

JOSÉ ROBERTO PORTUGAL

**Sistemas de produção para milho segunda safra
consorciado com *Urochloa ruziziensis*, envolvendo rotação
de culturas com plantas de cobertura, arroz e soja**

JOSÉ ROBERTO PORTUGAL

**Sistemas de produção para milho segunda safra
consorciado com *Urochloa ruziziensis*, envolvendo rotação
de culturas com plantas de cobertura, arroz e soja**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia -
UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dr. Orivaldo Arf

Orientador

Prof. Dr. Salatiér Buzetti

Coorientador

Ilha Solteira
2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P853s Portugal, José Roberto.
Sistemas de produção para milho segunda safra consorciado com *Urochloa ruziziensis*, envolvendo rotação de culturas com plantas de cobertura, arroz e soja / José Roberto Portugal. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2019
189 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2019

Orientador: Orivaldo Arf
Coorientador: Salatiér Buzetti
Inclui bibliografia

1. *Oryza sativa* L. 2. *Glycine max* L. 3. Merrill. 4. *Zea mays* L. 5. Adubação verde. 6. Agricultura conservacionista.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/3 - 9999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

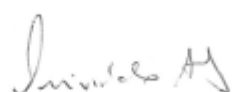
TÍTULO DA TESE: Sistemas de produção para milho segunda safra consorciado com *Urochloa ruziziensis*, envolvendo rotação de culturas com plantas de cobertura, arroz e soja

AUTOR: JOSÉ ROBERTO PORTUGAL

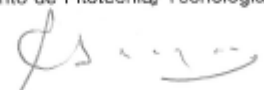
ORIENTADOR: ORIVALDO ARF

COORIENTADOR: SALATIER BUZETTI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ORIVALDO ARF
Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. MARCO EUSTAQUIO DE SA
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. EDSON LAZARINI
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS
Departamento de Produção Vegetal (Fitotecnia) / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. MATHEUS GUSTAVO DA SILVA
Unidade de Aquidauana / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 20 de fevereiro de 2019

DEDICO

Ao meu pai **José Alves Portugal** e minha mãe **Maria Aparecida dos Santos Portugal**, por serem meu exemplo de vida e por todo amor, carinho e apoio.
À minha irmã **Andréia Alves Portugal**, pela amizade e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me proteger, me conduzir, por colocar em meu caminho pessoas iluminadas, por dar oportunidades para fortalecer minha fé, meu amor e minha esperança. Além disso, agradeço pela companheira abençoada que colocou ao meu lado, minha esposa Amanda R. P. Portugal e, especialmente, agradeço pelo fruto do nosso amor, nosso filho muito amado, José Pedro Peres Portugal, que veio para alegrar nossos dias e nos inspirar.

Aos meus pais e irmã, por todo amor, apoio e alegrias, os quais foram a base para que chegasse nesse momento tão importante da minha vida. Vocês são meu alicerce.

Ao Prof. Dr. Orivaldo Arf, pelo grande exemplo de homem honrado, bondoso e trabalhador. Por toda orientação e amizade durante os anos da graduação, do mestrado e do doutorado. Sou muito grato, pelos ensinamentos profissionais, pela confiança, pela amizade, pela compreensão e por todos os momentos dos 11 anos em que tive a oportunidade de ser seu orientado. O senhor sempre estará em minhas orações.

Ao Prof. Dr. Salatiér Buzetti, pela valorosa contribuição no decorrer deste trabalho, pela oportunidade de aprender e conviver, sempre com bom humor.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Campus de Ilha Solteira, pela estrutura física e oportunidade de realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2015/07616-2, pelo financiamento da pesquisa, possibilitando a produção desta tese.

Aos professores, pelos ensinamentos ministrados e contribuição fundamental na minha formação profissional. Em especial, aos Professores: Ricardo Antônio Ferreira Rodrigues, Marco Eustáquio de Sá, Edson Lazarini, Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, João Antônio da Costa Andrade, Maria Aparecida Anselmo Tarsitano, Marcelo Andreotti, Marlene Cristina Alves.

Aos membros da banca de qualificação Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho e a Prof.^a Dr.^a Raissa Pereira Dinalli Gazola e aos membros da banca de defesa Prof. Dr. Marco Eustáquio de Sá, Prof. Dr. Edson Lazarini, Prof. Dr. Leandro Borges Lemos e ao Prof. Dr. Matheus Gustavo da Silva, pelas considerações e sugestões feitas ao trabalho.

Aos amigos Nayara, Flávia, Amanda, Alex, Lucas, Paulo Ricardo, Fábio, Fernando, Mariele, Cristiano Pariz, Elisângela Dupas, João Willian, Anderson Teruo, Tayná, Letícia e Sebastião, pelo auxílio na condução e avaliação do experimento.

Ao senhor Valdivino, pelo apoio durante as avaliações de campo.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação, da Biblioteca, da Seção Técnica de Apoio, Ensino, Pesquisa e Extensão, em especial ao José Carlos Melo, aos funcionários do laboratório de Análise de Plantas do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia e do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, e da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão da FEIS/UNESP, pelo auxílio, amizade e dedicação.

RESUMO

O sistema de produção baseado na sucessão de culturas, assim como a sucessão entre soja e milho no Brasil, não se sustenta ao longo dos anos. Assim, a inserção de plantas de cobertura, bem como o cultivo do arroz substituindo parte da área de soja, podem ser opções para beneficiar o sistema agrícola no Cerrado. O objetivo foi avaliar a adoção de plantas de cobertura no cultivo do arroz de terras altas, da soja e o efeito no milho segunda safra consorciado com *Urochloa*. O projeto foi constituído por três subprojetos. Subprojeto 1: Sistemas de produção para arroz de terras altas com o uso de plantas de cobertura. Subprojeto 2: Sistemas de produção para soja com o uso de plantas de cobertura. Subprojeto 3: Milho segunda safra consorciado com *Urochloa ruziziensis*, cultivado sobre palhada de arroz e soja, em função de plantas de cobertura. Foram utilizadas seis plantas de cobertura [milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), milheto + crotalária, milheto + guandu e pousio] semeadas na primavera. O delineamento experimental para o arroz e soja foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos e 4 repetições. O delineamento para o milho foi o de blocos casualizados, com esquema em faixas, com 4 repetições. O estudo foi realizado no município de Selvíria – MS, na região de Cerrado, sobre um Latossolo Vermelho Distrófico, conduzido no período de setembro de 2014 a setembro de 2016, com o uso de irrigação suplementar. Subprojeto 1 – No cultivo do arroz de terras altas, o consórcio milheto + crotalária, propicia maior acúmulo de palhada, macronutrientes, além de manter maior quantidade de palhada sobre o solo e promover maior liberação de nutrientes no período de 120 dias após a semeadura do arroz. O cultivo de crotalária, no inverno/primavera, favorece o maior número de espiguetas totais e granadas por panícula, além de beneficiar a produtividade de grãos de arroz. A condição física do solo, em 2015/16, é melhorada com o cultivo do guandu anteriormente à cultura do arroz. Subprojeto 2 – O acúmulo de palhada e de nutrientes pela crotalária, bem como a manutenção de cobertura do solo e a liberação dos nutrientes são prejudicadas pela sucessão com a soja, enquanto que a soja beneficia o cultivo do milheto. O cultivo de guandu, anteriormente à cultura da soja, favorece as condições físicas do solo em relação ao milheto e ao pousio. Subprojeto 3 - O acúmulo de palhada de soja e a ciclagem de N, P, Ca e Mg são superiores a palhada de arroz. A cultura do arroz de terras altas pode ser uma alternativa para entrar em rotação no verão com a soja, obtendo produtividade média de 4.071 kg ha⁻¹ e potencial para produção de 5.619 kg ha⁻¹ de palhada sobre o solo. Na região de Cerrado de baixa altitude, com o uso de irrigação suplementar, o sistema de produção com plantas de cobertura, no inverno/primavera, arroz/soja no verão e milho em consórcio com *U. ruziziensis* no outono/inverno, possibilita aporte de aproximadamente 20 t ha⁻¹ ano⁻¹ de palhada sobre solo e aproximadamente 9.350 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de grãos.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L. *Glycine max* L. Merrill. *Zea mays* L. Adubação verde. Agricultura conservacionista. Sistema plantio direto.

ABSTRACT

The production system based on the succession of cultures as well as the sequence between corn and soybean in Brazil, does not hold up over the years. Thus, the inclusion of cover crops, and rice cultivation by replacing part of the soybean area may be options to benefit the agricultural system in the Cerrado. The objective was to evaluate the adoption of cover crops in the cultivation of upland rice, soybean and the effect on maize second crop intercropped with *Urochloa*. The project consisted of three subprojects. Subproject 1: Production systems for upland rice with the use of cover crops. Subproject 2: Soybean production systems with the use of cover crops. Subproject 3: Maize second crop intercropped with *Urochloa ruziziensis* cultivated on rice and soybean straw, as a function of cover crops. Six cover crops were used [millet (*Pennisetum americanum*), sunn hemp (*Crotalaria juncea*), pigeon pea (*Cajanus cajan*), millet + sunn hemp, millet + pigeon pea and fallow] sowed in the spring. The experimental design for rice and soybean was randomized blocks, with six treatments and 4 replications. The design for maize was randomized blocks, with a scheme in strips, with 4 replications. The study was conducted in Selvíria - MS in the Cerrado region, on a Oxisol, conducted from September 2014 to September 2016, with the use of supplemental irrigation. Subproject 1 – In the cultivation of upland rice, the consortium millet + sun hemp provides greater accumulation of straw, macronutrients, besides keeping larger amount of straw on the ground and promote greater release of nutrients within 120 days after sowing rice. The sun hemp cultivation in the winter/spring, favors the largest total number of spikelets per panicle and grenades, as well as benefit the productivity of rice grains. The physical condition of the soil in 2015/16, is improved by the cultivation of pigeonpea before the rice crop. Subproject 2 - The accumulation of straw and nutrients by sun hemp and soil cover maintenance and release of nutrients are hampered by succession to soybeans, while soybeans benefits millet cultivation. The pigeon crop, prior to soybean favors the physical conditions of the soil in relation to fallow and millet. Subproject 3 - The accumulation of straw and soybean cycling of N, P, Ca and Mg are higher than rice straw. Cultivation of upland rice can be an alternative to the summer into rotation with soybeans, resulting average productivity of 4,071 kg ha⁻¹ and the potential to produce 5,619 kg ha⁻¹ of straw on the soil. In the region of low altitude Cerrado, with the use of supplementary irrigation, the production system with cover crops, rice/soybean and corn in intercropped with *U. ruziziensis*, enables input of approximately 20 t ha⁻¹ yr⁻¹ of ground straw and about 9,350 kg ha⁻¹ yr⁻¹ of grains.

Keywords: *Oryza sativa* L. *Glycine max* L. Merrill. *Zea mays* L. Green manure. Conservationist agriculture. No-tillage system.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	15
2.1	ARROZ DE TERRAS ALTAS, SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA CONSORCIADO COM <i>UROCHLOA RUZIZIENSIS</i>	15
2.2	DESAFIOS NO SISTEMA DE PRODUÇÃO COM ARROZ DE TERRAS ALTAS, SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA CONSORCIADO COM <i>UROCHLOA</i> <i>RUZIZIENSIS</i>	18
2.3	PLANTAS DE COBERTURA.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	24
3.2	HISTÓRICO DA ÁREA E TRATAMENTOS	26
3.3	AVALIAÇÕES NAS PLANTAS DE COBERTURA	28
3.3.1	Massa seca das plantas de cobertura	28
3.3.2	Teor de silício	28
3.3.3	Determinação de C orgânico	28
3.3.4	Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas plantas de cobertura.....	28
3.3.5	Decomposição da massa seca das plantas de cobertura e liberação dos nutrientes	29
3.4	SUBPROJETO 1 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA ARROZ DE TERRAS ALTAS COM O USO DE PLANTAS DE COBERTURA.	29
3.5	AVALIAÇÕES REALIZADAS NO ARROZ	30
3.5.1	Teor de amônio (N-NH ₄ ⁺) e nitrato (N-NO ₃ ⁻) no solo e na folha de arroz, aos 20 DAE e no florescimento pleno	30
3.5.2	Índice de clorofila foliar aos 20 DAE e no florescimento pleno	31
3.5.3	Teor foliar total de N, P, K, Ca, Mg e S.....	31
3.5.4	Massa seca de plantas.....	31
3.5.5	Altura de plantas	31
3.5.6	Número de panículas por metro quadrado	31
3.5.7	Número total de espiguetas por panícula	32
3.5.8	Número de espiguetas granadas e chochas por panícula.....	32
3.5.9	Massa de 100 grãos.....	32

3.5.10	Produtividade de grãos	32
3.5.11	Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S	32
3.5.12	Atributos químicos do solo	32
3.5.13	Densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade	33
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
3.7	SUBPROJETO 2 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA SOJA COM O USO DE PLANTAS DE COBERTURA.	33
3.8	AVALIAÇÕES NA SOJA	34
3.8.1	Teor foliar de N, P, K, Ca, Mg e S	34
3.8.2	População inicial e final de plantas	35
3.8.3	Características agronômicas.....	35
3.8.4	Altura de planta:.....	35
3.8.5	Altura de inserção da primeira vagem:	35
3.8.6	Número de vagens por planta:	35
3.8.7	Massa de 1000 grãos.....	35
3.8.8	Produtividade de grãos	35
3.8.9	Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S	36
3.8.10	Atributos químicos do solo	36
3.8.11	Densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade	36
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
3.10	SUBPROJETO 3 – MILHO SEGUNDA SAFRA CONSORCIADO COM <i>UROCHLOA RUZIZIENSIS</i> , SEMEADO SOBRE PALHADA DE ARROZ E SOJA, EM FUNÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA.....	37
3.11	AVALIAÇÕES NA PALHADA DE ARROZ E SOJA.....	39
3.11.1	Acúmulo de massa seca	39
3.11.2	Teor de silício	40
3.11.3	Determinação de C orgânico	40
3.11.4	Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S	40
3.11.5	Decomposição da massa seca das palhadas e liberação de nutrientes	40
3.12	AVALIAÇÕES NO MILHO SEGUNDA SAFRA.....	41
3.12.1	População inicial e final de plantas	41
3.12.2	Massa seca de plantas de milho	41
3.12.3	Massa seca de <i>Urochloa ruziziensis</i> e massa seca total	42
3.12.4	Índice de clorofila foliar	42

3.12.5	Teor foliar de N, P, K, Ca, Mg e S	42
3.12.6	Altura de planta	43
3.12.7	Número de fileira de grãos por espiga	43
3.12.8	Número de grãos por fileira	43
3.12.9	Prolificidade	43
3.12.10	Massa de mil grãos	43
3.12.11	Produtividade de grãos	44
3.12.12	Extração e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S	44
3.12.13	Atributos químicos do solo	44
3.12.14	Densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade	44
3.13	ANÁLISE ESTATÍSTICA	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	DADOS CLIMÁTICOS	46
4.2	SUBPROJETO 1 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA O ARROZ DE TERRAS ALTAS COM O USO DE PLANTAS DE COBERTURA.	48
4.2.1	Massa seca de plantas de cobertura, teor de silício e relação C/N	48
4.2.2	Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas plantas de cobertura	49
4.2.3	Decomposição da massa seca das plantas de cobertura e liberação dos nutrientes	52
4.2.4	Teor de amônio (N-NH ₄ ⁺) e nitrato (N-NO ₃ ⁻) no solo, aos 20 DAE e no florescimento pleno	61
4.2.5	Teor de amônio (N-NH ₄ ⁺) e nitrato (N-NO ₃ ⁻) nas folhas de arroz, aos 20 DAE e no florescimento pleno	63
4.2.6	Teor de P, K, Ca, Mg e S em folhas de arroz, no florescimento pleno	67
4.2.7	Componentes de produção e produtividade de arroz de terras altas	68
4.2.8	Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz de terras altas	70
4.2.9	Atributos químicos e físicos do solo na área de arroz de terras altas.	74
4.3	SUBPROJETO 2 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA SOJA COM O USO DE PLANTAS DE COBERTURA	80
4.3.1	Massa seca em plantas de cobertura, teor de silício e relação C/N	80
4.3.2	Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas plantas de cobertura	82
4.3.3	Decomposição da massa seca das plantas de cobertura e liberação de nutrientes	85
4.3.4	Teor de N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de soja, no florescimento	91

4.3.5	Componentes de produção e produtividade da soja	93
4.3.6	Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pela soja	94
4.3.7	Atributos químicos e físicos do solo na área de soja.....	98
4.4	SUBPROJETO 3 – MILHO SEGUNDA SAFRA, CONSORCIADO COM <i>UROCHLOA RUZIZIENSIS</i> , SEMEADO SOBRE PALHADA DE ARROZ E SOJA, EM FUNÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA.....	103
4.4.1	Acúmulo de massa seca de palhada de arroz e soja, teor de silício e relação C/N	103
4.4.2	Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas palhadas de arroz e soja.....	107
4.4.3	Decomposição das palhadas de arroz e de soja e liberação de nutrientes.....	111
4.4.4	Componentes de produção, aspectos nutricionais e produtividade de grãos de milho	127
4.4.5	ICF e teor de N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de milho, no florescimento	131
4.4.6	Extração de N, P, K, Ca, Mg e S pelo milho.....	135
4.4.7	Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pelo milho	141
4.4.8	Atributos químicos e físicos do solo na área de milho.....	145
5	CONCLUSÕES.....	155
	REFERÊNCIAS	157
	APÊNDICE – FOTOS DO EXPERIMENTO	177

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do milho (*Zea mays* L.), denominado de segunda safra, sob sequeiro, em sucessão de culturas, expandiu no Brasil a partir de 1990 (DUARTE; KURIAHARA; CANTARELLA, 2013). Nas últimas duas décadas a área passou a ser expressiva, com mais de 12 milhões de hectares, e a produtividade média de aproximadamente 5,5 toneladas por hectare (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2019), devido principalmente à consolidação do Sistema Plantio Direto (SPD), à antecipação da época de semeadura e ao lançamento de híbridos adaptados (DUARTE; KURIAHARA; CANTARELLA, 2013).

Com o passar dos anos, os estudos com milho em consórcio com *Urochloa* tem se intensificado, principalmente com o milho segunda safra. Portanto, pode se inferir que, com o aumento da área de milho segunda safra, tem-se expandido a área em consórcio com *Urochloa*, principalmente com a espécie *Urochloa ruziziensis*. De acordo com Ceccon (2007) o consórcio de milho segunda safra com *U. ruziziensis* visa a produção de palhada para cobertura do solo em plantio direto e evoluiu em lavouras de agricultores devido aos resultados de pesquisa sobre sua viabilidade econômica.

Normalmente, o milho segunda safra em consórcio com *U. ruziziensis* tem sido utilizado após a soja no verão, no entanto, de acordo com Richetti (2013) o estudo de sistemas de produção alternativos e diversificados é de fundamental importância para o desenvolvimento de uma agricultura competitiva e sustentável. Nesse sentido, são necessários estudos com outras culturas de interesse econômico semeadas no verão, como por exemplo, o arroz de terras altas.

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das fontes alimentícias mais importantes para grande parte da população mundial, atendendo a 21 % em calorias diárias necessárias e 14 % em proteínas. Sua produção ocorre nos cinco continentes, em aproximadamente 116 países, tanto em regiões tropicais como temperadas (FERREIRA; VILLAR, 2004). Além da importância nutricional, a planta de arroz tem a peculiaridade de acumular silício (Si) (MA; YAMAJI, 2006). O Si é depositado principalmente na parede celular, aumentando a rigidez das células (ADATIA; BESFORD, 1986), podendo aumentar a persistência de sua palhada sobre o solo.

A soja (*Glycine max* L. Merrill) apresenta grande importância mundial, pois possui elevado teor de proteínas (40 %), fazendo com que seja a principal matéria prima na fabricação de rações para alimentação de animais. As elevadas taxas de aumento da produção de soja em nível mundial se devem principalmente pelo atual ritmo de crescimento econômico mundial,

que demanda volumes crescentes de soja para suprir as necessidades de farelos proteicos, utilizados na ração de animais produtores de carne (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2008). A planta de soja deixa pequena quantidade de resíduos culturais sob o solo. Fernandez *et al.* (2008), estudando a decomposição de resíduos de soja e gramínea (milho), concluíram que a decomposição dos resíduos culturais da soja é mais rápida em comparação a gramínea. Os autores relataram que isso ocorre devido a maior relação C/N, maior heterogeneidade e quantidade de resíduos sob o solo da gramínea em relação a soja. Portanto, notou-se que os resíduos culturais da soja não são suficientes para manter o solo coberto e viabilizar o SPD com qualidade.

A estabilidade do sistema produtivo agrícola pode ser mantida somente se houver o uso adequado e racional dos recursos naturais, especialmente do solo e da água (VIANA *et al.*, 2008). Para isso, se faz necessário o emprego de técnicas de manejo das culturas, como o sistema plantio direto; rotação/sucessão de culturas; uso de adubos verdes/plantas de cobertura, promovendo a ciclagem de nutrientes.

A rotação de culturas é um fundamento do SPD, o estudo de diferentes rotações ou sucessões de culturas adaptadas a essa condição de plantio, resultará em subsídios para adoção do sistema de produção sustentável (BRANDT *et al.*, 2006). Na região de Cerrado, ocorre a rápida decomposição dos resíduos culturais, portanto, há a necessidade de se pesquisar opções de rotação de culturas com diferentes espécies, que permitam manter a viabilidade e sustentabilidade do sistema de produção.

A utilização de adubos verdes e/ou plantas de cobertura está entre as práticas que visam minimizar os impactos sob o meio ambiente, podendo ser incorporados ou não, em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas (ALCÂNTARA *et al.*, 2000), com o objetivo de reduzir a erosão e recuperar características físicas, químicas e biológicas do solo (NASCIMENTO *et al.*, 2005).

Devido ao crescimento da população mundial, ocorre, também, o aumento na demanda por alimentos. As culturas do arroz, soja e milho, constituem-se as principais fontes de alimento, de forma direta ou indireta, portanto, são as que mais necessitam de pesquisas. Nesse sentido, são necessários estudos sobre técnicas de manejo, aplicados às culturas, que viabilizem a produção de alimentos em longo prazo.

O objetivo foi avaliar a produção e manutenção de palhada, ciclagem de nutrientes e atributos do solo, pelo cultivo de plantas de cobertura, arroz de terras altas e soja e, posteriormente, o efeito no milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*, em região de Cerrado de baixa altitude, no SPD.

2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

2.1 ARROZ DE TERRAS ALTAS, SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA CONSORCIADO COM *UROCHLOA RUZIZIENSIS*

A produção mundial de arroz em casca é de aproximadamente 770 milhões de toneladas, com a China representando 28 % da produção, seguida pela Índia, com 22 %. O Brasil é o nono produtor mundial de arroz (1,62 % da produção total). No mundo, aproximadamente 167 milhões de hectares é destinada a produção de arroz dentre os quais, destaca-se a Índia, com uma fatia de 26 % e a China, com 18%. O Brasil atua em 1,2 % da área, ocupando a décima terceira posição no ranking (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION- FAO, 2017). A área cultivada com arroz no Brasil é de 1,7 milhões de hectares, com produtividade média de 6,0 t ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2019).

No mundo, há uma projeção de aumento de 50 % na demanda por arroz até 2050. A projeção na demanda varia conforme a região; por exemplo, para a demanda de arroz, está previsto um aumento de quase 200 % na África Subsaariana e de 110 % na América Latina. Nesse sentido, se os recursos naturais, especialmente água, forem mal administrados e, os investimentos na agricultura forem baixos, como na tecnologia e de recursos naturais, a demanda por arroz é projetada para permanecer estável. A evolução da produtividade de arroz será muito afetada pelo grau de investimento em pesquisa, gestão de recursos e de mercado e política comercial (BRAUN; BOS, 2005).

O estudo da dinâmica da produção e do mercado do arroz reforça a necessidade de pesquisar as causas da insustentabilidade da cultura do arroz de terras altas. Poucos produtores cultivam arroz aplicando mesmo nível tecnológico que em outras culturas, alegando que o arroz não responde com a mesma intensidade, ou que as respostas são inconstantes. Outras culturas, principalmente a soja, estão ocupando maior espaço na agricultura. Caso essa tendência persista, o país será obrigado a importar cada vez maiores quantidades de arroz para garantir o abastecimento interno. Isso pode se agravar, na medida em que se espera que uma parcela significativa da população, que ainda não tem acesso a alimentos básicos, passe a pressionar a demanda por arroz nos próximos anos (FERREIRA; DEL VILLAR; GAMEIRO, 2005).

A produção de soja mundial situa-se em torno de 353 milhões de toneladas. Os EUA são os maiores produtores, com 34 % do total, o Brasil ocupa a segunda posição, com 33 % e, a Argentina representa 16 % do total produzido. No que diz respeito à área de atuação da cultura da soja, no mundo, são cultivados pouco mais de 124 milhões de hectares. O ranking dos países

que detém as maiores áreas destinadas ao cultivo da soja, segue a tendência da produção, ou seja, os EUA são os primeiros, representando 29 % do total, o Brasil fica em segundo, representando 27 % e, a Argentina, a terceira colocada, representa 14 % da área mundial cultivada com soja (FAO, 2017).

Segundo os dados da Conab (2019) a área cultivada com soja no Brasil na safra 2018/19, chega a pouco mais de 35,8 milhões de hectares, representando acréscimo de 2,0 % em relação à safra passada, a produtividade média com 3.168 kg ha⁻¹, apresentando decréscimo de 6,7 % em relação à safra anterior. Esse decréscimo ocorreu devido a problemas relacionados ao clima durante o desenvolvimento e colheita da lavoura nas regiões do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), Goiás, São Paulo e especialmente o Mato Grosso.

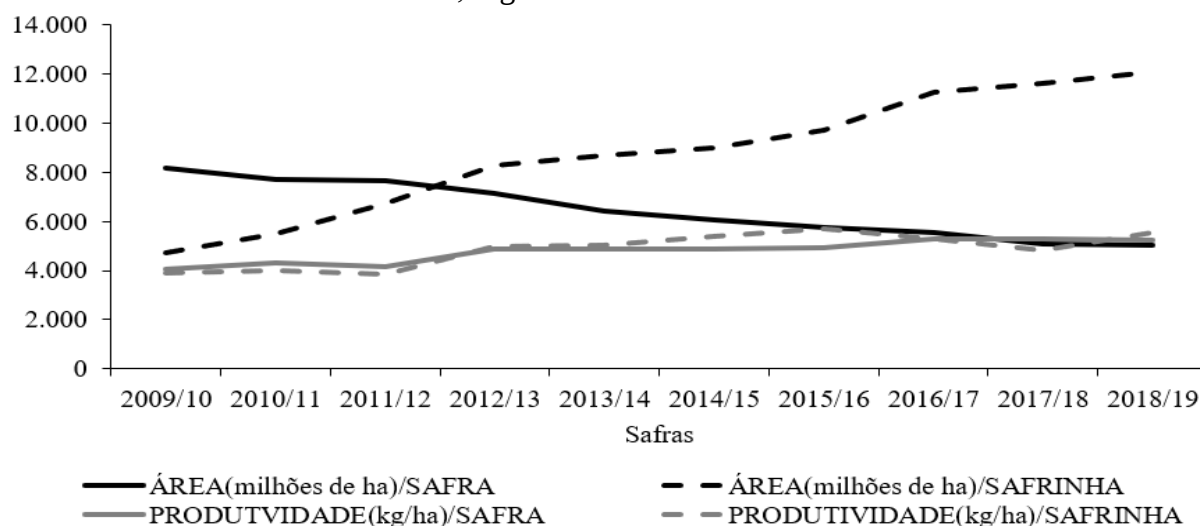
Pode-se dizer que a soja é uma cultura rentável no Brasil devido à administração da fixação biológica de nitrogênio, permitindo aporte de nitrogênio, resultando em elevadas produtividades sem a adição de nitrogênio químico (ARAÚJO, 1999). Além disso, de acordo com Duarte, Kurahara e Cantarella (2013) o nitrogênio presente nos restos culturais da soja pode ser utilizado pelo milho segunda safra, embora não se conheça bem quanto desse nutriente é aproveitado pela cultura. Os autores relatam que de maneira geral, estima-se que para o milho cultivado em sucessão, são aproveitados cerca de 15 kg de N para cada tonelada de soja, ou seja, 45 kg ha⁻¹ de N quando se produz 3,0 t ha⁻¹ de soja, o que não é suficiente para suprir a exportação deste nutriente, na maioria das lavouras de milho segunda safra.

Nos últimos anos, no Brasil, o milho segunda safra vêm superando o milho de primeira safra, em termos de área, produtividade e produção. De acordo com a Figura 1, desde a safra 2009/10, a área de milho segunda safra vem aumentando, enquanto que a área do milho primeira safra vem diminuindo. A partir de 2011/12, a área destinada ao milho segunda safra superou o milho primeira safra, sendo que na safra 2018/19, representa 140 % em acréscimo sobre a primeira safra. Em relação à produtividade, percebe-se que desde de 2010/11, vêm aumentando, ao passo que na safra 2018/19, representa aproximadamente 6 % superior à produtividade do milho primeira safra (CONAB, 2010-2019).

Salienta-se que o plantio do milho segunda safra é uma atividade de risco, seja pela incidência de pragas ou doenças, seja pela ocorrência de deficiência hídrica durante o outono (RICHETTI, 2013). Diante disso, a irrigação em caráter complementar é uma alternativa para evitar os riscos de deficiência hídrica, aumentando a produtividade do milho segunda safra (PEGORARE *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2012).

De acordo com Ceccon *et al.* (2014) a colheita antecipada da soja no verão tem favorecido a semeadura antecipada do milho segunda safra, que tem apresentado altas produtividades nos últimos anos.

Figura 1 - Evolução da área e da produtividade de milho primeira e segunda safra no Brasil, nas últimas nove safras, segundo dados da CONAB.



Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2010-2019).

O consórcio de milho com forrageira tem como objetivo a produção de palhada para cobertura do solo e a produção de forragem para alimentação de animais (CECCON; BORGHI; CRUSCIOL, 2013). O milho segunda safra em consórcio com *Urochloa* é uma tecnologia que permite manter o rendimento de grãos de milho segunda safra e aumentar a produção de palha como forma de viabilizar o SPD na sucessão soja/milho segunda safra (BROCH; CECCON, 2007), com destaque para a *U. ruziziensis*, pela quantidade de palha produzida e cobertura de solo (CECCON *et al.*, 2007).

Dentre as espécies de *Urochloa*, a *U. ruziziensis* é indicada para o SPD pelo seu rápido crescimento inicial, qualidade da forragem, excelente cobertura do solo e facilidade de manejo para implantação da soja (CECCON, 2008). A consorciação do milho com a *Urochloa* permite a manutenção do milho como cultura de rendimento econômico na segunda safra e a *Urochloa* agregando cobertura ao sistema por produzir massa após a colheita do milho até o momento da dessecação que antecede a semeadura da cultura seguinte (CECCON, 2007). Ainda, segundo Crusciol *et al.* (2009) o consórcio de culturas graníferas com forrageiras perenes tem a finalidade de servir como alimento para exploração pecuária e servir como planta para a produção de palhada, tendendo a proporcionar cobertura permanente do solo.

2.2 DESAFIOS NO SISTEMA DE PRODUÇÃO COM ARROZ DE TERRAS ALTAS, SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA CONSORCIADO COM *UROCHLOA RUZIZIENSIS*

Um sistema de produção é composto pelo conjunto de sistemas de cultivo: sistema em monocultura, sistema em sucessão de culturas, sistema em rotação de culturas e sistema em consorciação de culturas. Sistema em sucessão de culturas ocorre quando se tem a repetição sazonal de uma sequência de espécies vegetais no mesmo espaço produtivo, por vários anos. Enquanto que rotação de culturas ocorre pela alternância ordenada, temporal e sazonal de diferentes espécies vegetais em um mesmo espaço produtivo (HIRAKURI *et al.*, 2012).

Para assegurar a sustentabilidade do sistema de produção, é fundamental sua associação a um sistema de rotação e sucessão de culturas diversificado, que produza adequada quantidade de palhada na superfície do solo (SILVA *et al.*, 2007). A rotação de culturas, prática fundamental na produção agrícola, nem sempre é adotada pelos produtores, que priorizam o fator econômico em detrimento da importância agrônômica (KLUTHCOUSKI; PINHEIRO; YOKOYAMA, 1995).

O sistema contínuo de sucessão do tipo soja/milho segunda safra tende a provocar a degradação física, química e biológica do solo e a queda da produtividade das culturas, além de proporcionar condições mais favoráveis para o desenvolvimento de doenças, pragas e plantas daninhas (EMBRAPA, 2010; KAPPES; ZANCANARO, 2014). Assim sendo, onde há o predomínio da monocultura de soja entre as culturas anuais é necessária a introdução, no sistema agrícola, de outras espécies, de preferência gramíneas, como milho, pastagem e outras (EMBRAPA, 2010), como por exemplo, o milheto e o arroz.

O arroz de terras altas é uma opção para um sistema de rotação, por apresentar ciclo curto, com grande produção de massa seca, no qual se utiliza, predominantemente, o milho, o feijão e a soja (SPOHR *et al.*, 2005), no entanto, apresenta alguns problemas, principalmente no SPD. No Cerrado, o plantio direto para a cultura do arroz de terras altas ainda não tem propiciado bons rendimentos, portanto, são necessários mais estudos (KLUTHCOUSKI; PINHEIRO; YOKOYAMA, 1995). Em razão da crescente demanda do arroz e da dificuldade na expansão do cultivo irrigado no Sul do país, torna-se necessário estudar técnicas que possibilitem a introdução do arroz de terras altas em áreas de plantio direto, como opção em relação à soja e ao milho (PACHECO *et al.*, 2011).

Segundo Kluthcouski *et al.* (2000), a pouca adaptação do arroz ao SPD é, basicamente, devida ao adensamento do solo e redução na macroporosidade. No entanto, segundo Soares (2004) o ponto fundamental da queda de produtividade do arroz de terras altas, no sistema plantio direto, está relacionado com a diminuição do teor de N-NH_4^+ , sugerindo que essa forma é mais bem aproveitada pela planta, em relação ao N-NO_3^- . De acordo com Malavolta (1980), tanto o arroz de sequeiro quanto o irrigado, nas duas ou três primeiras semanas após a emergência, quando cultivado em meio contendo o nitrato (NO_3^-) como forma exclusiva de N, desenvolve-se muito pouco, apresentando sintomas típicos de deficiência de N, o que não acontece quando o N é fornecido na forma de amônio (N-NH_4^+).

No Cerrado, o curto período de chuva sazonal dificulta a produção de palhada (MATA *et al.*, 2011) e as condições de elevadas temperaturas no verão aceleram a decomposição (NASCENTE; CRUSCIOL; COBUCCI, 2013; DIAS *et al.*, 2018). Com a presença de umidade, pelo uso da irrigação, essa situação se agrava (COSTA *et al.*, 2015) e influencia negativamente o sucesso do SPD (CRUSCIOL *et al.*, 2016b). Além da temperatura e a umidade, a decomposição da palhada é dependente da sua relação C/N (JAHANZAD *et al.*, 2016), indicando que, quanto maior a relação C/N mais lenta e a taxa de decomposição e liberação dos nutrientes (PORTUGAL *et al.*, 2017). Estudos realizados por Lynch *et al.* (2016) sugerem que palhada com alta relação C/N favoreceram proteção do solo por mais tempo. Em contrapartida, a palhada com rápida decomposição pode suprir a demanda inicial de N em uma cultura (ABBASI *et al.*, 2015).

Visando a proteção do solo por mais tempo no SPD, foi lançada a hipótese de que o silício poderia favorecer a permanência da palhada sobre o solo (FERNANDEZ *et al.*, 2009). O arroz é uma planta típica acumuladora de silício, sendo que a parte aérea pode acumular até 10 % de Si em peso seco e estudos têm indicado que o arroz tem um sistema específico para transporte de Si (MA; TAKAHASHI, 2002). Após a decomposição da palhada de arroz, o silício retorna ao solo e poderia haver maior quantidade disponível para as culturas em sucessão, aumentando a absorção pelas mesmas e redundando em maior durabilidade das palhadas sobre o solo. Segundo Ma e Takahashi (2002), a silicificação aprimora a resistência e rigidez da parede da célula. Assim, pode diminuir a velocidade de decomposição dos resíduos culturais sobre o solo, favorecendo a manutenção de cobertura e o SPD. No entanto, segundo Fernandez *et al.* (2009), são escassos os trabalhos na literatura com o enfoque na relação do silício com a decomposição dos resíduos vegetais.

O sistema de sucessão mais usado é soja-milho, em que a soja fornece menor quantidade de palhada e esta é de rápida decomposição, ao passo que, a palhada do milho é em maior

quantidade e de maior persistência como cobertura (VIEIRA, 2009), principalmente quando consorciado com *Urochloa*. A mineralização do nitrogênio dos restos culturais da soja não é suficiente para atender a demanda do milho segunda safra (DUARTE; CANTARELLA, 2007). Dessa forma, além de optar por sistemas de produção que favoreçam maior cobertura do solo, deve-se conhecer, também, a dinâmica da ciclagem dos nutrientes, tanto das culturas econômicas, quanto das plantas de cobertura.

A ciclagem dos nutrientes explica porque as plantas retiram nutrientes do solo por milênios, e mesmo assim não há o esgotamento. A biosfera não se esgota rapidamente em nutrientes, porque ela usa a mesma fonte de abastecimento por várias vezes (BRADY; WEIL, 2013). Nesse processo, as plantas cultivadas absorvem nutrientes do solo, após o consumo dessas plantas pelos seres humanos e os animais, os resíduos vegetais e os dejetos humanos e de animais retornam os nutrientes ao solo (TAIZ *et al.*, 2017). A reciclagem dos nutrientes deve estar no centro das atenções em qualquer sistema de manejo ecologicamente saudável (BRADY; WEIL, 2013).

Como já destacado, as perspectivas para a produção dos principais alimentos (arroz, soja e milho) são de crescimento linear. O papel da pesquisa é fornecer estudos, que possibilitem o incremento da produtividade das culturas, mantendo a sustentabilidade do sistema produtivo. Uma alternativa para isso é a inserção de plantas de cobertura e culturas de importância econômica e social em um sistema produtivo.

2.3 PLANTAS DE COBERTURA

Nas regiões tropicais, os sistemas de produção agrícola que envolve a pulverização da camada superficial do solo pelo manejo, promovem a decomposição e a queima acelerada dos componentes orgânicos, tornando-os sujeitos às variações rápidas que afetam negativamente o desenvolvimento das plantas (ARF *et al.*, 2007). Nesse sentido, o SPD surgiu para minimizar efeitos negativos do preparo convencional do solo, visando o não revolvimento do solo, a permanente cobertura do solo com resíduos vegetais e a rotação/sucessão de culturas (KANEKO *et al.*, 2010). O uso de plantas de cobertura é um componente essencial da sustentabilidade dos sistemas de cultivo em solos altamente intemperizados, sob clima tropical sazonalmente seco, como os encontrados na região do Cerrado (CARVALHO *et al.*, 2009). Nessa região, devido à dificuldade para produzir palhada e manter proteção do solo, a adoção

de plantas de cobertura é uma técnica que deve ser melhor estudada (ARF *et al.*, 2018), com o objetivo de aumentar a oferta de palha sobre a superfície (VIEIRA, 2009).

As tecnologias de plantio direto estão muito bem adaptadas às culturas de soja e milho. O sistema plantio direto do arroz de terras altas começa a ser viabilizado graças ao uso de adubos verdes, como precedentes “perfuradores” que permitem uma aração biológica (BOUZINAC; SÉGUY, 1995), e podem disponibilizar quantidades diferentes de nitrato e amônio no solo (NASCENTE; CRUSCIOL, 2013). Moro *et al.* (2016), estudando o teor de nitrogênio inorgânico no solo pelo cultivo do milheto, *Crotalaria spectabilis*, *Urochloa brizantha*, *Urochloa decumbens*, *Urochloa humidicola* e *Urochloa ruziziensis*, verificaram que a palhada de crotalária propiciou menor teor de amônio na camada de 0-5 cm de solo, enquanto que a palhada de *Urochloa brizantha* favoreceu maior teor de nitrato. Moro *et al.* (2013) verificaram que a palhada de milheto proporcionou maior produtividade de grãos de arroz. Souza e Melo (2000), estudando vários sistemas de produção, envolvendo plantas de cobertura, observaram que a presença do guandu e da crotalária induziram maior teor de amônio no solo, diferentemente do pousio.

De maneira geral, as plantas de adubos verdes ou de plantas de cobertura, utilizadas na formação de palhada para o SPD, tem papel fundamental na ciclagem de nutrientes, tanto daqueles adicionados pelos fertilizantes minerais e não aproveitados pelas culturas comerciais, quanto daqueles provenientes da mineralização da matéria orgânica do solo (TORRES; PEREIRA; FABIAN, 2008). O cultivo de plantas de cobertura é uma forma adicional de ciclagem orgânica de nutrientes (BRADY; WEIL, 2013). Considerando o elevado custo dos fertilizantes, o uso contínuo de plantas de cobertura, nos sistemas agrícolas de produção de soja e arroz pode propiciar o uso mais eficiente dos nutrientes contidos no solo, refletindo na redução do custo de produção (PACHECO *et al.*, 2013).

O acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura varia entre as gramíneas e leguminosas (BOER *et al.*, 2007). Rodrigues *et al.* (2012), estudando diversas espécies de plantas de cobertura, verificaram maior acúmulo de macronutrientes em plantas de mucuna + milheto (N – 473; P – 52; K – 195; Ca – 201; Mg – 126 e S – 34 kg ha⁻¹) e menor acúmulo no pousio (N – 115; P – 15; K – 69; Ca – 56; Mg – 30 e S – 11 kg ha⁻¹). Os autores ressaltaram que o acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura proporcionou melhorias no solo e a economia de fertilizantes. Soratto *et al.* (2012) observaram que as quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S no milheto foram de 257, 38, 322, 57, 47 e 35 kg ha⁻¹, na crotalária foram de 184, 19, 107, 71, 20 e 14 kg ha⁻¹ e no consórcio foram de 161, 22, 136, 46, 22 e 17 kg ha⁻¹. Os autores constataram que quantidades significativas de nutrientes foram liberadas, que poderiam atender

às necessidades da cultura sucessora. Portanto, o adequado manejo do SPD depende do uso de coberturas vegetais com grande produção de palhada, com duradoura persistência sobre solo, com potencial para reciclar nutrientes (TEIXEIRA *et al.*, 2014) e com liberação em sincronia com a fase de maior demanda pela cultura seguinte (JAHANZAD *et al.*, 2016).

As fabáceas apresentam menor relação C/N em comparação às poáceas e, devido a sua capacidade de fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico, contribuem para o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo, da absorção de nitrogênio pela planta e da produtividade de milho (OHLAND *et al.*, 2005). Em contrapartida, as fabáceas apresentam rápida decomposição, promovendo baixa persistência dos resíduos vegetais na superfície do solo (TEIXEIRA *et al.*, 2009), o que é um ponto negativo.

Dentre as fabáceas, pode-se citar a *Crotalaria juncea* L., originária da Índia e Ásia Tropical que apresenta grande potencial de cultivo na região de Cerrado. Apresenta crescimento rápido, o que promove rápida cobertura do solo, com potencial de produção de massa seca de 4 t ha⁻¹ à 15 t ha⁻¹ e, se adapta em regiões com precipitação pluvial de 200 a 400 mm. Obtém excelente capacidade de fixação de N, entre 150 kg ha⁻¹ e 165 kg ha⁻¹ por ano. O guandu (*Cajanus cajan* L.), também originário da Índia e Ásia Tropical, apresenta grande potencial de cultivo na região de Cerrado. Tem crescimento inicial lento, contudo, pode produzir massa seca de 5 a 18 t ha⁻¹ em regiões com média de 200 a 400 mm de precipitação pluvial. Proporciona efeitos benéficos pela fixação de N, podendo fixar de 41 a 280 kg de N ha⁻¹ por ano e, devido às exsudações radiculares, como os ácidos piscídicos, responsáveis pela solubilização e disponibilização do P combinado ao ferro (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

As poáceas colaboram na manutenção de níveis maiores de matéria orgânica no solo, comparadas às fabáceas, devido a sua alta relação C/N e ao alto teor de lignina na sua composição, formando húmus de maior estabilidade; porém, podem apresentar problemas em relação à disponibilidade de N (BULISANI; ROSTON, 1993), principalmente pela imobilização promovida pelos microrganismos do solo.

O milheto (*Pennisetum glaucum* L.) é classificado como uma poácea, espécie forrageira de clima tropical, indicada para região de Cerrado, com crescimento rápido, sistema radicular vigoroso, alto potencial de perfilhamento e de ciclagem de nutrientes. É uma planta resistente à seca, necessitando de aproximadamente 30 mm de precipitação apenas para a germinação, com produção média de 10 t ha⁻¹ de palhada (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

Diante do exposto, observa-se a importância da cultura do arroz, da soja e do milho para os sistemas de produção brasileiro e como fonte alimentar para a população mundial. No entanto, existem vários desafios inerentes a manutenção e melhoria desses sistemas,

principalmente na região do Cerrado, onde a dinâmica dos cultivos é intensa. Uma possível solução para superar esses desafios, seria a inclusão de plantas de cobertura, cultivadas no período de inverno/primavera, visando agregar benefícios de acordo com sua característica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho de pesquisa foi conduzido em área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS, situada aproximadamente a 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de Latitude Sul, com altitude de 335 metros, aproximadamente.

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 e 10-20 cm, para realização de análise química de acordo com a metodologia proposta por Raij e Quaggio (1983) (Tabela 1). No mesmo momento, foram tomadas amostras para avaliação das condições físicas iniciais do solo de cada tratamento. Foram coletadas três amostras indeformadas de solo em cada parcela, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, com o auxílio de anéis de aço com volume conhecido. Foi determinada a densidade do solo pelo método do anel volumétrico; a porosidade total pela percentagem de saturação de água do solo; e a microporosidade e macroporosidade do solo pela “mesa de tensão” (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1). Foram coletadas amostras na profundidade de 0-20 e 20-40 cm, visando à determinação da granulometria do solo (Tabela 1).

