco: uma planta de triplo propósito e uma opção para rotação de culturas em áreas sob plantio direto. *Revista Plantio Direto*, ed. 117.
- Kliemann, H.J.; Braz, A.J.P.B. & Silveira, P.M. (2006) – Taxa de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 36, n. 1, p. 21-28.
- Leal, A.J.F.; Lazarini, E.; Rodrigues, L.R. & Marcandalli, L.H. (2013) – Adubação nitrogenada para milho com o uso de plantas de cobertura e modos de aplicação de calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 37, n. 2, p. 491-501. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000200020>
- Malavolta, E.; Vitti, G.C. & Oliveira, A.S. (1997) – *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.^a ed. Piracicaba, Potafós. 319 p.
- Padovan, M.P.; Carneiro, L.F.; Moitinho, M.R.; Felisberto, G.; Carneiro, D.N.M. & Motta, I.S. (2014) – Dinâmica de acúmulo de massa e nutrientes pela *Crotalaria juncea* para fins de adubação verde e o estágio adequado para seu manejo. *Cadernos de Agroecologia*, vol. 9, n. 4.
- Padovan, M.P.; Motta, I.S.; Carneiro, L.F.; Moitinho, M.R. & Fernandes, S.S.L. (2011) – Acúmulo de fitomassa e nutrientes e estágio mais adequado de manejo do feijão-de-porco para fins de adubação verde. *Revista Brasileira de Agroecologia*, vol. 6, n. 3, p. 182-190.
- Padovan, M.P.; Motta, I.S.; Carneiro, L.F.; Moitinho, M.R. (2012) – Dinâmica de acúmulo de massa e nutrientes pelo milho para fins de adubação verde em sistemas de produção sob bases ecológicas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, vol. 7, n. 1, p. 95-103.
- Pauletti, V.; Motta, A.C.V.; Serrat, B.M.; Favaretto, N. & Anjos, A. (2009) – Atributos químicos de um latossolo bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, n. 3, p. 581-590. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000300011>
- Perin, A.; Santos, R.H.S.; Urquiaga, S.; Guerra, J.G.M. & Cecon, P.R. (2004) – Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 39, n. 1, p. 35-40. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000100005>
- Perin, A.; Teixeira, M.G. & Guerra, J.G.M. (2000) – Desempenho de algumas leguminosas com potencial para utilização com cobertura viva permanente de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 30, n. 1/2, p. 38-43.
- Rodrigues, G.B.; Sá, M.E.; Valério Filho, W.V.; Buzetti, S.; Bertolin, D.C. & Pina, T.P. (2012) – Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. *Revista Ceres*, vol. 59, n. 3, p. 380-385. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300013>
- Silva, A.G.; Crusciol, C.A.C.; Soratto, R.P.; Costa, C.H.M. & Ferrari Neto, J. (2010) – Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, vol. 40, n. 10, p. 2092-2098. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010001000007>
- Silva, E.C.; Muraoka, T.; Guimarães, G.L. & Buzetti, S. (2006) – Acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura e no milho cultivado em sucessão sob diferentes doses de nitrogênio em Plantio direto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 5, n. 2, p. 202-217.
- Sodré Filho, J.; Carmona, R.; Cardoso, A.N. & Carvalho, A.M. (2008) – Culturas de sucessão ao milho na dinâmica populacional de plantas daninhas. *Scientia Agraria*, vol. 9, n. 1, p. 7-14. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v9i1.10126>

- Soil Survey Staff (2010) – *Keys to Soil Taxonomy*. 11.^a ed. Washington, DC, USDA-Natural Resources Conservation Service. 338 p.
- Tedesco, M.J.; Gianello, C.; Bissani, C.A.; Bohnen, H. & Wokweiss, S.J. (1995) -*Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.^a ed. Porto Alegre, UFRGS/Departamento de Solos. 174 p.
- Teixeira, C.M.; Carvalho, G.J.; Andrade, M.J.B.; Silva, C.A. & Pereira, J.M. (2009) – Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalaria no plantio direto do feijoeiro. *Acta Scientiarum Agronomy*, vol. 31, n. 4, p. 647-653. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.1356>
- Teixeira, M.B.; Loss, A.; Pereira, M.G. & Pimentel, C. (2012) – Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. *Idesia*, vol. 30, n. 1, p. 55-64.
- Teodoro, R.B.; Oliveira, F.L.; Silva, D.M.N.; Fávero, C. & Quaresma, M.A.L. (2011) – Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado no Alto Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n. 2, p. 635-643. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200032>
- Zalamena, J.; Cassol, P.C.; Brunetto, G.; Panisson, J.; Marcon Filho, J.L. & Schlemper, C. (2013) – Produtividade e composição de uva e de vinho de videira consorciados com plantas de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 48, n. 2, p. 182-189. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200008>