Tabela 1- Atributos químicos e físicos iniciais, e granulometria do solo da área experimental. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Atributos químicos											
Prof	P ¹	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	S-SO ₄	V
cm	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂			mmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³	%
0-10	53	26	6	4	41	34	27	78	105	2	74
10-20	26	18	5	2	18	13	27	33	61	6	54
Atributos físicos											
Ma [#] (m ³ m ⁻³)				Mi (m ³ m ⁻³)			Pt (m ³ m ⁻³)		Ds (kg dm ⁻³)		
0-10		0,09		0,35			0,44		1,58		
10-20		0,08		0,35			0,43		1,60		
Granulometria (g kg ⁻¹)											
Areia				Silte				Argila			
0-20		534		80				386			
20-40		464		73				463			

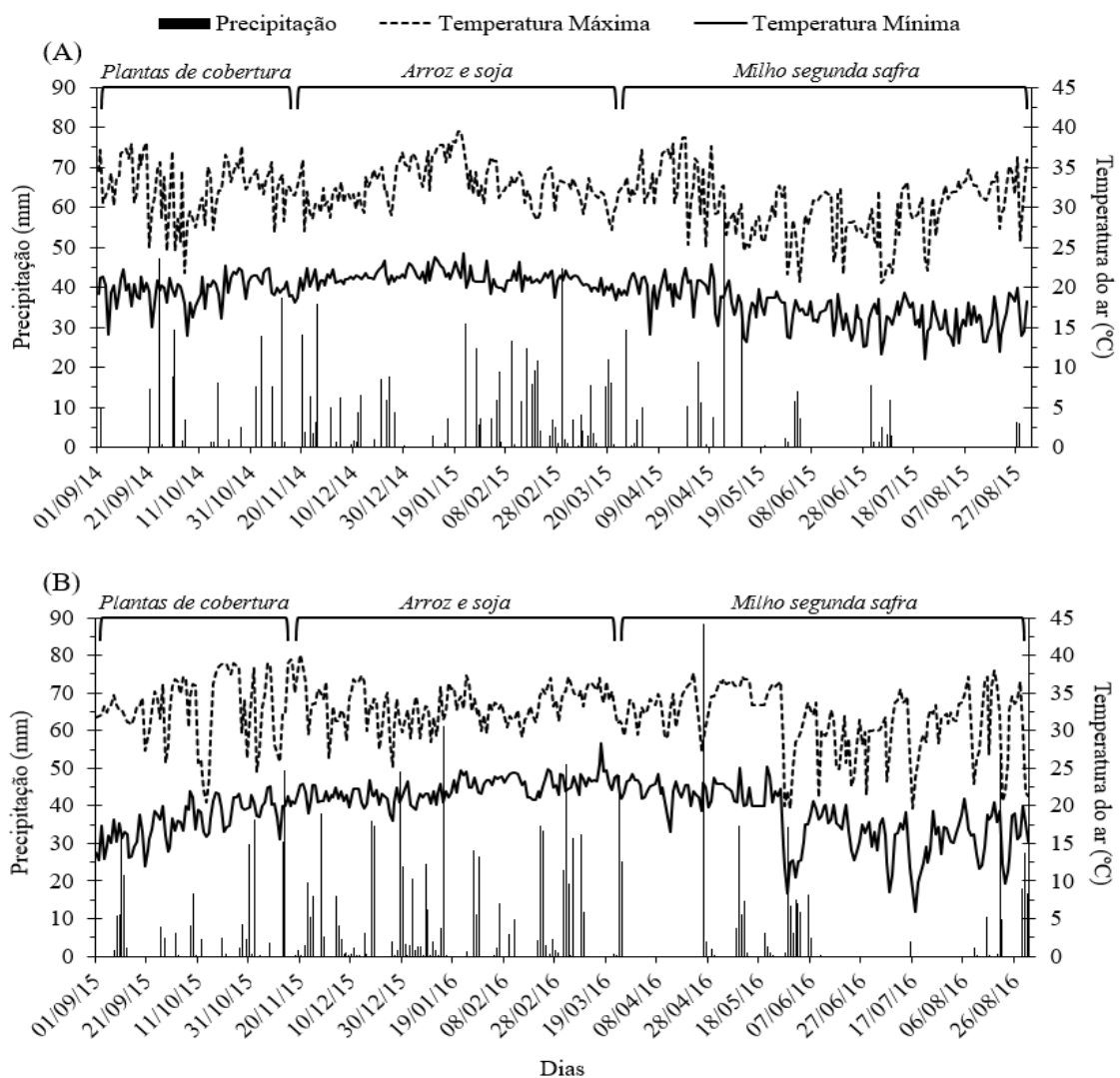
¹Resina; [#] Macroporosidade; Microporosidade; Porosidade Total; Densidade de solo

Fonte: Dados do próprio autor.

O solo da área experimental de acordo com a nomenclatura atual de Santos et al. (2013) é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico argiloso, o qual foi originalmente ocupado por vegetação de cerrado e vem sendo cultivado com culturas anuais há 30 anos.

O clima predominante da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido, estação chuvosa no verão e seca no inverno (ALVARES *et al.*, 2013). A precipitação pluvial média anual é de 1.313 mm, temperatura mínima média de 19 °C, temperatura máxima média de 31 °C (PORTUGAL; PERES; RODRIGUES, 2015) e umidade relativa do ar média anual de 66 % (CENTURION, 1982). Os dados de precipitação, temperatura mínima e máxima, foram coletados durante a condução do experimento (Figura 2).

Figura 2 - Variação diária da precipitação pluvial e da temperatura mínima e máxima do ar, durante o desenvolvimento das plantas de cobertura, cultivo do arroz e soja, e cultivo do milho segunda safra. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16.



Fonte: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP (2016).

3.2 HISTÓRICO DA ÁREA E TRATAMENTOS

A área experimental está sendo cultivada no sistema plantio direto desde o ano agrícola 1997/98. Desde então, o histórico da área tem como base a utilização de culturas anuais e plantas de cobertura. Nos cinco últimos anos, a área experimental foi cultivada, no período de primavera/verão com arroz (2009-2010, 2010-2011 e 2011-2012) e milho (2012-2013 e 2013-2014), no outono/inverno a área foi cultivada com trigo (2010, 2011 e 2014) e feijão (2012 e 2013). Na Tabela 2 estão descritos os sistemas de produção para o projeto em estudo.

Tabela 2 - Sistemas de produção utilizados na área experimental durante os anos agrícolas de 2014/15 e 2015/16. Selvíria, MS, Brasil, 2015 e 2016.

Estação/Ano	2014/15 ⁴	2015/16 ⁴
Sistema de produção 1		
Primavera	Crotalária	Crotalária
Primavera/Verão	Arroz/Soja	Arroz/Soja
Outono/Inverno	Milho + U ³	Milho + U ³
Sistema de produção 2		
Primavera	Milheto	Milheto
Primavera/Verão	Arroz/Soja	Arroz/Soja
Outono/Inverno	Milho + U	Milho + U
Sistema de produção 3		
Primavera	M + C ¹	M + C
Primavera/Verão	Arroz/Soja	Arroz/Soja
Outono/Inverno	Milho + U	Milho + U
Sistema de produção 4		
Primavera	M + G ²	M + G
Primavera/Verão	Arroz/Soja	Arroz/Soja
Outono/Inverno	Milho + U	Milho + U
Sistema de produção 5		
Primavera	Guandu	Guandu
Primavera/Verão	Arroz/Soja	Arroz/Soja
Outono/Inverno	Milho + U	Milho + U
Sistema de produção 6		
Primavera	Pousio	Pousio
Primavera/Verão	Arroz/Soja	Arroz/Soja
Outono/Inverno	Milho + U	Milho + U

¹ Milheto + Crotalária; ² Milheto + Guandu; ³ Milho + *Urochloa ruziziensis*; ⁴ Primeiro e segundo ano do projeto.

Fonte: Dados do próprio autor.

A semeadura das plantas de cobertura foi realizada no dia 05/09/2014 e 03/09/2015. Utilizou-se semeadora tratorizada, com espaçamento de 0,35m para marcar as linhas. A

semeadura das plantas de cobertura foi realizada manualmente, utilizando-se matracas, sem adubação. Utilizou-se em média 60 kg ha⁻¹ de sementes de guandu, 25 kg ha⁻¹ de crotalária e 15 kg ha⁻¹ de milheto. Nos tratamentos com consórcio, foram utilizados 50 % de sementes de cada espécie. As densidades de semeadura foram para o milheto, crotalária e guandu, em torno de 110, 70 e 22 sementes m⁻¹. Foi realizado o tratamento das sementes da crotalária e do guandu, com o inseticida imidacloprido + tiodicarbe (105 + 315 g ha⁻¹ do i.a.) e o fungicida carboxina + tiram (60 + 60 g ha⁻¹ do i.a.), visando a prevenção de pragas e doenças. O fornecimento de água, quando necessário foi realizado por um sistema fixo de irrigação por aspersão.

Em relação ao pousio, houve a presença de várias espécies de plantas: carrapicho de carneiro (*Acanthospermum hispidum* DC.), caruru (*Amaranthus deflexus* L.), picão-preto (*Bidens pilosa* L.), trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.), pega-pega (*Desmodium tortuosum* (Sw.) DC.), capim-colchão (*Digitaria horizontalis* Willd.), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* (L.) Gaertn), leiteira (*Euphorbia heterophylla* L.), corda de viola (*Ipomoea triloba*), cordão-de-frade (*Leonotis nepetifolia* L.), falso massambará (*Sorghum arundinaceum* L.), braquiária (*Urochloa ruziziensis*) e milho (*Zea mays* L.).

Por ocasião do florescimento do milheto e crotalária, aos 59 DAS (dias após a semeadura) (03/11/2014) e 61 DAS (03/11/2015), foi realizado o manejo químico de todas as plantas de cobertura com a aplicação dos herbicidas carfentrazone etílico e glifosato, nas doses de 20 e 1.440 g ha⁻¹ do i.a., respectivamente. Após sete dias do manejo químico (10/11/2014 e 10/11/2015), a área foi manejada com rolo faca, para facilitar a implantação da cultura e demarcação das parcelas experimentais. No mesmo dia do manejo mecânico foram coletadas quatro amostras de resíduos das plantas de cobertura por parcela, visando quantificar a massa seca antes da semeadura da soja e do arroz. Além disso, esse período de nove dias permite que grande parte do herbicida utilizado na dessecação seja degradado, isentando a cultura posterior de qualquer efeito tóxico. No dia 11/11/2014 e 11/11/2015, as parcelas foram demarcadas, com intuito de facilitar a semeadura do arroz e da soja.

3.3 AVALIAÇÕES NAS PLANTAS DE COBERTURA

3.3.1 Massa seca das plantas de cobertura

A coleta foi realizada no dia 10/11/2014 e 10/11/2015 após a passagem do rolo-faca, coletando-se os restos vegetais, utilizando-se um quadrado de 0,50 m de lado e área de 0,25 m², em dois pontos por parcela; essas amostras foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas ao laboratório para secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 °C até ponto de equilíbrio constante, a quantificação foi em kg ha⁻¹.

3.3.2 Teor de silício

O teor de silício foi determinado utilizando a palhada seca das plantas de cobertura, seguindo a metodologia de Silva (2009).

3.3.3 Determinação de C orgânico

Foi determinado com base na estimativa de acúmulo de C, para isso, foi obtida por meio de cálculo pelas respectivas equações descritas por Primavesi, Arzabe e Pedreira (2007): PMO (t ha⁻¹) = PMS x %MO; C (t ha⁻¹) = PMO / 1,724, onde: PMO = produção de massa orgânica; PMS = produção de massa seca; %MO = teor de matéria orgânica e C = carbono. Com o valor de carbono (C) e nitrogênio (N) das plantas de cobertura, foi calculada a relação C/N.

3.3.4 Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas plantas de cobertura

Foram determinados, em laboratório, os teores de N, P, K, Ca, Mg e S (g kg⁻¹) das plantas de cobertura, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Pelo produto do teor de nutrientes e os valores extrapolados da massa seca (kg ha⁻¹), foram obtidos o N, P, K, Ca, Mg e S total acumulados pelas plantas de cobertura.

3.3.5 Decomposição da massa seca das plantas de cobertura e liberação dos nutrientes

Após a retirada das amostras da estufa, acondicionou-se a massa seca de cada parcela em sacolas de decomposição confeccionadas com tecido tule (*litter bags* de 0,06 m², com 0,3 × 0,2 m) em quantidade proporcional ao hectare (PARIZ *et al.*, 2011). Os *litter bags* foram depositados em contato direto com o solo e as plantas de cobertura utilizadas para enchimento dos sacos foram as mesmas manejadas pelo rolo-faca, simulando assim o tamanho natural dos fragmentos obtidos no manejo. Aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura do arroz e soja, foi retirado um *litter bag* de cada parcela, visando avaliar o remanescente de palhada durante o período de 120 dias. Para isso, foi coletada a massa fresca de dentro de cada *litter bag*, que foi limpa em peneira e determinada a massa seca (estufa a 65 °C até massa constante). Posteriormente, determinou-se os teores de N, P, K, Ca, Mg e S na palhada das plantas de cobertura, conforme proposto por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os teores de macronutrientes foram multiplicados pela massa seca residual, extrapolando-se os resultados para kg ha⁻¹, resultando na quantidade de nutrientes deixados sobre a superfície do solo.

3.4 SUBPROJETO 1 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA ARROZ DE TERRAS ALTAS COM O USO DE PLANTAS DE COBERTURA.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de sucessão de culturas, onde o arroz foi semeado sobre seis plantas de cobertura [milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), milheto + crotalária, milheto + guandu e pousio] semeadas na primavera.

As parcelas de arroz foram constituídas por dez linhas de 12 m de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,35 m. A área útil foi constituída pelas oito linhas centrais, desprezando-se 0,50 m em ambas as extremidades de cada linha.

No primeiro ano o arroz foi semeado no dia 14/11/2014 e no segundo ano foi no dia 12/11/2015, com 70 kg ha⁻¹ de sementes, de acordo com recomendação da Embrapa. Segundo Arf *et al.* (2000) novembro é o mês mais indicado para a semeadura do arroz de terras altas irrigado por aspersão. Foi realizado tratamento de sementes com inseticida fipronil, na dose de 50 g do i.a. para cada 100 kg de sementes.

Foi utilizado o cultivar de arroz BRS Esmeralda que se destaca pela alta produtividade e qualidade de grãos, apresenta potencial produtivo de 7.525 kg ha⁻¹. É moderadamente

resistente às principais doenças e possui maior tolerância ao estresse hídrico e bom *Stay Green*. Os colmos são fortes e flexíveis, o que diminui o risco de acamamento. (EMBRAPA, 2013).

A adubação no sulco de semeadura foi calculada de acordo com as características químicas do solo e as recomendações de Cantarella e Furlani (1997), sendo aplicados 10 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 20 kg ha⁻¹ de K₂O.

Com o intuito de manter a cultura livre da competição com plantas daninhas, aplicou-se o herbicida pré-emergente pendimethalina na dose de 1.120 g ha⁻¹ do i.a. logo após a semeadura do arroz. Em pós-emergência, utilizou-se o herbicida metsulfuron-metil na dose de 1,8 g ha⁻¹ do i.a.

A adubação de cobertura foi realizada aos no estágio fenológico V₆ (COUNCE; KEISLING; MITCHELL, 2000) aos 25 DAE (dias após a emergência), com dose de 60 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. Após a aplicação do nitrogênio, a área foi irrigada, visando diminuir perdas por volatilização.

O fornecimento de água, quando necessário foi realizado por um sistema fixo de irrigação por aspersão, com lâmina aproximada de 15 mm.

O florescimento pleno da cultura, no primeiro ano, ocorreu no dia 09/02/2015 aos 80 DAE e no segundo ano ocorreu no dia 08/02/2016 aos 83 DAE. A colheita do arroz ocorreu aos 109 DAE (10/03/2015) e aos 107 DAE (03/03/2016), quando as panículas estavam com 2/3 de grãos vítreos e 1/3 de grãos farináceos (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2006).

3.5 AVALIAÇÕES REALIZADAS NO ARROZ

3.5.1 Teor de amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻) no solo e na folha de arroz, aos 20 DAE e no florescimento pleno

Foi coletada uma amostra por parcela, na camada de 0-10 e 10-20 cm. O solo coletado foi armazenado em congelador, para posterior determinação dos teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻. Os teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ do solo foram determinados em amostras úmidas imediatamente após o descongelamento. Após extração com solução de KCl 1 mol L⁻¹, os teores de N nítrico e N amoniacal do solo foram determinados por destilação e titulação segundo metodologia desenvolvida por Raij *et al.* (2001). Aos 20 DAE foram coletadas as folhas mais novas totalmente expandidas e no florescimento pleno as folhas bandeira. Para a determinação dos teores de amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻) nas folhas foi utilizada a metodologia relatada por Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1995).

3.5.2 Índice de clorofila foliar aos 20 DAE e no florescimento pleno

A estimativa do índice de clorofila foliar foi realizada em condições de campo com a utilização de clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG®, modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola®), que por meio de sensores, analisa três faixas de frequência de luz e pelas relações de absorção de diferentes frequências, fornece medições dos teores das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*), expressas em unidades dimensionais chamadas ICF (Índice de Clorofila Foliar) (FALKER, 2008). A leitura aos 20 DAE (V₅) foi realizada na folha mais nova totalmente expandida e no estágio de florescimento pleno (R₄), realizada na folha bandeira. Foram consideradas aleatoriamente 5 plantas representativas na área útil da parcela.

3.5.3 Teor foliar total de N, P, K, Ca, Mg e S

Foram coletadas 20 folhas mais novas totalmente expandida e 20 “folhas bandeira” por parcela, para o arroz aos 20 DAE e no florescimento, respectivamente e, após secagem, foram moídas em moinho tipo Wiley, e analisadas conforme método descrito Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

3.5.4 Massa seca de plantas

No florescimento foram coletadas a parte aérea das plantas em dois pontos de 0,30 m de linha de duas linhas centrais. A massa seca foi obtida após secagem das plantas em estufa a 65 °C com circulação de ar até massa constante e posteriormente convertida em kg ha⁻¹.

3.5.5 Altura de plantas

Durante o estágio de grãos na forma pastosa foi determinada em 10 plantas ao acaso, na área útil de cada parcela a distância média compreendida desde a superfície do solo até a extremidade superior da panícula mais alta.

3.5.6 Número de panículas por metro quadrado

Foi determinado por meio de contagem do número de panículas em 1,0 m de fileira de

plantas na área útil das parcelas e posteriormente calculado por metro quadrado.

3.5.7 Número total de espiguetas por panícula

Foi obtido por meio da contagem do número de espiguetas de 20 panículas coletadas no momento da colheita, em cada parcela.

3.5.8 Número de espiguetas granadas e chochas por panícula

Foi determinado por meio de contagem do número de espiguetas granadas e chochas de 20 panículas após separação dos mesmos por fluxo de ar.

3.5.9 Massa de 100 grãos

Foi avaliada por meio da coleta ao acaso e pesagem de duas amostras de 100 grãos de cada parcela (13 % base úmida).

3.5.10 Produtividade de grãos

Foi determinada pela pesagem dos grãos em casca, provenientes da área útil das parcelas, corrigindo-se a umidade para 13 % (base úmida) e posteriormente convertendo os valores para kg ha^{-1} .

3.5.11 Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S

Foi determinado os teores de N, P, K, Ca, Mg e S (g kg^{-1}) dos grãos oriundos do cultivo com plantas de cobertura, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Pelo produto do teor de nutrientes e os valores da produtividade de grãos (kg ha^{-1}), obteve-se o N, P, K, Ca, Mg e S total exportado (kg ha^{-1}).

3.5.12 Atributos químicos do solo

No momento do florescimento pleno do arroz, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 e 10-20 cm, para realização de análise química de acordo com a metodologia proposta por (RAIJ; QUAGGIO, 1983).

3.5.13 Densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade

No momento do florescimento pleno, foram coletadas duas amostras indeformadas de solo em cada parcela, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, com o auxílio de anéis de aço com volume conhecido. Com isso, determinou-se a densidade do solo pelo método do anel volumétrico; porosidade total pela percentagem de saturação de água do solo; e a microporosidade e macroporosidade do solo pela “mesa de tensão” (EMBRAPA, 1997).

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente foi realizado o diagnóstico para a análise de variância, analisando a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018). Todos os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância. Visando analisar a decomposição de massa seca das plantas de cobertura, bem como o residual de nutrientes, após a análise de variância foram analisados pelo teste de regressão polinomial em função das épocas de coleta (0, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura do arroz - *litter bags*), seguindo a metodologia de Wider e Lang (1982), adotando-se equação com maior coeficiente de determinação (R^2) e significativa ($p < 0,05$). Constatado resultado significativo pelo teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para plantas de cobertura, usando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3.7 SUBPROJETO 2 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA SOJA COM O USO DE PLANTAS DE COBERTURA

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos. Os tratamentos foram constituídos por seis sistemas de sucessão de culturas, onde a soja foi semeada sobre seis plantas de cobertura [milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), milheto + crotalária, milheto + guandu e pousio] semeadas na primavera.

As parcelas de soja foram constituídas por sete linhas de 12 m de comprimento, com espaçamento entrelinhas de 0,45m. A área útil foi constituída pelas cinco linhas centrais, desprezando-se 0,50 m em ambas as extremidades de cada linha.

Foi utilizada a cultivar BMX Potência, considerada semiprecoce (ciclo médio de 105 dias para maturação), de hábito de crescimento indeterminado, com alto potencial produtivo e indicada para a região de Selvíria – MS.

A soja foi semeada no dia 14/11/2014 e 12/11/2015, com 70 kg ha⁻¹ de sementes, em média 22 sementes m⁻¹, o suficiente para obter população final entre 350 e 400 mil plantas ha⁻¹. As sementes foram tratadas com fungicida a base de carboxin + thiram na dose de 50 + 50 g i.a. para cada 100 kg de sementes e inoculadas com inoculante turfoso (bactéria do gênero *Bradyrhizobium*), na dose de 200 g 100 kg⁻¹ de sementes. Foi utilizado o dobro da dose de inoculante, pois a área em estudo nunca foi semeada com soja, portanto, visou-se favorecer a nodulação da soja e a eficiência na fixação do N₂ atmosférico.

A adubação no sulco de semeadura foi calculada de acordo com as características químicas do solo e as recomendações de Mascarenhas e Tanaka (1997), com produtividade esperada de 3,5 a 4,0 t ha⁻¹, utilizando 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O.

Visando manter a cultura livre da competição com plantas daninhas, foi aplicado os herbicidas glifosato + clorimurom (960 g + 7,5 g ha⁻¹ do i.a.). O controle de pragas foi realizado com a aplicação de imidacloprido + beta-ciflutrina (75 + 9,4 g ha⁻¹ do i.a.), triflumurom (24 g ha⁻¹ do i.a.), flubendiamida (34 g ha⁻¹ do i.a.), metomil (70 g ha⁻¹ do i.a.) e tiametoxam + lambda-cialotrina (28,2 + 21,2 g ha⁻¹ do i.a.). De forma preventiva a incidência de doenças, foi aplicado o azoxistrobina + ciproconazol (60 + 24 g ha⁻¹ do i.a.), piraclostrobina + epoxiconazol (79,8 + 30 g ha⁻¹ do i.a.) e trifloxistrobina + tebuconazol (75 + 150 g ha⁻¹ do i.a.).

O fornecimento de água, quando necessário foi realizado por um sistema fixo de irrigação por aspersão, com lâmina de aproximadamente 15 mm.

O florescimento (R₂) ocorreu aos 35 DAE, no dia 26/12/2014 e aos 34 DAE, no dia 21/12/2015. No estágio R₈, foram coletadas 10 plantas na sequência na mesma linha, para realizar a contagem de vagens por planta, mensurar a altura de planta e de inserção da primeira vagem. A colheita foi realizada no dia 27/03/2015, aos 126 DAE e no dia 16/03/2016, aos 120 DAE. No primeiro ano a colheita da soja atrasou devido a ocorrência de chuva.

3.8 AVALIAÇÕES NA SOJA

3.8.1 Teor foliar de N, P, K, Ca, Mg e S

No florescimento pleno (R₂), foram coletadas 20 folhas do terço médio da planta por parcela e foi realizada análise do teor dos nutrientes conforme método descrito Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

3.8.2 População inicial e final de plantas

A população inicial de plantas foi determinada a partir da contagem das plantas contidas em duas linhas de 3 m de comprimento, na área útil de cada parcela, aos 15 DAE. Essa avaliação foi repetida para a determinação da população final de plantas momentos antes da colheita das plantas para avaliação da produtividade de grãos, sendo os valores transformados em população de plantas por hectare.

3.8.3 Características agronômicas

Quando as plantas atingiram o estágio R₈ (FEHR *et al.*, 1971) foram coletadas 10 plantas seguidas em uma das linhas da área útil de cada parcela, as quais foram identificadas e levadas ao laboratório para as seguintes avaliações:

3.8.4 Altura de planta: foi mensurada a distância entre o colo e o ápice da haste principal;

3.8.5 Altura de inserção da primeira vagem: foi mensurada a distância entre o colo da planta e a inserção da primeira vagem;

3.8.6 Número de vagens por planta: foram destacadas e contadas todas as vagens que apresentaram grãos, e posteriormente, o valor obtido foi dividido pelo número de plantas amostradas.

3.8.7 Massa de 1000 grãos

Aleatoriamente, foi coletada uma subamostra de 250 grãos por parcela, a qual foi submetida à pesagem em balança de precisão (0,001 g) e à determinação de umidade, possibilitando estimar a massa dos grãos corrigida para 13 % de umidade (base úmida – b.u.). Os resultados foram convertidos para massa de mil e expressos em gramas.

3.8.8 Produtividade de grãos

Foram coletadas, em dois pontos por parcela, as plantas de duas linhas com 3 m de comprimento na área útil de cada parcela, onde estas foram trilhadas mecanicamente e feita a pesagem de grãos. Após a pesagem, foi determinado o grau de umidade dos grãos e calculado a produtividade de grãos em kg ha^{-1} , corrigindo-se a umidade para 13% (base úmida – b.u.).

3.8.9 Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S

Foi determinado os teores de N, P, K, Ca, Mg e S (g kg^{-1}) dos grãos oriundos do cultivo com plantas de cobertura, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Pelo produto do teor de nutrientes e os valores da produtividade de grãos (kg ha^{-1}), obteve-se o N, P, K, Ca, Mg e S total exportado (kg ha^{-1}).

3.8.10 Atributos químicos do solo

No momento do florescimento pleno da soja, foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, para realização de análise química (RAIJ; QUAGGIO, 1983).

3.8.11 Densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade

No momento do florescimento pleno, foram coletadas duas amostras indeformadas de solo em cada parcela, nas profundidades de 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, com o auxílio de anéis de aço com volume conhecido. Com isso, determinou-se a densidade do solo pelo método do anel volumétrico; porosidade total pela percentagem de saturação de água do solo; e a microporosidade e macroporosidade do solo pela “mesa de tensão” (EMBRAPA, 1997).

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente foi realizado o diagnóstico para a análise de variância, analisando a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade (R DEVELOPMENTS CORE TEAM, 2018). Todos os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância. Visando analisar a decomposição de massa seca das plantas de cobertura, bem como o residual de nutrientes, após a análise de variância foram analisados pelo teste de regressão polinomial em função das épocas de coleta (0, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura da soja - *litter bags*), seguindo a metodologia de Wider e Lang (1982), adotando-se equação com maior coeficiente de determinação (R^2) e significativa ($p < 0,05$). Constatado resultado significativo pelo teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para plantas de cobertura, usando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3.10 SUBPROJETO 3 – MILHO SEGUNDA SAFRA CONSORCIADO COM *UROCHLOA RUZIZIENSIS*, SEMEADO SOBRE PALHADA DE ARROZ E SOJA, EM FUNÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com esquema em faixas e com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação do histórico de seis plantas de cobertura [milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan*), milheto + crotalária, milheto + guandu e pousio] semeadas na primavera e duas culturas em sucessão (arroz e soja) semeadas no verão.

Logo após a colheita do arroz e da soja, foi realizado o manejo químico da cobertura vegetal da área (01/04/2015 e 31/03/2016) com o herbicida paraquat (400 g ha^{-1} do i.a.). Após cinco dias (06/04/2015 e 05/04/2016) utilizou-se o desintegrador mecânico triton, para uniformizar a distribuição dos resíduos do arroz e soja sobre o solo e coleta dos resíduos para aferir a quantidade de massa seca e para adicionar nos *litter bags*. Posteriormente, no dia 08/04/2015 e no dia 07/04/2016 foi semeado o milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*, de forma simultânea, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m. As sementes de milho foram tratadas industrialmente com tiametoxan (42 g ha^{-1} do i.a.)

Como a área experimental apresentava nível médio a alto de fertilidade do solo, e adequadas condições para que a cultura se desenvolva e atinja elevado teto de produtivo, foi utilizado híbrido simples (Dow 2B 710 PW), cujas características estão presentes na Tabela 3. Utilizou-se população de plantas recomendada para o híbrido (55 – 60 mil plantas ha^{-1}).

A quantidade de sementes da *Urochloa* foi calculada de acordo com o valor cultural (pureza x germinação ou viabilidade) /100, de maneira para obter entre 5 e 10 plantas m⁻². De acordo com Ceccon *et al.* (2011), estudando populações de plantas de *Urochloa ruziziensis* (0; 5; 10; 20 e 40 plantas m⁻²), verificaram que as populações mais recomendadas seriam de 5 e 10 plantas m⁻², pois proporcionam melhor desenvolvimento das plantas de milho, adequada produção de massa e de produtividade de grãos. Dessa forma, foram utilizadas sementes com 60% de viabilidade e 60% de pureza, com valor cultural (VC) de 36%, sendo usado aproximadamente 250 pontos de VC por hectare (7 kg ha⁻¹) semeada na linha do milho de forma simultânea.

A adubação de semeadura foi realizada com 22 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O e, teve como referência a necessidade do milho verão, para a produtividade esperada entre 6 e 8 t ha⁻¹, e foi de acordo com a análise química do solo e recomendações de Raij e Cantarella (1996). A recomendação para a adubação em cobertura era de 60 kg ha⁻¹ de N, no entanto, foi aplicado efetivamente 70 % (42 kg), com o intuito de fornecer condições para sobressair algum tratamento. Não foi utilizada recomendações para milho “segunda safra”, pois nessa modalidade de cultivo, não é empregada a tecnologia, como a irrigação e até mesmo adubação de semeadura e em cobertura, diferentemente das condições do presente estudo.

Tabela 3 - Características agronômicas e níveis de reações às doenças do híbrido de milho Dow 2B710 PW. Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).

Atributo	Característica
Tipo	Simples
Ciclo	Precoce
Graus dias	850
Uso	Grãos
Cor do grão	Amarelo/alaranjado
População	55-65/50-65 mil
Textura dos grãos	Semi-duro
Resistência ao acamamento	Altamente
Altura de plantas	2,02 m
Altura de espiga	1,1 m
Nível de tecnologia	Média/Alta e Alta
Comportamento em relação as doenças	
Fusariose	Sem informação
<i>Puccinia sorghi</i>	Medianamente resistente
<i>Physopella zeae</i>	Medianamente resistente
<i>Puccinia polysora</i>	Medianamente resistente
<i>Phaeosphaeria maydis</i>	Medianamente resistente

enfezamento	Medianamente resistente
<i>Helminthosporium turcicum</i>	Medianamente susceptível
<i>Helminthosporium maydis</i>	Medianamente susceptível
Cercosporiose	Medianamente resistente
Doenças colmo	Medianamente resistente
Sanidade grãos	Medianamente susceptível

Fonte: Cruz, Pereira Filho e Queiroz (2015).

A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada por ocasião da formação completa da 6ª ou 7ª folha (01/05/2015 e 04/05/2016). A fonte utilizada foi o sulfato de amônio, para também fornecer enxofre à cultura. O fertilizante foi distribuído em filetes do lado de cima das linhas de plantas e logo após a aplicação a área foi irrigada com lâmina de água de aproximadamente 15 mm.

No intuito de manter a cultura livre da competição com plantas invasoras, foi aplicado em pós-emergência o herbicida atrazina, na dose de 1.000 g ha⁻¹ do i.a. adicionou-se na calda de aplicação o adjuvante éster metilado de óleo de soja (500 g ha⁻¹ do i.a.). Sendo a aplicação realizada mediante o uso de pulverizador de barras tratorizado munido com bicos contendo pontas do tipo jato plano (“leque”) e regulado para aplicar 200 L ha⁻¹ de calda.

No dia 28/04/2016 foi realizada a aplicação do inseticida imidacloprido + beta-ciflutrina (75 e 9,4 g ha⁻¹ do i.a.), visando o controle de percevejo-barriga-verde e prevenção da incidência de cigarrinha. No dia 05/05/2016 foi realizada a aplicação de tiametoxan (30 g ha⁻¹ do i.a.) visando o controle de cigarrinha. No dia 17/05/2016 foi realizada a aplicação preventiva do fungicida trifloxistrobina + tebuconazol (70 e 140 g ha⁻¹ do i.a.).

O florescimento feminino do milho (R₁) ocorreu aos 56 DAE, no dia 09/06/2015 e aos 63 DAE, no dia 15/06/2016. A colheita do milho ocorreu no dia 19/08/2015 (127 DAE) e no dia 18/08/2016 (126 DAE).

Vale ressaltar que, para evitar influencias causadas pelo tráfego do trator, realizou-se controle de modo a não trafegar na área útil do experimento.

3.11 AVALIAÇÕES NA PALHADA DE ARROZ E SOJA

3.11.1 Acúmulo de massa seca

Determinada após a passagem do desintegrador mecânico, coletando-se os restos vegetais, utilizando-se um quadrado de 0,50 m de lado e área de 0,25 m², em dois pontos por

parcela; essas amostras foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas para o laboratório para secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65 °C até ponto de equilíbrio constante, fazendo-se a quantificação em kg ha⁻¹.

3.11.2 Teor de silício

O teor de silício foi determinado utilizando a palhada seca das plantas de arroz e de soja, seguindo a metodologia de Silva (2009).

3.11.3 Determinação de C orgânico

Foi realizada com base na estimativa de acúmulo de C, para isso, foi obtida por meio de cálculo pelas respectivas equações descritas por Primavesi et al. (2007): $PMO \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = PMS \times \%MO$; $C \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = PMO / 1,724$, onde: PMO = produção de massa orgânica; PMS = produção de massa seca; %MO = teor de matéria orgânica e C = carbono. Com o valor de carbono (C) e nitrogênio (N) das plantas de cobertura, será calculada a relação C/N.

3.11.4 Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S

Foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S (g kg⁻¹) dos resíduos de arroz e soja, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Pelo produto do teor de nutrientes e os valores extrapolados da MSR (kg ha⁻¹), foi obtido o N, P, K, Ca, Mg e S total acumulados pelas plantas de arroz e soja.

3.11.5 Decomposição da massa seca das palhadas e liberação de nutrientes

Após a retirada das amostras da estufa, acondicionou-se a massa seca de cada parcela em sacolas de decomposição confeccionadas com tecido tule (*litter bags* de 0,06 m², com 0,3 × 0,2 m) em quantidade proporcional ao hectare (PARIZ *et al.*, 2011). Os *litter bags* foram depositados em contato direto com o solo e os resíduos de arroz e soja utilizadas para enchimento dos sacos, foram os mesmos manejados pelo triton, simulando assim o tamanho natural dos fragmentos obtidos no manejo. Aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura do milho consorciado com *U. ruziziensis*, foi retirado um *litter bag* de cada parcela, a fim de avaliar o remanescente de palhada durante o período de 120 dias. Para isso, foi coletada a massa fresca

de dentro de cada litter bag, que foi limpa em peneira e determinada a massa seca (estufa a 65 °C até massa constante). Posteriormente, determinou-se as concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S na palhada das plantas de cobertura, conforme proposto por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os teores de macronutrientes foram multiplicados pela massa seca residual (MSR), extrapolando-se os resultados para kg ha^{-1} , resultando na quantidade de nutrientes deixados sobre a superfície do solo.

3.12 AVALIAÇÕES NO MILHO SEGUNDA SAFRA

3.12.1 População inicial e final de plantas

A população inicial de plantas foi determinada coincidindo com o momento da aplicação do nitrogênio em cobertura, entre os estádios fenológicos V₆ e V₇ (01/05/2015 e 04/05/2016), por meio da contagem das duas linhas centrais de cada parcela de doze metros e os valores foram extrapolados para hectare. Nesse momento, foi realizado desbaste para uniformizar a população inicial, sendo mantido 61.963 plantas ha^{-1} , para o primeiro ano e 59.703 plantas ha^{-1} para o segundo ano. A população final de plantas foi realizada no momento da colheita das espigas, também mediante a contagem das plantas presentes nas duas linhas centrais de cada parcela e os valores obtidos também foram extrapolados em plantas ha^{-1} .

3.12.2 Massa seca de plantas de milho

A produção de massa seca de parte aérea foi mensurada no estágio R₆ (maturidade fisiológica – segundo Ritchie, Hanway e Benson, 2003), coletando-se, de maneira contínua na linha de semeadura, cinco plantas representativas na área útil de cada parcela. As plantas foram cortadas rentes à superfície do solo, sendo posteriormente fragmentadas em desintegrador forrageiro (modelo DPM-1/Nogueira®) e submetidas à secagem em estufa com renovação e circulação forçada de ar à temperatura de 60 ± 5 °C, até atingir massa constante. Os resultados obtidos foram expressos em g planta⁻¹ e em kg ha^{-1} de massa seca de parte aérea, pela extrapolação dos resultados baseando-se na população final de plantas.

3.12.3 Massa seca de *Urochloa ruziziensis* e massa seca total

Após a colheita mecânica do milho, a área foi dessecada e utilizado o triton para uniformizar a distribuição dos resíduos de plantas de milho e *U. ruziziensis* para facilitar a coleta da massa. Foi utilizado o quadrado de dimensões 0,5 m x 0,5 m, totalizando 0,25 m², amostrado em dois pontos por parcela. As amostras foram submetidas à secagem em estufa com renovação e circulação forçada de ar à temperatura de 60±5 °C, até atingir massa constante. Com essa amostragem determinou-se a massa seca total da área e, retirando a massa seca de plantas de milho, o que sobrou foi considerado a massa seca da *U. ruziziensis*. Os resultados foram expressos em kg ha⁻¹.

3.12.4 Índice de clorofila foliar

A estimativa do índice médio de clorofila foliar foi realizada em condições de campo com a utilização de clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG®, modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola®), que por meio de sensores, analisa três faixas de frequência de luz e pelas relações de absorção de diferentes frequências, fornece medições dos teores das clorofilas *a*, *b* e total (*a+b*), expressas em unidades dimensionais chamadas ICF (Índice de Clorofila Foliar) (FALKER, 2008). A leitura no estágio de florescimento pleno, realizada na folha oposta e abaixo da espiga principal. Foram consideradas aleatoriamente 5 plantas representativas na área útil da parcela.

3.12.5 Teor foliar de N, P, K, Ca, Mg e S

Simultaneamente ao registro da leitura do índice de clorofila foliar, com a maioria das plantas ainda no estágio R₂, no florescimento pleno (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003), foram coletados os terços centrais dos limbos das mesmas cinco folhas utilizadas para a leitura do clorofilômetro, situadas opostamente e abaixo da espiga principal (MALAVOLTA, 1992; OLIVEIRA, 2004) de plantas presentes na área útil de cada parcela, para avaliação do estado nutricional da cultura. Em seguida, foram submetidos à secagem em estufa com renovação e circulação forçada de ar à temperatura de 60±5 °C, até atingir constância em massa. Após a secagem, os limbos foliares foram moídos em moinho de facas do tipo Wiley, com peneira de

1,0 mm. As determinações de tais nutrientes foram realizadas conforme metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), com os resultados expressos em g kg^{-1} .

3.12.6 Altura de planta

A determinação da altura média de planta foi realizada quando 50% das plantas apresentaram espigas com grãos pastosos (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 2003). Obtida pela medição do comprimento do colmo (distância entre a superfície do solo e a base da folha - bandeira) com auxílio de régua graduada e os resultados expressos em centímetros.

3.12.7 Número de fileira de grãos por espiga

Foi realizada pela contagem do número de fileiras de grãos contidas em 10 espigas de cada parcela.

3.12.8 Número de grãos por fileira

Foi realizado pela contagem do número de grãos de uma fileira de grãos em cada espiga e em 10 espigas por parcela.

3.12.9 Prolificidade

Expressa o número médio de espigas por planta, que foi realizado pela contagem das espigas da área útil de cada parcela e dividido pelo número de plantas por parcela.

3.12.10 Massa de mil grãos

Aleatoriamente, foi coletada uma subamostra de 250 grãos por parcela, a qual foi submetida à pesagem em balança de precisão e à determinação de umidade, possibilitando estimar a massa dos grãos corrigida para 13% de umidade (base úmida – b.u.). Os resultados foram convertidos para massa de mil e expressos em gramas.

3.12.11 Produtividade de grãos

A produtividade foi obtida a partir da debulha e pesagem dos grãos oriundos das espigas colhidas nas duas linhas centrais de cada parcela. Os valores obtidos foram extrapolados para kg ha^{-1} e corrigidos para 13% de umidade (b.u.).

3.12.12 Extração e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S

Após a coleta de plantas com as espigas na maturidade fisiológica (R_6), foi separada a planta dos grãos e foi determinado os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas duas partes, conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Pelo produto do teor de nutrientes e os valores da massa seca e da produtividade de grãos (kg ha^{-1}), obteve-se o N, P, K, Ca, Mg e S total extraído e exportado (kg ha^{-1} e kg t^{-1} de grãos).

3.12.13 Atributos químicos do solo

Após a colheita do milho, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 e 10-20 cm, para realização de análise química de acordo com a metodologia proposta por (RAIJ; QUAGGIO, 1983).

3.12.14 Densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade

Após a colheita do milho, foram coletadas duas amostras indeformadas de solo em cada parcela, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, com o auxílio de anéis de aço com volume conhecido. Com isso, determinou-se a densidade do solo pelo método do anel volumétrico; porosidade total pela percentagem de saturação de água do solo; e a microporosidade e macroporosidade do solo pela “mesa de tensão” (EMBRAPA, 1997).

3.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente foi realizado o diagnóstico para a análise de variância, analisando a normalidade dos resíduos e a homocedasticidade (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018). Todos os resultados foram submetidos ao teste F da análise de variância. Visando analisar a decomposição de massa seca das plantas de cobertura, bem como o residual de nutrientes, após

a análise de variância foram analisados pelo teste de regressão polinomial em função das épocas de coleta (0, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura da soja - *litter bags*), seguindo a metodologia de Wider e Lang (1982), adotando-se equação com maior coeficiente de determinação (R^2) e significativa ($p < 0,05$). Constatado resultado significativo pelo teste F ($p < 0,01$ e $p < 0,05$), foi realizada a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para plantas de cobertura, usando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS CLIMÁTICOS

Durante a condução do experimento foram coletados os dados de precipitação, temperatura mínima e máxima do ar para o ano agrícola 2014/15 (Figura 2A) e 2015/16 (Figura 2B).

Para o ano 2014/15 (Figura 2A), no período compreendido entre a semeadura das plantas de cobertura (05/09/2014) e o momento da dessecação (03/11/2014) totalizando 59 dias, houve acumulado de 160 mm de chuva, sendo que em apenas 14 dias houve chuva. Nesse período, as temperaturas máximas atingiram entre 24 °C e 38 °C, e as mínimas atingiram entre 16 °C e 22 °C. No segundo ano (Figura 2B), o período entre a semeadura das plantas de cobertura (03/09/2015) e a dessecação (03/11/2015) em um total de 54 dias, a precipitação acumulada foi de 194 mm, concentrada em 19 dias. As temperaturas máximas atingiram entre 20 °C e 39 °C, e as mínimas atingiram entre 12 °C e 22 °C. De acordo com Wutke, Calegari e Wildner (2014) temperaturas noturnas médias entre 15 °C e 28 °C e precipitação mínima de 30 mm para germinação são consideradas condições ideais para o cultivo do milho. Segundo os mesmos autores, a condição de precipitação ideal para a crotalaria e guandu situa-se entre 200 mm e 400 mm. Para as leguminosas, Mascarenhas e Wutke (2014) relataram que as faixas de temperaturas médias adequadas são entre 20 °C a 35 °C e de 10 °C a 25 °C.

No primeiro ano, o período entre a semeadura do arroz e sua colheita (14/11/2014 e 10/03/2015) houve precipitação acumulada de 526 mm e temperaturas máximas entre 27 °C e 39,5 °C, e temperaturas mínimas entre 18 °C e 24 °C (Figura 2A). No segundo ano, entre a semeadura do arroz e a colheita (12/11/2015 e 03/03/2016) houve o acumulado de 770 mm de precipitação, temperaturas máximas entre 25 °C e 40 °C e temperaturas mínimas entre 18 °C e 25 °C. Segundo Stone e Moreira (2005) a cultura do arroz de terras altas necessita de 600 a 700 mm de água. Vale ressaltar que nos momentos que não ocorreu chuva, foi realizada suplementação com irrigação. De acordo com Yoshida (1981) a temperatura adequada ao cultivo do arroz é de 20 °C a 30 °C. O que se destaca no período de desenvolvimento do arroz em 2014/15 foram as elevadas temperaturas (média 37,1 °C) entre 30 e 17 dias antes do florescimento, podendo implicar em redução do potencial produtivo da cultura. Segundo Yoshida (1981) e Fornasieri Filho e Fornasieri (2006) aos 30 dias antes do florescimento a

planta está iniciando os primórdios da panícula. Nessa fase a temperatura ideal é de 25 a 30 °C (FAGERIA, 1989).

No período entre a semeadura e colheita da soja, em 2014/15 (14/11/2014 e 27/03/2015) e em 2015/16 (12/11/2015 e 16/03/2016) observou-se acumulado de precipitação de 633 mm e 865 mm de chuva, respectivamente. As temperaturas máximas e mínimas foram semelhantes as ocorridas no período de desenvolvimento do arroz. De acordo com Farias, Nepomuceno e Neumaier (2007) a temperatura ideal ao cultivo da soja situa-se entre 20 °C e 30 °C e, a faixa de precipitação ideal é de 450 a 800 mm.

Para o ano 2014/15 a cultura do milho segunda safra consorciado com *Urochloa ruziziensis* (semeadura: 08/04/2015; colheita: 19/08/2015), houve precipitação acumulada de 225 mm, temperaturas máximas variando de 20,6 °C a 38,7 °C e temperaturas mínimas entre 11,0 °C e 22,8 °C. Com relação ao ano 2015/16 (semeadura: 07/04/2016; colheita: 18/08/2016), a precipitação acumulada foi de 309 mm, temperaturas máximas variando de 19,7 °C a 38 °C e temperaturas mínimas entre 5,9 °C e 25,3 °C. Segundo Fancelli (2015) e Fageria (1989) a cultura do milho necessita entre 400 e 600 mm durante seu ciclo. Percebe-se que em ambos os anos a precipitação acumulada foi inferior ao necessário, sendo que isso pode ser atribuído a característica da região. Portugal, Peres e Rodrigues (2015) verificaram que na média de cinco anos (2009, 2010, 2011, 2012 e 2013) o acumulado de precipitação para a região de Selvíria entre abril e agosto foi de 200 mm. No ano 2014/15 ocorreram temperaturas elevadas nos primeiros doze dias após a semeadura do milho, coincidindo com ausência de chuvas. Magalhães e Durães (2006) descrevem que na fase inicial de desenvolvimento (V₃) o ponto de crescimento encontra-se abaixo do solo e é bastante afetado pela temperatura. Além disso, os autores relatam que a disponibilidade de água nesse momento é essencial.

Vale ressaltar que durante o cultivo das plantas de cobertura, arroz e soja, e milho segunda safra, foi realizada suplementação de água via irrigação, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das culturas supracitadas.

4.2 SUBPROJETO 1 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA O ARROZ DE TERRAS ALTAS COM O USO DE PLANTAS DE COBERTURA.

4.2.1 Massa seca de plantas de cobertura, teor de silício e relação C/N

No ano 2014/15 o tratamento com crotalária e o consórcio M+C apresentaram 69 e 73 % mais massa seca, quando comparados ao pousio (Tabela 4). Para o ano seguinte, a massa seca acumulada do tratamento M+C superou em 36 % o tratamento com guandu e 133 % do pousio. Essa é uma informação de grande relevância, pois em um período médio de apenas 60 dias, na pré-safra de verão, a utilização de M+C propiciou acúmulo médio de 8.000 kg ha⁻¹ de massa seca, o que possibilita a adequada manutenção do sistema plantio direto. Kappes, Arf e Andrade (2013b) e Melero *et al.* (2013) também verificaram maior massa seca para a crotalária e M+C, nas mesmas condições do presente estudo. Portugal *et al.* (2017), estudando as mesmas espécies, destacaram a superioridade do M+C em relação ao guandu e pousio.

Para o teor de silício (Si) contido nas plantas de cobertura, em 2014/15 o pousio sobressaiu o M+C e milheto, e o pousio não se diferenciou apenas do guandu em 2015/16 (Tabela 4). A associação de Si com a parede celular pode promover estabilidade estrutural da parede celular, influenciar a resistência mecânica (HE *et al.*, 2013) e conferir maior durabilidade (LUYCKX *et al.*, 2017). Desta forma, pode-se inferir que o pousio, que apresentou maior teor de Si, pode conferir maior durabilidade da palhada sobre o solo. O maior teor de Si contido no tratamento pousio se deve ao efeito concentração, em que a concentração é superior devido a menor massa seca acumulada (JARREL; BEVERLY, 1981).

Tabela 4 - Acúmulo de massa seca das plantas de cobertura (MSPC), teor de silício (Si) e relação carbono/nitrogênio (C/N) antes do cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	MSPC		Si		C/N	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----kg ha ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----		-	
Crotalária	7.763a	6.307ab	8,25ab	6,09bc	26,9b	21,8b
Guandu	5.876ab	5.944b	9,87ab	8,28ab	24,1b	20,1b
Milheto	6.235ab	6.642ab	6,44b	6,95bc	27,7ab	28,3a
M+C ¹	7.967a	8.090a	7,22b	5,25c	27,9ab	22,1b
M+G ²	6.656ab	6.400ab	8,76ab	7,43bc	28,9ab	27,7a
Pousio	4.603b	3.473c	11,72a	9,99a	32,7a	29,7a
DMS	2.664	1.900	4,31	2,26	5,43	5,40
Valor de F ³	4,66**	13,23**	4,68*	13,18**	5,72**	11,90**
CV	17,79	13,46	17,45	10,89	8,43	9,41

Média Geral	6.517	6.142	8,71	7,33	28,0	25,0
-------------	-------	-------	------	------	------	------

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental
Fonte: Dados do próprio autor.

O tratamento pousio apresentou relação C/N superior ao tratamento crotalária e guandu, para o ano 2014/15 (Tabela 4). No ano seguinte, os maiores valores de relação C/N foram para os tratamentos com milheto, M+G e pousio, em relação ao M+C, crotalária e guandu. As leguminosas são conhecidas por fixarem o N do ar atmosférico, em seu tecido vegetal, por isso apresentam relação C/N mais estreita. Plantas da família das leguminosas apresentam metabolismo fotossintético C₃ (TAIZ *et al.*, 2017). Nessas plantas, aproximadamente metade da proteína solúvel da folha é constituída pela enzima RuBPCarboxilase (Rubisco), representando grande investimento em nitrogênio na formação da enzima (MAJEROWICZ, 2004). Fabian (2009) também verificou maior relação C/N para o pousio (30) em relação a crotalária (15) no primeiro ano de estudo. Essa informação está atrelada ao conhecimento da decomposição da palhada, promovendo maior ou menor manutenção de palhada sobre o solo e disponibilizando maior ou menor quantidade de nutrientes ao solo. Espécies vegetais com relação C/N mais estreita indicam maior potencial em disponibilizar nutrientes a cultura em sucessão, no caso, a cultura do arroz de terras altas.

4.2.2 Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas plantas de cobertura

O nutriente mais extraído pelas espécies vegetais foi o potássio (K), seguido do nitrogênio (N) e por fim, o fósforo (P) (Tabela 5), corroborando os resultados de Gitti *et al.* (2012); Kappes, Arf e Andrade (2013a) e Portugal (2015). No ano 2014/15 a quantidade de N acumulado no tratamento pousio foi menor que 50 % do acumulado nos demais tratamentos. Em 2015/16 o M+C apresentou maior valor de N acumulado (176 kg ha⁻¹), o pousio apresentou cerca de 27 % do M+C (48 kg ha⁻¹) e os demais tratamentos situaram-se com valores intermediários (Tabela 5). Esse dado deixa claro a importância de se utilizar uma espécie vegetal, tanto para produção de massa seca, quanto para o fornecimento de N a cultura subsequente. De acordo com Aita, Giacomini e Ceretta (2014) a inclusão de plantas de cobertura em sistemas de produção é fundamental, pois participam ativamente da ciclagem de nutrientes e melhoria da qualidade do solo.

Com relação ao P acumulado nas plantas de cobertura, no ano 2014/15, destaca-se o M+C com 46 % mais que o guandu e 150 % mais que o pousio (Tabela 5). Para o ano 2015/16 o tratamento M+C e M+G foram superiores à crotalária, guandu e pousio. Exceto o guandu em 2014/15, todos os tratamentos apresentaram maior acúmulo de P em relação ao pousio. Pode-se inferir que o uso de plantas de cobertura no sistema de produção é vantajoso em comparação ao pousio, pois demonstra ser eficiente em absorver o P do solo, diminuindo a possibilidade desse P ficar adsorvido nos colóides do solo. Segundo Silva et al. (2014a) espécies que possuem capacidade de explorar o solo podem extrair nutrientes menos solúveis e depositá-los na camada superior do solo, tornando-os acessíveis a cultura em sucessão. De acordo com Leite *et al.* (2016) o uso de plantas de cobertura em sistema plantio direto favorece a manutenção de maior quantidade de P em formas disponíveis. Assim como no presente estudo, Gitti *et al.* (2012) observaram que o M+C foi superior em 86 % no acúmulo de P sobre o guandu.

Tabela 5 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas plantas de cobertura, antes do cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	N		P		K	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Crotalária	125a	130b	18,4ab	14,4b	121ab	83bc
Guandu	100a	126b	13,7bc	14,3b	79bc	115ab
Milheto	100a	114b	15,5ab	19,7ab	133a	155a
M+C ¹	131a	176a	19,9a	22,2a	164a	151a
M+G ²	102a	108b	17,7ab	21,1a	132a	154a
Pousio	48b	48c	8,0c	7,7c	30c	45c
DMS	42	39	5,89	6,49	50	56
Valor de F ³	10,18**	22,71**	11,35**	15,10**	19,08**	13,91**
CV	18,25	14,78	16,52	17,05	19,88	20,78
Média Geral	101	117	16,5	16,6	110	117

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental

Fonte: Dados do próprio autor.

Quanto ao K acumulado nas plantas de cobertura, em 2014/15, verificou-se que o milheto, M+C e M+G foram mais vantajosos em relação ao guandu e pousio, e em 2015/16 foram mais vantajosos em relação a crotalária e pousio (Tabela 5). Plantas de cobertura que acumulam maior quantidade de K propiciam menores perdas do nutriente no perfil do solo, pois, principalmente em solos arenosos e/ou ácidos e/ou com baixa CTC, o K pode ficar predisposto a perdas por lixiviação. Assim, de acordo com Silva et al. (2014a) a presença de raízes das plantas de cobertura, próximas das camadas de solo exploradas pelas raízes das

culturas comerciais, propicia a absorção e retorno do K à camada superficial. Gitti et al. (2012) observaram que o milheto e o M+C foram superiores em 105 % e 134 % no acúmulo de K em relação ao guandu, respectivamente.

No primeiro ano (2014/15) as plantas de crotalária e M+C acumularam 176 % e 129 % mais Ca em relação ao pousio (Tabela 6). Em 2015/16 as plantas de crotalária, guandu e M+C acumularam 151, 108 e 190 % mais Ca que o pousio (Tabela 6). O maior potencial em acumular Ca pelos tratamentos com crotalária e M+C se deve, principalmente, pelo maior acúmulo de massa seca (Tabela 4). Com a decomposição das plantas, o Ca retorna a camada superior do solo. Plantas que acumulam maior quantidade de Ca, podem propiciar a redução das perdas do nutriente para regiões abaixo do sistema radicular efetivo da cultura em sucessão. Esse processo pode desacelerar a acidificação do solo, pela permanência do Ca por mais tempo na camada mais acessada pelas culturas. Segundo Maria et al. (1993) a intensificação da acidificação ocorre, principalmente, pela retirada de Ca e Mg do perfil do solo ocasionada pela percolação de água, que favorece a substituição das bases por hidrogênio e alumínio.

Tabela 6 - Acúmulo de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas plantas de cobertura, antes do cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Crotalária	60,9a	53,0ab	30,0ab	23,6bc	26,0	21,4ab
Guandu	40,5bc	44,0bc	19,8bc	21,2c	28,1	22,8ab
Milheto	33,4bc	35,0cd	34,3a	33,2a	16,1	17,5b
M+C ¹	50,7ab	61,2a	33,6a	34,6a	20,7	25,2a
M+G ²	38,5bc	38,1bc	28,1ab	31,9ab	24,4	23,0ab
Pousio	22,1c	21,1d	14,7c	11,6d	22,5	18,5b
DMS	18,9	15,4	10,9	9,4	15,8	6,5
Valor de F ³	10,72**	17,68**	11,08**	18,97**	1,53	4,21**
CV	20,11	15,95	17,67	15,70	30,04	13,23
Média Geral	41,0	42,1	26,7	26,0	22,9	21,4

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Em 2014/15 o tratamento com milheto e M+C proporcionaram maior acúmulo de Mg, quando comparados com o guandu e pousio (Tabela 6). Já em 2015/16 o milheto e M+C sobressaíram o tratamento com crotalária e guandu, e ambos acumularam mais Mg que o pousio (Tabela 6). Assim como para o Ca, plantas que acumulam mais Mg podem propiciar a redução das perdas (lixiviação) do nutriente no perfil do solo, desacelerando o processo de acidificação.

Vale ressaltar que os nutrientes facilmente lixiviados são os que estão na solução do solo, pois, segundo Troeh, Thompson (2007) o Ca e Mg apresentam baixa mobilidade quando aderidos no complexo de troca.

As perdas de Ca e Mg para fora do sistema ocorrem pela lixiviação, erosão ou pela exportação, e as fontes são a matriz mineral do solo, corretivos, fertilizantes, resíduos agrícolas e agroindustriais, e via ciclagem pelas coberturas vegetais (BENITES *et al.*, 2010). Dessa forma, boas práticas agrícolas são essenciais para a manutenção e melhoria do sistema produtivo, principalmente com a inserção de plantas de cobertura.

O acúmulo de S pelas plantas de cobertura, em 2015/16, destacou a superioridade do M+C ($25,2 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação ao milheto ($17,5 \text{ kg ha}^{-1}$) e pousio ($18,5 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 6). Provavelmente esse resultado ocorreu em função do maior acúmulo de massa seca pelo M+C. Tanto o N quanto o S estão presentes em grande parte da matéria orgânica do solo, por isso, estão sujeitas a oxidação e à redução microbiana, podem entrar e sair do solo por formas gasosas e estão sujeitos a perdas por lixiviação. A ciclagem de S promovida por plantas de cobertura, podem ajudar a repor parte do S removido pelas colheitas (BRADY; WEIL, 2013).

Os nutrientes absorvidos pelas plantas de cobertura são acumulados nas raízes e parte aérea, reduzindo a possibilidade de lixiviação no perfil do solo ou perda por adsorção nos colóides do solo, o que favorece a utilização desses nutrientes pela cultura subsequente (OLIVEIRA *et al.*, 2017). O acúmulo de nutrientes pelas plantas de cobertura indica claramente que a utilização de uma espécie vegetal é melhor que deixar a área com plantas espontâneas, tanto do ponto de vista de cobertura adequada do solo, quanto do potencial de acúmulo de nutrientes. Dentre as espécies estudadas, o consórcio M+C se mostrou mais eficiente.

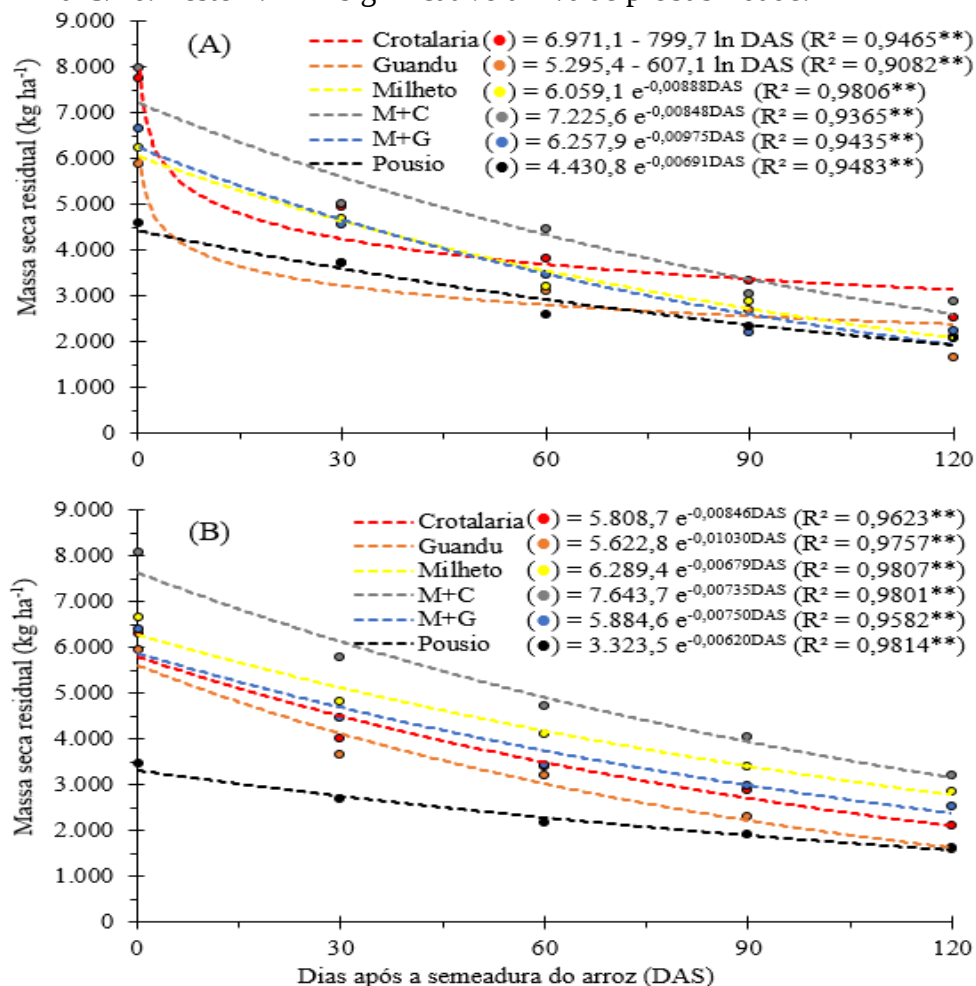
4.2.3 Decomposição da massa seca das plantas de cobertura e liberação dos nutrientes

No ano 2014/15 a palhada de crotalária e de guandu apresentaram decomposição seguindo o modelo matemático logarítmico (Figura 3A), indicando rápida degradação nos primeiros 30 DAS do arroz de terras altas. As outras espécies vegetais apresentaram decomposição exponencial, ou seja, gradualmente com o passar do tempo. Em 2015/16 a decomposição de todos os tratamentos ocorreu de forma exponencial, sendo que a crotalária e guandu apresentaram decomposição mais acentuada em comparação ao pousio (Figura 3B).

Quando se trata de decomposição da palhada é interessante observar a relação C/N de cada espécie. Dessa forma, verificou-se que, em 2014/15, os tratamentos com leguminosas exclusivas apresentaram relação C/N mais estreita (Tabela 4), refletindo em rápida degradação

inicial da palhada (Figura 3A). Em 2015/16 os tratamentos com leguminosas exclusivas juntamente com o tratamento M+C apresentaram relação C/N mais estreita que os demais tratamentos (Tabela 4), no entanto, as diferenças mais evidentes na decomposição da massa seca ocorreram entre as leguminosas exclusivas em relação ao pousio (Figura 3B). De acordo com Nieder e Benbi (2008) decomposição da palhada está diretamente relacionada com a relação C/N, quanto maior o valor, mais lenta será a velocidade de decomposição. Os autores relatam que isto ocorre devido à dependência da microflora do solo em N.

Figura 3 - Massa seca residual de plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.

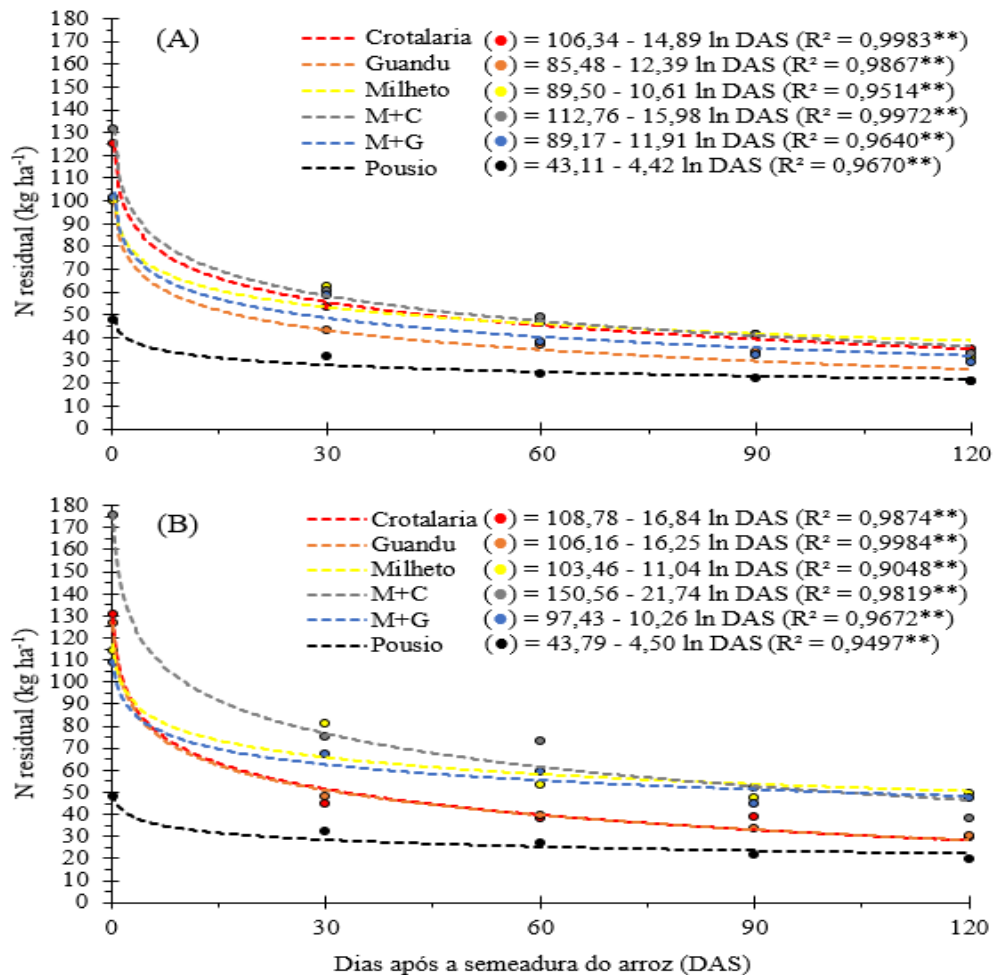


Fonte: Dados do próprio autor.

Observando a liberação de N, P e K da palhada de plantas de cobertura sobre o arroz de terras altas semeado na sucessão, em 2014/15 e 2015/16 (Figuras 4A, 4B, 5A, 5B, 6A e 6B), verificou-se que todas as espécies apresentaram liberação logarítmica, destacando maior liberação até os 30 DAS e após esse período ocorreu liberação gradual.

Para o N e o P ocorreu liberação de aproximadamente 50% do total acumulado, já para o K foi liberado 85% do total acumulado no período citado. Cabe salientar que o N e P estão ligados aos compostos orgânicos das plantas, o mesmo não ocorre com o K, por isso apresenta maior liberação. De acordo com Taiz et al. (2017) o N é um constituinte de muitos componentes celulares, como clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos; o P é um componente de açúcares fosfato, utilizados na respiração e fotossíntese, também de fosfolípidos constituintes das membranas vegetais; o K está presente na planta como cátion K^+ , encontrado em solução no citosol ou nos vacúolos.

Figura 4 - Nitrogênio residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



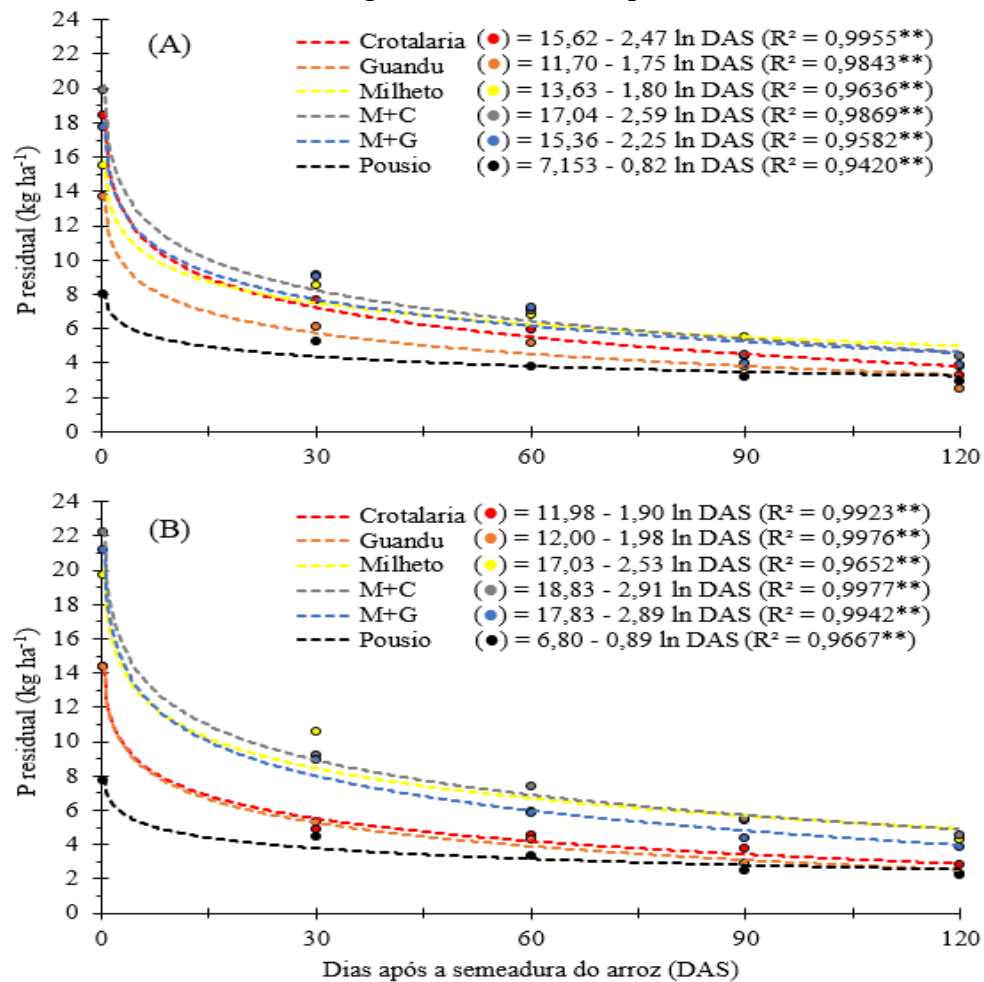
Fonte: Dados do próprio autor.

Soratto *et al.* (2012), estudando produção, decomposição e ciclagem de nutrientes por plantas de crotalária, milheto e M+C em região com 765 m de altitude, relataram que 50% do total de N, P e K acumulados pelo milheto foram liberados até os 20, 19 e 8 dias após o manejo

(DAM), respectivamente. Para a crotalária, se deu aos 31, 40 e 21 DAM e, para o M+C ocorreu aos 30, 33 e 15 DAM. Segundo Calonego *et al.* (2012) nos primeiros 45 dias de avaliação ocorreu maior liberação de nutrientes da palha de labe-labe, braquiária e milho. Os autores relatam que a maior liberação coincidiu com o período de maior precipitação acumulada (62 mm) e fazem associação com maior atividade microbiana.

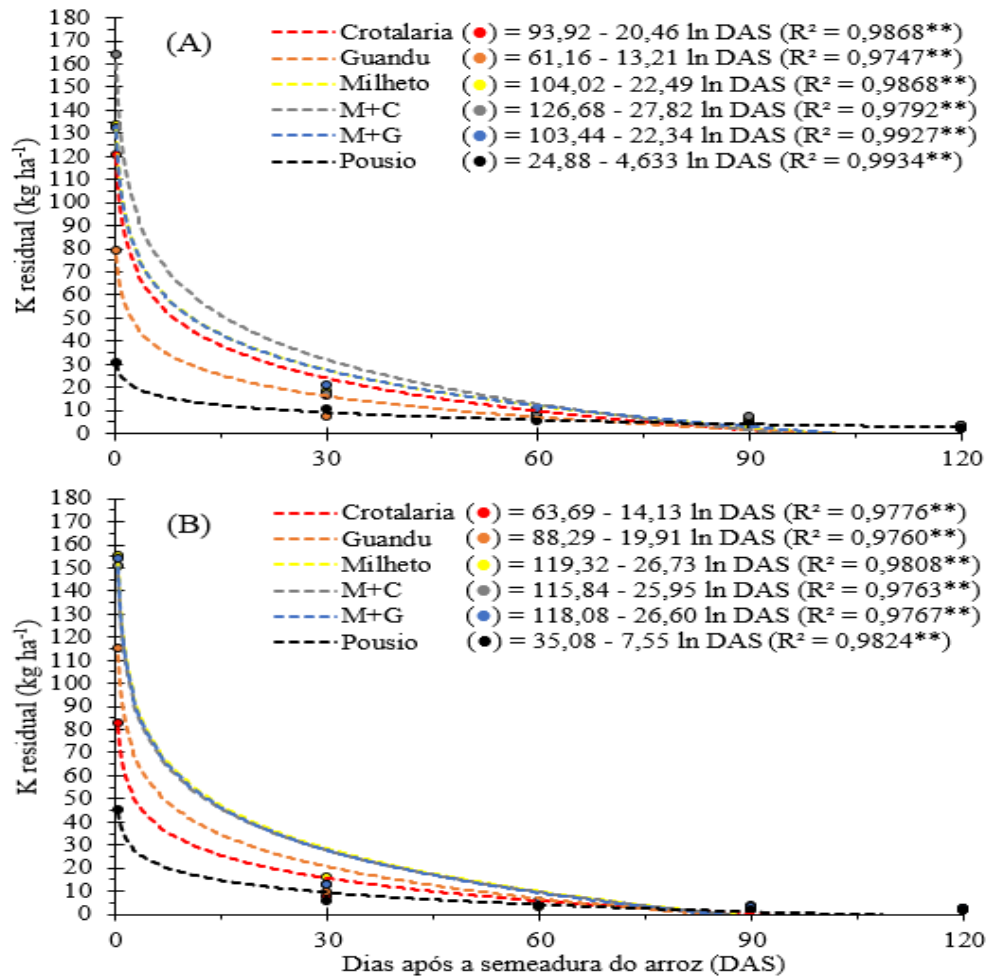
Para saber se a maior liberação de nutrientes nos primeiros 30 DAS do arroz é importante, basta associar esse período com a respectiva fase fenológica do arroz. Por essa ocasião as plantas de arroz estavam entre os estádios fenológicos V₆ e V₇, na fase de perfilhamento (COUNCE; KEISLING; MITCHELL, 2000). Nesse estágio é importante que haja boa disponibilidade de nutrientes para a cultura, principalmente o nitrogênio, pois propiciará condições para melhor desenvolvimento e, conseqüentemente, produtividade de grãos de arroz. De acordo com Embrapa (2009) o arroz absorve nitrogênio durante todo o seu ciclo, porém, no perfilhamento e no início da diferenciação floral são as fases mais importantes.

Figura 5 - Fósforo residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 6 - Potássio residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



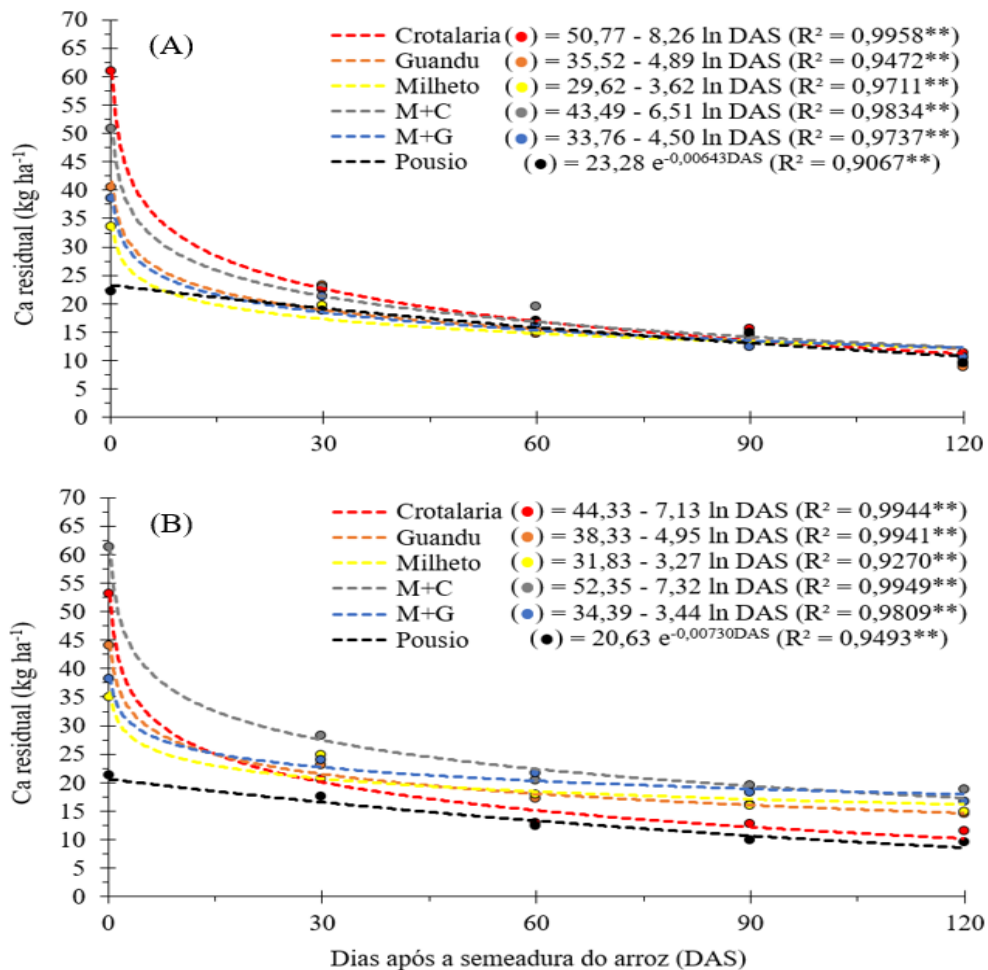
Fonte: Dados do próprio autor.

Nos dois anos de cultivo, a liberação do Ca e do Mg pela palhada do pousio seguiram o modelo matemático exponencial, enquanto que para as demais palhadas, esses nutrientes foram liberados de forma logarítmica (Figuras 7A, 7B, 8A e 8B). Destaca-se que até os 120 DAS do arroz, a palhada do pousio liberou aproximadamente 10 kg ha^{-1} de Ca e 10 kg ha^{-1} de Mg, ou seja, cerca de 50 % do total acumulado, em ambos os anos.

Com relação as demais palhadas, para o Ca, destacam-se a crotalária e M+C, que nos dois anos liberaram em torno de 35 kg ha^{-1} do nutriente até os 120 DAS do arroz, e a maior liberação ocorreu até os 30 DAS. Como elemento estrutural, o Ca está presente na lamela média da parede celular e na parte externa da membrana plasmática; uma outra parte do Ca, exercendo função de elemento regulatório, está presente no vacúolo e no retículo endoplasmático (FURLANI, 2004). A maior parte do Ca solúvel em água está localizado no vacúolo (MARSCHNER, 2012), assim, essa fração pode ter contribuído para a liberação inicial do Ca

da palhada. Segundo Oliveira et al. (1999) parte do Ca está ligada a compostos iônicos e moleculares solúveis e pode ser liberado da palhada.

Figura 7 - Cálcio residual na palhada de plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 (A) e 2015/16 (B). Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.

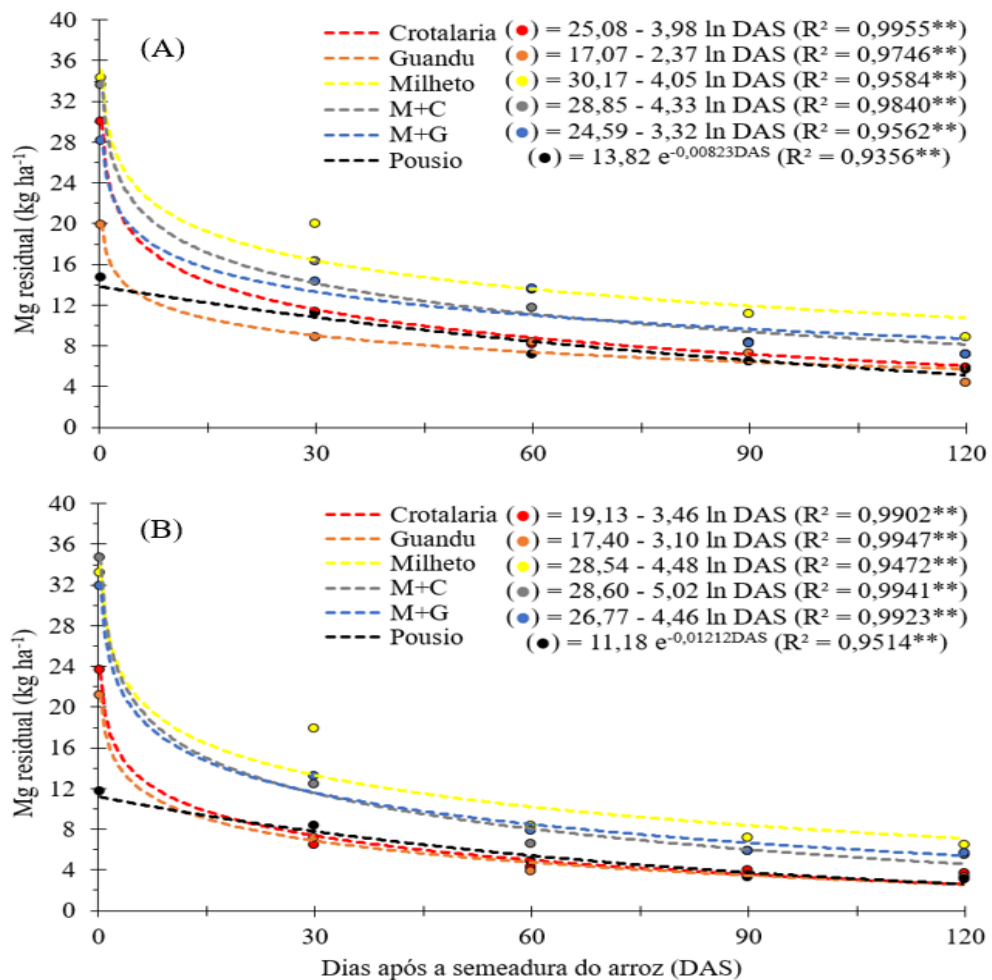


Fonte: Dados do próprio autor.

A palhada de guandu, para os dois anos, liberou por volta de 13 kg ha^{-1} de Mg ao longo do ciclo do arroz, enquanto que para as outras palhadas, na média, houve liberação de 20 kg ha^{-1} (Figuras 8A e 8B). Assim como para o Ca, a maior quantidade de Mg liberada ocorreu por volta dos 30 DAS do arroz. Até esse momento, na média dos anos, as palhadas de crotalaria, milheto, M+C e M+G liberaram aproximadamente 13 kg ha^{-1} de Ca e a palhada de guandu liberou 9 kg ha^{-1} . Entre 6 e 25 % do Mg é constituinte da clorofila, 5 a 10 % está ligado ao pectato da parede celular ou precipitados no vacúolo das células e, de 60 a 90 % está na forma solúvel em água (MARSCHER, 2012). Portanto, como a maior quantidade de Mg dos vegetais

não participa da constituição estrutural das células, ocorre maior liberação na fase inicial da decomposição do vegetal.

Figura 8 – Magnésio residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 (A) e 2015/16 (B). Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



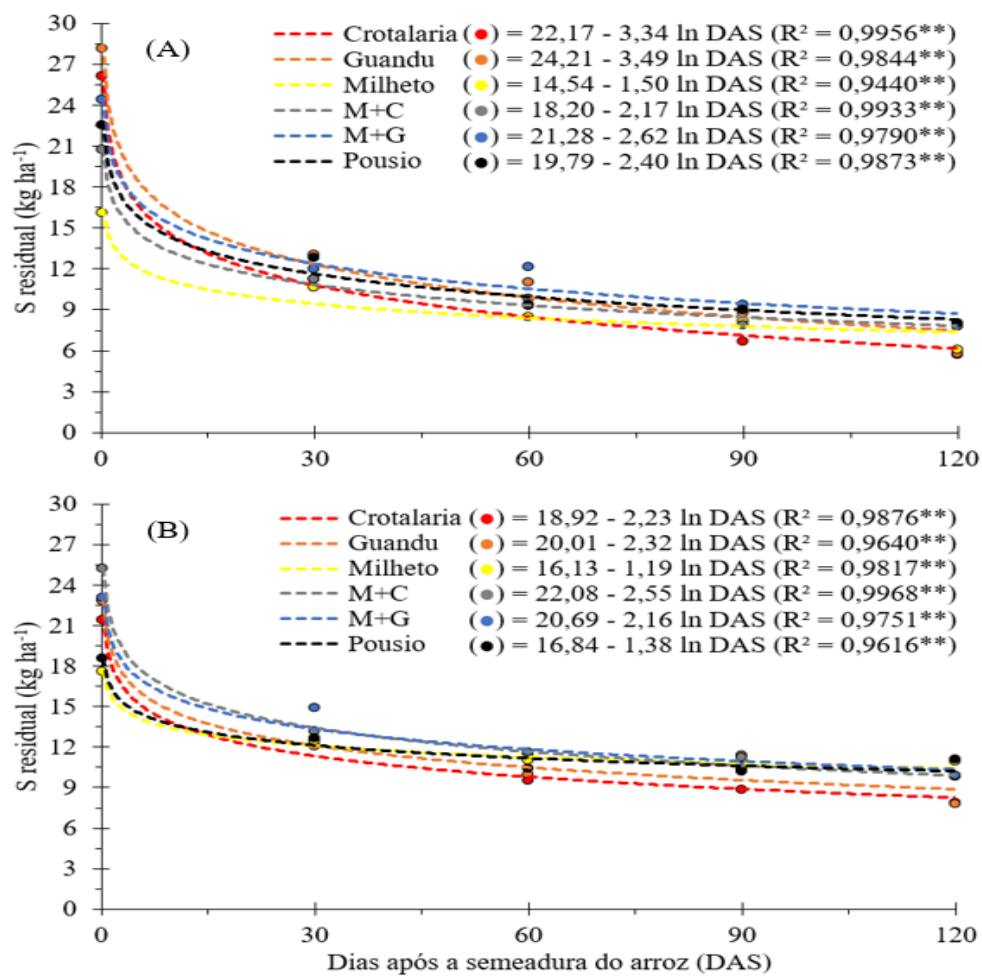
Fonte: Dados do próprio autor.

Para ambos os anos da pesquisa, o desprendimento do S contido na palhada das plantas de cobertura ajustou-se ao modelo logarítmico, apresentando, inicialmente, maior velocidade (Figuras 9A e 9B). Ao término da avaliação (120 DAS), de acordo com as equações, houve desprendimento de aproximadamente 14 kg ha⁻¹ de S pela palhada de crotalária e de guandu, ao passo que as palhadas de milheto e do pousio desprenderam 6 kg ha⁻¹ e 9 kg ha⁻¹, respectivamente.

Até os 30 DAS do arroz, o desprendimento de S pela palhada de crotalária e de guandu foi de 10 kg ha⁻¹, de milheto foi de 5 kg ha⁻¹ e do pousio foi de 6 kg ha⁻¹. O S é constituinte de

alguns aminoácidos e enzimas vegetais (TAIZ *et al.*, 2017), por integrar esses compostos, sua liberação ocorre acompanhando a degradação do vegetal. Isso pode ser melhor entendido, recorrendo aos dados de decomposição da palhada das plantas de cobertura (Figura 3A e 3B), onde percebe-se que houve decomposição inicial mais rápida da palhada de crotalária e de guandu, principalmente em 2014/15, em relação ao milho e ao pousio. A decomposição inicial mais rápida dessas palhadas redonda em maior mineralização do N e, dessa forma, aumenta a atividade microbiana, intensificando, também, a liberação dos outros nutrientes dos compostos orgânicos. Segundo Assis *et al.* (2003) a disponibilidade de N aumenta a decomposição da palhada e pode proporcionar maior liberação de nutrientes imobilizados.

Figura 9 – Enxofre residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do arroz de terras altas. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 (A) e 2015/16 (B). Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

4.2.4 Teor de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) no solo, aos 20 DAE e no florescimento pleno

Aos 20 DAE, na camada de 0-10 cm, o guandu apresentou pouco mais que o dobro do teor de N-NH_4^+ em relação ao pousio, em ambos os anos (Tabela 7). Isso pode ter ocorrido devido ao guandu ser uma leguminosa e segundo Taiz *et al.* (2017) leguminosas, por meio de associação simbiótica com bactérias fixadoras de N, convertem o N_2 em NH_3 e, posteriormente a amônia é protonada formando o NH_4^+ . Da mesma forma, Souza e Melo (2000) também verificaram maior teor de N-NH_4^+ no tratamento com plantas de guandu em relação ao pousio.

Em relação ao teor de N-NO_3^- na camada de 0-10 cm aos 20 DAE e em ambos os anos, verificou-se que o tratamento com milho apresentou maiores médias em relação ao pousio (Tabela 7). Ainda no ano 2014/15 o milho propiciou maior teor de N-NO_3^- no solo em relação a crotalária, M+C e M+G. Plantas de milho favorecem maior quantidade de bactérias oxidantes do nitrito no solo, em relação a crotalária, por isso podem propiciar maior liberação de N-NO_3^- (MORO *et al.*, 2016). Moro *et al.* (2013) também observaram maior teor de N-NO_3^- no solo, na camada de 0-5 cm, nas parcelas de milho do que nas de crotalária. Nascente, Lacerda e Lanna (2015) observaram menor teor de N-NO_3^- no solo no tratamento com milho, na camada de 0-10 cm, quando comparado com o M+C.

Na camada de 10-20 cm, em 2014/15, o teor de N-NH_4^+ no solo foi superior na presença da palhada de milho em relação ao pousio (Tabela 7). De acordo com Sodek (2004) o N-NH_4^+ prevalece no solo em áreas com presença de gramíneas, devido a exsudação de inibidores do processo de nitrificação. Moro *et al.* (2013), trabalhando com adubação nitrogenada (controle, nitrato de cálcio, sulfato de amônio, sulfato de amônio + dicianodiamida) e plantas de cobertura (*U. brizantha* cv. Marandu, *U. decumbens*, *U. humidicola*, *U. ruziziensis*, *Pennisetum americanum* - milho e *Crotalaria spectabilis*) verificaram que na camada de 5-20 cm, no tratamento controle, as plantas de milho propiciaram maior teor de N-NH_4^+ que o tratamento com crotalária. Em 2015/16 o tratamento com guandu favoreceu maior teor de N-NH_4^+ em relação ao pousio, assim como ocorreu na camada de 0-10 cm, corroborando Souza e Melo (2000).

O teor de N-NO_3^- na camada de 10-20, em ambos os anos, não apresentou diferença com as plantas de cobertura (Tabela 7).

Percebe-se que, exceto para o teor de N-NO_3^- na camada de 10-20 cm, aos 20 DAE, o teor de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo, nas camadas estudadas, destacou o pousio com os menores valores. Dessa forma, pode-se inferir que o uso de plantas de cobertura proporciona benefícios

no maior fornecimento de N-NH_4^+ e N-NO_3^- a cultura do arroz. Segundo Taiz et al. (2017) e Sodek (2004) a fixação de N atmosférico e a degradação da matéria orgânica proveniente da incorporação de vegetação morta, são fontes de N para as culturas.

Tabela 7 - Teor de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo na camada de 0-10 e 10-20 cm, em arroz de terras altas aos 20 DAE e no florescimento em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Época		20 DAE							
Plantas de cobertura	2014/15		2015/16		2014/15		2015/16		
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	
	0-10				10-20				
	-----mg kg ⁻¹ -----								
Crotalária	5,69ab	5,13bc	5,56ab	5,28ab	4,58ab	4,58	5,28ab	7,78	
Guandu	7,83a	6,64ab	7,22a	5,83ab	4,58ab	3,59	6,11a	7,78	
Milheto	5,68ab	9,71a	5,56ab	7,44a	6,29a	4,02	5,57ab	8,33	
M+C ¹	3,93ab	4,48bc	5,39ab	5,00ab	4,53ab	6,21	4,67ab	10,56	
M+G ²	4,56ab	4,55bc	5,00ab	5,56ab	5,60ab	5,60	3,61ab	5,55	
Pousio	3,88b	1,69c	3,11b	2,78b	3,62b	5,48	3,00b	6,67	
DMS	3,61	3,68	3,32	3,36	2,54	3,31	2,59	5,10	
Valor de F ³	3,50*	12,40**	3,81*	4,86*	3,29*	2,26	5,14**	2,63	
CV	26,2	24,41	22,08	22,32	18,43	23,74	19,41	23,13	
Média Geral	5,26	5,32	5,31	5,32	4,89	4,91	4,70	7,78	
Época		Florescimento							
Crotalária	5,56a	4,23	5,63	9,44	4,47ab	6,71a	4,44	10,56	
Guandu	4,42ab	2,60	4,72	7,78	3,01ab	5,08ab	5,89	6,78	
Milheto	5,15a	3,21	5,26	8,89	5,16ab	4,87ab	4,44	7,78	
M+C ¹	2,27b	4,55	4,22	8,34	5,36a	4,90ab	4,78	9,50	
M+G ²	2,82ab	4,00	5,00	5,56	2,27b	2,37b	4,17	7,83	
Pousio	3,15ab	2,28	3,41	5,33	2,83ab	5,05ab	2,78	8,33	
DMS	2,81	4,44	3,63	5,85	3,02	3,92	4,02	4,98	
Valor de F ³	5,48*	1,05	1,16	2,11	3,60*	3,06*	1,51	1,79	
CV	25,48	44,96	27,18	27,3	31,1	28,6	32,09	20,74	
Média Geral	3,89	3,48	4,71	7,56	3,85	4,83	4,42	8,46	

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Na camada de 0-10 cm, em 2014/15, o teor de N-NH_4^+ aferido por ocasião do florescimento do arroz foi maior sob palhada de crotalária e milheto, e menor sob palhada de M+C (Tabela 7). Moro et al. (2013) verificaram que plantas de crotalária proporcionaram maior teor de N-NH_4^+ na camada de 0-5 cm de solo, aferido aos 42 DAE da cultura do arroz, quando comparado ao milheto. O teor de N-NH_4^+ no solo em 2015/16 e de N-NO_3^- em ambos os anos, não foram influenciados pelas plantas de cobertura.

Na camada de 10-20 cm, em 2014/15, o teor de N-NH_4^+ no solo sob palhada de M+C apresentou-se superior ao M+G (Tabela 7). Na mesma camada de solo, o teor de N-NO_3^- foi maior no tratamento com plantas de crotalária em relação ao M+G. Já os teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo em 2015/16 apresentaram-se indiferentes quanto as plantas de cobertura. Como aproximadamente 50 % do N acumulado nas plantas de cobertura foi liberado no solo até os 30 DAE do arroz (Figura 4), houve maior dinâmica do N-NH_4^+ e do N-NO_3^- entre os tratamentos na fase inicial de desenvolvimento da cultura, em comparação ao momento do florescimento (aproximadamente 80 DAE do arroz, em ambos os anos).

4.2.5 Teor de amônio (N-NH_4^+) e nitrato (N-NO_3^-) nas folhas de arroz, aos 20 DAE e no florescimento pleno

O teor de NH_4^+ nas folhas de arroz aos 20 DAE, em 2014/15, se mostrou superior quando o arroz foi cultivado sobre palhada de milheto, embora não tenha se diferenciado do guandu (Tabela 8). A possível explicação está relacionada com o aumento da enzima redutase do nitrato. A palhada de milheto propiciou superior teor de NO_3^- no solo, em 2014/15 (Tabela 7) e isso pode ter induzido maior produção da enzima que reduz o nitrato a amônio, aumentando o teor foliar desse ânion. Segundo Lopes e Lima (2015) a presença de NO_3^- induz a síntese da enzima redutase do nitrato nas plantas. Deve-se ressaltar que o aumento excessivo do teor de amônio foliar pode causar toxidez as plantas, assim como relatado por Epstein e Bloom (2006).

Para o teor foliar de NO_3^- , em 2014/15, o cultivo do arroz sobre palhada de crotalária favoreceu maior valor, mas foi semelhante a palhada de M+C (Tabela 8). Aos 20 DAE, a palhada de crotalária favoreceu a proporção semelhante entre NH_4^+ e NO_3^- no solo (Tabela 7). O equilíbrio no fornecimento desses íons pode ter favorecido a maior translocação de NO_3^- para a parte aérea da planta. Segundo Bloom et al. (2003) as plantas obtêm o nitrogênio por meio da absorção das raízes dos íons amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) da solução do solo. No entanto, as raízes das plantas apresentam o papel dominante na assimilação do NH_4^+ (MURPHY; LEWIS, 1987), com posterior translocação de aminoácidos para a parte aérea da planta. Dessa maneira, pode ter ocorrido maior transporte de NO_3^- para as folhas do arroz. Holzschuh et al. (2011), estudando a absorção de nutrientes por plantas de arroz, cultivadas em solução nutritiva contendo diferentes proporções de NH_4^+ e NO_3^- (NH_4^+ 100:0 NO_3^- ; NH_4^+ 75:25 NO_3^- ; NH_4^+ 50:50 NO_3^- ; NH_4^+ 25:75 NO_3^- ; NH_4^+ 0:100 NO_3^-), verificaram que a proporção 50:50 revelou que o teor de NO_3^- na seiva do xilema foi 3,33 vezes superior ao teor de NH_4^+ . De acordo com

Lima e Lopes (2015) o NO_3^- não causa efeito tóxico às plantas, podendo acumular-se em grande quantidade nas células.

O teor de N nas folhas de arroz aos 20 DAE, em 2014/15 e 2015/16 indicou superioridade para os tratamentos com crotalária (42,73 e 38,97), guandu (42,16 e 39,28) e M+C (42,19 e 39,43) em relação ao pousio (39,23 e 33,87) (Tabela 8). Provavelmente esse resultado está relacionado ao maior potencial dessas plantas em fixar o N atmosférico e fornecê-lo as plantas de arroz. De acordo com Sodek (2004) o uso de plantas de cobertura da família das leguminosas proporciona incorporação de grandes quantidades de N, seja pela fixação biológica ou pela degradação do material orgânico depositado sobre o solo e o N transformado em NH_4^+ .

Tabela 8 - Teor de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), nitrogênio (N) e índice de clorofila (ICF) em folhas de arroz de terras altas aos 20 DAE, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	NH_4^+	NO_3^-	N	ICF	NH_4^+	NO_3^-	N	ICF
	-----14/15-----				-----15/16-----			
	mg kg^{-1}		g kg^{-1}	-	mg kg^{-1}		g kg^{-1}	-
Crotalária	72,10b	86,00a	42,73a	35,13a	73,00	85,00ab	38,97a	36,18ab
Guandu	83,67ab	57,17b	42,16a	32,17ab	74,67	99,17a	39,28a	40,25a
Milheto	103,33a	53,33b	41,98ab	30,36ab	85,17	81,33ab	37,92ab	35,65b
M+C ¹	67,67b	64,17ab	42,19a	31,81ab	82,83	70,00ab	39,43a	36,67ab
M+G ²	61,67b	47,33b	40,76ab	31,07ab	75,83	75,83ab	37,36ab	37,15ab
Pousio	55,00b	48,50b	39,23b	29,97b	72,33	63,17b	33,87b	34,08b
DMS	30,08	25,11	2,87	4,87	35,28	32,40	4,55	4,41
Valor de F ³	8,05**	7,93**	4,28**	3,06*	0,56	3,63*	5,09**	5,22**
CV	14,34	14,90	3,01	6,67	16,09	14,45	4,25	4,24
Média Geral	73,94	59,42	41,51	31,75	77,3	79,08	37,80	36,66

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Para o índice de clorofila foliar (ICF), em 2014/15, destacou-se a crotalária com maior valor em relação ao pousio (Tabela 8). Na safra 2015/16 houve destaque para o guandu em relação ao milheto e pousio. Percebe-se que os dados ICF apresentam certa fidelidade aos dados de N foliar (crotalária e pousio, em 2014/15; guandu e pousio em 2015/16). Aos 20 DAE essa é uma avaliação interessante, pois fornece um indicativo de melhor nutrição em N na fase inicial da planta, já que esse nutriente é o principal constituinte da molécula de clorofila. De acordo com Argenta, Silva e Bortolini (2001) o índice clorofila na folha é um bom parâmetro indicador do nível de nitrogênio em cereais.

No início do desenvolvimento as plantas de arroz apresentam pequena quantidade da enzima nitrato redutase (reduz o nitrato a nitrito) (ARAÚJO *et al.*, 2012; ALI; SIVAKAMI; RAGHURAM, 2007; LEONG; SHEN, 1982) dessa maneira, a forma preferencial de N absorvido pela cultura do arroz de terras altas é o N amoniacal. No entanto, mais recentemente, Moro *et al.* (2014), estudando a atividade da enzima nitrato redutase em cultivares de arroz de terras altas, constataram que há o decréscimo dessa enzima com o passar do ciclo da cultura. Ainda, vários trabalhos relatam que deve haver equilíbrio no fornecimento entre nitrato e amônio no solo para a cultura do arroz (HOLZCHUH *et al.*, 2009; HOLZCHUH *et al.*, 2011; POLETTTO *et al.*, 2011; ARAÚJO *et al.*, 2012). Em estudo com fornecimento de proporções de amônio e nitrato (100:0; 75:25; 50:50; 25:75 e 0:100) em plantas de girassol, Silva, Couto e Santos (2010) verificaram que o fornecimento de apenas uma forma de nitrogênio propiciou menor valor para o ICF.

Em relação ao segundo ano, nota-se que o cultivo do arroz sobre a palhada do guandu proporcionou maior teor foliar de NO_3^- comparado com o pousio (Tabela 8). A maior disponibilidade de nitrogênio amoniacal no solo com a palhada de guandu (Tabela 7) propiciou maior translocação do nitrogênio nítrico para a parte aérea do arroz. Isso ocorreu devido o NH_4^+ ser assimilado nas raízes (MURPHY; LEWIS, 1987), enquanto que o NO_3^- é reduzido na parte aérea (GOEL *et al.*, 2016). Portanto, com a menor translocação de NH_4^+ para a parte aérea da planta, favoreceu o transporte do NO_3^- .

No ano de 2014/15 houve maior teor de NO_3^- nas folhas de arroz, no florescimento, quando cultivado sobre palhada de crotalária e de guandu, e menor teor foliar quando o arroz foi cultivado em sucessão ao milheto, M+C e pousio (Tabela 9). Na média, as palhadas de milheto, M+C e pousio propiciaram redução de 61 % no teor de NO_3^- nas folhas de arroz, quando comparado com a palhada de crotalária e de guandu. Após 50 dias da semeadura há o declínio da atividade da redutase do nitrato em folhas de arroz, acompanhada da redução do teor foliar de NO_3^- (PAL; PAL, 1986). Segundo os autores, isso mostra que a atividade da redutase do nitrato é dependente do teor de NO_3^- foliar. Dessa forma, pode-se inferir que a crotalária e guandu, como coberturas vegetais, poderiam ter induzido maior atividade da redutase do nitrato nas folhas de arroz, por ocasião do florescimento da cultura (80 DAE) e proporcionado superior teor de nitrato. Em estudos realizados por Moro *et al.* (2015), verificaram diferenças da atividade da redutase do nitrato em plantas de arroz cultivadas sobre diferentes plantas de cobertura. Os autores relatam superior atividade da redutase do nitrato em arroz cultivado em sucessão a crotalária e menor em sucessão a milheto.

Em 2014/15, as plantas de cobertura propiciaram incremento de 13 % no teor de N foliar, aferido no florescimento do arroz, em relação ao pousio (Tabela 9). Verificou-se que, na média, as plantas de cobertura acumularam 64 kg ha⁻¹ de N mais do que o pousio (Tabela 5). Além disso, proporcionaram somatória média do teor de NH₄⁺ e NO₃⁻ das folhas de arroz 48 % superior ao pousio. Dessa forma, observa-se que as plantas de cobertura disponibilizaram maior quantidade de nitrogênio mineral, culminando em maior teor de N total nas folhas de arroz. Pantoja et al. (2016) relatam que plantas com baixo potencial para reciclar N, associada a uma lenta decomposição, limita o fornecimento do nutriente em quantidade considerável para a cultura seguinte.

Tabela 9 - Teor de amônio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻), nitrogênio (N) e índice de clorofila (ICF) em folhas de arroz de terras altas por ocasião do florescimento, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N	ICF	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N	ICF
	-----14/15-----				-----15/16-----			
	mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹	-	mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹	-
Crotalária	42,00	47,67a	38,38a	51,38	82,83ab	59,50	38,13a	54,79
Guandu	48,67	44,50a	37,99a	55,62	59,50b	68,17	37,66a	60,55
Milheto	44,33	15,17c	38,01a	55,50	87,50a	50,17	36,86ab	58,01
M+C ¹	44,33	23,00bc	38,17a	54,31	66,50ab	59,50	37,62ab	55,73
M+G ²	46,00	33,00ab	38,64a	57,28	66,50ab	51,00	36,91ab	57,72
Pousio	37,33	15,00c	33,83b	52,92	60,67b	48,83	32,74b	52,91
DMS	22,59	16,28	3,96	10,05	24,52	28,96	4,86	9,68
Valor de F ³	0,70	18,66**	5,07*	0,93	5,55*	1,63	3,99*	1,88
CV	18,20	19,31	3,73	8,02	12,25	18,17	4,68	6,03
Média Geral	43,78	29,72	37,50	54,50	70,58	56,19	36,65	56,62

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

O teor foliar de NH₄⁺ no florescimento do arroz, em 2015/16, destacou superioridade de 47 e 44 % quando cultivado sobre palhada de milho em relação a palhada de guandu e pousio, respectivamente (Tabela 9). Embora a palhada de guandu e de milho tenham apresentado semelhante acúmulo de nitrogênio (Tabela 5), a relação C/N da palhada de milho foi superior à de guandu (Tabela 4), influenciando na menor taxa de liberação de N da palhada de milho (Figura 4B). A liberação lenta do N pode favorecer a disponibilidade de N-NH₄⁺, propiciando maior absorção dessa forma de N pelas plantas de arroz. Enquanto que o menor teor de NH₄⁺ nas folhas de arroz propiciado pela palhada do pousio podem ser atribuídos ao menor acúmulo de N por esse tratamento (Tabela 5), reduzindo a disponibilidade do nutriente.

No ano de 2015/16, a palhada de crotalária e de guandu favoreceram maior teor de N nas folhas de arroz, comparado ao pousio (Tabela 9). Possivelmente, esse resultado ocorreu devido ao maior acúmulo de N na palhada de crotalária e de guandu (Tabela 5), refletindo em superior soma de N mineral (NH_4^+ e NO_3^-) no solo (Tabela 7), resultando em maior soma também nas folhas de arroz. Silva et al. (2016), estudando o aproveitamento de nitrogênio do fertilizante e de plantas de cobertura (crotalária, guandu, mucuna verde, milheto e pousio) pelo arroz, concluíram que as leguminosas apresentam potencial de suprir o equivalente a 60 kg ha^{-1} de N na forma de ureia para o arroz.

Deve-se ressaltar que o nitrogênio passa por várias transformações no sistema solo/planta/atmosfera – amonificação, nitrificação (dependente das bactérias nitrossomonas e nitrobacter contidas no solo), pode ser perdido por lixiviação, volatilização e desnitrificação. Há diferenças quanto a absorção desses íons pelas plantas – o pH do solo pode favorecer a absorção de um ou outro íon de nitrogênio, também pode haver interferência por outros nutrientes do solo. Além disso, a nutrição adequada dos elementos Mo, Fe e S, podem influenciar no processo de assimilação do nitrogênio. Portanto, devido a variação das formas de nitrogênio no sistema agrícola, os teores dos íons amônio e nitrato nas folhas de arroz, podem não seguir fielmente os teores desses íons contidos no solo.

4.2.6 Teor de P, K, Ca, Mg e S em folhas de arroz, no florescimento pleno

Os teores de P, K, Ca, Mg e S em folhas de arroz não foram alterados pela palhada de diferentes plantas de cobertura cultivadas na pré safra de verão, em ambos os anos avaliados (Tabela 10). De acordo com Cantarella, Raij e Camargo (1997) a faixa de teor adequado de P em folhas de arroz é $1,8 - 3,0 \text{ g kg}^{-1}$, K: $13 - 30 \text{ g kg}^{-1}$, Ca: $2,5 - 10 \text{ g kg}^{-1}$, Mg: $1,5 - 5,0 \text{ g kg}^{-1}$ e S: $1,4 - 3,0 \text{ g kg}^{-1}$. Com base nessa informação, pode-se inferir que todos os tratamentos propiciaram teores de P, K, Ca e Mg situados dentro da faixa adequada. Os teores de S nas folhas de arroz foram superiores à faixa considerada adequada para a cultura.

Tabela 10 - Teores foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em arroz de terras altas, aferidos por ocasião do florescimento, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de	P	K	Ca	Mg	S
------------	---	---	----	----	---

cobertura	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	g kg ⁻¹									
Crotalária	2,68	2,85	15,77	14,06	5,02	5,55	2,81	2,47	3,90	4,30
Guandu	2,74	2,83	16,89	16,41	4,96	5,11	2,85	2,53	3,70	3,85
Milheto	2,60	2,84	16,52	15,11	4,27	3,90	2,84	2,14	3,64	4,13
M+C ¹	2,92	2,90	14,93	14,79	4,70	4,26	2,44	2,02	3,93	4,47
M+G ²	2,65	3,31	15,60	16,11	4,64	5,21	2,50	2,33	4,00	4,08
Pousio	2,52	2,70	16,45	15,03	4,07	4,08	2,77	2,3	3,73	4,46
DMS	0,90	0,91	4,26	3,18	1,72	2,12	0,92	0,91	0,83	0,86
Valor de F ³	0,55	1,28	0,70	1,80	0,48	1,60	0,96	1,09	0,71	1,92
CV	11,85	11,02	9,38	7,36	12,61	15,36	12,00	13,91	7,68	7,20
Média Geral	2,68	2,90	16,03	15,25	4,61	4,69	2,70	2,30	3,82	4,22

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

4.2.7 Componentes de produção e produtividade de arroz de terras altas

Com relação a massa seca de plantas (MSP), altura (ALT) e número de panículas por m² (NP) verificou-se que apenas para a altura de plantas, em 2014/15, o tratamento com crotalária, M+G e pousio apresentaram maior altura quando comparados com o tratamento M+C (Tabela 11). Essa pequena diferença na altura de plantas (em torno de 6 cm) entre os tratamentos não é suficiente para influenciar, positivamente ou negativamente, os componentes de produção ou produtividade do arroz de terras altas. Gitti *et al.* (2012) e Cazetta *et al.* (2008), no primeiro ano de cultivo, também não observaram influências das plantas de cobertura na altura de plantas de arroz de terras altas. No segundo ano de estudo, Cazetta *et al.* (2008) verificaram maior altura de plantas sobre o tratamento com guandu em comparação ao sorgo, milheto e mucuna preta.

Verificou-se que apenas no ano 2015/16 houve diferença entre os tratamentos, sendo que na crotalária o número de espiguetas totais (NET) e granadas (GRA) apresentaram maiores valores em relação ao pousio (Tabela 12). O tratamento crotalária propiciou o acúmulo de 82 kg ha⁻¹ de N mais que o pousio (Tabela 5), o que pode ter beneficiado as plantas de arroz com maior quantidade de N, favorecendo maior produção de espiguetas e o maior enchimento. Silva *et al.* (2006), estudando o acúmulo de N por plantas de crotalária, milheto e pousio em dois anos, verificaram que em plantas de crotalária, na média dos dois anos houve acúmulo de 148 kg ha⁻¹ de N mais que o pousio.

Tabela 11 - Massa seca de plantas (MSP), altura (ALT) e número de panículas por m² (NP) em arroz de terras altas em função de plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	MSP		ALT		NP	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----kg ha ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----		-----nº-----	
Crotalária	6.868	5.085	90,6a	89,9	235	211
Guandu	6.800	4.764	88,7ab	89,9	258	205
Milheto	6.290	4.092	86,5ab	84,3	230	174
M+C ¹	6.015	4.832	84,7b	88,3	200	206
M+G ²	6.514	4.511	90,2a	90,8	243	180
Pousio	7.787	4.257	90,6a	90,7	218	187
DMS	1.802	1.325	4,80	8,40	91,3	53
Valor de F ³	2,46	1,68	5,45**	1,84	1,05	1,81
CV	11,68	12,57	2,38	4,11	17,23	12,03
Média Geral	6.712	4.590	88,5	89,0	231	194

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Tabela 12 - Número de espiguetas totais (NET), granadas (GRA) e chochas (CHO) por panícula, de arroz de terras altas em função de plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	NET		GRA		CHO	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----nº-----					
Crotalária	143	142a	120	124a	22	18
Guandu	145	137ab	126	117ab	19	20
Milheto	148	130ab	125	112ab	23	18
M+C ¹	150	129ab	125	111ab	26	18
M+G ²	155	132ab	133	117ab	22	15
Pousio	151	120b	130	101b	21	19
DMS	18,44	17,44	18,84	18,03	6,61	13,82
Valor de F ³	1,08	3,77*	1,24	3,97*	2,51	0,33
CV	5,41	5,77	6,49	6,91	12,71	33,26
Média Geral	148	131	126	114	22	18

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * – significativo a 5 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Não houve alteração na massa de cem grãos (M100) em função das plantas de cobertura (Tabela 13), assim como ocorreu nos dois anos do trabalho de Cazetta et al. (2008) e de Gitti et al. (2012). Na média, a M100 está de acordo com os valores obtidos por Peres (2017), que relatou massa de 2,65 g, na média de dois anos de cultivo, para o BRS Esmeralda.

Tabela 13 - Massa de cem grãos (M100) e produtividade de grãos (PG) de arroz de terras altas em função de plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	M100		PG		MÉDIA
	14/15	15/16	14/15	15/16	
	-----g-----		-----kg ha ⁻¹ -----		
Crotalária	2,57	2,70	5.178	4.176a	4.677a
Guandu	2,50	2,67	4.367	3.600ab	3.983ab
Milheto	2,54	2,67	4.260	3.371ab	3.815ab
M+C ¹	2,56	2,71	4.230	3.896ab	4.062ab
M+G ²	2,58	2,78	4.637	3.694ab	4.165ab
Pousio	2,56	2,65	4.663	2.779b	3.721b
DMS	0,18	0,17	1.161	1.169	875
Valor de F ³	0,57	1,57	1,99	3,37*	3,15*
CV	3,06	2,68	11,10	14,19	9,36
Média Geral	2,55	2,70	4.555	3.586	4.071

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * – significativo a 5 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Em relação a produtividade de grãos, observa-se que na média dos dois anos, a crotalária se sobressaiu em 26 % comparado ao pousio (Tabela 13). Como já mencionado anteriormente, no tratamento com crotalária houve superior acúmulo de N em relação ao pousio (77 e 82 kg ha⁻¹ em 2014/15 e 2015/16, respectivamente) (Tabela 5). Por se tratar de uma planta leguminosa, que apresenta relação C/N mais estreita (Tabela 4) provavelmente houve disponibilidade de grande parte do N acumulado as plantas de arroz (Figura 4), a qual favoreceu a maior produtividade de grãos da cultura. Silva et al. (2016), pesquisando o aproveitamento do nitrogênio do fertilizante e de plantas de cobertura (crotalária, guandu, mucuna, milheto e pousio) na cultura do arroz de terras altas, verificaram que na ausência de adubação nitrogenada a produtividade de grãos de arroz no tratamento com crotalária foi 46 % superior ao pousio. Continuando, os autores demonstraram que com a adubação de 20 kg ha⁻¹ de N o tratamento crotalária propiciou produtividade 27 % mais sobre o pousio e, com a adubação de 20 + 60 kg ha⁻¹ de N não houve diferença na produtividade de grãos. Assim, os autores concluem que o uso de leguminosas proporcionam efeito equivalente à aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N sobre a produtividade de grãos de arroz.

4.2.8 Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz de terras altas

A exportação total de N pelos grãos de arroz, em 2015/16, foi favorecida pela palhada de crotalária (57,33 kg ha⁻¹), M+C (52,76 kg ha⁻¹) e M+G (48,59 kg ha⁻¹), representando

superioridade de 70, 57 e 44 % comparado ao pousio ($33,69 \text{ kg ha}^{-1}$), respectivamente (Tabela 14). Houve acúmulo de 130 kg ha^{-1} de N pela palhada de crotalária, 176 kg ha^{-1} na palhada do M+C e 108 kg ha^{-1} na palhada de M+G, enquanto que no pousio o acúmulo foi de 48 kg ha^{-1} (Tabela 5). Além disso, houve, também, maior disponibilidade de N por essas plantas de cobertura (Figura 4B). Portanto, o maior acúmulo e disponibilidade de N pelas palhadas de crotalária, M+C e M+G possibilitaram incremento de 50, 40 e 33 % na produtividade de grãos de arroz em detrimento ao pousio, respectivamente (Tabela 13), resultando em maior exportação de N. Crusciol, Soratto e Arf (2007), pesquisando cultivares de arroz de terras altas, verificaram que as cultivares que apresentaram maior produtividade de grãos apresentaram, também, superior exportação de N.

Tabela 14 - Exportação de macronutrientes em kg ha⁻¹ e em kg t⁻¹ de grãos de arroz de terras altas, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	N		P		K		Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----Exportação total (kg ha ⁻¹)-----											
Crotalária	62,25	57,33 a	16,78	12,35	14,44	9,08ab	21,50	17,66a	6,52a	4,27a	7,98	5,25a
Guandu	51,06	47,21ab	15,94	11,31	13,40	8,89ab	18,83	15,05ab	5,54ab	3,72ab	7,39	4,32ab
Milheto	48,85	43,43ab	15,03	11,02	12,44	9,28ab	18,28	14,00ab	5,55ab	3,99ab	6,15	4,25ab
M+C ¹	50,98	52,76a	14,72	12,37	13,56	9,62a	17,72	16,02ab	5,38ab	3,95ab	6,59	5,01a
M+G ²	53,88	48,59a	17,32	10,89	14,68	8,03ab	19,22	15,39ab	5,63ab	3,58ab	7,42	4,37ab
Pousio	47,43	33,69b	15,01	8,37	12,58	5,93b	19,72	11,42b	5,06b	2,60b	7,19	3,44b
DMS	17,45	14,58	4,76	4,02	4,55	3,54	4,79	4,78	1,41	1,56	3,10	1,23
Valor de F ³	1,95	6,60**	1,06	2,80	0,87	3,09*	1,60	4,06*	2,54*	2,94*	0,93	5,74**
CV	14,49	13,46	13,10	15,83	14,64	18,17	10,86	13,95	10,94	18,46	18,94	12,05
Média Geral	52,41	47,17	15,80	11,05	13,52	8,47	19,21	14,92	5,61	3,69	7,12	4,44
Plantas de cobertura	-----Exportação (kg t ⁻¹ de grãos)-----											
Crotalária	12,02a	13,73a	3,24	2,96	2,76	2,17	4,14	4,23	1,25	1,01	1,53	1,26
Guandu	11,76ab	13,11ab	3,64	3,13	3,06	2,49	4,30	4,19	1,26	1,04	1,67	1,21
Milheto	11,37ab	12,89ab	3,50	3,26	2,87	2,74	4,29	4,16	1,29	1,18	1,41	1,26
M+C ¹	12,03a	13,56a	3,48	3,17	3,15	2,47	4,20	4,12	1,27	1,02	1,49	1,28
M+G ²	11,60ab	13,24ab	3,69	2,96	3,10	2,16	4,15	4,17	1,21	0,96	1,55	1,19
Pousio	10,22b	12,19b	3,22	3,01	2,66	2,12	4,23	4,11	1,08	0,94	1,48	1,24
DMS	1,66	1,19	0,54	0,37	0,69	0,69	0,26	0,15	0,21	0,23	0,51	0,11
Valor de F ³	3,50*	4,45*	2,78	2,42	1,77	2,68	1,51	1,71	2,67	2,80	0,60	2,15
CV	6,27	3,96	6,76	5,23	10,20	12,82	2,67	1,58	7,49	9,98	14,66	3,87
Média Geral	11,50	13,12	3,46	3,08	2,94	2,36	4,22	4,16	1,23	1,03	1,52	1,24

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

No ano de 2015/16, a exportação total de K pelos grãos do arroz cultivado sobre palhada de M+C (9,62 kg ha⁻¹) foi 62 % maior que sobre o pousio (5,93 kg ha⁻¹) (Tabela 14). Esse resultado pode ser explicado pelo superior teor de K no solo na camada de 0-10 cm (Tabela 15), favorecido pelo maior acúmulo do nutriente pela palhada de M+ C (151 kg ha⁻¹) e menor pelo pousio (45 kg ha⁻¹) (Tabela 5).

A exportação total de Ca pelos grãos de arroz, em 2015/16, e de Mg nos dois anos de cultivo, destacaram maior vantagem da crotalária, cultivada antes do arroz, em comparação ao pousio (Tabela 14). Possivelmente, o maior acúmulo de Ca e Mg pela palhada de crotalária nos anos citados (Tabela 6) beneficiaram a produtividade de grãos de arroz em 11 e 50 % em relação ao pousio, respectivamente (Tabela 13), resultando em superior exportação.

Em 2015/16 houve maior exportação total de S pelos grãos do arroz cultivado sobre palhada de crotalária e M+C, comparados com o pousio (Tabela 14). Verificou-se que a palhada de crotalária favoreceu maior produtividade de grãos do arroz (Tabela 13) e, conseqüentemente, aumentou a quantidade de S exportado. Enquanto que a palhada de M+C acumulou mais S que o pousio (Tabela 6), resultando no maior fornecimento do nutriente e na maior exportação pelo arroz.

Para cada tonelada de grãos de arroz produzida, em ambos os anos, as exportações de N do arroz cultivado sobre palhada de crotalária (12,02 kg t⁻¹ de grãos em 2014/15 e 13,73 kg t⁻¹ de grãos em 2015/16) e M+C (12,03 kg t⁻¹ de grãos em 2014/15 e 13,56 kg t⁻¹ de grãos em 2015/16) foram maiores que o pousio (10,22 kg t⁻¹ de grãos em 2014/15 e 12,19 kg t⁻¹ de grãos em 2015/16) (Tabela 14). Na média, a superioridade dessas plantas de cobertura foi de 18 % para o primeiro ano e 12 % para o segundo ano, em relação ao pousio, respectivamente. A explicação mais provável é de que as coberturas de crotalária e M+C disponibilizaram maior quantidade de N para as plantas de arroz.

De forma geral, para cada tonelada de grãos de arroz produzida são necessários, na média dos anos, 12,31 kg de N; 3,27 kg de P; 2,65 kg de K; 4,19 kg de Ca; 1,13 kg de Mg e 1,38 kg de S (Tabela 14). Ou seja, a ordem decrescente de necessidade foi: N>Ca>P>K>S>Mg. Crusciol *et al.* (2016a), estudando a remoção de macronutrientes por cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas (Caiapó – tradicional, BRS Primavera – intermediário e Maravilha – moderno), verificaram que a quantidade removida pelo cultivar Primavera, que apresenta tipo de planta intermediário, semelhante ao BRS Esmeralda (usado no estudo), foi de 12 kg de N; 2,7 kg de P; 4,0 kg de K; 4,3 kg de Ca; 1,8 kg de Mg e 1,3 kg de S. Esses dados indicam que a ordem decrescente de necessidade foi: N>Ca>K>P>Mg>S. Assim, com base na pesquisa acima citada, verificou-se que apenas a exportação de K foi

superior ao do presente estudo, enquanto que a ordem de necessidade foi invertida entre o P e K, e entre Mg e S.

4.2.9 Atributos químicos e físicos do solo na área de arroz de terras altas.

Os atributos químicos do solo na camada de 0,10 em 2014/15, mensurados por ocasião do florescimento do arroz, se mostraram indiferentes quanto aos tratamentos submetidos (Tabela 15). Em 2015/16 o teor de K no solo se mostrou superior no tratamento M+G em relação a crotalária, guandu, milho e pousio (Tabela 15). Recorrendo aos dados de acúmulo de K pelas plantas de cobertura (Tabela 5) observa-se que em 2015/16 o tratamento M+G acumulou 85 % mais K que a crotalária, 33 % mais que o guandu e 242 % mais que o pousio. Como a taxa de liberação desse nutriente é semelhante entre as plantas de cobertura (Figura 6) o tratamento M+G liberou mais K e favoreceu maior teor no solo.

Para o teor de Mg no solo, o tratamento com milho, M+C e M+G apresentaram valores superiores ao guandu (Tabela 15). Pode ser que o tratamento guandu tenha acumulado menor quantidade do nutriente na massa seca e, após a decomposição ter fornecido ao solo menos Mg que os outros tratamentos. Torres, Pereira e Fabian (2008), estudando o acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura, verificaram que plantas de guandu acumulam menor quantidade de Mg em comparação ao milho, sorgo, crotalária e braquiária. Almeida e Camara (2011) também relataram menor acúmulo de Mg por plantas de guandu, comparando com feijão de porco, mucuna, consórcio das leguminosas, milho, guandu + milho, feijão de porco + milho, mucuna + milho e consórcio completo.

A soma de bases (SB) é proveniente da soma de K, Ca e Mg, a qual destacou os tratamentos consorciados (M+C e M+G) com maiores valores que o guandu (Tabela 15). Como os tratamentos consorciados apresentaram superioridade no teor de Mg no solo, em relação ao guandu, esses tratamentos também culminaram em maior SB. A capacidade de troca catiônica (CTC) demonstrou maior valor para o M+C (108,73) e menor valor para o guandu (91,13), seguindo parcialmente a mesma tendência da SB (Tabela 15).

O tratamento com crotalária favoreceu maior teor de enxofre (S) no solo que os tratamentos com milho e pousio (Tabela 15). Segundo Silva et al. (2014b) há maior acúmulo de S na crotalária em relação ao milho e pousio. Com base nessa informação, a variação do teor de S no solo pode ocorrer devido ao maior ou menor acúmulo do nutriente e posterior fornecimento pela decomposição das plantas de cobertura.

Tabela 15 - Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm, aferidos por ocasião do florescimento da cultura do arroz de terras altas semeado em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al	SB	CTC	S-SO ₄ mg dm ⁻³	V %
Ano	2014/15											
Início	52,75	25,58	5,93	3,56	40,96	33,63	26,67	-	78,13	104,80	2,25	74,25
Plantas de cobertura												
Crotalária	27,00	20,67	5,63	1,67	37,33	34,33	24,67	-	73,33	98,00	4,67	73,33
Guandu	37,00	21,00	5,73	2,47	39,33	33,33	22,00	-	75,13	97,13	5,67	76,67
Milheto	29,33	22,33	5,53	2,67	33,00	28,00	25,00	-	63,67	88,67	5,67	71,33
M+C ¹	41,33	20,00	5,73	2,07	40,00	35,33	21,67	-	77,40	99,07	6,33	78,00
M+G ²	31,67	19,67	5,67	2,67	39,67	35,00	22,67	-	77,33	100,00	5,00	77,00
Pousio	32,00	20,67	5,73	2,83	42,00	36,67	23,00	-	81,50	104,50	5,33	77,67
DMS	16,72	5,66	0,48	1,69	18,83	19,84	7,45	-	39,77	33,97	3,00	15,54
Valor de F ³	2,38	0,65	0,66	1,65	0,59	0,57	0,83	-	0,56	0,57	0,91	0,73
CV	17,83	9,64	3,01	24,95	18,14	20,71	11,34	-	18,76	12,23	19,46	7,24
Média Geral	33,06	20,72	5,67	2,39	38,56	33,78	23,17	-	74,73	97,89	5,44	75,67
Ano	2015/16											
Plantas de cobertura												
Crotalária	31,33	18,00	5,53	1,73bc	39,67	28,00ab	26,67	-	69,40ab	96,07ab	3,67a	72,00
Guandu	35,33	17,33	5,30	1,80bc	35,67	23,67b	30,00	-	61,13b	91,13b	3,00ab	67,33
Milheto	31,33	18,67	5,57	1,77bc	40,33	36,33a	25,00	-	78,43ab	103,43ab	2,33b	75,67
M+C ¹	42,67	18,33	5,60	3,07ab	43,33	38,00a	24,33	-	84,40a	108,73a	3,00ab	77,67
M+G ²	40,67	19,00	5,70	3,43a	42,33	37,33a	24,00	-	83,10a	107,10ab	2,67ab	77,67
Pousio	30,67	16,33	5,47	1,57c	41,33	34,33ab	26,33	-	77,23ab	103,57ab	2,33b	74,67
DMS	15,84	4,65	0,58	1,34	9,68	11,17	10,68	-	18,64	16,91	1,03	10,80
Valor de F ³	2,62	1,06	1,32	8,67**	1,86	6,52**	1,03	-	5,45**	3,85*	5,75**	3,24
CV	15,80	9,14	3,70	21,24	8,44	11,96	14,46	-	8,69	5,87	12,89	5,13
Média Geral	35,33	17,94	5,53	2,23	40,44	32,94	26,05	-	75,62	101,67	2,83	74,17

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental. Fonte: Dados do próprio autor.

Os atributos químicos do solo se mantiveram em níveis adequados do primeiro para o segundo ano. Mesmo havendo a exportação de nutrientes pela cultura do arroz, o sistema de produção com constante deposição de material vegetal propicia maior ciclagem dos nutrientes do solo. De acordo com as tabelas de interpretação de análise de solo propostas por Raij et al. (1997), os teores de P, pH, K e S-SO₄ estão na faixa considerada de nível médio (P_{resina}: 16-40 mg dm⁻³; pH: 5,1-5,5; K: 1,6-3,0 mmol_c dm⁻³; S-SO₄: 5-10 mg dm⁻³), os teores de Ca e Mg, e o V% são considerados altos (Ca: >7; Mg: >8 mmol_c dm⁻³ e V%: 71-90).

Os atributos químicos do solo na camada de 10-20 em ambos os anos, mensurados por ocasião do florescimento do arroz, se mostraram indiferentes quanto aos tratamentos submetidos (Tabela 16). Verificou-se melhoria dos atributos químicos do solo do primeiro para o segundo ano. Isso pode ser atribuído a melhor distribuição de bases (Ca e Mg), provenientes da camada superior de solo, refletindo no aumento da SB, CTC e V%. Além disso, como após o cultivo do arroz em 2014/15 foi semeado o milho em consórcio com *Urochloa ruziziensis*, essas espécies favoreceram a distribuição de nutrientes na camada de 10-20 cm do solo pelo crescimento das raízes.

De acordo com as tabelas de interpretação de análise de solo propostas por Raij et al. (1997), os teores de P, pH, K, S-SO₄ e V% estão na faixa considerada de nível médio (P_{resina}: 16-40 mg dm⁻³; pH: 5,1-5,5; K: 1,6-3,0 mmol_c dm⁻³; S-SO₄: 5-10 mg dm⁻³; V%: 51-70) e o teores de Ca e Mg são considerados altos (Ca: >7 e Mg: >8 mmol_c dm⁻³). Fabian (2009), Nascimento (2015) e Silva et al. (2017) trabalhando com o efeito de plantas de cobertura nos atributos químicos do solo, também não verificaram alterações na maioria dos atributos.

Pelo fato de a área experimental estar no SPD há 19 anos, verificou-se níveis de fertilidade considerados adequados ao bom desenvolvimento das culturas. Esse sistema pode ser considerado um “investimento a longo prazo”, pois os maiores benefícios ocorrem ao longo do tempo, dentre eles a melhoria dos atributos químicos do solo, promovido pela adição constante de massa vegetal proveniente dos cultivos anteriores.

O solo é um sistema heterogêneo e as alterações que ocorrem são influenciadas por muitos fatores de ordem química, física, biológica e climática, que atuam em conjunto. Dessa forma, informações mais precisas relacionadas as alterações no solo, são conseguidas com análises em períodos de tempo superiores. Souza e Alves (2003), em estudo para verificar os atributos químicos do solo em diferentes áreas (área de Cerrado original; plantio direto há 8 anos; cultivo mínimo há 8 anos; área com cultivo convencional há 16 anos; área de seringueira há 16 anos e área com pastagem há 20 anos) verificaram maior nível de fertilidade de solo em área de plantio direto quando comparado a área de Cerrado original.

Tabela 16 - Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm, aferidos por ocasião do florescimento da cultura do arroz de terras altas semeado em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al	SB	CTC	S-SO ₄ mg dm ⁻³	V %
Ano	2014/15											
Início	26,42	18,00	5,11	1,53	18,00	13,37	27,46	1,29	33,20	60,66	6,08	54,25
Plantas de cobertura												
Crotalária	19,00	15,00	5,13	0,97	20,33	15,33	29,00	1,00	36,63	65,63	8,33	55,67
Guandu	16,33	15,67	5,13	1,43	18,00	15,67	29,00	1,33	35,10	64,10	6,67	54,67
Milheto	14,33	15,33	4,90	0,93	15,00	12,67	31,00	2,00	28,60	59,60	9,67	47,67
M+C ¹	16,67	15,33	5,13	1,47	18,00	14,67	28,00	0,67	34,13	62,13	6,67	54,67
M+G ²	18,00	16,00	5,10	1,43	18,00	16,00	30,00	1,00	35,43	65,43	7,00	53,67
Pousio	13,67	16,00	5,20	1,90	18,67	15,33	29,00	1,00	35,90	64,90	5,33	55,33
DMS	15,12	1,98	0,48	1,19	7,31	4,90	10,73	2,43	12,68	14,15	10,60	14,70
Valor de F ³	0,45	1,00	1,10	2,21	1,35	1,45	0,22	0,86	1,28	0,67	0,49	1,00
CV	32,65	4,49	3,34	30,97	14,31	11,57	12,89	73,40	13,03	7,84	51,33	9,67
Média Geral	16,33	15,56	5,10	1,36	18,00	14,94	29,33	1,17	34,30	63,63	7,28	53,61
Ano	2015/16											
Plantas de cobertura												
Crotalária	28,00	14,00	5,17	2,13	25,33	20,33	29,00	1,00	47,80	76,80	5,00	62,33
Guandu	29,00	14,00	5,00	1,20	23,00	18,00	33,00	1,33	42,20	75,20	6,67	55,67
Milheto	28,67	14,00	5,03	1,20	21,67	17,33	33,00	1,33	40,20	73,20	4,33	54,67
M+C ¹	30,67	15,33	5,07	1,73	22,67	18,00	32,33	1,33	42,40	74,73	5,67	57,00
M+G ²	29,00	14,67	5,13	2,07	21,00	19,00	33,33	0,67	42,07	75,40	4,67	55,67
Pousio	27,67	13,00	4,97	1,17	20,67	18,33	32,00	1,33	40,17	72,17	4,00	56,00
DMS	15,42	4,01	0,55	1,25	12,55	5,67	8,78	2,00	17,78	20,02	3,61	12,76
Valor de F ³	0,11	0,92	0,48	3,17	0,44	0,82	0,80	0,47	0,60	0,16	1,76	1,14
CV	18,86	9,98	3,81	27,84	19,77	10,81	9,64	26,11	14,76	9,46	25,19	7,91
Média Geral	28,83	14,17	5,07	1,58	22,39	18,50	32,11	1,17	42,47	74,58	5,05	56,89

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental. Fonte: Dados do próprio autor.

Na mesma região, Cavenage et al. (1999), estudando os atributos físicos dos solos de área de Pinus, pastagem, eucalipto, milho, mata ciliar e Cerrado natural, verificaram que na área de Cerrado apresentava menor densidade, maior microporosidade, maior macroporosidade e maior porosidade total. Os valores encontrados pelos autores para a camada de 0-10 cm foram: Ds - 1,19; Mi - 0,38; Ma - 0,12; Pt - 0,50. Sendo assim, esses valores podem ser considerados ideais para o tipo de solo da região.

Em 2014/15 os valores de macroporosidade na camada de 0-10 cm, aferidos no florescimento do arroz de terras altas, evidenciaram superioridade para o M+C (0,11) e M+G (0,11) em relação ao milheto (0,07) (Tabela 17). Esse resultado pode estar relacionado aos diferentes sistemas radiculares entre milheto (fasciculado) e as leguminosas (pivotante), sendo que em conjunto podem explorar maior volume de solo do que de forma exclusiva e aumentar a porosidade. De acordo com Oliveira (2014) gramíneas e leguminosas tem função complementar na melhoria dos atributos físicos do solo. Andrade, Stone e Silveira (2009), estudando várias espécies vegetais, verificaram que o tratamento com milheto apresentou menor macroporosidade que o guandu.

Tabela 17 - Atributos físicos do solo na camada de 0-10 cm, aferidos por ocasião do florescimento da cultura do arroz de terras altas semeado em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	Macro ⁴	Micro	P. Total	Ds	Macro	Micro	P. Total	Ds
		m ³ m ⁻³		Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³		Mg m ⁻³
Início	0,09	0,35	0,44	1,58	0,09	0,35	0,44	1,58
Plantas de cobertura	-----2014/15-----				-----2015/16-----			
Crotalária	0,09ab	0,33	0,42ab	1,61	0,09ab	0,33	0,42ab	1,58
Guandu	0,10ab	0,34	0,44a	1,58	0,10a	0,34	0,44a	1,56
Milheto	0,07b	0,34	0,40b	1,64	0,07ab	0,34	0,42ab	1,61
M+C ¹	0,11a	0,34	0,44a	1,62	0,09ab	0,34	0,43ab	1,58
M+G ²	0,11a	0,32	0,43ab	1,58	0,08ab	0,35	0,43ab	1,59
Pousio	0,09ab	0,33	0,42ab	1,63	0,06b	0,34	0,41b	1,63
DMS	0,03	0,03	0,03	0,15	0,03	0,02	0,02	0,10
Valor de F ³	3,12*	0,48	4,05*	0,53	2,23 [#]	0,89	3,84**	1,26
CV	22,09	6,41	4,21	6,04	28,29	4,02	3,83	4,18
Média Geral	0,09	0,33	0,42	1,61	0,08	0,34	0,42	1,59

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * e ** – significativo a 5 % e 1 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental. ⁴Macroporosidade; Microporosidade; Porosidade Total; Densidade de solo. [#] Significativo a 7,5 % de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor.

A porosidade total, na camada de 0-10 cm foi superior no tratamento guandu e M+C em comparação ao milheto (Tabela 17). De certa forma, esse resultado está de acordo com o de

macroporosidade. A microporosidade e densidade de solo em ambos os anos não apresentaram diferenças. Vários trabalhos demonstraram que as plantas de cobertura não influenciaram a física do solo (ALVES; SUZUKI, 2004; ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009; ALMEIDA *et al.*, 2008; MACHADO *et al.*, 2016).

No ano 2015/16 o destaque para maior macroporosidade e porosidade total foi para o tratamento com guandu, comparado ao pousio (Tabela 17). Segundo Wutke, Calegari e Wildner (2014) o guandu apresenta sistema radicular vigoroso, com bom desenvolvimento em profundidade, podendo romper camadas compactadas. Dessa forma, as raízes da cultura semeada na sequência (arroz) crescem preferencialmente em direção aos macroporos, aumentando a aeração do solo e possibilitando maior produtividade (COLOMBI *et al.*, 2017).

A maioria dos valores estão acima dos citados por Cavenage *et al.* (1999), no entanto, vale ressaltar que possíveis problemas de crescimento do sistema radicular das plantas podem não ocorrer devido à presença de irrigação na área.

Tabela 18 - Atributos físicos do solo na camada de 10-20 cm, aferidos por ocasião do florescimento da cultura do arroz de terras altas semeado em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	⁴ Macro	Micro	P. Total	Ds	Macro	Micro	P. Total	Ds
		m ³ m ⁻³		Mg m ⁻³		m ³ m ⁻³		Mg m ⁻³
Início	0,08	0,35	0,43	1,60	0,08	0,35	0,43	1,60
Plantas de cobertura	-----2014/15-----				-----2015/16-----			
Crotalária	0,09	0,34	0,43	1,58	0,09ab	0,35	0,44ab	1,59ab
Guandu	0,10	0,34	0,44	1,57	0,10a	0,35	0,46a	1,57b
Milheto	0,09	0,33	0,42	1,62	0,07b	0,36	0,43b	1,59ab
M+C ¹	0,10	0,34	0,44	1,59	0,09ab	0,36	0,45ab	1,57b
M+G ²	0,10	0,33	0,43	1,60	0,08ab	0,36	0,45ab	1,59ab
Pousio	0,09	0,33	0,42	1,63	0,07b	0,35	0,43b	1,62a
DMS	0,02	0,03	0,02	0,08	0,02	0,02	0,02	0,05
Valor de F ³	0,46	0,47	1,73	1,35	3,58**	2,18	4,24**	2,65*
CV	16,74	5,21	3,68	3,43	19,79	3,14	3,69	2,14
Média Geral	0,10	0,34	0,43	1,60	0,08	0,36	0,44	1,59

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * e ** – significativo a 5 % e 1 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

⁴Macroporosidade; Microporosidade; Porosidade Total; Densidade de solo.

Fonte: Dados do próprio autor.

Com relação aos atributos físicos do solo na camada de 10-20 cm (Tabela 18) em 2014/15, verificou-se que não houve efeito das plantas de cobertura. Já no ano 2015/16 a macroporosidade e a porosidade total foram superiores no tratamento guandu e inferiores nos tratamentos com milheto e pousio. Isso se deve a característica do sistema radicular do guandu,

que apresenta bom desenvolvimento em profundidade (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014). Andrade, Stone e Silveira (2009), pesquisando diversas espécies de plantas de cobertura, verificaram maior valor de macroporosidade do solo cultivado com guandu (0,18) e menor valor para o milheto (0,06), na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, os autores relatam que não houve diferença.

Segundo Cavenage *et al.* (1999), na camada de 10-20 cm os valores considerados ideais são: Ds – 1,31; Mi – 0,40; Ma – 0,09; Pt – 0,47. Assim, observa-se que os valores dos atributos físicos no experimento estão aquém dos citados acima.

4.3 SUBPROJETO 2 – SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA SOJA COM O USO DE PLANTAS DE COBERTURA

4.3.1 Massa seca em plantas de cobertura, teor de silício e relação C/N

Os valores acumulados de massa seca das plantas de cobertura (MSPC), no ano 2014/15, destacou a crotalária com 3.062 kg ha⁻¹ mais massa em relação ao pousio (Tabela 19). Em 2015/16 o milheto obteve superioridade de 2.298 e 3.130 kg ha⁻¹ de massa seca em relação a crotalária e pousio, respectivamente. Cazetta, Fornasieri Filho e Girotto (2005), Torres e Pereira (2008) e Almeida *et al.* (2008) também verificaram maior acúmulo de massa seca por plantas de milheto em detrimento a crotalária e pousio. Cazetta *et al.* (2008), no segundo ano de cultivo e Perin *et al.* (2004) verificaram que o tratamento com crotalária apresentou 4.354 kg ha⁻¹ e 4.850 kg ha⁻¹ mais massa seca em relação ao pousio. Portugal *et al.* (2017) e Gitti *et al.* (2012), trabalhando com as mesmas espécies vegetais, observaram maior massa seca de plantas no tratamento com crotalária e M+C em relação ao pousio.

Houve redução de 33 % na massa seca das plantas de crotalária do primeiro para o segundo ano. O cultivo da soja após as plantas de cobertura, em 2014/15, favoreceu o desenvolvimento de doenças radiculares na crotalária semeada no ano seguinte, principalmente por se tratar de sucessão entre leguminosas. Já para o milheto houve incremento de 20 % na massa seca do primeiro para o segundo ano, demonstrando efeito benéfico do sistema com o cultivo de soja.

Os maiores teores de silício (Si) ocorreram no pousio nos dois anos (10,39 em 2014/15 e 9,35 em 2015/16) e os menores valores ocorreram na crotalária em 2014/15 (6,79) e no milheto em 2015/16 (6,27) (Tabela 19). Provavelmente, o maior teor de Si no pousio está relacionado ao efeito concentração, que é causado pelo menor acúmulo de massa seca das

plantas (JARREL; BEVERLY, 1981). O maior teor de Si nas plantas do pousio pode favorecer maior persistência da palhada na superfície do solo. Isso ocorre porque, de acordo com Taiz et al. (2017) o Si é depositado principalmente nas paredes celulares como sílica amorfa hidratada, formando complexos com polifenóis e reforçando as paredes celulares.

Tabela 19 - Acúmulo de massa seca das plantas de cobertura (MSPC), teor de silício (Si) e relação carbono/nitrogênio (C/N) antes do cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	MSPC		Si		C/N	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----kg ha ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----		-	
Crotalária	7.771a	5.237bc	6,79b	7,44ab	23,5c	28,1b
Guandu	6.092ab	6.162abc	9,11ab	8,93ab	22,6c	25,3b
Milheto	6.276ab	7.535a	7,76ab	6,27b	32,1ab	29,8ab
M+C ¹	7.026ab	6.293abc	8,59ab	6,53ab	33,4a	28,3b
M+G ²	6.280ab	6.514ab	9,60ab	7,63ab	24,0bc	31,0ab
Pousio	4.709b	4.405c	10,39a	9,35a	35,9a	35,0a
DMS	2.520	2.037	3,12	2,92	8,48	6,63
Valor de F ³	3,49*	5,96**	4,13*	4,35*	10,16**	5,11**
CV	17,24	14,71	12,66	13,41	12,92	9,75
Média Geral	6.359	6.024	8,70	7,69	28,57	29,58

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental

Fonte: Dados do próprio autor.

A relação C/N das espécies vegetais semeadas na pré-safra de verão em 2014/15, notadamente, destacam as leguminosas exclusivas (crotalária: 23,5 e guandu: 22,6) com valores menores em relação ao milheto (32,1), M+C (33,4) e pousio (35,9) (Tabela 19). No ano 2015/16 as leguminosas exclusivas (crotalária: 28,1 e guandu: 25,3) e o M+C (28,3) apresentaram relação C/N mais estreita que o pousio (35,0). Esse resultado reflete a característica principal das leguminosas (C₃), que é a relação C/N mais estreita que espécies vegetais de outras famílias. A enzima Rubisco corresponde a 50 % da proteína foliar solúvel em plantas C₃, representando maior necessidade em adquirir nitrogênio (LEEGOOD, 1996; VIEIRA *et al.*, 2010; MAJEROWICZ, 2004), fazendo com que diminua a relação C/N da palhada culturais (PORTUGAL, 2015). De acordo com Portugal *et al.* (2017) plantas com maior relação C/N demoram mais tempo para a decomposição da palhada e liberação dos nutrientes para a cultura subsequente.

4.3.2 Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas plantas de cobertura

De acordo com os valores acumulados de N pelas plantas de cobertura antes do cultivo da soja, em 2014/15, percebe-se que a crotalária foi superior em 69 e 178 % em relação ao milho e pousio, respectivamente (Tabela 20).

Tabela 20 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em plantas de cobertura antes do cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	N		P		K	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Crotalária	139a	81ab	16,6ab	11,0b	119ab	52b
Guandu	111ab	107a	16,7ab	12,0b	92ab	74b
Milho	82bc	123a	16,2ab	17,7a	131ab	131a
M+C ¹	92abc	106a	15,0ab	15,2ab	135ab	97ab
M+G ²	111ab	100ab	20,2a	18,1a	150a	143a
Pousio	50c	58b	9,7b	10,5b	60b	57b
DMS	47	45	8,74	5,60	88,27	47,61
Valor de F ³	8,52**	5,53**	3,23*	7,64**	2,92*	13,63**
CV	21,2	20,38	24,22	17,28	33,55	22,45
Média Geral	97	96	15,7	14,1	116	92

¹milho + crotalária. ²milho + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental

Fonte: Dados do próprio autor.

No ano 2015/16 os tratamentos com guandu, milho e M+C apresentaram, na média, 93 % mais N acumulado em relação ao pousio. A crotalária é uma espécie vegetal da família das leguminosas, a qual realiza a fixação biológica do N atmosférico e incorpora no seu tecido vegetal. Além disso, essa espécie apresenta crescimento rápido, demonstrando excelente acúmulo de massa seca e de N em apenas 59 dias entre a semeadura e sua dessecação. Essa é uma importante informação para a agricultura no Cerrado. Segundo Wutke, Calegari e Wildner (2014) a crotalária apresenta potencial de produção entre 4 e 15 t ha⁻¹ de massa seca e capacidade de fixação de N entre 150 e 165 kg ha⁻¹. Jesus *et al.* (2007) relataram que a crotalária acumulou 209 % mais N que o pousio. Silva *et al.* (2006), estudando plantas de cobertura em Selvíria, verificaram que, na média de dois anos, o N acumulado na crotalária foi 171 e 478% mais sobre o milho e pousio, respectivamente. Portugal *et al.* (2017) estudando as mesmas plantas de cobertura, verificaram acúmulo de N no M+C na ordem de 55 % (110 kg ha⁻¹) em relação ao pousio (71 kg ha⁻¹), no segundo ano de estudo.

De 2014/15 para 2015/16 houve redução de 72 % no N acumulado pelas plantas de crotalária e acréscimo de 50 % pelas plantas de milho. Essas diferenças estão relacionadas com a diminuição da massa seca da crotalária, em função das doenças de sistema radicular favorecidas pelo cultivo em sucessão de leguminosas (crotalária-soja-crotalária) e o aumento da massa seca do milho, beneficiada pela sucessão com leguminosa (milho-soja-milho).

Em relação ao P e K acumulados nas plantas de cobertura, em 2014/15, nota-se que ambos os nutrientes apresentaram maiores valores no tratamento com M+G sobre o pousio (Tabela 20). No ano seguinte o milho e o M+G se sobressaíram comparados à crotalária, guandu e pousio. Segundo Amado et al. (2014) a consorciação de plantas de cobertura (principalmente gramínea com leguminosa) aumenta a diversidade de culturas, melhora o aproveitamento dos recursos naturais, cobertura do solo mais rápida e melhor ciclagem de nutrientes. Silva *et al.* (2014b) também constataram maior acúmulo de P e K no M+G sobre o pousio, em dois anos de cultivo e nas mesmas condições do presente experimento. Os resultados discordam de Portugal (2015) que, trabalhando com as mesmas espécies vegetais, verificou maior acúmulo de P na palhada de crotalária em relação ao guandu, no primeiro ano agrícola. Quanto ao K, o autor relatou maior quantidade acumulada em palhada de M+C sobre o guandu, nos dois anos de estudo. Gitti *et al.* (2012) demonstraram que o tratamento M+G apresentou acúmulo de P e K semelhantes aos outros tratamentos.

Verificou-se decréscimo de 129 % no K acumulado pelas plantas de crotalária do primeiro para o segundo ano, de maneira semelhante ao ocorrido com o N.

No ano 2014/15 houve acúmulo de 68,1 kg ha⁻¹ de Ca pelas plantas de crotalária, 62,6 kg ha⁻¹ pelas plantas de M+G e 27,5 kg ha⁻¹ pelo pousio (Tabela 21). A crotalária e M+G propiciaram acúmulo médio de 138 % superior ao pousio. No segundo ano o destaque em termos de maior acúmulo de Ca foi para os tratamentos com guandu, milho e M+C, em relação ao pousio. A partir da decomposição da palhada e liberação dos nutrientes, segundo Soratto et al. (2012) esses poderiam atender às necessidades da cultura sucessora. A exportação de Ca pela cultura da soja é aproximadamente 3,0 kg t⁻¹ de grãos, 25 % do total extraído (SFREDO, 2008). Assim, para uma produtividade média de 4.500 kg ha⁻¹, haveria uma exportação média de 14 kg de Ca. Visto isso, os tratamentos citados acima, com maior potencial em acumular Ca, podem fornecer o nutriente para esse fim e deixar um saldo positivo no solo. Os tratamentos com o saldo positivo de Ca favorecem a desaceleração do processo de acidificação do solo, enquanto que no pousio, ocorre o inverso.

Em relação ao acúmulo de Mg, em 2014/15 houve destaque para o tratamento com crotalária, milho e M+G, em detrimento ao pousio (Tabela 21). No segundo ano o milho foi

superior no acúmulo de Mg em relação a crotalária e pousio. A redução no acúmulo de Mg pela crotalária, do primeiro para o segundo ano se deve a redução da massa seca. A exportação de Mg pela soja é de aproximadamente 30 % do total extraído, equivalendo a 2,0 kg t⁻¹ de grãos (SFREDO, 2008). Dessa forma, independente da produtividade da soja em sucessão, as plantas de cobertura que apresentam maior potencial em acumular Mg e, posteriormente, disponibilizá-los à cultura, favorecem o saldo positivo desse nutriente no solo. Soratto *et al.* (2012) verificaram acúmulo de 47 kg ha⁻¹ de Mg no tratamento com milho, 20 47 kg ha⁻¹ com a crotalária e 22 47 kg ha⁻¹ com o M+C.

Tabela 21 - Acúmulo de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas plantas de cobertura, antes do cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	Ca		Mg		S	
	-----kg ha ⁻¹ -----					
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
Crotalária	68,1a	37,3ab	34,1a	17,7bc	21,1	19,1
Guandu	55,1ab	41,2a	21,5ab	20,7abc	25,3	20,5
Milheto	38,9ab	43,5a	29,3a	33,8a	19,7	16,4
M+C ¹	43,4ab	41,1a	24,1ab	27,7ab	23,0	18,2
M+G ²	62,6a	37,0ab	31,7a	22,3abc	26,6	17,3
Pousio	27,5b	19,6b	14,5b	11,2c	21,1	14,7
DMS	33,9	18,1	14,7	13,2	14,2	10,1
Valor de F ³	4,34**	4,84**	5,15**	7,50**	0,76	0,86
CV	29,96	21,55	24,80	25,76	27,10	24,94
Média Geral	49,3	36,62	25,87	22,24	22,8	17,7

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

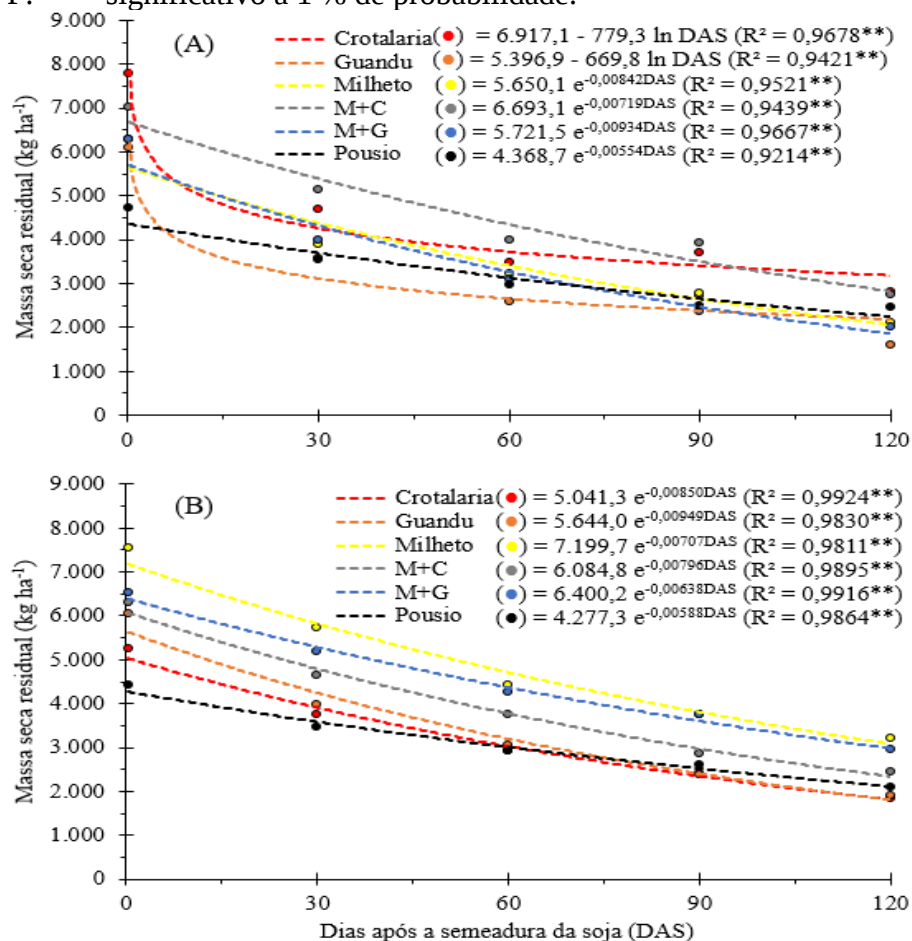
Fonte: Dados do próprio autor.

Não houve diferença no acúmulo de S pelas plantas de cobertura (Tabela 21). Rodrigues *et al.* (2012), estudando diversas espécies de plantas de cobertura no cerrado, verificaram maior acúmulo de S na crotalária, milho, M+G e M+C, e menor acúmulo no guandu e pousio. Os autores relataram valores semelhantes aos do presente estudo. O S, assim como o N formam ânions solúveis que podem ser perdidos por lixiviação (TROEH; THOMPSON, 2007). Para melhorar a eficiência da utilização o S contido em plantas de cobertura, deve-se conhecer a sincronia entre a liberação do nutriente e a fase de maior demanda pela cultura em sucessão (SCIVITTARO; MURAOKA; BOARETTO, 2002). Por isso, se faz necessário o conhecimento sobre como ocorre a liberação dos nutrientes pelas espécies de plantas de cobertura.

4.3.3 Decomposição da massa seca das plantas de cobertura e liberação de nutrientes

Observando a decomposição da palhada das plantas de cobertura, semeadas antes da soja nos dois anos, verificou-se que no primeiro ano a palhada de crotalária e de guandu seguiram modelo logarítmico (Figura 10A). Essa informação está coerente com os valores de relação C/N (Tabela 19). Os demais tratamentos apresentaram degradação compatível com o modelo exponencial, com decréscimo da massa gradual. De acordo com as equações contidas no gráfico, pode-se inferir que a ordem de maior para menor decomposição da palhada foi a seguinte: crotalária>guandu>M+G>milheto>M+C>pousio. Esse resultado está de acordo com os dados de relação C/N da palhada. Segundo Aita, Giacomini e Ceretta (2014) palhada com elevada relação C/N são decompostos mais lentamente do que aqueles com baixa relação C/N. Acosta et al. (2014), trabalhando com a decomposição de plantas de cobertura, concluíram que o processo de decomposição foi regulado pela relação C/N da palhada.

Figura 10 - Massa seca residual de plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.

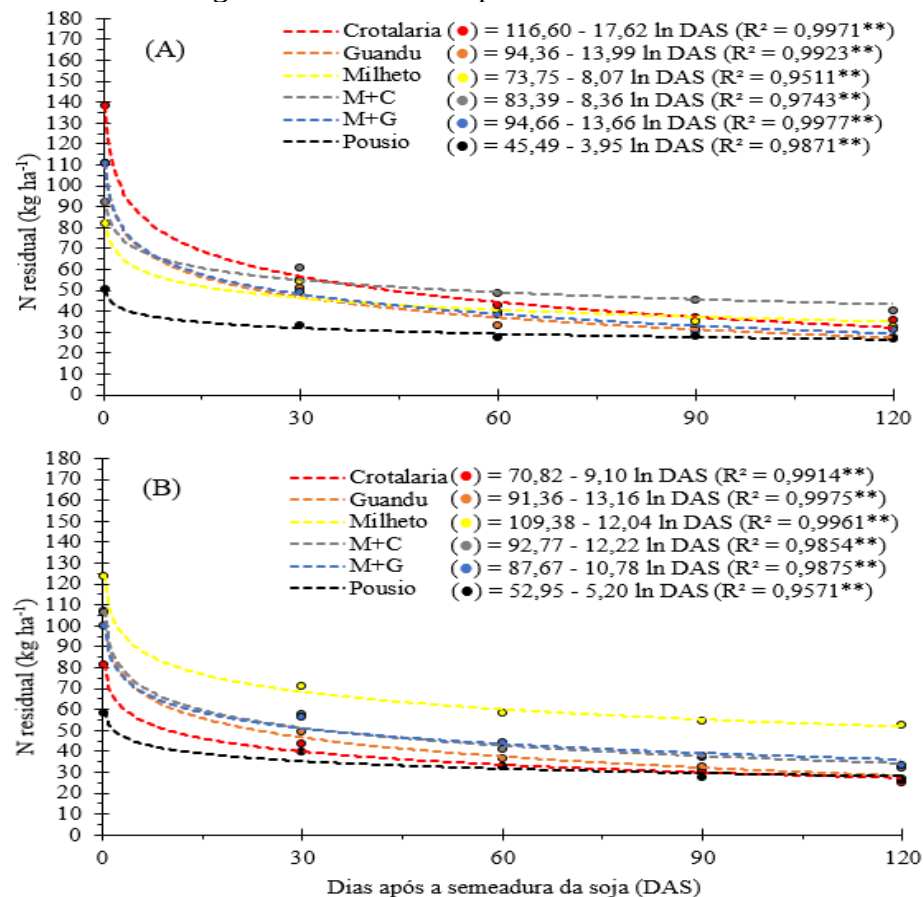


Fonte: Dados do próprio autor.

No segundo ano (Figura 10B) os tratamentos apresentaram decomposição da palhada de forma exponencial. De acordo com as equações, a ordem de maior decomposição para a menor foi: guandu>crotalaria>M+C>milheto>M+G>pousio. Verificou-se que essa ordem segue a relação C/N da palhada (Tabela 19). Esse conhecimento é relevante na escolha da espécie vegetal a constituir o sistema de produção, principalmente no Cerrado de baixa altitude, onde há dificuldade na manutenção da cobertura do solo devido a rápida decomposição da palhada.

A liberação de N, P e K das espécies de plantas de cobertura semeadas anteriormente a cultura da soja, ocorreram seguindo modelo logarítmico, com maior liberação até os 30 DAS da soja, em ambos os anos (Figura 11, 12 e 13). Constatou-se que a relação C/N das espécies vegetais comandou a liberação dos nutrientes para o solo. Observa-se que, de forma geral, ocorreu liberação de aproximadamente 50 % do N (Figura 11A e 11B), 50 % do P (Figura 12A e 12B) e 85 % do K (Figura 13A e 13B), até o período citado, e a maior liberação de K pelas plantas de cobertura ocorrem quanto maior a quantidade acumulada.

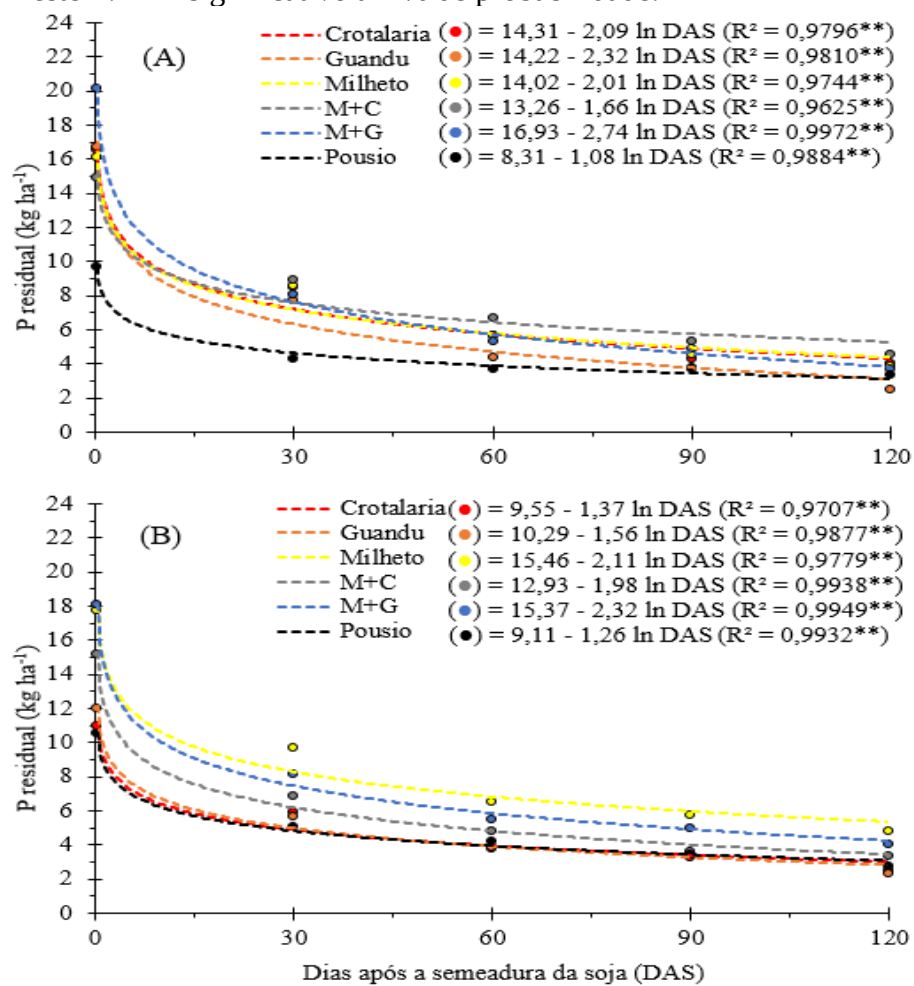
Figura 11 - Nitrogênio residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Torres, Pereira e Fabian (2008), pesquisando a produção de massa seca de e mineralização de nutrientes em plantas de milheto, sorgo, crotalária, aveia, guandu, braquiária e pousio, concluíram que a maior taxa de liberação de nutrientes ocorre aos 42 dias após a dessecação. Teixeira *et al.* (2012), trabalhando com duas cultivares de milheto, um híbrido de sorgo e pousio, observaram que aproximadamente 30 dias após o corte houve maior liberação de N e P e, para o K ocorreu antes dos 20 dias.

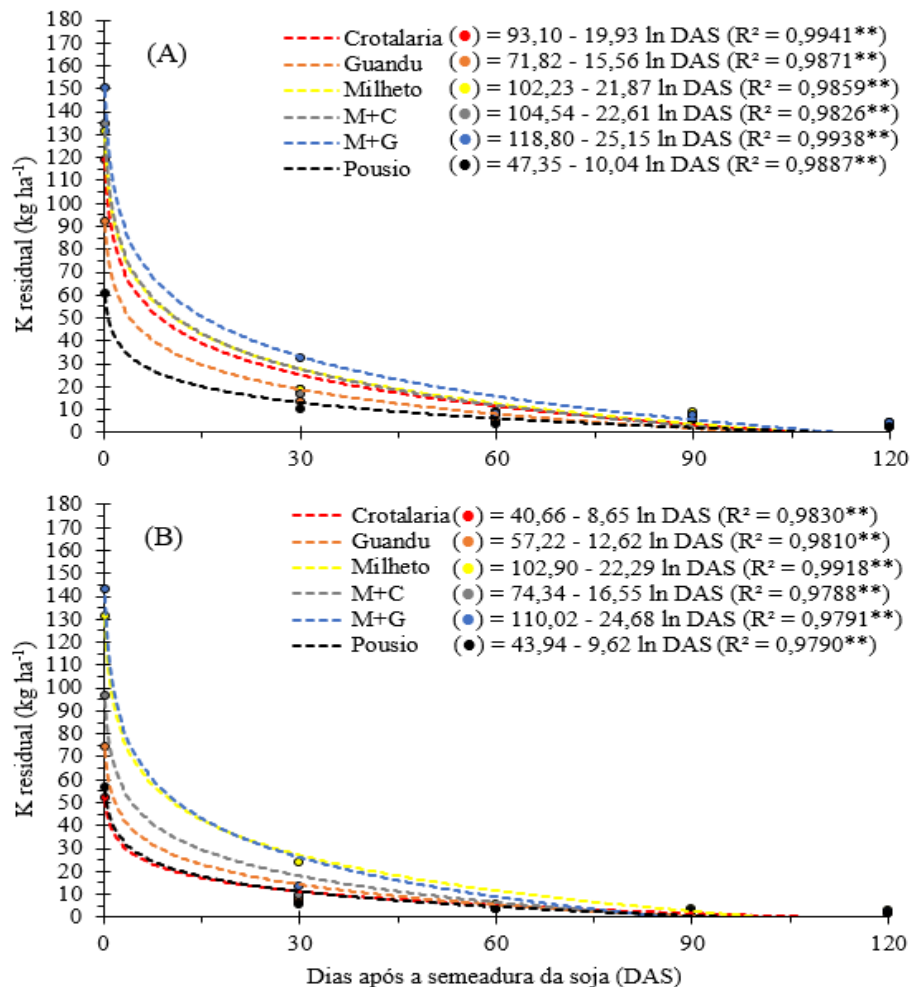
Figura 12 - Fósforo residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Aos 30 DAS da soja, a mesma estava na fase fenológica próxima do florescimento (R_2), dessa forma, a maior liberação de nutrientes nesse momento é compatível com a fase em que a planta começa a maior exigência por nutrientes. De acordo com Ritchie *et al.* (1985) em R_2 ocorre o início de um rápido e constante acúmulo diário de massa seca e de nutrientes pela planta, que continuará até logo após o estágio R_6 (grãos cheios).

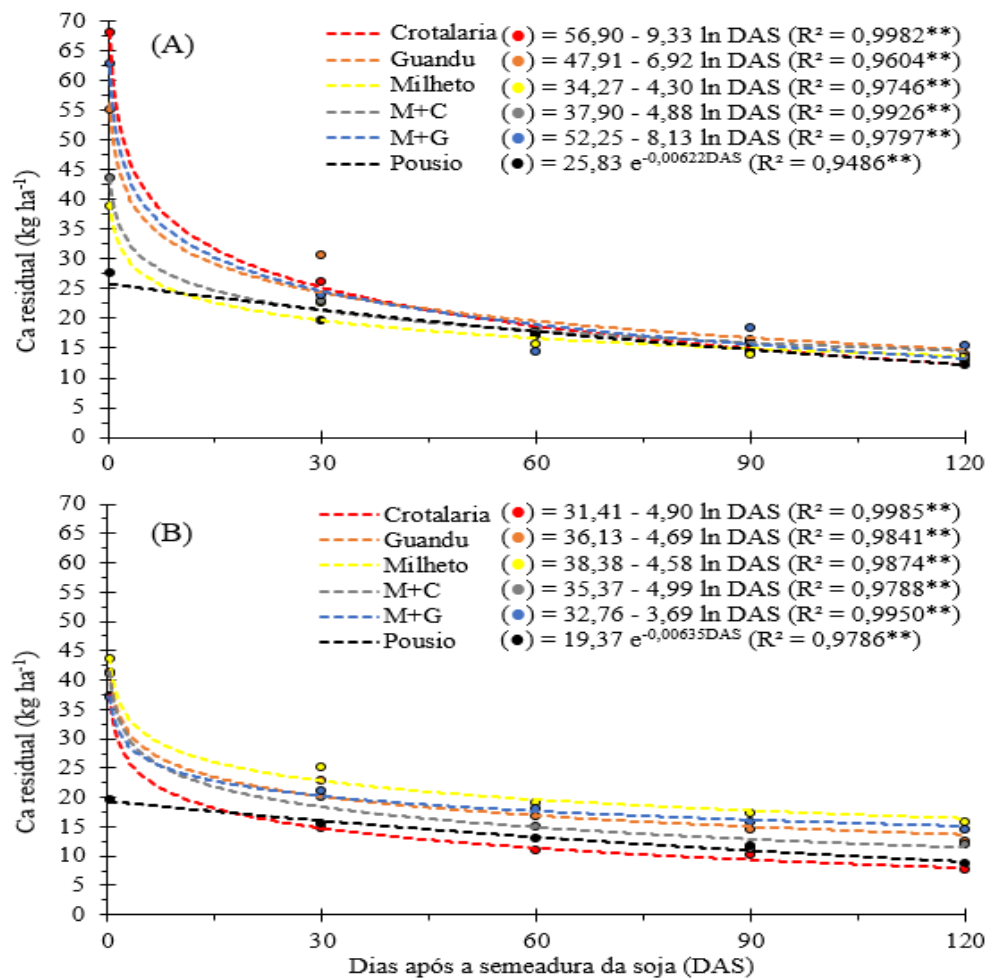
Figura 13 - Potássio residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Nos dois anos de cultivo, a liberação do Ca e Mg seguiram o mesmo padrão, indicando que as plantas de cobertura liberaram esses nutrientes de maneira mais rápida até os 30 DAS da soja, de forma que os dados se ajustaram a uma equação logarítmica (Figuras 14A, 14B, 15A e 15B). Por outro lado, a palhada do pousio liberou o Ca e o Mg de forma gradual cujos dados ajustaram a uma equação exponencial. Esses resultados estão relacionados as quantidades de Ca e Mg acumulados pelas plantas de cobertura, que foram, na média dos dois anos, 99 % superiores em relação ao pousio. Aliado ao fato de que as plantas de cobertura apresentaram menor relação C/N, que resulta em maior rapidez na decomposição da massa seca residual.

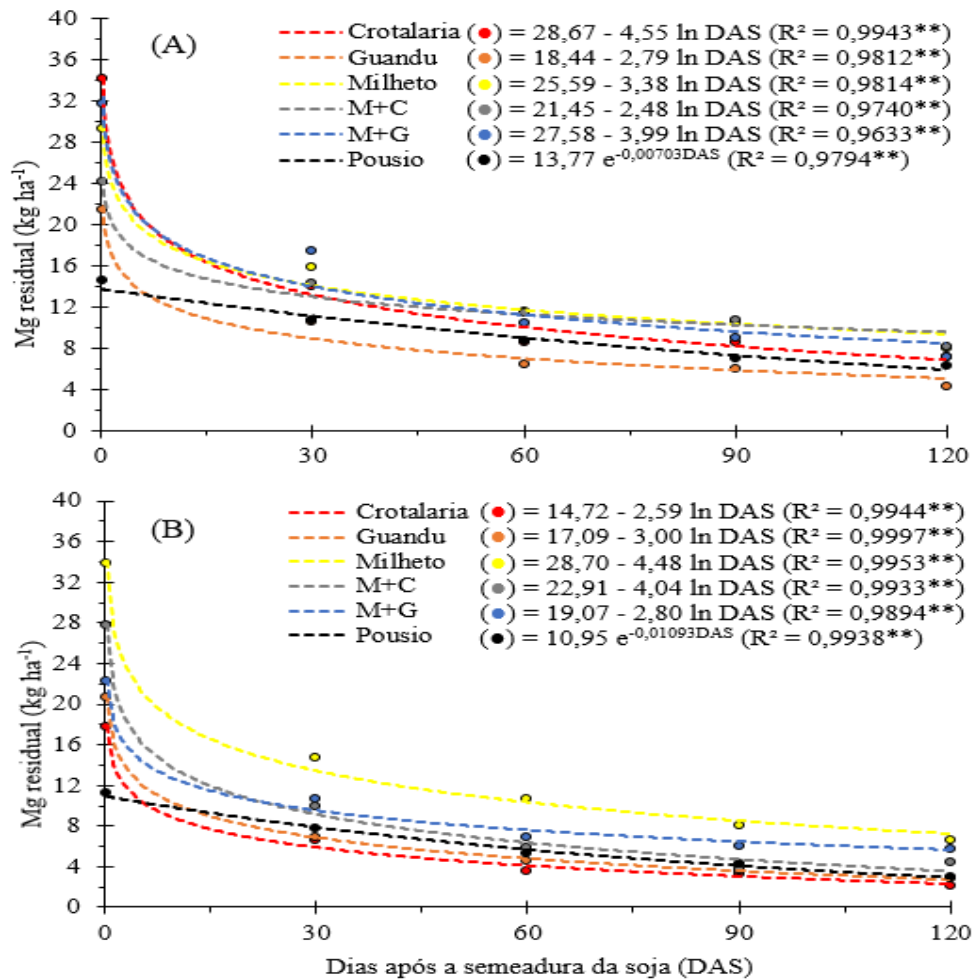
Figura 14 – Cálcio residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 (A) e 2015/16 (B). Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Além disso, o Ca e o Mg fazem parte da constituição da planta, de acordo com Taiz *et al.* (2017) o cálcio é constituinte da parede celular e o magnésio é constituinte da molécula de clorofila, e dessa forma, a medida que a planta se decompõe os mesmos vão sendo liberados. Portanto, destaca-se que dentre as práticas para a utilização eficiente de Ca e Mg é a adoção de plantas recicladoras (BENITES *et al.*, 2010).

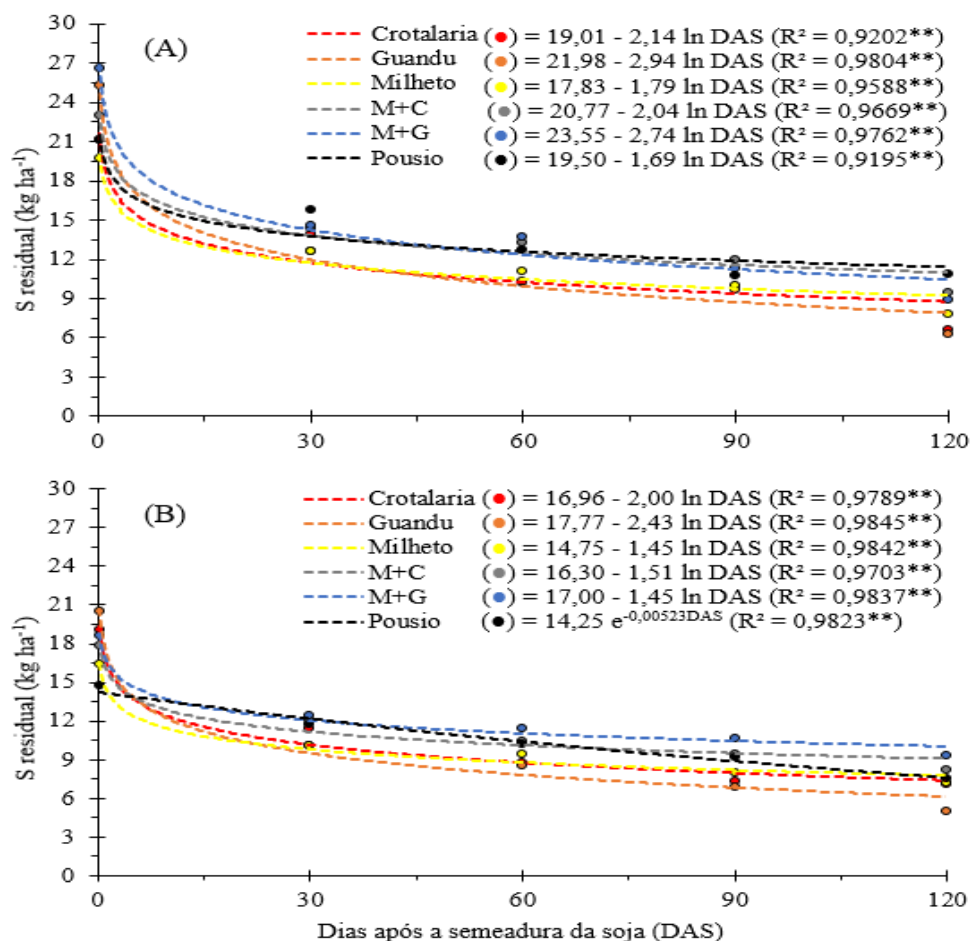
Figura 15 – Magnésio residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 (A) e 2015/16 (B). Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

A liberação do S pelas plantas de cobertura semeadas antes do cultivo da soja, ocorreu seguindo um modelo logarítmico para todos os tratamentos no primeiro ano de cultivo, cuja taxa de liberação seguiu a ordem: guandu>M+G>crotalária>M+C>milheto>pousio (Figura 16A). No segundo ano, a liberação do S das plantas de cobertura se ajustou a equação logarítmica e no pousio ajuste foi exponencial, sendo que a taxa de decomposição ocorreu na seguinte ordem: guandu>crotalária>M+C>M+G>milheto>pousio (Figura 16B). Pode-se ressaltar que a taxa de liberação foi maior para as espécies de leguminosas em relação à gramínea e o pousio, e que pelo enxofre ser um constituinte de aminoácidos e várias coenzimas e vitaminas (TAIZ *et al.*, 2017), ou seja, está ligado a várias estruturas dentro da planta, ele é liberado à medida que a planta vai sendo decomposta e portanto, plantas leguminosas por apresentarem menor relação C/N acabam tendo maior taxa de liberação.

Figura 16 – Enxofre residual contido em plantas de cobertura remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo da soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 (A) e 2015/16 (B). Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

4.3.4 Teor de N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de soja, no florescimento

Os teores foliares de N, P e K estão na Tabela 22. Verificou-se que as plantas de cobertura propiciaram diferenças para o teor de N no primeiro ano, cuja crotalária proporcionou maior teor do que o pousio, o que se explica por essa espécie ser fixadora de N.

De acordo com Ambrosano *et al.* (1997), a faixa adequada de N, P e K para a cultura da soja é 40-54; 2,5-5,0 e 17-25 g kg⁻¹, respectivamente. Nota-se que de maneira geral, os teores estiveram dentro da faixa adequada, proporcionando uma nutrição adequada para a cultura. Vale ressaltar que em 2015/16 o teor de N foliar médio foi de 38,38 g kg⁻¹, sendo inferior ao considerado adequado. Isso pode ser atribuído ao maior crescimento da planta nesse ano, ocasionando o efeito diluição, pois de acordo com Jarrel e Beverly (1981), o teor de nutrientes é diluído em função do maior crescimento da planta, fato que pode ser observado na Tabela 31, uma vez que a massa seca da palhada de soja foi 1.198 kg ha⁻¹ superior ao ano anterior.

Tabela 22 - Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	N		P		K	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----g kg ⁻¹ -----					
Crotalária	47,29 a	39,32	4,62	4,10	24,36	24,73
Guandu	45,73 ab	37,64	4,69	3,85	23,57	23,56
Milheto	42,72 ab	38,78	4,78	4,04	23,70	22,96
M+C ¹	46,51 ab	38,24	4,96	3,95	23,77	24,07
M+G ²	42,81 ab	39,18	4,58	4,17	23,02	23,98
Pousio	41,83 b	37,12	4,68	4,04	23,36	24,29
DMS	5,06	4,91	0,46	0,82	1,98	4,32
Valor de F ³	5,00*	0,77	2,12	0,44	1,23	0,48
CV	4,01	4,51	3,44	7,21	2,96	6,37
Média Geral	44,48	38,38	4,72	4,03	23,63	23,93

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Os teores foliares de Ca, Mg e S, contidos na soja estão na Tabela 23. As faixas consideradas adequadas para Ca, Mg e S são de 4-20; 3-10; 2,1-4,0 g kg⁻¹, respectivamente (AMBROSANO *et al.*, 1997) e, portanto, os tratamentos resultaram em apropriada nutrição.

Tabela 23 - Teores foliares de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----g kg ⁻¹ -----					
Crotalária	10,23	7,72c	5,59	4,69	2,48	2,68
Guandu	10,91	9,35a	5,82	4,88	2,65	2,67
Milheto	10,03	8,10bc	5,43	4,46	2,69	2,65
M+C ¹	10,66	8,83ab	5,79	4,83	3,19	2,69
M+G ²	10,80	8,44abc	5,68	4,53	2,73	2,66
Pousio	10,34	8,24abc	5,35	4,57	3,05	2,27
DMS	1,44	1,15	0,67	1,02	1,05	0,95
Valor de F ³	1,38	6,30**	1,94	0,67	1,54	0,72
CV	4,84	4,81	4,24	7,70	13,24	12,87
Média Geral	10,50	8,46	5,61	4,66	2,80	2,60

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Em 2015/16, o teor foliar de Ca foi influenciado pelas plantas de cobertura semeadas anteriormente a soja, em que o guandu resultou em maior teor em relação à crotalária e o milheto (Tabela 23). O guandu proporcionar maior teor de Ca foliar na soja em comparação ao

milheto pode estar associado a maior porosidade total do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Tabelas 29 e 30) e menor densidade do solo na camada de 0-10 cm (Tabela 29), pois pode ter favorecido maior exploração do solo pelo sistema radicular da soja e consequentemente maior absorção de cálcio.

4.3.5 Componentes de produção e produtividade da soja

Os dados referentes a população inicial (PI), população final de plantas (PFP), altura de plantas (AP) e de inserção da primeira vagem (AIV), demonstraram ausência de diferenças em função das plantas de cobertura (Tabela 24).

Tabela 24 - População inicial (PI) e final (PF) de plantas, altura de plantas (AP) e de inserção de vagem (AIV) de soja semeada em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	PI		PF		AP		AIV	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----plantas ha ⁻¹ -----				-----cm-----			
Crotalária	363.889	308.333	340.740	270.834	90,5	108,0	15,2	13,8
Guandu	364.814	301.852	316.666	275.695	88,4	103,5	15,5	15,2
Milheto	397.222	304.629	360.185	277.778	80,0	102,5	14,9	15,8
M+C ¹	388.888	293.519	351.851	277.084	88,7	107,9	14,6	16,0
M+G ²	381.481	317.592	348.148	281.250	91,7	105,7	16,4	15,5
Pousio	374.383	310.185	354.629	284.722	87,8	108,5	15,6	13,2
DMS	52.896	50.734	85.388	55.889	22,9	12,3	3,98	3,75
Valor de F ³	1,34	0,54	0,70	0,15	0,10	0,90	0,54	1,95
CV	6,08	7,21	10,76	8,75	11,18	5,05	11,30	10,97
Média Geral	378.446	306.018	345.370	277.894	89,2	106	15,3	14,9

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental

Fonte: Dados do próprio autor.

Para 2014/15 verificou-se que a PFP, embora não seja influenciada pelas plantas de cobertura, apresentou valores próximos ao recomendado para essa cultivar (350 mil). Mesmo que no ano seguinte a população de plantas tenha sido inferior a recomendada, não se observa redução na produtividade de grãos. Costa (2013) estudando população de plantas com 150, 250, 350 e 450 mil plantas ha⁻¹, verificaram produtividade de grãos de soja (BMX Potência) semelhantes entre 250, 350 e 450 mil plantas.

A altura de plantas (AP) (Tabela 24), número de vagens por planta e a massa de mil grãos (M1000) de soja (Tabela 25) apresentaram valores semelhantes aos descritos por Parente et al. (2015), nas mesmas condições do presente estudo. Mesmo não havendo alteração na

produtividade de grãos (PG) de soja (Tabela 25), percebe-se que os tratamentos propiciaram produtividade média de 4.418 kg ha⁻¹, enquanto que a produtividade média brasileira, na safra 2015/16 foi de 2.870 kg e do Mato Grosso do Sul foi de 2.980 kg (CONAB, 2016), ou seja, a produtividade do experimento foi 54 e 48 % superior a brasileira e a Sul-mato-grossense, respectivamente.

Tabela 25 - Número de vagens por planta (NVP), massa de mil grãos (M1000) e produtividade de grãos (PG) de soja semeada em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	NVP		MMG		PG		MÉDIA
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	
	-----nº-----		-----g-----		-----kg ha ⁻¹ -----		
Crotalária	45,6	63,3	158,8	167,3	4.284	4.253	4.269
Guandu	45,3	59,7	157,1	156,6	4.075	4.697	4.386
Milheto	46,8	48,4	171,1	162,6	4.670	4.334	4.502
M+C ¹	42,7	57,8	158,5	162,5	4.166	4.560	4.363
M+G ²	40,1	60,6	166,6	157,7	4.256	4.667	4.462
Pousio	45,6	59,0	167,3	160,6	4.583	4.468	4.526
DMS	23,6	27,6	24,4	12,4	949	676	654
Valor de F ³	0,23	0,73	1,22	2,07	1,31	1,47	0,46
CV	23,22	20,65	6,49	3,33	9,51	6,55	6,44
Média Geral	44,3	58,1	163,3	161,2	4.339	4.496	4.418

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental

Fonte: Dados do próprio autor.

Barbosa *et al.* (2011), trabalhando com soja em sucessão plantas de cobertura (sorgo, milheto, braquiária, crotalária e pousio), em Selvíria-MS, também não detectaram diferenças para população final de plantas, altura de plantas e de inserção de vagem, número de vagens por planta e massa de mil grãos. Borges *et al.* (2015), estudando gramíneas como plantas de cobertura em Selvíria-MS, não observaram diferenças na altura de plantas, população final, número de vagens, massa de cem grãos e produtividade de grãos de soja. Pacheco *et al.* (2011) e Pacheco *et al.* (2013) não verificaram alteração na produtividade de grãos de soja com o uso de plantas de cobertura em SPD ou em sistema convencional. Pacheco *et al.* (2011) relatam que o experimento foi realizado em área de SPD recentemente instalado, e que por isso seriam fundamentais os estudos em áreas de SPD com vários anos de adoção. Assim, pelos dados do experimento, verificou-se que o uso de plantas de cobertura e o cultivo da soja na sucessão em áreas com SPD há 20 anos também não influenciam a produtividade da cultura.

4.3.6 Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pela soja

Informações sobre exportação de nutrientes pelas culturas fornecem indicação de adubação e varia de acordo com fatores genéticos, clima, fertilidade do solo, manejo cultural (OLIVEIRA et al., s.d.) e consequentemente podem variar de acordo com a plantas de cobertura cultivadas anteriormente a cultura principal. Pode-se observar que dentre os macronutrientes, apenas o potássio no segundo ano e o magnésio no primeiro ano de cultivo foram influenciados pelas plantas de cobertura quanto a exportação total (Tabela 26). A maior exportação de K, em 2015/16, ocorreu no tratamento M+G em relação ao milho e ao pousio (Tabela 26). A diferença entre o M+G e o pousio está relacionada ao maior acúmulo de K na palhada do M+G aliada a maior taxa de liberação (Figura 13B) que proporcionou acréscimo de 20 % no teor de K nos grãos (Tabela 26) e 4 % na produtividade de grãos de soja (Tabela 25). Enquanto que a diferença entre o M+G e o milho pode ser resultante do acréscimo da liberação de 11 kg ha⁻¹ da palhada do M+G em relação a palhada do milho, aos 104 DAE (Figura 13B). Este período corresponde ao ponto de máximo acúmulo de macronutrientes na cultura da soja (ZABIOLE *et al.*, 2012), que consequentemente está coerente com o aumento de aproximadamente 10,5 kg ha⁻¹ de exportação total por hectare (Tabela 26).

Para o Mg, em 2014/15, o milho promoveu maior exportação total pela soja, em comparação ao guandu (Tabela 26). Isso pode ter ocorrido devido ao acúmulo 36 % superior de Mg na palhada do milho, antes do cultivo da soja, da maior taxa de liberação (Figura 15A) e, também devido ao acréscimo de 14,6 % na produtividade de grãos (Tabela 25). Assim, resultou na maior exportação por hectare do Mg, uma vez que o teor nos grãos não foi diferente (Tabela 26).

A ordem decrescente de exportação total por hectare foi N>K>P>Ca>S>Mg, cujas quantidades médias exportadas dos dois anos em kg ha⁻¹ foram 243>51,9>26,6>25>12,7>8,3, respectivamente (Tabela 26). De forma geral, a exportação total de macronutrientes estão bem próximas dos valores contidos no trabalho de Bender, Haegele e Below (2015), cuja ordem decrescente de exportação foi N>K>P>S>Ca>Mg e as quantidades foram de 201>64>17>11>10>9, respectivamente.

A exportação de N por tonelada de grãos de soja em 2014/15 foi maior para a crotalaria em relação aos demais tratamentos (Tabela 26). A explicação pode estar relacionada com o maior acúmulo de N pela palhada de crotalaria (Tabela 20), maior taxa de liberação (Figura 11A) e melhor nutrição da planta por N refletida pelo maior teor na folha (Tabela 22).

Em 2015/16, verificou-se que a crotalaria favoreceu maior exportação de Ca, para cada tonelada de grãos de soja, em comparação ao M+G e ao pousio (Tabela 26). Esse resultado pode ser devido a maior taxa de liberação de Ca da palhada da crotalaria, cuja quantidade

liberada até os 104 DAE, foi de aproximadamente 22,8 kg ha⁻¹, enquanto que para o M+G e o pousio foi de 17,1 e 9,4 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 26 - Exportação de macronutrientes em kg ha⁻¹ e em kg t⁻¹ de grãos de soja, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Plantas de cobertura	N		P		K		Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----Exportação total (kg ha ⁻¹)-----											
Crotalária	243,16	250,15	24,93	27,24	53,00	55,25ab	23,70	24,48	8,38ab	9,37	12,65	12,64
Guandu	200,10	276,88	22,15	30,22	45,42	55,20ab	23,48	26,10	6,70b	9,17	11,26	13,92
Milheto	234,97	260,50	26,24	27,55	57,22	48,18bc	26,51	23,51	8,95a	8,30	12,16	12,50
M+C ¹	209,71	269,98	23,88	29,07	44,89	50,93abc	24,72	25,98	7,17ab	8,57	11,91	13,97
M+G ²	211,36	273,85	24,80	29,84	54,72	58,73a	25,57	24,88	8,09ab	8,92	12,21	14,48
Pousio	225,80	260,06	25,99	27,21	53,10	46,73c	27,05	23,76	8,30ab	8,15	12,04	12,26
DMS	44,92	37,77	5,83	3,77	16,16	8,43	6,21	3,10	2,09	1,29	2,82	2,42
Valor de F ³	2,86	1,51	1,40	2,73	2,08	6,42**	1,17	2,62	3,36*	3,04	0,55	3,16
CV	8,85	6,20	10,30	5,76	13,68	6,99	10,75	5,43	11,48	6,40	10,20	7,93
Média Geral	220,85	265,24	24,67	28,52	51,39	52,50	25,17	24,79	7,93	8,75	12,04	13,29
Plantas de cobertura	-----Exportação (kg t ⁻¹ de grãos)-----											
Crotalária	56,04a	58,87	5,84	6,41	12,59	13,07	5,50	5,76a	2,03a	2,21a	2,88	2,98
Guandu	49,06b	58,97	5,44	6,44	11,16	11,79	5,76	5,57ab	1,65b	1,96b	2,76	2,97
Milheto	48,91b	60,18	5,53	6,36	12,60	11,29	5,62	5,43ab	1,91ab	1,93b	2,55	2,92
M+C ¹	50,39b	59,18	5,73	6,37	10,76	11,19	5,92	5,71ab	1,72b	1,88b	2,86	3,06
M+G ²	49,72b	58,67	5,72	6,39	12,55	12,58	5,90	5,33b	1,87ab	1,92b	2,69	3,11
Pousio	49,47b	58,18	5,68	6,09	11,58	10,48	5,92	5,32b	1,82ab	1,82b	2,64	2,75
DMS	3,66	2,09	0,64	0,41	2,57	3,12	0,53	0,41	0,27	0,22	0,55	0,60
Valor de F ³	11,61**	2,15	1,10	1,97	2,13	1,98	2,36	4,38**	5,30**	7,96**	1,15	0,94
CV	3,15	1,54	4,94	2,82	9,41	11,58	4,04	3,25	6,44	4,88	8,75	8,76
Média Geral	50,60	59,01	5,66	6,34	11,87	11,73	5,77	5,52	1,83	1,95	2,73	2,96

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

A crotalária proporcionou a maior exportação de Mg, para cada tonelada de grãos de soja, nos dois anos, sendo em 2014/15 foi superior apenas ao guandu e ao M+C, enquanto que em 2015/16 foi superior a todos os tratamentos (Tabela 26). Isso pode estar relacionado a maior taxa de liberação de Mg da palhada da crotalária, em comparação ao guandu e ao M+C, em 2014/15. Enquanto que no segundo ano, pode ser devido a menor produtividade da soja sobre a palhada de crotalária, em média 7 % inferior aos demais tratamentos, haja vista que não houve diferença na exportação total e que essa diferença no teor foi pequena.

A ordem decrescente de exportação dos macronutrientes por tonelada de grãos de soja produzida foi $N > K > P > Ca > S > Mg$ (54,8; 11,8; 6,0; 5,6; 2,8 e 1,9), seguindo a mesma ordem da exportação total (Tabela 26). Cordeiro et al. (1979) observaram a mesma ordem de exportação de macronutrientes por tonelada de grãos de soja, sendo as seguintes quantidades $64,4 > 16,5 > 4,7 > 3,2 > 2,3 > 2,2$, para N, K, P, Ca, S e Mg, respectivamente. Por outro lado, Sfredo (2008) e Embrapa (2013) relataram a seguinte ordem de exportação por tonelada de grãos produzidos: $N > K > P > S > Ca > Mg$, com a seguinte quantidade $51 > 20 > 10 > 5,4 > 3 > 2$. Segundo Embrapa (2013) a absorção dos nutrientes é influenciada por variação genética, condições climáticas, disponibilidade de nutrientes no solo e tratamentos culturais.

4.3.7 Atributos químicos e físicos do solo na área de soja

De acordo com os atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm aferidos no florescimento da soja, verificou-se ausência de alterações em função do uso de plantas de cobertura na pré-safra de verão (Tabela 27). Estudos realizados por Raij et al. (1997) visando interpretar os níveis dos atributos químicos do solo, em 2014/15 classifica os teores de P, pH, K e S-SO₄ do solo do presente estudo como enquadrado na faixa considerada de nível médio (P_{resina}: 16-40 mg dm⁻³; pH: 5,1-5,5; K: 1,6-3,0 mmol_c dm⁻³; S-SO₄: 5-10 mg dm⁻³) e o teores de Ca, Mg e V% são considerados altos (Ca: >7; Mg: >8 mmol_c dm⁻³; V%: 71-90). Para 2015/16, observa-se aumento mais expressivo no teor de P (classificado como alto: 41-80 mg dm⁻³) e houve redução no teor de S-SO₄ (classificado como baixo: 0-4 mg dm⁻³), os outros atributos continuam na classificação de teores médios.

Os atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm, em ambos os anos não demonstraram influência das plantas de cobertura (Tabela 28). Os teores de P, o pH, K, S-SO₄ e V% são classificados como médios (P_{resina}: 16-40 mg dm⁻³; pH: 5,1-5,5; K: 1,6-3,0 mmol_c dm⁻³; S-SO₄: 5-10 mg dm⁻³; V%: 51-70) e o teores de Ca e Mg são considerados altos (Ca: >7; Mg: >8 mmol_c dm⁻³) (RAIJ et al., 1997).

Tabela 27 - Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm, aferidos por ocasião do florescimento da cultura da soja semeada em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al	SB	CTC	S-SO ₄ mg dm ⁻³	V %
Ano	2014/15											
Início	52,75	25,58	5,93	3,56	40,96	33,63	26,67	-	78,13	104,80	2,25	74,25
Plantas de cobertura												
Crotalária	31,00	20,67	5,97	3,73	36,33	35,67	19,67	-	75,73	95,40	9,67	79,33
Guandu	34,33	23,00	5,57	3,70	42,00	37,67	22,00	-	83,37	105,37	9,67	78,30
Milheto	47,00	22,00	5,77	3,43	42,33	39,67	19,33	-	85,43	104,77	10,00	81,00
M+C ¹	24,67	19,00	5,63	2,60	37,00	32,00	20,00	-	71,60	91,60	7,33	77,67
M+G ²	30,67	20,33	5,63	2,97	37,67	32,00	21,67	-	72,63	94,30	8,67	76,67
Pousio	31,33	19,33	5,73	3,30	37,33	33,33	18,00	-	73,97	91,97	8,33	78,67
DMS	32,49	7,21	0,72	2,51	24,06	22,85	13,44	-	48,08	41,21	4,56	20,00
Valor de F ³	1,28	1,10	0,96	0,74	0,30	0,46	0,30	-	0,36	0,55	1,21	0,13
CV	34,54	12,26	4,41	26,91	21,88	22,98	23,56	-	21,98	14,94	17,99	8,97
Média Geral	33,17	20,72	5,72	3,29	38,78	35,06	20,11	-	77,12	97,23	8,94	78,61
Ano	2015/16											
Plantas de cobertura												
Crotalária	44,67	19,00	5,23	2,63	39,33	32,67	30,00	1,00	74,63	104,63	2,00	70,33
Guandu	49,33	19,33	5,53	2,53	47,67	37,67	26,00	0,33	87,87	113,87	3,00	76,33
Milheto	38,67	18,66	5,40	2,37	53,00	49,00	26,00	0,00	104,37	130,37	2,00	79,67
M+C ¹	41,33	18,33	5,50	2,73	41,67	35,67	25,00	0,00	80,07	105,07	3,00	76,33
M+G ²	46,33	18,33	5,47	2,53	45,67	39,00	28,00	0,00	87,20	115,20	3,33	75,33
Pousio	36,67	17,67	5,33	1,97	38,67	33,67	27,33	0,33	74,30	101,63	2,00	73,33
DMS	21,17	4,14	0,61	1,45	24,13	23,10	11,92	1,43	45,66	40,58	1,43	16,19
Valor de F ³	1,24	0,42	0,81	0,84	1,26	1,58	0,55	1,83	1,47	1,64	4,52	0,91
CV	17,42	8,39	4,00	20,82	19,19	21,46	15,53	27,64	19,00	12,80	19,78	7,59
Média Geral	42,83	18,56	5,41	2,46	44,33	37,94	27,05	0,28	84,74	111,79	2,56	75,22

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental. Fonte: Dados do próprio autor.

Tabela 28 - Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm, aferidos por ocasião do florescimento da cultura da soja semeada em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al	SB	CTC	S-SO ₄ mg dm ⁻³	V %
Ano	2014/15											
Início	26,42	18,00	5,11	1,53	18,00	13,37	27,46	1,29	33,20	60,66	6,08	54,25
Plantas de cobertura												
Crotalária	15,33	18,00	5,17	1,67	17,33	16,33	25,00	0,33	35,33	60,33	10,33	58,67
Guandu	16,33	17,00	5,13	1,90	20,00	17,33	27,00	0,67	39,23	66,23	8,00	58,67
Milheto	21,00	17,33	5,20	1,77	19,67	18,33	25,00	0,67	39,77	64,77	8,33	61,00
M+C ¹	18,33	17,66	5,17	1,40	20,67	17,67	26,00	0,67	39,73	65,73	8,67	60,33
M+G ²	24,00	17,00	5,20	1,73	27,00	23,00	26,00	0,67	51,73	77,73	9,00	66,33
Pousio	18,00	16,67	5,27	2,20	20,00	17,33	23,00	0,00	39,53	62,53	7,00	62,33
DMS	14,04	1,33	0,43	2,29	9,71	7,84	7,56	0,97	18,16	19,95	6,19	12,98
Valor de F ³	1,25	3,25	0,27	0,32	2,72	2,22	0,79	0,50	2,28	2,22	0,78	1,18
CV	26,28	2,73	2,94	45,43	16,48	15,07	10,52	35,58	15,66	10,62	25,49	7,48
Média Geral	18,83	17,28	5,19	1,78	20,78	18,33	25,33	0,50	40,89	66,22	8,56	61,22
Ano	2015/16											
Plantas de cobertura												
Crotalária	26,00	13,67	4,93	1,53	20,00	16,67	33,00a	1,33	38,20	71,20	9,67	53,13
Guandu	30,33	13,67	5,07	1,63	24,33	19,33	32,00ab	1,33	45,30	77,30	6,00	58,20
Milheto	30,67	14,00	4,90	1,37	21,67	17,67	34,33a	1,67	40,70	75,03	6,67	54,27
M+C ¹	23,00	15,00	5,00	1,87	25,00	17,00	29,00ab	1,33	43,97	72,87	7,00	59,97
M+G ²	22,00	14,33	5,17	1,37	23,00	19,00	30,00ab	1,00	43,37	73,37	6,00	59,23
Pousio	22,33	13,33	4,97	1,10	25,00	19,00	26,00b	1,00	45,10	71,10	5,67	63,53
DMS	18,74	2,13	0,53	1,30	12,84	8,08	6,52	2,46	17,45	17,26	5,15	11,82
Valor de F ³	1,08	1,88	0,83	0,99	0,60	0,49	5,18**	0,25	0,61	0,46	1,97	2,54
CV	25,71	5,38	3,71	31,03	19,54	15,74	7,49	29,32	14,39	8,28	26,58	7,18
Média Geral	25,72	14,00	5,01	1,48	23,17	18,11	30,72	1,28	42,75	73,48	6,83	58,05

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental. Fonte: Dados do próprio autor.

O uso de plantas de cobertura favorece o aumento da atividade biológica no solo, influenciando a ciclagem de nutrientes e contribuindo para a melhoria da fertilidade e do equilíbrio ecológico, culminando em maior qualidade do solo (HERNANI; PADOVAN, 2014). No entanto, sabe-se que esse ganho em qualidade do solo é alcançado ao longo do tempo, pois existem vários fatores que interferem nessa dinâmica (químicos, físicos, biológicos e climáticos). Além disso, mesmo que não haja respostas na produtividade de grãos de soja, deve-se averiguar a qualidade em termos de minerais nos grãos provenientes dos tratamentos com plantas de cobertura.

De acordo com os atributos físicos do solo na camada de 0-10 cm, aferidos no florescimento da soja, percebe-se que as plantas de cobertura não propiciaram alterações em 2014/15 (Tabela 29). Já para 2015/16 houve destaque para o tratamento guandu, que apresentou maior valor para macroporosidade e porosidade total em relação ao milheto e pousio. Percebe-se que o aumento da porosidade, propiciada pelo guandu, favoreceu a redução da densidade de solo comparado ao milheto. Apenas o guandu e M+G apresentaram valores de macroporosidade compatíveis com o ideal preconizado por Carter (2002) como sendo $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Tabela 29 - Atributos físicos do solo na camada de 0,10 cm, aferidos por ocasião do florescimento da cultura da soja semeada em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	⁴ Macro $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	Micro $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	P. Total	Ds Mg m^{-3}	Macro	Micro $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	P. Total	Ds Mg m^{-3}
Início	0,09	0,35	0,44	1,58	0,09	0,35	0,44	1,58
Plantas de cobertura	-----2014/15-----				-----2015/16-----			
Crotalária	0,08	0,36	0,44	1,58	0,08ab	0,34	0,43ab	1,57ab
Guandu	0,09	0,34	0,43	1,57	0,12a	0,34	0,45a	1,49b
Milheto	0,06	0,36	0,42	1,62	0,06b	0,34	0,40b	1,66a
M+C ¹	0,06	0,38	0,44	1,62	0,08ab	0,34	0,42ab	1,61ab
M+G ²	0,09	0,36	0,45	1,58	0,10ab	0,33	0,43ab	1,54ab
Pousio	0,08	0,36	0,44	1,63	0,06b	0,33	0,40b	1,62ab
DMS	0,04	0,05	0,04	0,13	0,05	0,02	0,04	0,14
Valor de F ³	1,52	3,90	1,04	0,75	3,38**	1,04	5,00**	3,45**
CV	34,27	4,77	6,36	5,34	38,42	4,01	6,14	5,90
Média Geral	0,08	0,36	0,44	1,60	0,08	0,34	0,42	1,58

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação. ⁴Macroporosidade; Microporosidade; Porosidade Total; Densidade de solo.

Fonte: Dados do próprio autor.

O guandu apresenta sistema radicular pivotante e com bom potencial de promover a descompactação natural do solo. Dessa forma, pode haver o beneficiamento da cultura em

sucessão pelo maior arejamento do solo. Souza, Souza e Carvalho (2014) destacam que com a dificuldade na melhoria dos atributos físicos do solo vem aumentando a importância das plantas de cobertura.

Deve-se ressaltar que por se tratar de uma área irrigada, possíveis problemas no desenvolvimento do sistema radicular das plantas podem não se sobressair.

Fabian (2009) em estudo com plantas de cobertura (crotalária, milheto, braquiária, pousio e ausência de cobertura) também não verificaram diferenças para a física de solo, no segundo ano de cultivo. Silveira *et al.* (2008), avaliando os efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo em plantio direto e rotações de culturas, concluíram que o sistema plantio direto contínuo proporciona aumento na densidade do solo e na microporosidade e diminuições na macroporosidade e porosidade total do solo, acrescentam ainda que a densidade do solo no plantio direto contínuo tende a diminuir com o passar do tempo.

Com os atributos físicos do solo, na camada de 10-20 cm, aferidos no florescimento da soja, nota-se que apenas no ano 2015/16 houve variações na macroporosidade e porosidade total, onde destacou o guandu com maiores valores comparado ao pousio (Tabela 30). Como já comentado acima, o vigoroso crescimento do sistema radicular das plantas de guandu favoreceu a melhoria física do solo.

Tabela 30 - Atributos físicos do solo na camada de 10-20 cm, aferidos por ocasião do florescimento da cultura da soja semeada em sucessão a plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	⁴ Macro m ³ m ⁻³	Micro m ³ m ⁻³	P. Total	Ds Mg m ⁻³	Macro	Micro m ³ m ⁻³	P. Total	Ds Mg m ⁻³
Início	0,08	0,35	0,43	1,60	0,08	0,35	0,43	1,60
Plantas de cobertura	-----2014/15-----				-----2015/16-----			
Crotalária	0,09	0,36	0,44	1,59	0,08ab	0,35	0,43ab	1,58
Guandu	0,09	0,34	0,43	1,58	0,10a	0,36	0,46a	1,56
Milheto	0,08	0,36	0,43	1,60	0,08ab	0,35	0,42b	1,60
M+C ¹	0,09	0,37	0,44	1,58	0,08ab	0,36	0,44ab	1,57
M+G ²	0,08	0,36	0,44	1,60	0,08ab	0,35	0,43ab	1,58
Pousio	0,07	0,36	0,43	1,63	0,07b	0,35	0,42b	1,61
DMS	0,02	0,04	0,02	0,09	0,03	0,02	0,03	0,05
Valor de F ³	1,07	3,63	1,70	1,06	2,48*	0,55	3,80**	1,93
CV	20,57	3,70	3,76	3,67	23,28	3,44	4,78	2,16
Média Geral	0,08	0,36	0,44	1,60	0,08	0,35	0,43	1,58

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * e ** – significativo a 5 % e 1 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

⁴Macroporosidade; Microporosidade; Porosidade Total; Densidade de solo. Fonte: Dados do próprio autor.

Colombi *et al.* (2017), estudando solo compactado e solo com criação de porosidade artificial (perfuração) relataram que a criação de poros artificiais em solo compactado aumentou

a taxa de transporte de gás. Segundo os autores, a melhoria da condição física do solo colaborou no melhor desenvolvimento das plantas de soja, evidenciando isso com maior massa seca de parte aérea do tratamento com criação de porosidade artificial.

4.4 SUBPROJETO 3 – MILHO SEGUNDA SAFRA, CONSORCIADO COM *UROCHLOA RUZIZIENSIS*, SEMEADO SOBRE PALHADA DE ARROZ E SOJA, EM FUNÇÃO DE PLANTAS DE COBERTURA

4.4.1 Acúmulo de massa seca de palhada de arroz e soja, teor de silício e relação C/N

Para o acúmulo de massa seca da palhada de arroz e soja (MSAS) semeados em sucessão a plantas de cobertura, aferidos antes da semeadura do milho consorciado com *U. ruzizensis*, verificou-se que não houve alteração no ano 2014/15 (Tabela 31).

Tabela 31 - Massa seca (MSAS), teor de silício (Si) e relação carbono/nitrogênio (C/N) em palhada de arroz e soja semeados em sucessão a plantas de cobertura aferidos antes da semeadura do milho segunda safra. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	MSAS		Si		C/N		
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	
	-----kg ha ⁻¹ -----		-----g kg ⁻¹ -----		-	-	
Culturas (C)							
Arroz	6.401	4.837	7,38a	2,50	31,9	33,3a	
Soja	6.599	7.797	4,69b	2,10	32,5	29,9b	
CV	15,90	24,12	38,67	36,95	32,96	7,37	
Plantas de cobertura (P)							
Crotalária	7.220	5.910	6,62	2,18ab	28,7b	28,0b	
Guandu	6.544	6.895	6,67	2,55ab	32,9ab	30,5ab	
Milheto	6.313	6.239	5,87	1,77b	31,9ab	31,1ab	
M+C ¹	6.486	6.372	5,40	2,22ab	32,9ab	32,5ab	
M+G ²	6.400	7.027	4,92	2,17ab	35,6a	33,1a	
Pousio	6.039	5.458	6,75	2,95a	31,3ab	34,5a	
CV	17,90	16,45	19,44	22,99	10,99	7,92	
Valor de F ³	C	0,44	45,28**	11,99 [#]	1,98	0,04	19,08*
	P	0,92	2,59	2,56	3,45*	3,26*	4,99*
	C x P	1,41	3,17*	3,06	2,95	2,51	1,48
CV	15,37	12,79	22,74	24,49	9,69	12,58	
Média Geral	6.500	6.317	6,04	2,30	32,2	31,6	

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental

Fonte: Dados do próprio autor.

Para o ano 2015/16 houve interação entre as culturas de verão e as plantas de cobertura (Tabela 32). A massa seca de plantas de arroz não foi influenciada pelas plantas de cobertura semeadas na pré-safra de verão. O tratamento M+G favoreceu o maior acúmulo de massa seca de plantas de soja, em detrimento ao tratamento crotalária e pousio. Essas diferenças ocorreram em função da maior disponibilidade de potássio da palhada de M+G (143 kg ha⁻¹), diferentemente das palhadas de crotalária (52 kg ha⁻¹) e pousio (57 kg ha⁻¹), cultivados anteriormente a cultura da soja (Tabela 20). No estágio fenológico R₂ as plantas de soja iniciam rápida absorção de K e acúmulo de massa seca (RITCHIE *et al.*, 1985). Pouco antes desse estágio (aproximadamente 30 DAE), as palhadas de M+G liberaram no solo 84 kg ha⁻¹ de K, enquanto que as palhadas de crotalária e pousio liberaram 29 kg ha⁻¹ e 33 kg ha⁻¹, respectivamente. O K, entre outros, é responsável pela regulação do potencial osmótico das células vegetais, ativação de enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese (TAIZ *et al.*, 2017), movimento dos estômatos e alongamento celular (FURLANI, 2004). Assim, a nutrição satisfatória de K propicia o desenvolvimento adequado das plantas. Notou-se que, independente das plantas de cobertura utilizadas, houve maior massa seca acumulada pelas plantas de soja do que pelas plantas de arroz (Tabela 32).

Tabela 32 - Desdobramento dos valores de massa seca da palhada de arroz e soja, aferidos antes da semeadura do milho segunda safra, referente a interação entre culturas e plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16.

Culturas	MSAS (kg ha ⁻¹)						
	Plantas de cobertura						
	Crotalária	Guandu	Milheto	M+C ¹	M+G ²	Pousio	F ³
Arroz	5.127Ab	5.634Ab	4.528Ab	4.740Ab	4.761Ab	4.231Ab	1,11
Soja	6.693Ba	8.155ABa	7.950ABa	8.004ABa	9.293Aa	6.685Ba	4,52**
F ³	5,27*	13,65**	22,90**	44,15**	25,17**	12,94**	

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Fonte: Dados do próprio autor.

Observando os valores médios de massa seca acumulada pelas palhadas de arroz e soja e, recorrendo aos números médios de produtividade de grãos das duas culturas (Tabela 13 e Tabela 25) consegue-se chegar ao índice de colheita (IC), que segundo Fornasieri Filho e Fornasieri (2006) e Fageria (1989) é a relação entre a produtividade de grãos e a produtividade biológica (massa seca de plantas + grãos). Assim, sabe-se que o IC do arroz, em 2014/15 foi de 0,41 e no ano 2015/16 foi de 0,42, e o da soja, em 2014/15 foi 0,40 e no ano 2015/16 foi 0,37. Não há na literatura informações sobre o IC do BRS Esmeralda, por se tratar de um cultivar lançado recentemente. No entanto, alguns autores relatam o IC de outros cultivares, como Guimarães, Stone e Neves (2008), estudando seis cultivares, observaram IC variando de 0,12 a 0,53. Boldieri, Cazetta e Fornasieri Filho (2010) verificaram que, na média de dois anos de cultivo, o IC dos cultivares Primavera, Carisma, IAC 202, Caiapó e Confiança foram 0,49, 0,53, 0,53, 0,39 e 0,42, respectivamente. Alvarez et al. (2005) verificaram IC para o cultivar Caiapós de 0,27, Primavera de 0,50 e para o cultivar Maravilha de 0,26.

Para a soja, Balbinot Junior *et al.* (2014), trabalhando com densidades de semeadura, espaçamentos e cultivares, verificaram IC para BMX Potência de 0,35. Cruz *et al.* (2011) com o estudo de épocas de semeadura e cultivares de soja, verificaram que os índices de colheita variaram de 0,09 a 0,38. Dessa forma, os ICs do arroz e soja estão coerentes com os citados acima, indicando que a massa seca acumulada das palhadas de arroz e soja estão compatíveis.

Em 2014/15 as palhadas da cultura do arroz apresentaram teor de silício (Si) de 7,38 g kg⁻¹, enquanto que a palhada da cultura da soja apresentou 4,69 g kg⁻¹ (Tabela 31). A cultura do arroz é reconhecida como acumuladora de silício (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MA; YAMAJI, 2006). A constituição da palhada de plantas de arroz é de natureza fibrosa e o alto teor de silício faz com que ela resista à deterioração (METWALLY, 2015). Dessa forma, o

maior teor de silício na palhada de arroz pode propiciar menor taxa de decomposição e, consequentemente, manter o solo coberto por mais tempo.

No segundo ano (2015/16) o cultivo sobre o pousio favoreceu maior teor de Si, o qual obteve $2,95 \text{ g kg}^{-1}$ de massa seca, enquanto que o tratamento com milho proporcionou o menor teor ($1,77 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 31). Recorrendo aos teores de Si das plantas de cobertura, na área de arroz e de soja, percebe-se que o tratamento pousio foi superior ao milho (Tabela 4 e Tabela 19). Dessa forma, o tratamento pousio possibilitou maior disponibilidade de Si no solo e maior absorção pelas plantas de arroz e soja cultivadas sobre esse tratamento. O aumento da disponibilidade de Si em um solo com baixo teor, favorece a absorção pelas culturas (MARXEN *et al.*, 2016). Após a absorção, o silício é rapidamente transportado para a parte aérea, e com a perda de água pela transpiração da folha, o silício polimeriza-se e forma camadas amorfas de sílica, chamada de fitólitos, que conferem rigidez às paredes (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Portanto, o maior teor de Si no tratamento pousio, pode favorecer a decomposição mais lenta da palhada sobre o solo.

A relação C/N das palhadas de arroz e soja sob influência das plantas de cobertura, indicam que em 2014/15 o M+G (35,6) apresentou maior valor em relação ao tratamento com crotalária (28,7). Isso pode ser explicado pelo fato de que o N acumulado (Tabela 33) no tratamento com crotalária apresentou 32 % mais N que o tratamento M+G, culminando em relação mais estreita. Em 2015/16 o pousio e o M+G apresentaram valores superiores à crotalária. Esses resultados podem ser compreendidos recorrendo os dados de N acumulado (Tabela 33) e de massa seca acumulada (Tabela 31). Fazendo a divisão do N acumulado pela massa seca acumulada, verificou-se maior concentração de N no tratamento com crotalária ($15,40 \text{ g kg}^{-1}$) e menores valores para o M+G ($14,00 \text{ g kg}^{-1}$) e pousio ($13,37 \text{ g kg}^{-1}$). Maior concentração de nitrogênio reflete em relação C/N mais estreita. Visando cobertura do solo por mais tempo, plantas com maior relação C/N são mais indicadas. De acordo com Aita, Giacomini e Ceretta (2014) o cultivo consorciado de leguminosas e gramíneas proporciona maior acúmulo de C ao solo em relação ao cultivo de leguminosas solteiras.

Em 2015/16 as plantas de arroz demonstraram relação C/N superior às plantas de soja. Na Tabela 33 observou-se menor acúmulo de nitrogênio pelas plantas de arroz, fato esse que refletiu na maior relação C/N. Provavelmente, poderá haver menor taxa de decomposição da palhada de arroz por apresentar maior relação C/N. Isso ocorre, segundo Troeh e Thompson (2007), porque os microrganismos do solo utilizam o carbono para elaborar tecidos do corpo e como fonte de energia e, o nitrogênio é necessário em uma relação fixa a quantia de carbono que entra no tecido. Dessa forma, os autores relatam que quanto maior a relação C/N, maior o

período de imobilização do nitrogênio e, com menor relação C/N mais brevemente o nitrogênio será mineralizado.

4.4.2 Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas palhadas de arroz e soja

Os valores referentes ao N acumulado nas palhadas de arroz e soja semeados em sucessão a plantas de cobertura, aferido antes da semeadura do milho, indicam semelhança entre os tratamentos, em 2014/15 (Tabela 33). Verificou-se, no ano 2015/16 que houve interação entre as culturas (arroz e soja) e plantas de cobertura. Pelo desdobramento (Tabela 34), observa-se que houve maior acúmulo de N na palhada da cultura da soja, quando em sucessão ao milheto e M+G, em relação a crotalária e pousio. Pelos dados de acúmulo de N pelas plantas de cobertura cultivada antes da soja, observa-se que o N acumulado no milheto foi 52 e 112 % maior que a crotalária e pousio, respectivamente, e o N acumulado no M+G foi 23 % maior que na crotalária e 72 % maior que no pousio. Dessa forma, em 2015/16 houve maior eficiência no fornecimento de N a cultura da soja, pelas plantas de milheto e M+G, em detrimento a crotalária e pousio.

As palhadas de arroz e soja, quando cultivados em sucessão a crotalária, apresentaram quantidade acumulada de N semelhantes (86 e 96 kg ha⁻¹) (Tabela 34). Em todos os outros tratamentos a palhada de soja acumulou mais N que a palhada de arroz. Segundo Crusciol et al. (2003) na palhada de arroz sobra aproximadamente 15 kg t⁻¹ de grãos de N e, Sfredo (2008) relata que na palhada de soja sobra em torno de 32 kg t⁻¹ de grãos. Dessa forma, fica evidente que a palhada de soja apresenta maior potencial em fornecer nitrogênio para a cultura seguinte, comparado a palhada de arroz.

Tabela 33 – Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em palhada de arroz e soja semeados em sucessão a plantas de cobertura aferidos antes da semeadura do milho segunda safra. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	N		P		K	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Culturas (C)						
Arroz	89	68	11,6b	9,9b	95	55a
Soja	94	116	24,6a	19,5a	85	39b
CV	16,89	21,32	18,52	24,45	31,30	11,45
Plantas de cobertura (P)						
Crotalária	109	91	18,4	14,0	75	52
Guandu	88	101	17,6	15,6	85	40
Milheto	91	96	16,4	14,7	65	57

M+C ¹	91	91	19,2	14,9	89	47	
M+G ²	82	99	18,8	15,3	81	45	
Pousio	87	73	18,2	13,8	72	41	
CV	22,65	19,33	20,02	23,20	28,29	35,89	
Valor de F ³	C	1,24	69,77**	180,57**	84,83**	1,49	106,57**
	P	1,60	2,55	0,60	0,33	1,33	1,27
	C x P	2,39	7,75**	0,32	2,03	0,60	0,58
CV	16,86	13,48	23,79	19,55	34,47	31,89	
Média Geral	91	92	18,1	14,7	90	47	

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Tabela 34 - Desdobramento dos valores de acúmulo de nitrogênio em palhada de arroz e soja, aferidos antes da semeadura do milho segunda safra, referente a interação entre culturas e plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16.

Culturas	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)						
	Plantas de cobertura						
	Crotalária	Guandu	Milheto	M+C ¹	M+G ²	Pousio	F ³
Arroz	86Aa	77Ab	64Ab	67Ab	60Ab	58Ab	2,06
Soja	96BCa	126ABa	129Aa	117ABCa	138Aa	89Ca	6,45**

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Fonte: Dados do próprio autor.

Em ambos os anos, a palhada da cultura da soja apresentou o dobro de P acumulado em relação a palhada da cultura do arroz (Tabela 33). Isso ocorre devido a maior quantidade de P necessária pela cultura da soja e menor quantidade necessária pela cultura do arroz. Segundo Crusciol *et al.* (2003) na palhada da cultura do arroz sobra o equivalente a 1,3 kg de P para cada tonelada de grãos produzida, e de acordo com Sfredo (2008) sobra na palhada da cultura da soja 5,4 kg de P para cada tonelada de grãos. Assim como no nitrogênio, a palhada da cultura da soja pode beneficiar a cultura seguinte com maior disponibilidade de fósforo, em relação a palhada de arroz.

No ano 2015/16 o K acumulado na palhada de arroz (55 kg ha⁻¹) se mostrou 41 % superior aos de soja (39 kg ha⁻¹) (Tabela 33). A cultura da soja normalmente extrai mais K que a cultura do arroz, no entanto, a exportação pela soja é maior que pelo arroz, o que favoreceu maior acúmulo pela palhada de arroz. Crusciol *et al.* (2003) relataram que para cada tonelada de grãos de arroz, sobra na palhada de arroz 21 kg de K, enquanto que para a soja, Sfredo (2008) descreve que sobra aproximadamente 18 kg. Mesmo não sendo grande quantidade, a palhada da cultura do arroz pode beneficiar a cultura seguinte por maior liberação de potássio, que a palhada da cultura da soja.

Percebeu-se que houve redução no acúmulo de K do primeiro para o segundo ano. Após a colheita das parcelas experimentais de arroz (03/03/2016) e de soja (16/03/2016), até o momento da semeadura do milho (07/04/2016) houve precipitação acumulada de 75 mm de chuva (Figura 2B). Provavelmente, essa quantidade de água promoveu a lixiviação do K da palhada de arroz e soja, reduzindo a quantidade de K na palhada. Rosolem, Calonego e Foloni (2003), estudando a lixiviação de K de palhada de espécies vegetais submetidos a aplicação de chuva artificial, verificaram que as perdas de K variaram de 7 a 24 kg ha⁻¹, com uma lâmina de aproximadamente 70 mm. No experimento, as palhadas de arroz e soja foram submetidos a fragmentação mecânica, visando a uniformidade de distribuição das palhadas para melhor qualidade na implantação do milho. Isso pode ter favorecido a lavagem do K. Da mesma forma, Rosolem, Calonego e Foloni (2003) citam que a degradação da palhada promove maior liberação do K.

Houve interação, nos dois anos do estudo, entre as culturas e as plantas de cobertura para o acúmulo de Ca na palhada de arroz e de soja (Tabela 35). O desdobramento indicou que, independente das plantas de cobertura, em ambos os anos, a palhada de soja propiciou maior quantidade de Ca acumulado (Tabela 36). Provavelmente, isso ocorreu devido à maior CTC radicular em dicotiledôneas (soja) do que em monocotiledôneas (arroz) (FURLANI, 2004). Quanto maior a valência do íon, maior é a adsorção à parede celular das raízes (MARSCHNER, 2012), fazendo com que a soja absorva maior quantidade de Ca.

No primeiro ano, houve incremento de 43 % no acúmulo de Ca pela palhada de soja, em sucessão ao M+C, comparado à sucessão com o milheto. No segundo ano, o acúmulo de Ca pela palhada de soja, cultivada em sucessão ao guandu, milheto e M+G foram, na média, 53 % superior do que em sucessão à crotalária e 42 % superior em relação ao pousio. Esse resultado pode estar associado com o maior acúmulo da palhada de soja em sucessão ao guandu, milheto e o M+G que, na média, propiciaram superioridade de 26 % em relação à sucessão com a crotalária e 27 % ao pousio (Tabela 32), culminando no maior acúmulo de Ca.

Tabela 35 – Acúmulo de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em resíduos de arroz e soja semeados em sucessão a plantas de cobertura aferidos antes da semeadura do milho segunda safra. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Culturas (C)						
Arroz	55,2	26,2	34,8b	19,3	19,6	12,8b
Soja	123,3	85,2	56,1a	40,4	16,1	19,7a
CV	12,58	26,77	27,63	32,23	28,01	49,29

2015/16						
	Crotalária	Guandu	Milheto	M+C ¹	M+G ²	Pousio
Arroz	22,1Ab	20,7Ab	19,9Ab	19,6Ab	16,7Ab	16,5Ab
Soja	32,3Ba	43,7ABa	43,5ABa	40,2ABa	49,9Aa	32,8Ba

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. Médias seguidas por mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

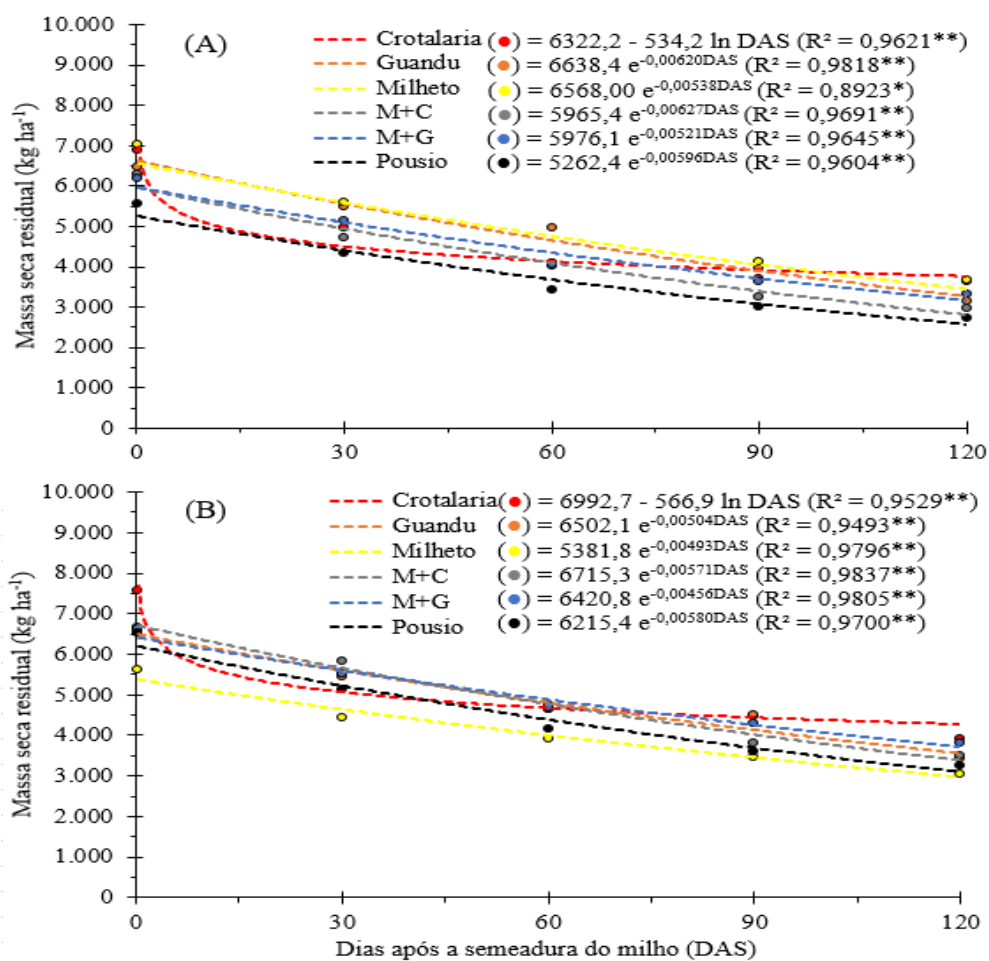
Fonte: Dados do próprio autor.

A crotalária, cultivada no inverno/primavera, no primeiro ano, proporcionou aumento médio de 49 % no acúmulo de S na palhada de arroz e soja, comparado com o milheto, M+C, M+G e pousio (Tabela 35). Mesmo sem diferença, a crotalária favoreceu incremento de 14 % no acúmulo de MSAS que as plantas de cobertura citadas acima (Tabela 31), influenciando o maior acúmulo de S. No segundo ano, verificou-se que a palhada de soja acumulou mais S que a palhada de arroz (Tabela 35). Segundo Furlani (2004), as leguminosas são mais exigentes em S do que as gramíneas. Além de maior exigência, o acúmulo de palhada de soja foi superior ao acúmulo da palhada de arroz (Tabela 31), refletindo no maior acúmulo de S.

4.4.3 Decomposição das palhadas de arroz e de soja e liberação de nutrientes

A Figura 17 mostra a massa seca da palhada de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias no período de cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*, em 2014/15. Em ambas as palhadas na sucessão a crotalária, a decomposição ajustou-se a um modelo logarítmico, com maior decréscimo até os 30 DAS do milho. As palhadas de arroz e soja sobre as demais plantas de cobertura apresentaram decomposição seguindo modelo exponencial. A planta de cobertura M+G propiciou menor taxa de decomposição da palhada das culturas de verão. Quanto mais rápido ocorre a degradação da palhada, menor é o efeito sobre a proteção do solo e manutenção de umidade e, mais rápida a liberação de nutrientes (AITA; GIACOMINI; CERETTA, 2014).

Figura 17 - Massa seca residual de plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.

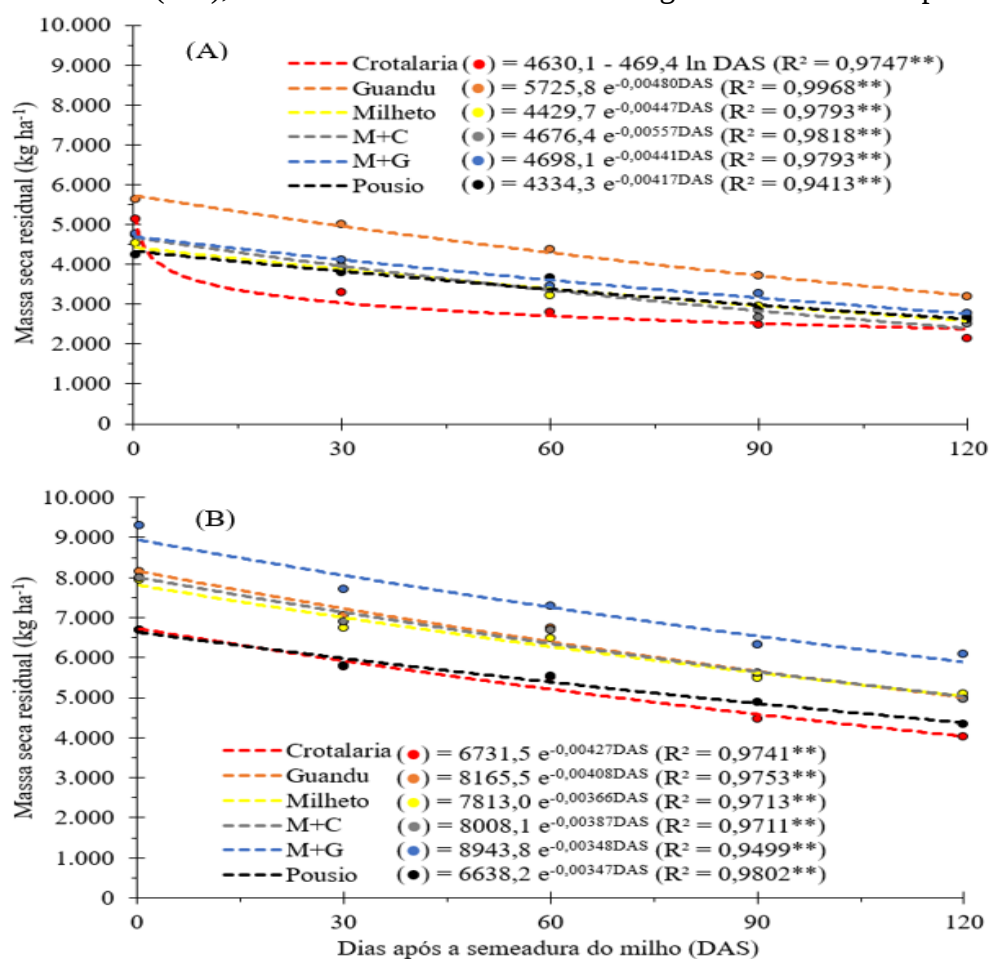


Fonte: Dados do próprio autor.

A explicação para tal resultado está relacionada a relação C/N das palhadas de arroz e soja sobre a crotalaria, que apresentou menor valor (28,7) e sobre M+G com maior valor (35,6) (Tabela 31). Se a relação C/N do material orgânico depositado for alta, os micro-organismos do solo terão que procurar mais N na solução do solo (BRADY; WEIL, 2013) para degradar o carbono, dessa forma a decomposição será mais lenta.

Na Figura 18 está representada a massa seca da palhada de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*, em 2015/16.

Figura 18 - Massa seca residual de plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2015/116. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

A decomposição da palhada de arroz, quando semeado em sucessão a crotalária, foi mais acentuada nos primeiros 30 DAS do milho (Figura 18A). Nos demais tratamentos a decomposição foi gradual ao longo do ciclo do milho. Nota-se que a menor relação C/N da palhada de arroz cultivado sobre crotalária (Tabela 31) definiu o modelo de decomposição.

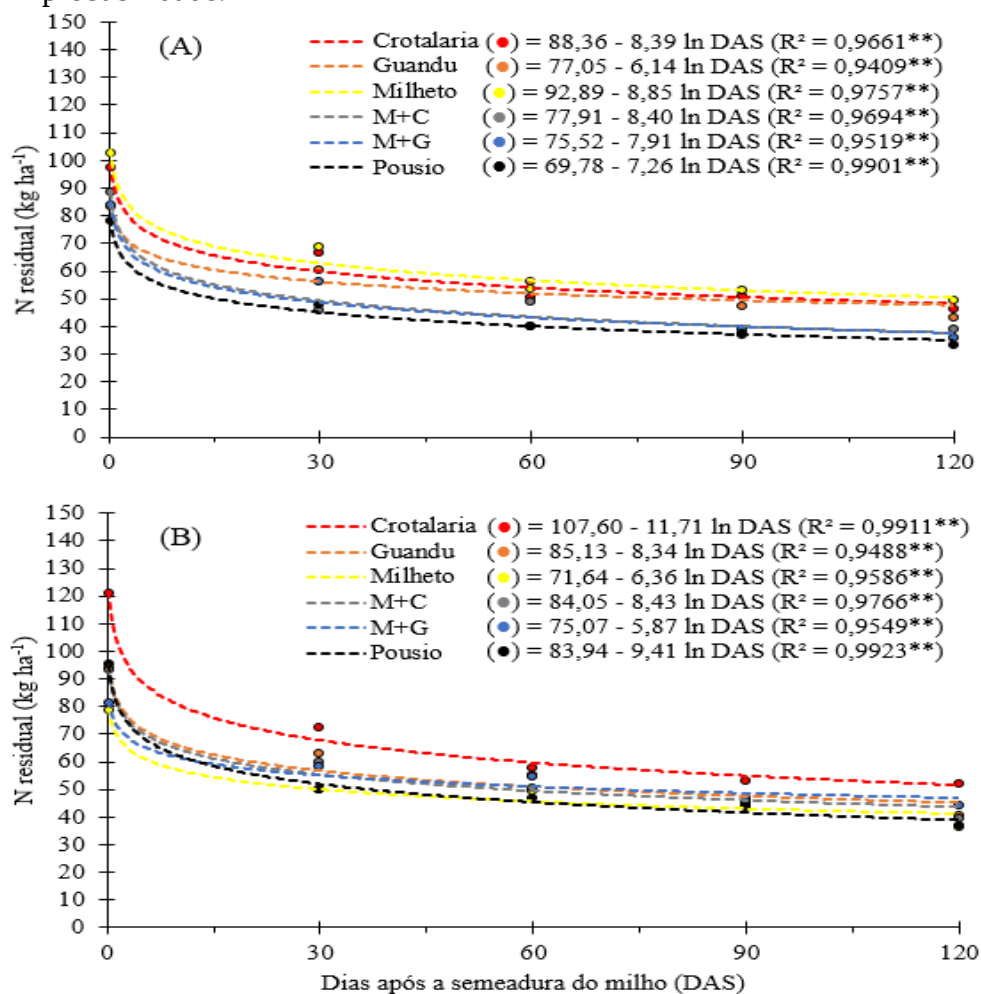
Em relação a decomposição da palhada de soja (Figura 18B), todos tratamentos seguiram o modelo exponencial. De acordo com as equações, percebe-se que a palhada de soja, cultivado sobre crotalária, apresentam decomposição levemente maior que as palhadas sobre M+G e pousio. Isso deve estar atrelado a relação C/N dessas palhadas (Tabela 31), nas quais demonstraram-se menores valores para crotalária (28,7) e maiores para o M+G (33,1) e pousio (35,4). De acordo com Troeh e Thompson (2007) há o equilíbrio entre mineralização e imobilização da palhada quando a relação C/N é aproximadamente de 31/1. Os autores citam que relações maiores propiciam a imobilização do N e menores favorecem a mineralização.

Deve-se ressaltar que a decomposição da palhada de arroz foi mais acentuada que a palhada de soja. Dessa forma, a ideia de que a palhada da cultura do arroz poderia acumular mais silício e se decompor mais lentamente que a palhada da cultura da soja, não se confirmou. Isso pode ser melhor entendido, pela visualização dos valores médios da massa seca residual de arroz e soja em 2014/15, onde as culturas apresentaram valores semelhantes, assim como a decomposição (Figura 17A e 17B), enquanto que em 2015/16 a massa seca residual de arroz foi menor que a de soja (Tabela 31), da mesma forma que a decomposição (Figura 18A e 18B).

A massa seca de palhada de soja foi superior em 2.960 kg ha^{-1} que a massa seca de palhada de arroz, ocasionando menor contato com a microbiota do solo e reduzindo a velocidade de decomposição. Costa *et al.* (2015), estudando o acúmulo e a decomposição de massa seca de capim xaraés, milheto e sorgo, verificaram que houve maior acúmulo de massa seca pelo milheto e sorgo, e que isso influenciou na menor decomposição em relação ao capim xaraés. Doneda *et al.* (2012) observaram que o consórcio entre leguminosas e crucífera com gramíneas resultaram em maior produção de massa seca e menor velocidade de decomposição das palhadas em relação ao cultivo destas em culturas exclusivas.

O N residual contido nas plantas de arroz e soja remanescentes no solo até 120 DAS do milho consorciado com *U. ruziziensis*, no ano 2014/15 (Figura 19A e 19B) destacou que até os 30 DAS do milho houve liberação da maior parte do N acumulado (aproximadamente 31 kg ha^{-1} de N na palhada de arroz e 35 kg ha^{-1} de N na palhada de soja). A semelhante taxa de liberação de N pelas palhadas de arroz e soja se devem a semelhante relação C/N dos materiais. De acordo com Acosta *et al.* (2014) o processo de liberação de N é regulado pela relação C/N da massa seca das plantas. Azevedo e Spehar (2002) verificaram valor de relação C/N para palhada de arroz na ordem de 25/1 e Figueiró e Graciolli (2011) 44/1.

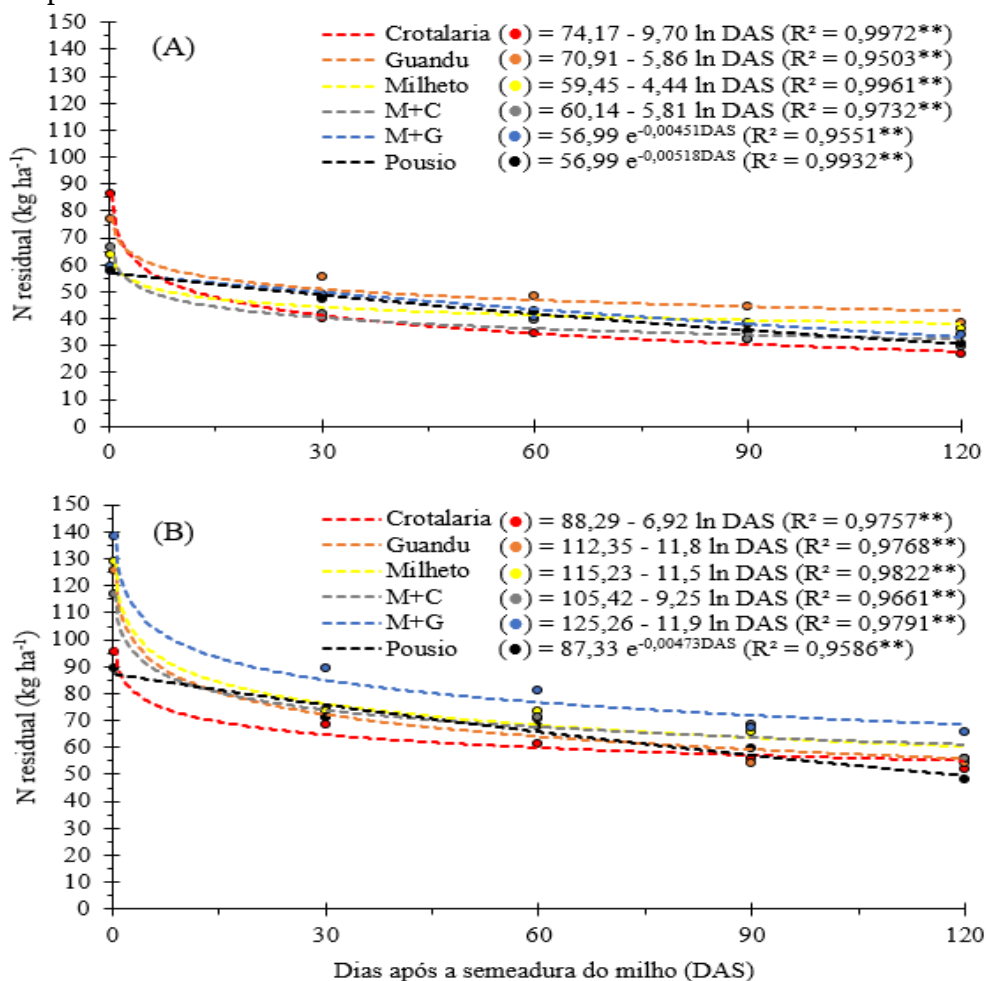
Figura 19 - Nitrogênio residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

No ano 2015/16 o N residual contido nas plantas de arroz e soja remanescentes no solo até 120 DAS do milho (Figura 20A e 20B) demonstra que houve liberação de aproximadamente 20 kg ha⁻¹ de N pela palhada de arroz e 40 kg ha⁻¹ pela de soja, representando 30 e 35% da quantidade inicial, respectivamente. Os tratamentos com M+G e pousio, antecedendo o cultivo do arroz e o tratamento pousio, antecedendo o cultivo da soja, implicaram em liberação gradual (exponencial) do N contido nas palhadas de arroz e soja. Provavelmente isso ocorreu devido a maior relação C/N das palhadas de arroz e soja, semeados em sucessão ao M+G e pousio (Tabela 31). Segundo Doneda et al. (2012) os processos de imobilização e mineralização de N são dependentes da relação C/N da palhada.

Figura 20 - Nitrogênio residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.

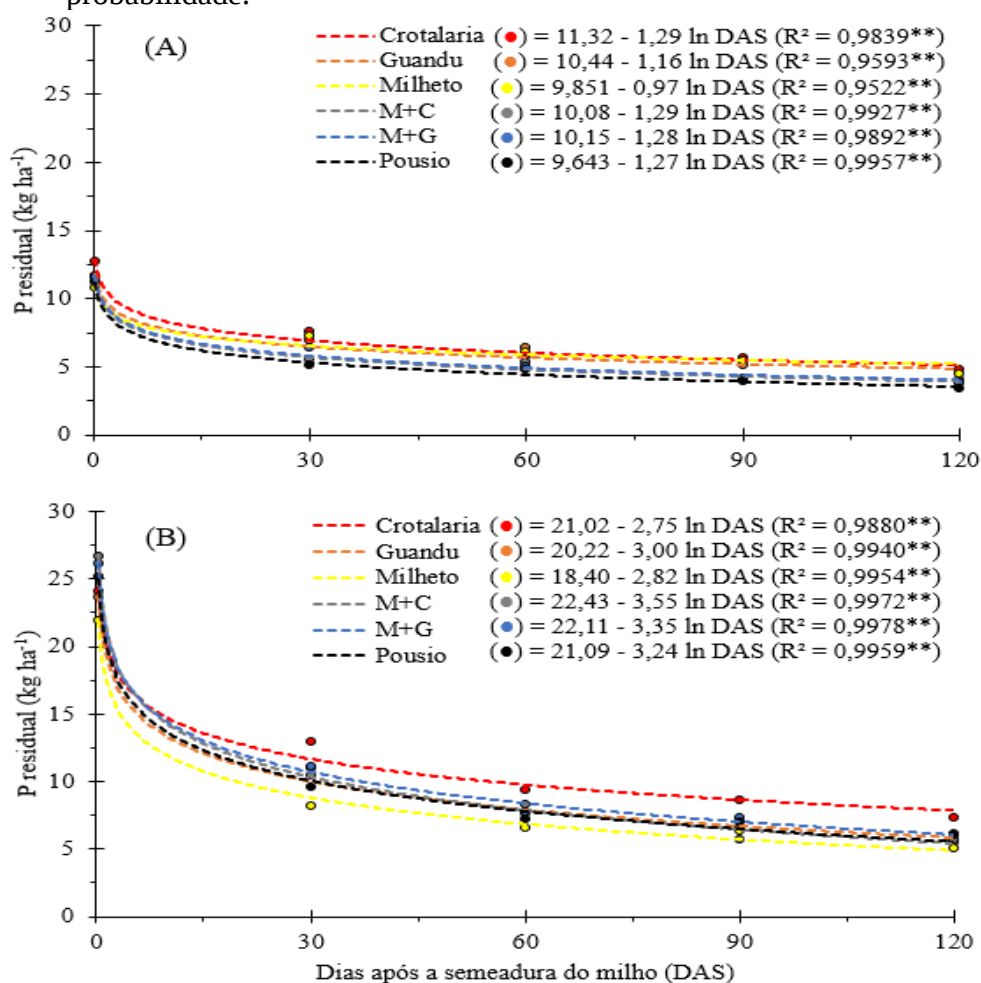


Fonte: Dados do próprio autor.

O fósforo residual contido em plantas de arroz e soja remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*, em 2014/15 (Figura 21A e 21B) destacam maior acúmulo de P na palhada de soja, independente das plantas de cobertura. As espécies de plantas de cobertura não interferiram no acúmulo e decomposição de P. Observou-se que a maior taxa de liberação de P ocorreu até 30 DAS do milho, sendo que a palhada de arroz liberou aproximadamente 44 % (equivalente a 5 kg ha⁻¹ de P) do total acumulado e a palhada de soja liberou em torno de 57 % (equivalente a 14 kg ha⁻¹ de P) do total acumulado. Giacomini *et al.* (2003) observaram que aos 29 dias houve liberação de 59 % do P contido nas palhadas da ervilhaca e 27 % da aveia. O fósforo é unido a molécula orgânica por uma sequência de ligações entre carbono, oxigênio e fósforo (TROEH; THOMPSON, 2007).

Com a decomposição, ocorre a ruptura da ligação carbono-oxigênio e mineraliza o fósforo em formas disponíveis as plantas (TROEH; THOMPSON, 2007).

Figura 21 - Fósforo residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.

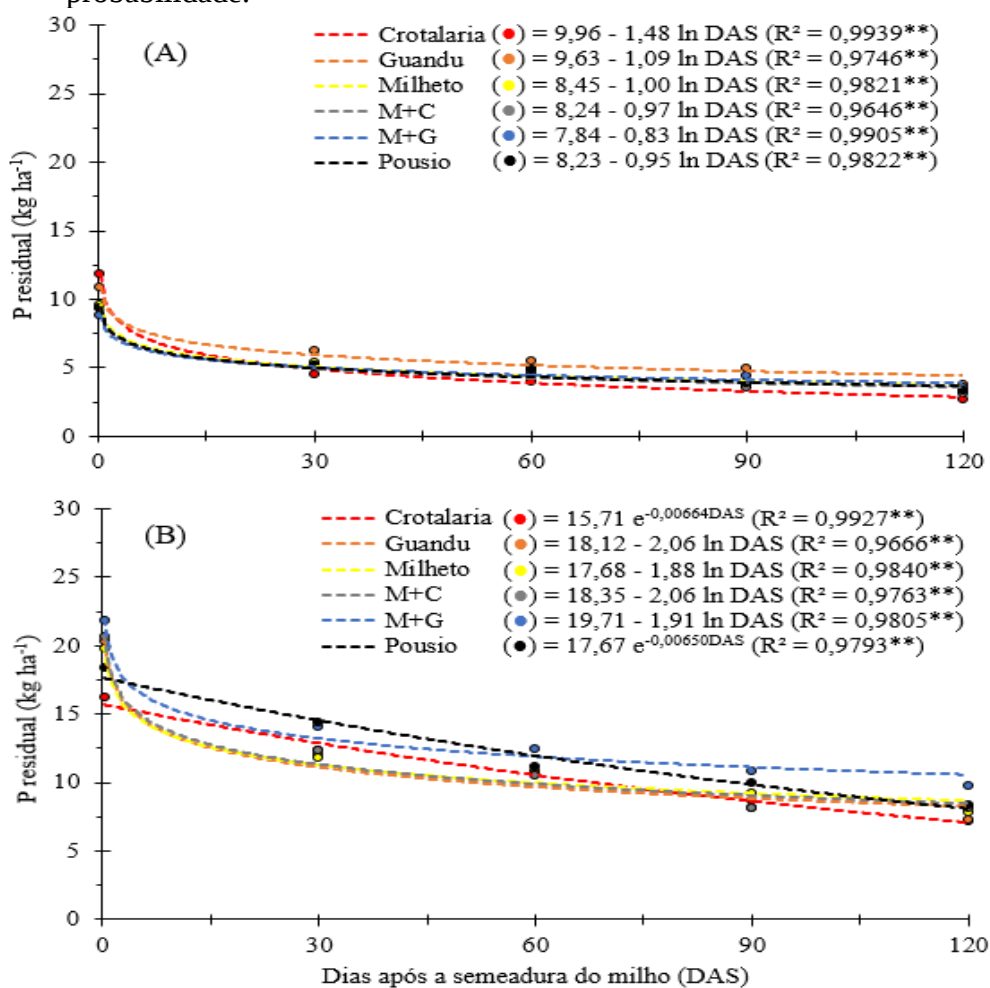


Fonte: Dados do próprio autor.

Para o ano 2015/16 o fósforo residual contido nas plantas de arroz e soja remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo milho (Figura 22A e 22B, mostra que aproximadamente 47 % do P contido na palhada de arroz e 34 % do P contido na palhada de soja foram liberados até os 30 DAS do milho. Como para o ano 2015/16 o acúmulo de massa seca da palhada de soja foi 61 % superior a palhada de arroz (Tabela 31), houve menor contato com a superfície do solo e menor decomposição da palhada de soja, o que propiciou menor liberação do P. O fósforo é um componente integral de compostos das células vegetais (TAIZ *et al.*, 2017), sua liberação

está intimamente ligada ao processo de decomposição pelos microrganismos do solo (GIACOMINI *et al.*, 2003).

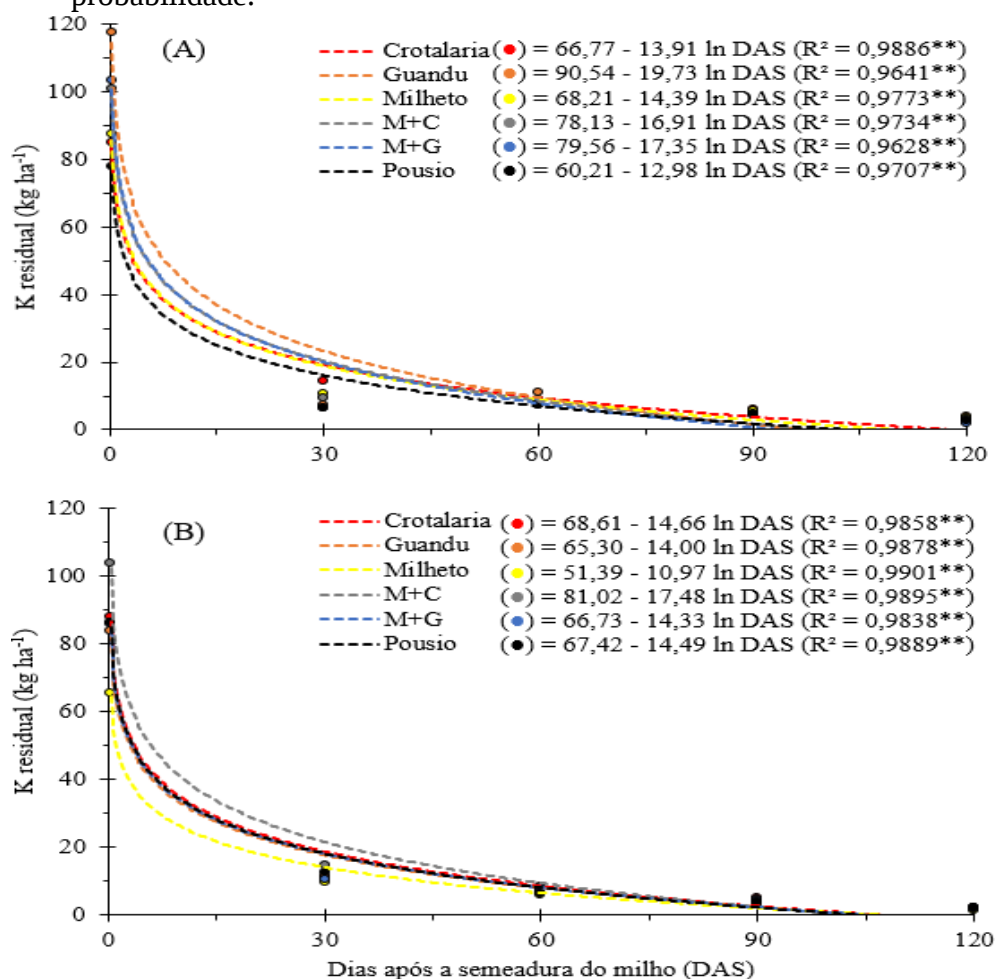
Figura 22 - Fósforo residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Em 2014/15, as duas palhadas das culturas de verão (arroz – Figura 23A e soja – Figura 23B) apresentaram liberação de K seguindo modelo matemático logarítmico, com maior taxa nos primeiros 30 DAS do milho. Até esse período, as palhadas de arroz e soja liberaram 90 % (86 kg ha⁻¹ de K) e 86 % (73 kg ha⁻¹ de K) do K acumulado, respectivamente. A rápida liberação do K ocorre por esse nutriente ser facilmente lixiviado de tecidos mortos (TROEH; THOMPSON, 2007). A quase totalidade do K acumulado foi disponibilizada ao solo até os 90 DAS do milho. Segundo Giacomini *et al.* (2003) aproximadamente todo o K é liberado da palhada de plantas de cobertura.

Figura 23 - Potássio residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

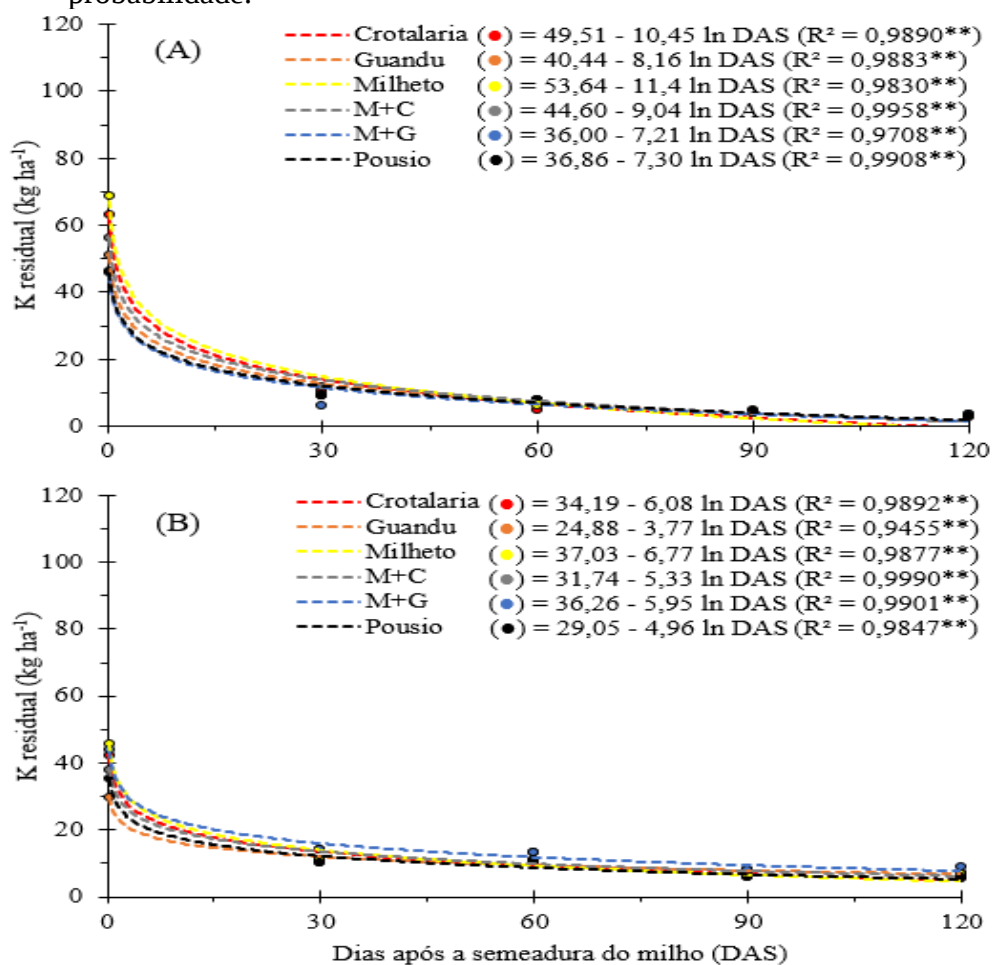
No ano 2015/16 (Figura 24A e 24B), até os 30 DAS do milho houve liberação de 83 % (45 kg ha^{-1}) do potássio contido na palhada de arroz e 70 % (27 kg ha^{-1}) do potássio contido na palhada de soja. O K não forma parte integral da estrutura de nenhum composto orgânico (TROEH; THOMPSON, 2007; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Por isso é um nutriente facilmente liberado após o manejo da palhada, podendo ser disponibilizado às plantas.

Vale ressaltar que inicialmente as palhadas de arroz e soja foram manejadas com desintegrador mecânico (triton), assim, ambas palhadas apresentavam mesmo tamanho de partícula. De acordo com Brady e Weil (2013) o tamanho da partícula é um fator físico importante e, quanto menor, mais rápido ocorre a decomposição.

A informação sobre a liberação de nutrientes, contidos em palhada de culturas, durante o período de desenvolvimento da cultura do milho na sucessão, deve estar associada as

informações sobre sua fenologia. Dessa forma, pode-se formar o conhecimento sobre os benefícios da ciclagem de nutrientes, promovida pelas palhadas das culturas de verão para a cultura do milho segunda safra em consórcio com *U. ruziziensis*.

Figura 24 - Potássio residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.

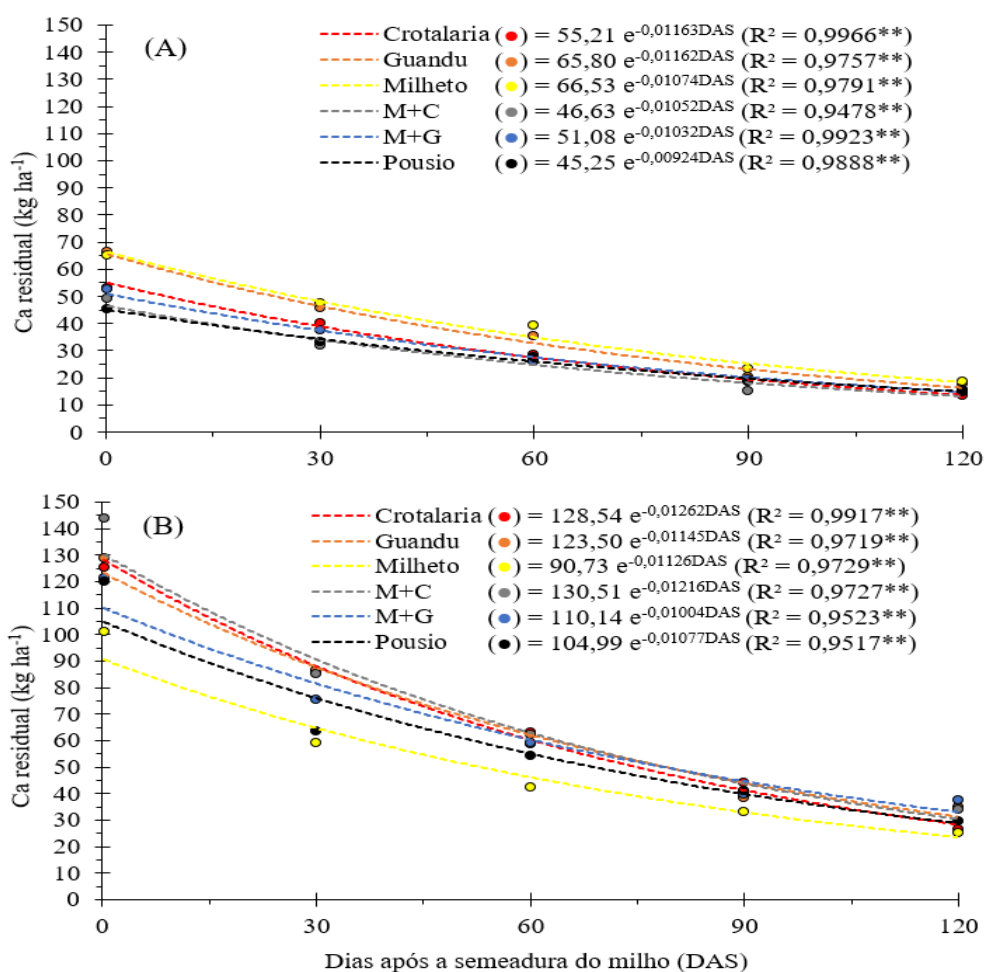


Fonte: Dados do próprio autor.

No momento em que a maior parte dos nutrientes foram liberados ao solo (até 30 DAS) o milho estava com 24 dias após a emergência e no estágio fenológico V_8 . De acordo com Fancelli (2015) nesse estágio inicia a confirmação do número de fileiras de grãos da espiga e coincide com a crescente taxa de absorção de nutrientes pela planta, destacando o N e K. Ritchie, Hanway e Benson (2003) relatam que a absorção de P pelas plantas de milho nos estádios iniciais é lenta, mas a partir de V_6 inicia-se absorção contínua que vai até a fase de maturação dos grãos (R_6).

A liberação do Ca contido na palhada de arroz e de soja, durante os dois anos do cultivo do milho segunda safra, seguiram o modelo matemático exponencial, independente da planta de cobertura que antecedeu (Figuras 25A, 25B, 26A e 26B).

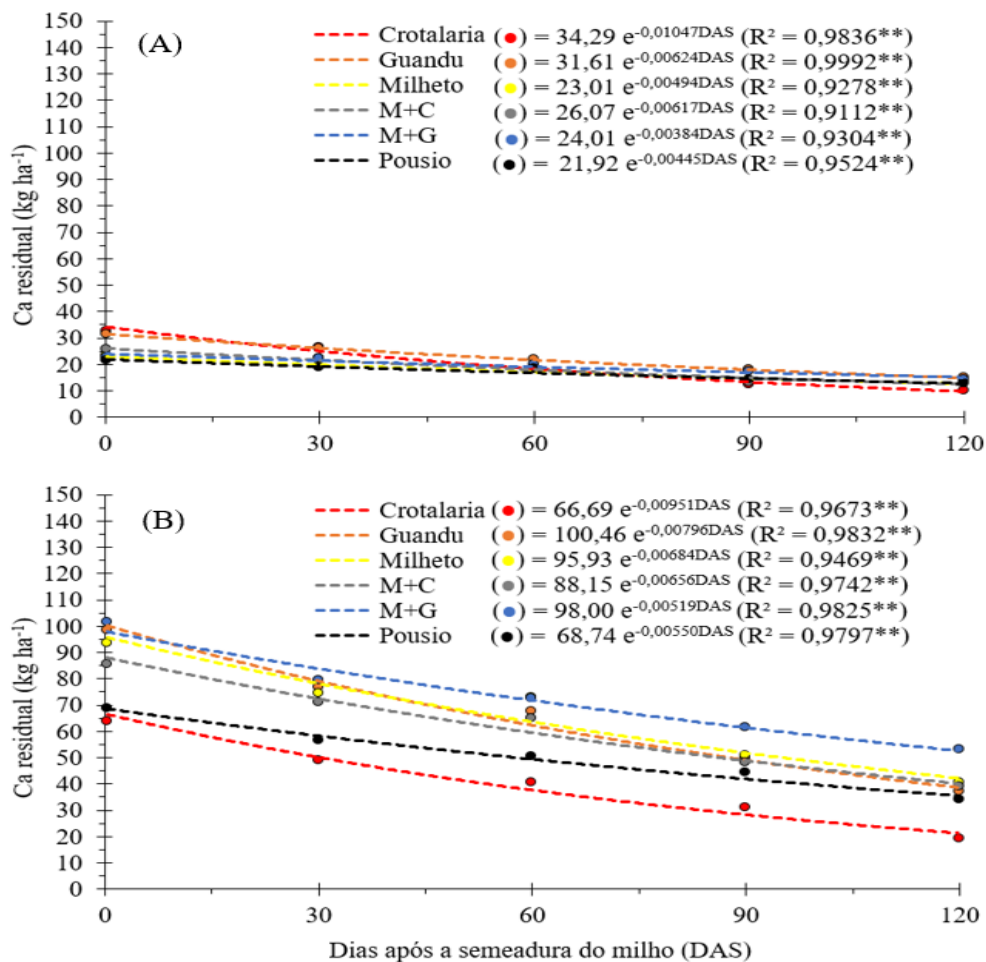
Figura 25 - Cálcio residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Segundo as equações, verificou-se que até os 120 DAS do milho, houve liberação média de 40 kg ha⁻¹ de Ca pela palhada de arroz, no primeiro ano (Figura 25A) e, 14 kg ha⁻¹ para o segundo ano (Figura 26A). Enquanto que, no mesmo período, a palhada de soja liberou 83 kg ha⁻¹ de Ca no primeiro ano (Figura 25B) e 48 kg ha⁻¹ no segundo ano (Figura 26B). Ou seja, a palhada de soja, no primeiro ano, contribuiu com o fornecimento do dobro de Ca para o milho semeado na sequência e, com pouco mais do triplo de Ca no segundo ano. Esse resultado foi reflexo da maior quantidade de Ca acumulado pela palhada de soja (Tabela 35).

Figura 26 - Cálcio residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



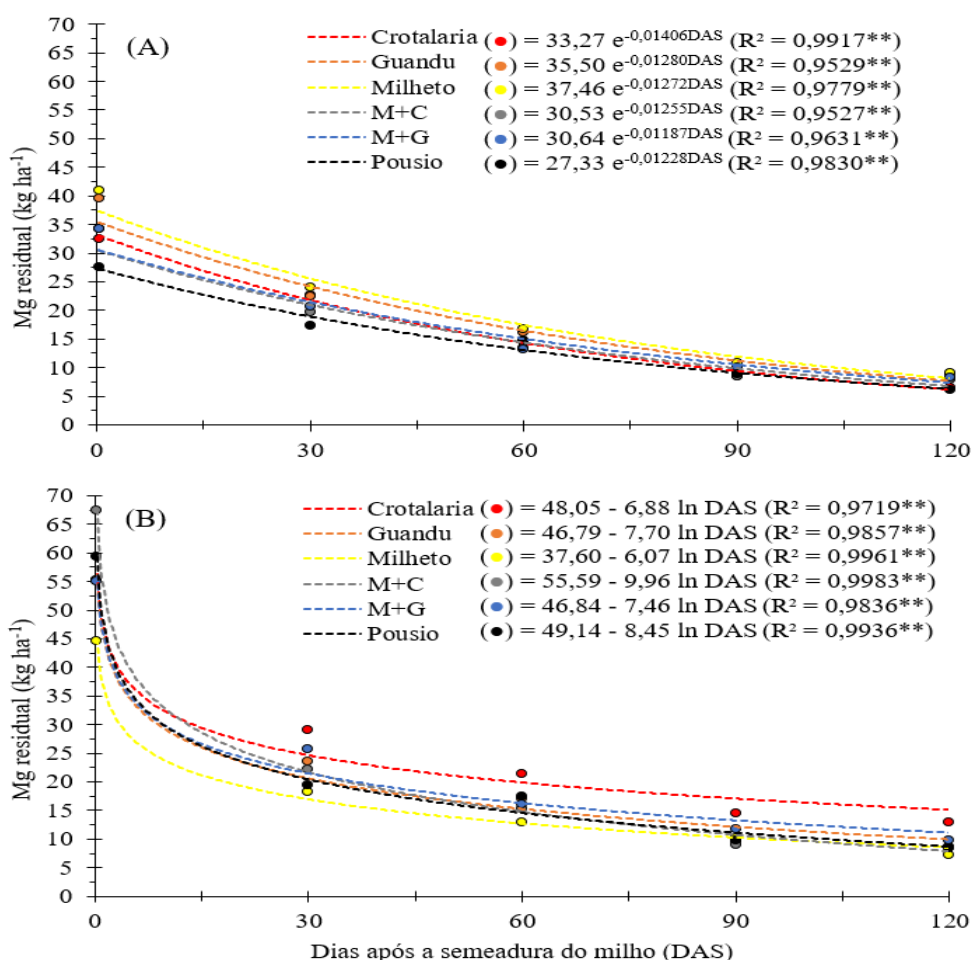
Fonte: Dados do próprio autor.

O cultivo de crotalária e do guandu, no primeiro ano, favoreceram maior taxa de liberação de Ca da palhada do arroz, comparado com o pousio (Figura 25A). Provavelmente, esse resultado ocorreu devido à maior decomposição da palhada do arroz cultivado em sucessão à crotalária e ao guandu (Figura 17A). Isso indicou que a liberação do Ca da palhada do arroz acompanhou a decomposição da mesma. No segundo ano, o cultivo da crotalária, anteriormente ao arroz, propiciou superior taxa de liberação de Ca contido na palhada de arroz, em relação ao M+G e pousio (Figura 26A). Verificou-se que o cultivo da crotalária possibilitou acúmulo de 44 e 50 % mais Ca na palhada de arroz do que o M+G e pousio, respectivamente (Tabela 36). Assim, o maior acúmulo de Ca na palhada de arroz, cultivado na sucessão à crotalária, favoreceu a maior taxa de liberação.

Em ambos os anos, as equações permitiram inferir que o cultivo anterior com crotalária favoreceu maior rapidez da liberação do Ca pela palhada da soja, comparado ao M+G (Figuras 25B e 26B). Esse resultado foi coerente, pois, no primeiro ano, a decomposição da palhada de soja em sucessão à crotalária foi mais rápida do que em sucessão ao M+G (Figura 17B). No segundo ano, recorrendo aos valores de MSAS (Tabela 32), verificou-se que o acúmulo de palhada da soja, semeada na sucessão com M+G, foi maior do que em sucessão à crotalária. Assim, o maior conteúdo de palhada sobre o solo propiciou menor contato com o mesmo, reduzindo a decomposição e liberação do Ca.

A liberação média de Mg da palhada de arroz até os 120 DAS do milho, no primeiro ano, foi de 25 kg ha⁻¹, enquanto que a palhada de soja liberou 37 kg ha⁻¹ (Figuras 27A e 27B).

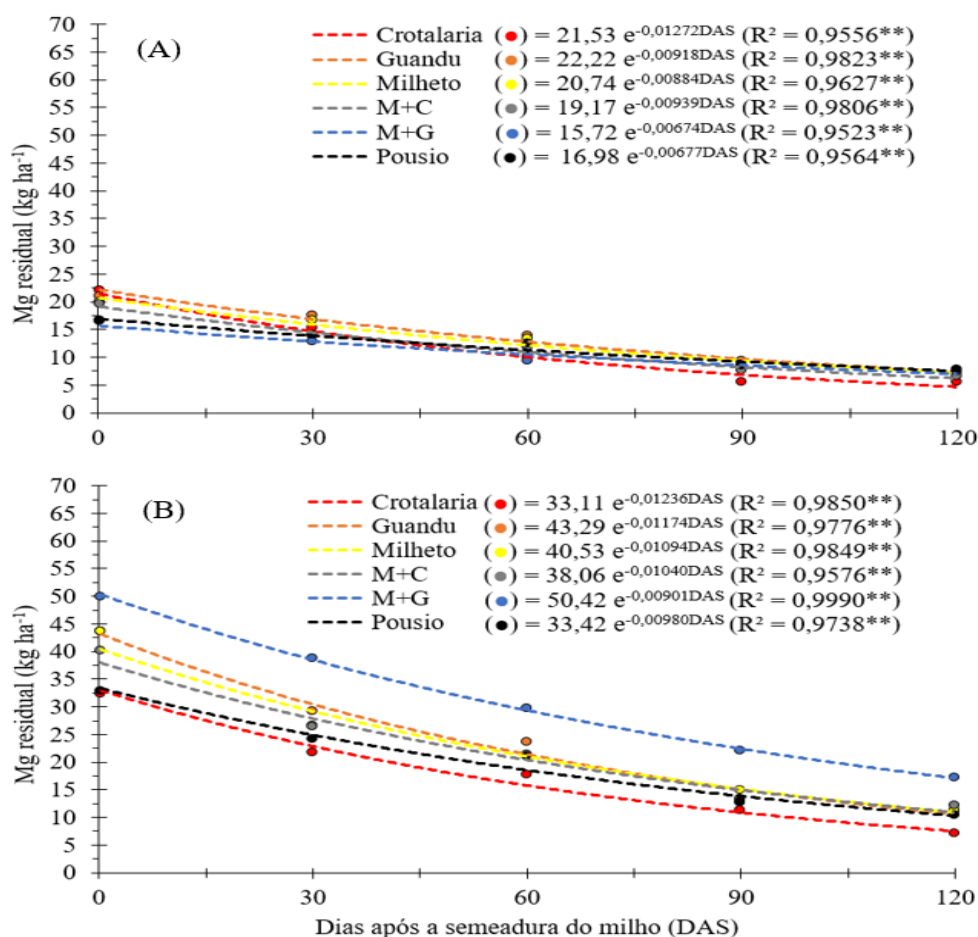
Figura 27 - Magnésio residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Ressalta-se que a liberação do Mg da palhada de soja foi de forma logarítmica, indicando que até os 30 DAS do milho, houve liberação de aproximadamente 26 kg ha⁻¹ de Mg (70 % do total acumulado). Até os 120 DAS do milho, no segundo ano, a palhada de arroz liberou 13 kg ha⁻¹ de Mg e a palhada de soja liberou 29 kg ha⁻¹, ambas liberaram de forma gradual (Figuras 28A e 28B). A menor relação C/N da palhada de soja (Tabela 31), bem como o superior acúmulo de Mg (Tabela 35), condicionaram a maior liberação desse nutriente da palhada de soja.

Figura 28 - Magnésio residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



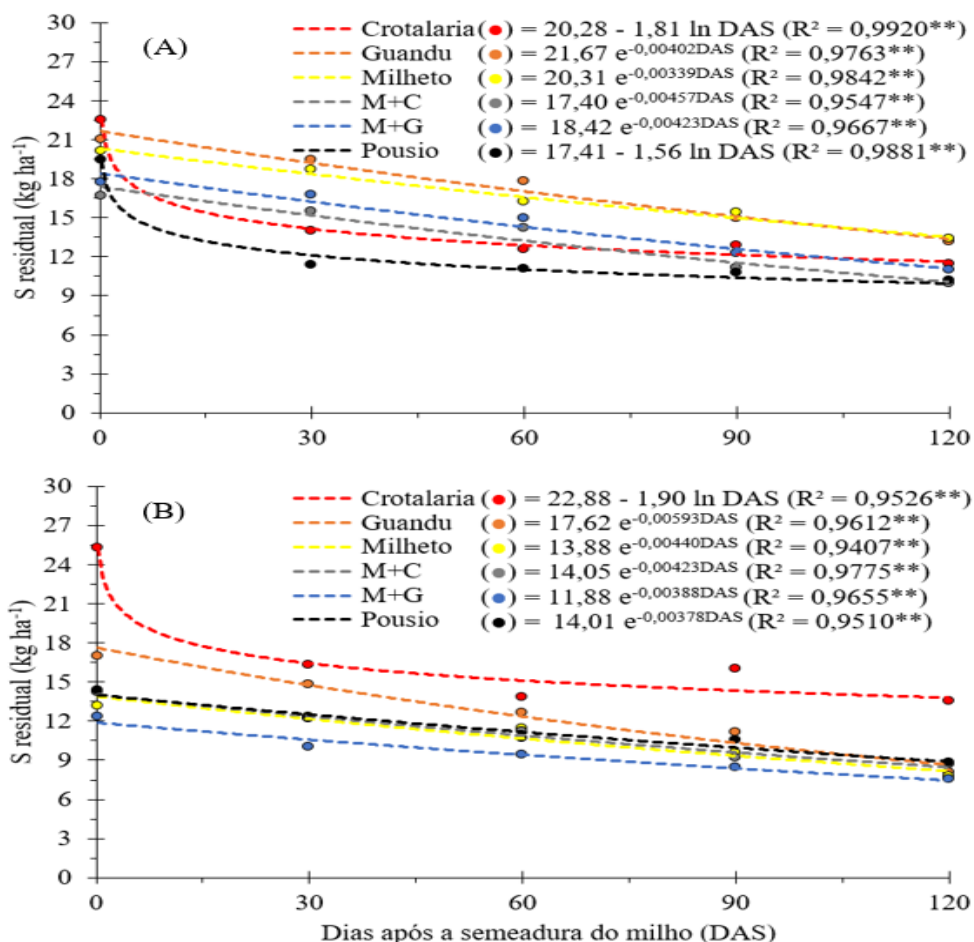
Fonte: Dados do próprio autor.

A palhada de arroz, em ambos os anos e, a palhada de soja, no segundo ano, na sucessão com a crotalaria, apresentaram taxa de liberação de Mg mais rápida do que em sucessão ao M+G. Esse resultado relaciona-se com a decomposição mais rápida da palhada do arroz e da

soja, na sucessão com a crotalária, diferentemente da sucessão com M+G (Figuras 17A, 18A e 18B). Essa resposta foi impulsionada pela menor relação C/N da palhada do arroz e soja após o cultivo da crotalária e superior relação C/N após o M+G (Tabela 31).

Verificou-se que até os 120 DAS do milho, no primeiro ano, houve liberação média de 8 kg ha⁻¹ de S pela palhada de arroz e pela palha de soja, independente da planta de cobertura (Figuras 29A e 29B). A semelhante quantidade liberada de S pela palhada de arroz e soja foi coerente, pois não apresentaram diferença na relação C/N (Tabela 31) e no acúmulo desse nutriente (Tabela 35). No segundo ano, a média de S liberado pela palhada de soja foi o dobro (8 kg ha⁻¹) do liberado pela palhada de arroz (4 kg ha⁻¹) (Figuras 30A e 30B). Além de menor relação C/N (Tabela 31), a palhada de soja apresentou, também, maior acúmulo de S que a palhada de arroz (Tabela 35), contribuindo para a maior liberação do nutriente.

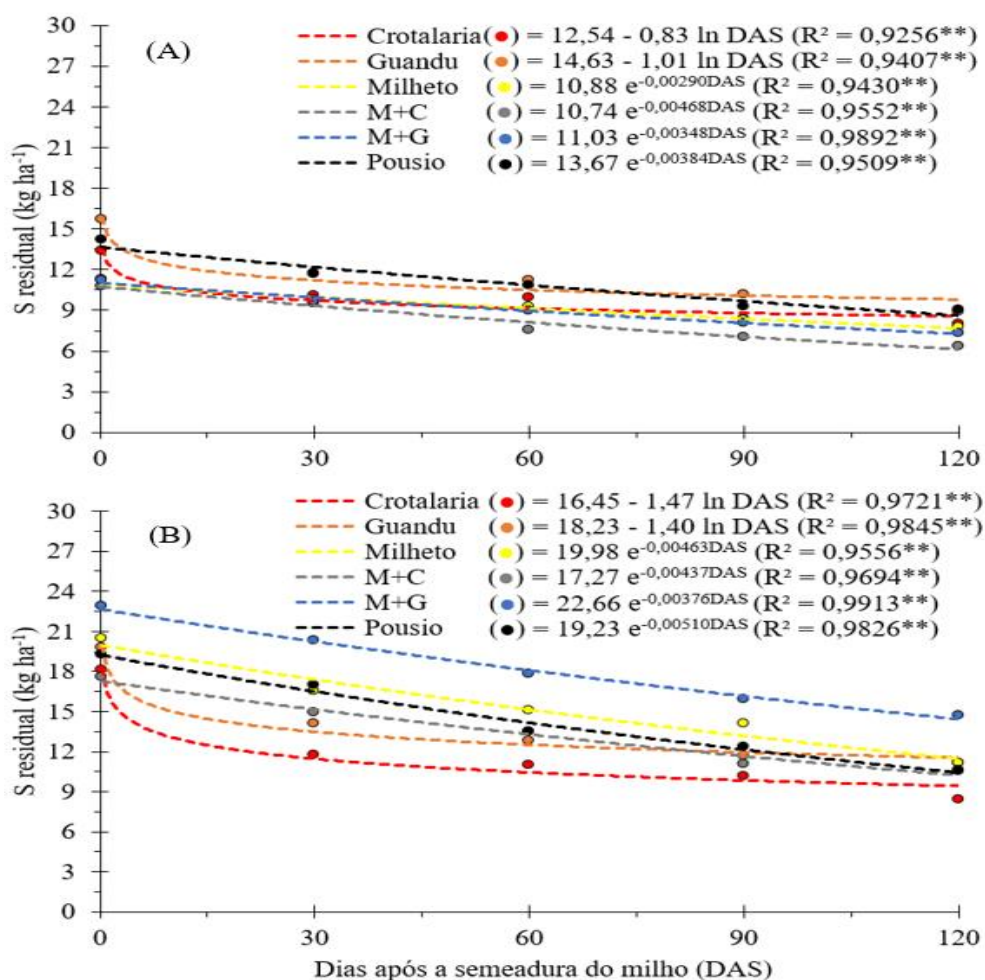
Figura 29 - Enxofre residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

No primeiro ano, a palhada de arroz e de soja, antecedidas pelo cultivo da crotalária, liberaram aproximadamente 6 kg ha⁻¹ de S até os 30 DAS do milho, ou seja, 67 % do total liberado até os 120 DAS (9 kg ha⁻¹) (Figuras 29A e 29B). Provavelmente, essa resposta foi em função da rápida decomposição inicial de ambas as palhadas, na sucessão com a crotalária (Figuras 17A e 17B). No segundo ano, até os 30 DAS, a palhada de arroz e a palhada de soja, em sucessão à crotalária e ao guandu, liberaram, na média, 4 kg ha⁻¹ de S, representando 70 % do total de S liberado durante todo o ciclo do milho (5,6 kg ha⁻¹) (Figuras 30A e 30B).

Figura 30 - Enxofre residual contido em plantas de arroz (A) e soja (B) remanescentes no solo até 120 dias durante o cultivo do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16. Teste F: ** – significativo a 1 % de probabilidade.



Fonte: Dados do próprio autor.

Os estudos envolvendo o acúmulo de massa seca e de nutrientes nas palhadas de culturas comerciais (arroz e soja), bem como sua decomposição e liberação no solo são escassos, por

isso, há dificuldade em confrontar os resultados com a literatura. Salienta-se que essas informações são extremamente importantes para o melhor manejo dos sistemas de produção.

4.4.4 Componentes de produção, aspectos nutricionais e produtividade de grãos de milho

Como a população inicial de plantas (PIP) de milho foi uniformizada (61.963 plantas ha⁻¹ para o ano 2014/15 e 59.703 plantas ha⁻¹ no ano 2015/16), não foi realizada análise estatística (Tabela 37). A uniformização da PIP foi realizada com o intuito de fornecer as mesmas condições iniciais para todos os tratamentos. Do contrário, não se pode afirmar que diferenças na população final de plantas seriam em função dos tratamentos. Assim como alertado por Fornasieri Filho (2007), a população de plantas de milho merece atenção especial, pois a cultura não tem capacidade de perfilhamento, sendo uma gramínea sensível à alteração da população.

Tabela 37 - População inicial (PIP), final (PFP) e altura de plantas (AP) de milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis* semeado em sucessão a arroz e soja em função de plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	PIP		PFP		AP	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
	-----plantas ha ⁻¹ -----				-----m-----	
Culturas (C)						
Arroz	61.963	59.703	60.733	56.074	2,18	1,81
Soja	61.963	59.703	60.370	56.148	2,17	1,83
CV	-	-	1,61	3,89	0,63	1,18
Plantas de cobertura (P)						
Crotalária	61.963	59.703	60.667	53.334	2,16	1,84
Guandu	61.963	59.703	60.741	55.778	2,19	1,81
Milheto	61.963	59.703	60.445	56.778	2,18	1,83
M+C ¹	61.963	59.703	60.804	56.889	2,16	1,82
M+G ²	61.963	59.703	60.370	57.111	2,19	1,82
Pousio	61.963	59.703	60.287	56.778	2,17	1,82
CV	-	-	1,31	9,59	2,24	3,22
Valor de F ³	C	-	-	1,67	0,01	3,15
	P	-	-	0,58	0,57	0,54
	C x P	-	-	0,80	1,16	0,79
CV	-	-	2,14	4,03	2,13	2,88
Média Geral	61.963	59.703	60.552	56.111	2,17	1,82

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

A população final de plantas (PFP) não foi influenciada pelas culturas de verão e tampouco pelas plantas de cobertura semeadas antes da cultura de verão (Tabela 37). A população indicada como sendo ideal para o híbrido 2B710 PW é de 55 a 65 mil plantas ha^{-1} (CRUZ et al., 2015). Pelo observado, em 2014/15 a população final média do experimento foi de 60.552 plantas ha^{-1} e do ano 2015/16 foi de 56.111 plantas ha^{-1} , ou seja, ambas estão dentro da faixa indicada. Portugal et al. (2017), no segundo ano de cultivo e Kappes, Arf e Andrade (2013a), em dois anos de cultivo, também não verificaram alteração na PFP de milho pelo uso de plantas de cobertura na região de Cerrado.

Pode-se observar que houve redução mais acentuada na população final de plantas em 2015/16 (3.592 plantas ha^{-1}), do que em 2014/15 (1.141 plantas ha^{-1}). Essa redução se deve a incidência de doença denominada enfezamento. Segundo Sabato, Landau e Oliveira (2014) o enfezamento é causado pelos mollicutes espiroplasma e fitoplasma, que são doenças transmitidas pela cigarrinha *Dalbulus maidis*. Segundo os autores a infecção ocorre nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta e os sintomas manifestam-se após o florescimento. A partir da safra 2015/16 houve grande incidência desse inseto-vetor em várias regiões do Brasil, causando problemas na cultura do milho até os dias atuais.

A altura de plantas (AP) não foi alterada pelos tratamentos (Tabela 37), no entanto, de acordo com Cruz et al. (2015) as médias estão coerentes com a descrição do híbrido (2,02 m). Muraishi et al. (2005), estudando a influência de palhada de milheto, pé-de-galinha, *U. decumbens*, arroz, *U. brizantha* e sorgo, no milho em sucessão, verificaram maior altura de plantas de milho nos tratamentos com milheto, pé-de-galinha e *U. brizantha*, em relação ao sorgo. Kappes, Arf e Andrade (2013a) observaram maior altura de plantas de milho nos tratamentos com palhada de crotalária e M+C em relação ao milheto, sem aplicação de N em cobertura, nos dois anos de cultivo. Portugal et al. (2017) relataram maior altura de plantas de milho quando semeado sobre palhada de crotalária, no primeiro ano e sobre crotalária e guandu no segundo ano.

Houve redução de 0,35 m na altura de plantas do primeiro para o segundo ano. Segundo Silva et al. (2002), com base em estudos de correlação, há diminuição da altura de plantas com o aumento da incidência e severidade dos enfezamentos no milho.

Em 2014/15 a massa seca de plantas de milho (MSP) demonstrou superioridade em sucessão a soja do que ao arroz de terras altas (Tabela 38). Essa resposta pode estar relacionada a maior disponibilidade de P da palhada de soja (Tabela 33). O P, entre outras funções, é componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético (ATP) das plantas (TAIZ et al., 2017; FURLANI, 2004) e sua deficiência causa redução do crescimento (TROEH;

THOMPSON, 2007; EPSTEIN; BLOOM, 2006) dessa forma, plantas bem nutridas com esse nutriente apresentam melhor desenvolvimento e acúmulo de massa seca.

Houve redução de 19 % (1.000 kg ha^{-1}) na MSP de milho, do ano 2014/15 para o ano 2015/16. Como mencionado, a provável explicação para isso foi a incidência de enfezamento (espiroplasma e fitoplasma) no milho em 2015/16, transmitida pela cigarrinha *Dalbulus maidis*, que, mesmo realizada aplicações de inseticida para seu controle, causou redução no desenvolvimento das plantas de milho.

No ano 2014/15 a palhada de crotalária, utilizada na pré-safra de verão (antes do arroz e soja), influenciaram positivamente o acúmulo de massa seca de *U. ruziziensis* (MSUR) em consórcio com milho, quando comparado aos tratamentos M+G e pousio (Tabela 38). O tratamento com crotalária apresentou 32 e 26 % mais N acumulado que M+G e pousio, respectivamente (Tabela 33). Assim, as plantas de *U. ruziziensis* foram beneficiadas por maior disponibilidade de N, principalmente na fase inicial de desenvolvimento (Figura 19A e 19B). De acordo com Duarte, Kurihara e Cantarella (2013) o fornecimento de nitrogênio em cobertura pode favorecer o crescimento inicial do capim usado no consórcio com o milho.

Batista *et al.* (2011), trabalhando com acúmulo de massa seca em forrageiras consorciadas com milho segunda safra em função da adubação nitrogenada (0, 30, 60 e 90 kg ha^{-1}) e em regiões diferentes (Campos Novos Paulista, Palmital, Florínea e Pedrinhas Paulista, verificaram que em Palmital o maior acúmulo de massa seca ocorreu com a dose estimada de 40 kg ha^{-1} de N em cobertura. Os autores atribuem essa resposta ao fato de que as plantas de forrageiras estavam mais próximas das plantas de milho (0,30 m ao invés de 0,45 m). No entanto, Costa *et al.* (2012), estudando acúmulo de massa de plantas de *U. brizantha* e *U. ruziziensis* em consórcio com milho safra e doses de N variando de 0 a 200 kg ha^{-1} , não verificaram resposta no incremento de massa seca das forrageiras.

Percebeu-se que no segundo ano (2015/16) a MSUR foi superior em 41 % ao primeiro ano do experimento. Como houve menor cobrimento do solo no primeiro ano, evidenciado pela menor população de plantas, menor altura e massa seca de plantas de milho, favoreceu o desenvolvimento da *U. ruziziensis*, pela menor competição interespecífica.

A massa seca total (MST), plantas de milho + *U. ruziziensis*, em 2015/16, foi superior em 405 kg ha^{-1} quando o milho consorciado foi cultivado em sucessão a soja (Tabela 38). Nesse mesmo ano, verificou-se que a MSP de milho cultivado sobre soja foi 162 kg superior em relação ao cultivado sobre arroz. Da mesma forma, a MSUR sobre a soja apresentou 243 kg mais que sobre arroz. Assim, constata-se que a soma da MSP e MSUR em sucessão a soja, foi exatamente 405 kg ha^{-1} mais do que em sucessão ao arroz. Possivelmente, essa superioridade

tenha ocorrido devido ao maior fornecimento de N e P da palhada de soja comparado com a palhada de arroz (Tabela 33).

Tabela 38 - Massa seca de plantas de milho (MSP), massa seca de *U. ruziziensis* (MSUR) e massa seca total (MST) em milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis* semeado em sucessão a arroz e soja em função de plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	MSP		MSUR		MST	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
-----kg ha ⁻¹ -----						
Culturas (C)						
Arroz	5.393b	4.455	1.454	1.905	6.847	6.359b
Soja	5.754a	4.617	1.421	2.148	7.175	6.765a
CV	2,86	12,83	17,49	27,27	5,32	7,29
Plantas de cobertura (P)						
Crotalária	5.115	4.757	1.895a	2.328	7.009	7.085a
Guandu	5.010	4.469	1.488ab	2.180	6.498	6.649ab
Milheto	5.139	4.598	1.358ab	2.053	6.498	6.651ab
M+C ¹	5.563	4.559	1.336ab	2.138	6.900	6.697ab
M+G ²	7.112	4.645	1.302b	1.734	8.413	6.379ab
Pousio	5.501	4.185	1.246b	1.726	6.747	5.911b
CV	32,43	15,76	24,21	28,23	22,74	10,60
Valor de F ³	C	61,20**	0,93	0,21	2,33	8,62 [#]
	P	1,51	0,60	3,74*	1,48	2,53 [#]
	C x P	0,28	0,30	0,16	0,07	0,44
CV	29,27	18,47	36,53	32,61	19,65	11,53
Média Geral	5.573	4.536	1.438	2.027	7.011	6.563

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. # - significativo a 7 %. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

O cultivo de crotalária na pré-safra de verão, em 2015/16, favoreceu o maior acúmulo de MST (20 %) em relação ao pousio (Tabela 38). Verificou-se que o cultivo da crotalária propiciou acúmulo de 25 % mais N que o pousio (Tabela 33). Além disso, a relação C/N das palhadas das culturas de verão (Tabela 31), cultivadas sobre crotalária (28), propiciou maior mineralização do N acumulado nesse tratamento, em comparação ao N acumulado no pousio (relação C/N de 34) (Figura 20A e 20B). Segundo Teixeira *et al.* (2009) materiais com maior relação C/N propiciam diminuição da disponibilidade de nutrientes para as culturas, devido a imobilização pela microbiota do solo. Lynch *et al.* (2016) ressaltam que a maior mineralização do N ocorre em palhada com menor relação C/N.

4.4.5 ICF e teor de N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de milho, no florescimento

Pode-se notar que o ICF no segundo ano foi 79 % menor que o primeiro ano (Tabela 39). Essa diferença foi pelo efeito da incidência das doenças denominadas enfezamentos (pálido e vermelho), transmitida pela cigarrinha *Dalbulus maidis*. Segundo Sabato, Landau e Oliveira (2014) os sintomas do enfezamento pálido é a presença de estrias cloróticas esbranquiçadas, da base até o ápice da folha e, de acordo com Toffanelli e Bedendo (2002) o enfezamento vermelho é caracterizado, inicialmente por estrias cloróticas nos bordos e ápice das folhas, progredindo para o desenvolvimento de avermelhamento. Dessa forma, a mudança na coloração da folha alterou a leitura da clorofila. Mesmo alterando a coloração natural da folha de milho, os teores de N, P, K, Ca, Mg e S não foram alterados, indicando que nutricionalmente a planta estava adequada (Tabela 39). Segundo Cantarella, Raij e Camargo (1997) a faixa adequada de nutrientes foliar, em g kg⁻¹ de massa seca, é de 27-35 para o N; 2,0-4,0 para o P; 17-35 para o K; 2,5-8,0 para o Ca; 1,5-5,0 para o Mg e 1,5-3,0 para o S.

Tabela 39 - Índice de clorofila foliar (ICF), teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em milho segunda safra semeado em sucessão a arroz e soja, em função de plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	ICF		N		P		K		Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
-----g kg ⁻¹ -----														
Culturas (C)														
Arroz	58,42	33,02	25,46	29,02	3,62	3,98	27,54	24,81	4,89	3,65	3,33	2,98	1,78	1,52
Soja	59,10	33,04	26,29	29,95	3,66	4,05	27,63	23,45	4,77	3,79	3,32	3,13	1,83	1,62
CV	10,67	1,48	7,47	4,29	3,64	13,32	1,02	19,46	10,13	10,38	3,24	15,63	15,50	18,29
Plantas Cobertura (P)														
Crotalária	58,70	33,43	26,19	30,32	3,73	4,27	27,55	23,97	4,93	3,73	3,61	3,12	1,90	1,62
Guandu	60,47	32,93	26,58	30,05	3,77	4,09	27,79	25,13	4,65	3,61	3,18	2,96	1,97	1,63
Milheto	59,37	33,37	25,64	29,41	3,61	4,00	28,07	24,18	5,08	3,76	3,40	3,16	1,73	1,55
M+C ¹	57,00	32,95	25,60	29,00	3,61	3,98	27,69	23,69	4,91	3,74	3,32	3,03	1,70	1,57
M+G ²	58,37	33,18	25,62	29,17	3,66	4,01	27,56	24,11	4,56	3,75	3,17	3,10	1,91	1,59
Pousio	58,65	32,32	25,63	28,99	3,48	3,74	26,86	23,69	4,86	3,74	3,29	2,96	1,64	1,45
CV	5,67	8,52	3,25	2,84	5,85	7,97	2,44	8,73	11,94	7,11	12,30	7,57	24,86	11,92
Valor de F ³	C	0,11	0,03	1,67	4,84	0,89	0,15	1,02	0,75	0,55	1,21	0,14	0,85	0,33
	P	0,71	0,12	1,43	2,73	1,34	1,72	2,16	0,39	0,68	0,29	0,97	0,83	0,54
	C x P	1,22	0,73	3,20	0,68	0,96	0,62	1,12	2,31	0,53	1,73	0,62	2,19	0,50
CV		4,62	7,81	2,44	5,94	5,71	7,56	1,94	7,44	7,84	7,67	8,30	4,36	14,03
Média Geral		59	33	25,88	29,49	3,64	4,02	27,59	24,13	4,83	3,72	3,32	3,05	1,81

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

O número de fileiras por espigas (NF) e o número de grãos por fileira (NGF) não foram alterados pelas culturas de verão e pelas plantas de cobertura (Tabela 40). O número de fileiras de grãos por espiga é uma característica que pode estar mais relacionada ao fator genótipo do que às práticas de manejo na cultura (KAPPES; ARF; ANDRADE, 2013b).

Tabela 40 - Número de fileiras (NF) por espiga, número de grãos por fileira (NGF) e prolificidade (PROL) de milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis* semeado em sucessão a arroz e soja em função de plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	NF		NGF		PROL		
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	
	-----nº-----				-		
Culturas (C)							
Arroz	18,37	17,44	25,98	24,56	0,94b	0,99	
Soja	18,16	17,31	24,91	24,95	1,04a	1,00	
CV	5,12	4,78	9,34	4,32	6,80	4,26	
Plantas de cobertura (P)							
Crotalária	17,97	17,48	25,62	24,78	0,96	1,03	
Guandu	18,35	17,23	24,56	24,33	0,99	0,99	
Milheto	18,45	17,30	25,14	25,24	1,00	0,98	
M+C ¹	18,30	17,36	25,25	24,93	0,97	0,98	
M+G ²	18,15	17,65	25,71	24,94	0,99	0,98	
Pousio	18,37	17,23	26,69	24,34	1,03	1,03	
CV	1,88	3,78	5,94	7,26	11,25	5,83	
Valor de F ³	C	0,64	0,29	2,45	1,57	26,27*	0,23
	P	2,07	0,51	1,78	0,32	0,37	1,40
	C x P	1,18	2,64	1,16	0,58	0,43	0,53
CV	3,28	2,67	5,52	4,87	7,38	5,61	
Média Geral	18,27	17,37	25,44	24,76	0,99	1,00	

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * – significativo a 5 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Apenas a prolificidade (PROL), em 2014/15 foi influenciada pelos tratamentos, apresentando maior valor no tratamento com soja (1,04) como cultura antecessora (Tabela 40). Essa característica expressa o número de espigas por planta (KAPPES *et al.*, 2011), e dessa forma, analogamente, usando os valores da população final de plantas do tratamento com arroz (60.733) e soja (60.370) e multiplicando pelo respectivo valor de prolificidade, resulta em 57.089 e 62.785 espigas por hectare, respectivamente. O milho cultivado em sucessão a soja propiciou 5.696 espigas a mais por hectare, possibilitando vantagem produtiva em relação ao cultivo em sucessão ao arroz. De acordo com Ritchie, Hanway e Benson (2003) híbridos

prolíficos apresentam produtividades razoavelmente estáveis sob condições variáveis de estresse, por que o desenvolvimento da espiga é menos inibido pelo estresse.

Com relação a massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG) de milho consorciado com *U. ruziziensis*, verificou-se que os tratamentos não propiciaram alterações (Tabela 41). A produtividade média do experimento, em 2014/15 (5.431 kg ha⁻¹) foi compatível com a média do milho segunda safra sul-mato-grossense (5.640 kg ha⁻¹) e em 2015/16 a produtividade média do experimento (4.778 kg ha⁻¹) foi superior à média sul-mato-grossense (3.815 kg ha⁻¹) (CONAB, 2016).

Portugal et al. (2017), estudando a cultura do milho, na primeira safra, semeado em sucessão a plantas de cobertura na região de Cerrado, relatou valores semelhantes de massa de mil grãos para o híbrido 2B710 PW (utilizado no segundo ano de cultivo). Demonstrou, ainda, que a massa de mil grãos desse híbrido foi superior nos tratamentos com crotalária e guandu, em relação ao milheto, M+G e pousio. O autor descreve que a produtividade de grãos de milho apresentou-se superior nos tratamentos com guandu e M+C, comparando com o milheto, M+G e pousio. Muraishi *et al.* (2005) verificaram maior massa de mil grãos de milho quando em sucessão a milheto e pé-de-galinha do que em sucessão a arroz e sorgo. Os autores relataram ainda que a produtividade de grãos de milho foi superior quando semeado em sucessão ao milheto e *U. brizantha* em comparação ao sorgo.

Notou-se que, de 2014/15 para 2015/16 houve redução de 8,5 % na massa de mil grãos e de 13,7 % na produtividade de grãos de milho. Isso se deve a transmissão de enfezamentos pela cigarrinha *Dalbulus maidis*. Mesmo o híbrido sendo moderadamente resistente aos enfezamentos e mesmo realizando aplicação de inseticidas visando o controle do inseto vetor da doença, não foi suficiente para impedir danos ao milho. Na região do Triângulo Mineiro, em alguns municípios, foi relatado redução de 15 % da produtividade de grãos de milho causado pelo ataque da cigarrinha (CONAB, 2017).

Com base nos dados de dois anos de pesquisa, notou-se que o desenvolvimento da cultura do milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis* foi semelhante quando em sucessão ao arroz de terras altas e em sucessão a soja. Essa informação respalda a ideia inicial de que a palhada da cultura do arroz também propicia condições adequadas ao bom desempenho produtivo do milho. Consequentemente, a cultura do arroz pode constituir parte dos sistemas de rotação de culturas para o cerrado brasileiro.

Tabela 41 - Massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG) de milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis* semeado em sucessão a arroz e soja em função de plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	MMG		PG		MÉDIA	
	14/15	15/16	14/15	15/16		
	-----g-----		-----kg ha ⁻¹ -----			
Culturas (C)						
Arroz	265,83	246,75	5.338	4.698	5.018	
Soja	271,12	248,30	5.523	4.857	5.190	
CV	7,87	1,79	8,38	7,37	5,46	
Plantas de cobertura (P)						
Crotalária	265,75	249,41	5.488	4.835	5.162	
Guandu	270,12	249,60	5.801	4.661	5.231	
Milheto	270,37	247,90	5.301	4.963	5.132	
M+C ¹	266,00	246,82	5.583	4.572	5.078	
M+G ²	270,87	245,87	5.307	4.962	5.135	
Pousio	267,75	245,55	5.104	4.672	4.888	
CV	3,89	2,06	11,45	8,19	6,83	
Valor de F ³	C	0,75	1,46	1,99	4,57	
	P	0,38	0,93	1,25	1,45	0,90
	C x P	1,18	0,56	0,25	0,76	0,40
CV	2,68	2,72	13,13	9,92	8,51	
Média Geral	268,48	247,52	5.431	4.778	5.105	

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Quantitativamente, a produtividade de grãos de milho segunda safra consorciado com *U. ruziziensis*, foi semelhante quando em sucessão a arroz ou soja e, com histórico de dois anos de cultivo de plantas de cobertura. No entanto, qualitativamente, pode haver influência positiva nos grãos de milho em sucessão a soja, pois a palhada dessa cultura acumulou mais nitrogênio e fósforo (Tabela 33), que pode ter sido disponibilizado ao milho. Essa é uma informação relevante, pois o milho é utilizado em vários produtos alimentares, constituindo uma fonte importante de nutrientes. Além disso, muitas pesquisas estão sendo realizadas para melhorar o valor nutricional do milho para consumo humano e animal (AI; JANE, 2016).

4.4.6 Extração de N, P, K, Ca, Mg e S pelo milho

A extração total de N pelo milho semeado sobre palhada de soja (158 kg ha⁻¹), no primeiro ano, foi 13 % maior que sobre palhada de arroz (141 kg ha⁻¹) (Tabela 42). Esse resultado pode ser respaldado pelo incremento da MSP de milho em sucessão à soja (Tabela

38), impulsionado, possivelmente, pela maior disponibilidade de P, Ca e Mg dessa palhada, ao milho (Tabelas 33 e 35).

Observou-se que, no segundo ano, a maior extração de N pelo milho, ocorreu quando o cultivo no inverno/primavera foi realizado com crotalária e M+G, em relação ao M+C e ao pousio (Tabela 42). De acordo com a quantidade média de N liberado pela palhada de arroz e de soja, até os 120 DAS do milho, verificou-se que o cultivo de crotalária e M+G propiciaram, na média, liberação de 25 % mais N que o pousio (Figuras 20A e 20B). Assim, o maior fornecimento de N para o milho, resultou na superior extração total. Segundo Resende et al. (2016), a utilização de híbridos com elevado potencial produtivo, associados ao cultivo em ambientes com superior oferta de nutrientes, eleva a capacidade de extração de nutrientes.

No segundo ano, o milho semeado sobre palhada de arroz extraiu 4,5 kg ha⁻¹ de P mais do que sobre palhada de soja, esse valor representou 18 % mais P (Tabela 42). Pelos atributos químicos do solo, verificou-se que o teor de P na camada de 0-10 cm foi maior na área com soja (Tabela 47), enquanto que na camada de 10-20 cm, o teor de P foi maior na área com arroz (Tabela 49). Provavelmente, as raízes do milho exploraram melhor a camada de 10-20 cm do solo, justamente onde havia maior teor de P disponível com o cultivo de arroz, favorecendo a maior extração. Segundo Fan et al. (2016), 80 % das raízes do milho situa-se na camada de 0-50 cm do solo, sendo que 40 % está até 12,5 cm de profundidade, 20 % está entre 12,5 e 25 cm e, mais 20 % entre 25 e 50 cm.

O guandu e o M+G, no segundo ano, favoreceram maior extração total de P pelo milho, com acréscimo médio de 32 % em relação ao pousio (Tabela 42). Embora sem diferença estatística, a palhada de arroz e de soja, antecidos por guandu e M+G, propiciaram, na média, aumento de 12 % no acúmulo de P (Tabela 33), incrementando em 21 % o teor de P no solo na camada de 0-10 cm (Tabela 47) e 24 % no teor de P na camada de 10-20 cm (Tabela 49), podendo, desta forma, ter refletido na maior extração de P pelo milho.

Tabela 42 - Extração de macronutrientes em kg ha⁻¹ em milho segunda safra semeado em sucessão a arroz e soja, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	N		P		K		Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
-----Extração total (kg ha ⁻¹) -----												
Culturas (C)												
Arroz	140,63b	122,66	32,96	26,66a	135,75	86,11	23,65	17,04	23,49	18,05	15,49	10,25
Soja	158,46a	123,07	34,99	22,59b	142,35	79,45	24,10	15,99	24,41	18,01	16,38	10,20
CV	6,19	10,38	13,28	11,37	10,95	19,49	11,24	15,18	21,16	16,50	15,15	12,89
Plantas Cobertura (P)												
Crotalária	151,95	133,44a	36,84	25,39ab	145,00	84,58	21,60	18,44a	24,84	19,52a	16,34	10,68abc
Guandu	143,19	123,43ab	33,53	27,86a	132,15	82,59	21,93	16,28abc	22,00	18,00ab	15,74	11,40a
Milheto	144,30	119,32ab	33,60	23,82ab	118,85	79,46	19,40	15,51bc	21,38	18,50ab	14,50	9,34bc
M+C ¹	154,83	115,01b	35,10	23,44ab	139,40	81,03	25,41	16,00abc	24,48	16,74ab	16,75	9,67abc
M+G ²	168,67	131,29a	36,57	26,58a	177,86	87,92	31,46	17,98ab	30,31	19,52a	17,92	11,29ab
Pousio	134,31	114,70b	28,23	20,66b	121,06	81,09	23,45	14,88c	20,71	15,90b	14,35	8,93c
CV	19,17	7,77	21,17	14,41	26,83	13,79	30,09	10,05	25,04	11,91	28,88	11,79
Valor de F ³	C	44,48**	0,01	2,40	25,41*	2,26	2,05	0,34	2,07	0,40	0,00	0,02
	P	1,36	5,70**	1,53	4,15**	2,67	0,57	2,76	5,71**	2,77	3,78*	0,71
	C x P	0,30	0,41	0,18	0,56	0,70	1,73	1,03	0,48	0,78	0,62	1,14
CV		14,48	11,29	14,14	14,24	21,82	11,65	24,08	16,00	19,66	14,53	23,32
Média Geral		149,54	122,87	33,98	24,63	139,05	82,78	23,87	16,52	23,95	18,03	15,93

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Verificou-se que, no segundo ano da pesquisa, o cultivo de crotalária propiciou maior extração total de Ca pelo milho, comparado com o milheto e o pousio (Tabela 42).

A extração total de Mg pelo milho, no segundo ano, indicou que houve maior benefício para o cultivo de crotalária e do M+G, ambos apresentaram $19,52 \text{ kg ha}^{-1}$, em detrimento ao pousio ($15,90 \text{ kg ha}^{-1}$) (Tabela 42). Este resultado pode ser explicado pela maior liberação de Mg da palhada de arroz e de soja, na sucessão com crotalária e M+G, equivalendo a 31 % mais que o pousio (Figura 28A e 28B).

No segundo ano, observou-se que o guandu propiciou incremento de 22 e 28 % na extração total de S pelo milho, em relação ao milheto e ao pousio, respectivamente (Tabela 42). Observa-se que a condição física do solo pode ter influenciado na absorção do S. Na camada de 0-10 cm do solo, houve tendência de maior macroporosidade e menor densidade, quando foi realizado o cultivo do guandu (Tabela 50). Já na camada de 10-20 cm, evidenciou-se menor densidade de solo pelo cultivo do guandu ($1,53 \text{ Mg m}^{-3}$) do que no pousio ($1,58 \text{ Mg m}^{-3}$) (Tabela 51). Assim, diferentemente do milheto e do pousio, o guandu propiciou condições de solo ao maior desenvolvimento das raízes do milho, possibilitando maior extração de S.

De forma geral, na média dos dois anos, a extração total de macronutrientes pelo milho apresentou a seguinte ordem: $\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{S}$, com os respectivos valores: 136, 111, 29, 21, 20 e 13 kg ha^{-1} . Esses valores são referentes ao acúmulo de 5.054 kg ha^{-1} de massa seca de plantas de milho e para a produtividade média de 5.100 kg ha^{-1} de grãos. Resende et al. (2016), estudando a extração total de nutrientes por diferentes híbridos de milho, cultivados em dois níveis de investimento em adubação, verificaram que na média, a extração total foi na ordem: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, e os respectivos valores foram: 291, 151, 51, 38, 30 e 21 kg ha^{-1} . Esses valores de extração levaram em consideração o acúmulo de $14.726 \text{ kg ha}^{-1}$ de massa seca de plantas e $10.340 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos. Portanto, considerando a ordem de extração do presente trabalho com o de Resende et al. (2016), observa-se que houve inversão na extração entre o P e o Ca, enquanto que para os demais macronutrientes a ordem foi semelhante.

No primeiro ano, para cada tonelada de grãos de milho produzida, a extração de N foi 9,8 % maior quando o milho foi semeado sobre palhada de soja, comparado com a palhada de arroz (Tabela 43). Provavelmente, o cultivo da soja propiciou melhores condições para o desenvolvimento do milho semeado na sequência, demonstrando aumento na MSP, necessitando, portanto, de maior quantidade de N.

O cultivo da crotalária, no segundo ano, proporcionou maior extração de N para cada tonelada de grãos de milho produzida, representando superioridade de 14 % em relação ao milheto e ao pousio (Tabela 43). Certamente, a explicação para esse resultado está relacionada

com o incremento de 14 % na MSP de milho favorecida pelo cultivo da crotalária, comparado com o pousio (Tabela 38). Assim, a maior MSP de milho indicou que o cultivo da crotalária favoreceu o maior desenvolvimento do milho, culminando em maior demanda por N.

No segundo ano, o milho cultivado após o arroz extraiu 5,69 kg de P para cada tonelada de grãos produzida, enquanto que o milho cultivado após soja extraiu 4,66 kg t⁻¹ de grãos (Tabela 43). Esses resultados são semelhantes aos da extração total de P pelo milho. Portanto, vale a mesma explicação de maior aproveitamento do P contido na camada de 10-20 cm do solo, pelo sistema radicular do milho.

Observa-se que, no segundo ano, houve maior extração de P, para produzir uma tonelada de grãos de milho, quando o guandu foi cultivado no inverno/primavera, em comparação ao cultivo do milheto e do pousio (Tabela 43), ou seja, o cultivo do guandu propiciou superioridade média de 30 % na extração de P pelo milho, do que o milheto e o pousio. Nota-se que os atributos físicos do solo, na camada de 10-20 cm indicaram que o cultivo do guandu favoreceu menor densidade do solo comparado com o pousio (Tabela 51). Portanto, com o menor impedimento para o crescimento das raízes do milho, o guandu proporcionou melhores condições para que as raízes do milho explorassem o solo.

A extração de K pelo milho, em kg t⁻¹ de grãos, no primeiro ano, indica que o cultivo de M+G favoreceu maior extração (33,65 kg t⁻¹) em relação ao guandu (22,90 kg t⁻¹) e ao milheto (22,61 kg t⁻¹) (Tabela 43). Ou seja, na média, o M+G proporcionou extração de 48 % mais K pelo milho do que o guandu e o milheto. A extração em kg t⁻¹ de grãos de milho produzido é obtida com a divisão do total de nutriente extraído (planta + grãos) pela quantidade de grãos. Dessa forma, observa-se que a extração total de K pelo milho cultivado na área com M+G representou, na média, 42 % mais do que o guandu e o milheto e, como a produtividade de grãos proveniente desses tratamentos foram semelhantes, a maior extração de K foi devida ao incremento de 40 % na MSP de milho oriunda da área cultivada com M+G (Tabela 38).

Para cada tonelada de grãos produzida, a extração de Ca pelo milho, no primeiro ano, se mostrou superior quando foi realizado o cultivo do M+G, no inverno/primavera, comparado com o cultivo da crotalária, do guandu e do milheto (Tabela 43). De forma parecida com o que ocorreu com o K, a maior extração foi devida ao aumento médio de 40 % na MSP de milho, proveniente do cultivo com M+G, em relação à crotalária, guandu e milheto (Tabela 38). Já no segundo ano, a área cultivada com crotalária possibilitou maior extração de Ca pelo milho do que a área com milheto (Tabela 43). Possivelmente, esse resultado foi devido a liberação de 40 % mais Ca pela palhada de arroz e de soja, oriundas da área cultivada com crotalária, em relação à área cultivada com milheto (Figuras 26A e 26B).

Tabela 43 - Extração de macronutrientes em kg t⁻¹ de grãos de milho segunda safra semeado em sucessão a arroz e soja, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	N		P		K		Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
-----Extração (kg t ⁻¹ de grão) -----												
Culturas (C)												
Arroz	26,33b	26,13	6,16	5,69a	25,49	18,38	4,44	3,63	4,39	3,86	2,89	2,18
Soja	28,92a	25,49	6,35	4,66b	26,09	16,54	4,42	3,32	4,47	3,73	2,98	2,10
CV	5,77	16,69	10,98	6,22	15,71	26,51	16,49	18,33	20,61	17,43	10,22	9,49
Plantas Cobertura (P)												
Crotalária	27,60	27,79a	6,70	5,25ab	26,26ab	17,74	3,92b	3,86a	4,52ab	4,07	2,97	2,22ab
Guandu	24,69	26,52ab	5,80	6,03a	22,90b	17,76	3,80b	3,50ab	3,83b	3,88	2,72	2,45a
Milheto	27,25	24,16b	6,34	4,82b	22,61b	16,23	3,68b	3,16b	4,04b	3,77	2,71	1,88b
M+C ¹	27,68	25,15ab	6,28	5,17ab	24,80ab	17,66	4,53ab	3,49ab	4,36ab	3,65	3,00	2,11ab
M+G ²	31,84	26,63ab	6,87	5,39ab	33,65a	17,96	5,96a	3,65ab	5,73a	3,96	3,40	2,29ab
Pousio	26,69	24,61b	5,54	4,40b	24,50ab	17,41	4,70ab	3,19ab	4,10b	3,40	2,81	1,89b
CV	14,24	7,35	15,81	13,51	24,03	14,56	27,20	11,97	21,04	12,18	24,43	12,86
Valor de F ³	C	31,71**	0,27	0,91	122,70**	0,26	1,93	0,00	2,94	0,09	0,44	1,92
	P	2,84	4,31**	2,13	4,91**	3,46*	0,49	4,02*	3,32*	4,27*	2,15	1,04
	C x P	0,94	1,28	0,71	2,55	0,23	2,65	0,57	0,54	0,76	1,14	0,74
CV	13,53	7,76	10,53	10,68	25,45	8,94	27,22	16,28	19,46	12,34	19,20	9,67
Média Geral	27,63	25,81	6,26	5,18	25,79	17,46	4,43	3,48	4,43	3,79	2,93	2,14

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

A extração, em kg t^{-1} de grãos, de Mg pelo milho demonstrou que, no primeiro ano, houve maior valor proveniente do cultivo de M+G, em relação a crotalária, o guandu e o pousio (Tabela 43). Esse resultado foi semelhante ao que ocorreu com extração do K e do Ca. Assim, vale a mesma explicação, relacionando o incremento de 36 % na MSP de milho proveniente do cultivo com M+G, comparado com a crotalária, guandu e pousio (Tabela 38).

O cultivo de guandu, o inverno/primavera, do segundo ano, possibilitou incremento médio de 30 % na extração de S pelo milho (em kg t^{-1} de grãos), em relação ao cultivo de milheto e o pousio (Tabela 43). Da mesma forma que ocorreu com a extração total de S pelo milho, o cultivo do guandu propiciou melhor condição física do solo comparado com o milheto e com o pousio (Tabelas 50 e 51), colaborando para a maior extração de S.

Na média dos dois anos, a extração de macronutrientes para cada tonelada de grãos de milho, seguiu a mesma ordem da extração total ($\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{S}$), e apresentou os respectivos valores: 26,6; 21,5; 5,7; 4,1; 3,9 e 2,5 kg t^{-1} de grãos, para a produtividade média de 5.100 kg ha^{-1} . No trabalho de Resende et al. (2016), para a produtividade de 10.340 kg ha^{-1} , a ordem de extração (em kg t^{-1} de grãos) foi: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, apresentando 28,1; 14,6; 4,9; 3,7; 2,9 e 2,0, respectivamente. Verificou-se que, comparando com o presente trabalho, a ordem de extração foi diferente apenas para o Ca e o P, enquanto que as quantidades necessárias de macronutrientes foram superiores para o K e o P, isso pode ser indicativo de diferenças genética entre os híbridos estudados.

4.4.7 Exportação de N, P, K, Ca, Mg e S pelo milho

Nos dois anos, o cultivo da soja favoreceu aumento médio de 8 % na exportação total de N pelo milho semeado na sucessão, comparado com o arroz (Tabela 44). Em relação ao primeiro ano, verificou-se que a extração total de N pelo milho cultivado em sucessão à soja foi 13 % maior do que cultivado em sucessão ao arroz (Tabela 42). Assim, com a maior extração de N pelo milho, ocorreu maior translocação para os grãos. Para o segundo ano, provavelmente, o maior acúmulo de N na palhada de soja (Tabela 33), juntamente com a maior liberação (Figuras 20A e 20B) proporcionaram maior exportação de N pelo milho.

A exportação total de P pelo milho semeado após a cultura do arroz, no segundo ano, foi de 17,21 kg ha^{-1} , enquanto que após a cultura da soja foi de 14,02 kg ha^{-1} (Tabela 44). Esse resultado pode ser respaldado pela maior extração de P que ocorreu no milho (Tabela 43), ou seja, a maior quantidade do nutriente extraída, possibilitou maior translocação para os grãos de milho.

Tabela 44 - Exportação de macronutrientes em kg ha⁻¹ em milho segunda safra semeado em sucessão a arroz e soja, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Cobertura: Serpina (MS), Brasil: 2014/15 e 2015/16.													
Tratamentos	N		P		K		Ca		Mg		S		
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	
	-----Exportação total (kg ha ⁻¹) -----												
Culturas (C)													
Arroz	80,85b	69,67b	23,03	17,21a	43,94	25,81	2,69	1,24	9,01	5,28	7,53	5,26	
Soja	88,69a	73,86a	23,92	14,02b	42,49	24,57	2,54	1,31	9,23	5,72	8,10	5,77	
CV	9,89	3,47	10,78	3,63	29,89	11,28	17,02	7,51	33,22	29,05	10,93	20,19	
Plantas Cobertura (P)													
Crotalária	89,02	74,84	26,15a	16,34ab	51,54a	24,29	2,82a	1,29	11,08a	5,50	8,76	5,88ab	
Guandu	90,51	70,26	24,39ab	17,63a	46,02ab	26,70	2,82a	1,25	9,32ab	5,57	8,25	5,98a	
Milheto	82,14	74,63	23,49ab	15,63ab	36,52bc	25,52	2,29b	1,35	8,38bc	6,46	7,42	5,17bc	
M+C ¹	86,52	66,66	24,15ab	15,44ab	45,10ab	25,09	2,66ab	1,19	9,47ab	4,87	8,03	5,39abc	
M+G ²	83,97	74,32	24,15ab	15,64ab	46,53ab	25,26	2,76ab	1,34	9,86ab	5,79	7,89	5,69abc	
Pousio	76,47	69,87	18,52b	13,02b	33,57c	24,25	2,35b	1,23	6,59c	4,81	6,53	5,01c	
CV	12,48	8,14	18,88	14,06	15,98	9,81	11,00	10,00	15,66	23,10	18,67	8,41	
Valor de F ³	C	10,50*	33,99**	1,50	379,97**	0,15	2,28	1,41	6,57	0,06	0,89	2,51	
	P	1,87	2,64	2,72 [#]	3,77*	7,71**	1,08	5,46**	1,99	9,02**	1,86	2,22	5,66**
	C x P	0,12	0,70	0,61	0,62	1,70	1,63	0,82	1,20	0,65	1,11	1,88	2,21
CV		12,99	10,26	18,09	12,50	21,32	9,84	21,35	9,44	25,51	23,15	15,94	13,65
Média Geral		84,77	71,76	23,47	15,62	43,21	25,19	2,62	1,27	9,12	5,50	7,81	5,52

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. [#] Significativo a 7 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

No período de inverno/primavera, o cultivo da crotalária, no primeiro ano, e do guandu, no segundo ano, favoreceram a maior exportação total de P pelo milho segunda safra, diferentemente do pousio (Tabela 44). A extração total de P contido no milho, cultivado na área com crotalária, foi 30 % superior ao pousio. Essa maior extração beneficiou o incremento de 41 % na exportação total, mostrando que houve maior migração do P para os grãos do milho. No segundo ano, percebe-se que a maior exportação de P pelo milho, cultivado na área com guandu, ocorreu em virtude da maior extração total do nutriente, superando em 35 % a extração de P pelo milho cultivado na área com pousio (Tabela 42).

O cultivo da crotalária, no primeiro ano, possibilitou maior exportação total de K, Ca e Mg pelo milho (51,54 kg ha⁻¹ de K, 2,82 kg ha⁻¹ de Ca e 11,08 kg ha⁻¹ de Mg), em relação ao milheto e pousio (Tabela 44). Assim, o cultivo da crotalária favoreceu incremento médio de 47, 22 e 48 % na exportação total de K, Ca e Mg pelo milho, respectivamente.

O cultivo do guandu, no segundo ano, propiciou aumento de 17 % na exportação total de S pelo milho, comparado com o milheto e o pousio (Tabela 44). Esse resultado ocorreu devido a maior extração total de S pelo milho cultivado em área com guandu, sobressaindo em 30 % ao milho cultivado na área com milheto e pousio (Tabela 42). Portanto, a maior extração de S, possibilitou maior translocação para os grãos de milho.

De acordo com a produtividade média de grãos de milho dos dois anos (5.105 kg ha⁻¹), a exportação foi de 78, 20, 34, 1,9, 7,3 e 6,7 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. A ordem decrescente de exportação foi: N>K>P>Mg>S>Ca. Resende et al. (2016) verificaram que, para a produtividade de 10.340 kg ha⁻¹ de grãos de milho, a exportação de N, P, K, Ca, Mg e S foi de 148, 19, 32, 0,4, 8 e 9 kg ha⁻¹, respectivamente, com a seguinte ordem decrescente: N>K>P>S>Mg>Ca. Ou seja, o resultado do presente estudo apresentou ordem diferente entre o Mg e o S, os demais macronutrientes foram semelhantes.

Para cada tonelada de grãos de milho produzido, no primeiro ano, o cultivo anterior de soja propiciou exportação de 16,04 kg de N, aproximadamente 6 % superior ao cultivo anterior com arroz, que apresentou 15,15 kg (Tabela 45). Provavelmente, este resultado ocorreu em razão da maior extração (Tabelas 42 e 43) e exportação total de N pelo milho (Tabela 44). Nesse mesmo ano, houve maior exportação de N pelo milho na área que foi cultivada com a crotalária (16,23 kg t⁻¹ de grãos) e menor exportação na área com o pousio (14,96 kg t⁻¹ de grãos), ou seja, a crotalária proporcionou incremento de 8 % na exportação de N pelo milho (Tabela 45). Mesmo sem diferença, percebe-se que a extração total de N pelo milho foi 13 % superior e a exportação total foi 16 % maior onde foi cultivado a crotalária em relação ao pousio.

Tabela 45 - Exportação de macronutrientes em kg t⁻¹ de grãos de milho segunda safra, semeado em sucessão a arroz e soja, em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

Tratamentos	N		P		K		Ca		Mg		S	
	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16	14/15	15/16
-----Exportação (kg t ⁻¹ de grãos) -----												
Culturas (C)												
Arroz	15,15b	14,82	4,30	3,67a	8,20	5,52	0,50	0,26	1,68	1,13	1,41	1,12
Soja	16,04a	15,23	4,31	2,89b	7,69	5,07	0,46	0,27	1,67	1,18	1,47	1,18
CV	4,78	5,79	6,96	8,22	27,52	20,48	16,36	13,35	30,43	25,36	4,49	14,34
Plantas Cobertura (P)												
Crotalária	16,23a	15,45	4,76a	3,37ab	9,35a	5,02	0,51a	0,27	2,00a	1,15	1,60	1,21ab
Guandu	15,57ab	15,05	4,21ab	3,80a	8,04ab	5,73	0,49ab	0,27	1,63bc	1,20	1,43	1,28a
Milheto	15,48ab	15,04	4,41ab	3,14ab	6,86bc	5,19	0,43b	0,27	1,58c	1,31	1,39	1,04c
M+C ¹	15,52ab	14,58	4,33ab	3,41ab	8,05ab	5,49	0,48ab	0,26	1,69bc	1,06	1,45	1,18abc
M+G ²	15,82ab	15,03	4,52ab	3,18ab	8,77a	5,14	0,53a	0,27	1,86ab	1,17	1,50	1,14abc
Pousio	14,96b	14,99	3,59b	2,76b	6,59c	5,19	0,46ab	0,26	1,29d	1,03	1,28	1,07bc
CV	3,67	3,23	15,12	13,54	10,94	9,75	8,85	7,36	9,78	22,51	14,02	8,07
Valor de F ³	C	17,18*	2,68	0,02	100,95**	0,67	2,03	3,32	0,24	0,01	0,32	1,69
	P	4,28**	2,57	2,97*	4,92**	12,04**	2,09	4,83**	0,53	17,89**	1,17	2,32
	C x P	2,79	0,86	0,75	1,98	2,03	2,41	1,19	0,82	0,80	1,23	1,51
CV		2,74	5,13	11,31	9,87	16,52	6,43	14,45	6,34	20,99	19,34	13,09
Média Geral		15,60	15,02	4,30	3,28	7,95	5,29	0,48	0,27	1,68	1,15	1,44

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: ** e * – significativo a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

A exportação de P, em kg t^{-1} de grãos de milho, foi semelhante à exportação total, indicando que, o uso da crotalária, no primeiro ano e, o uso do guandu, no segundo ano, propiciaram superior exportação de P pelo milho, comparado com o pousio (Tabela 45). A resposta mais provável está relacionada com a maior extração do P, pelo milho na área cultivada com crotalária, no primeiro ano e, guandu, no segundo ano.

Verificou-se que, o milho cultivado após o arroz, apresentou exportação de 3,67 kg de P para cada tonelada de grãos de milho, representando exportação de 27 % mais P do que o milho cultivado após a soja ($2,89 \text{ kg t}^{-1}$ de grãos) (Tabela 45). Como o milho cultivado após o arroz obteve maior extração de P (Tabelas 42 e 43), houve, também, maior translocação para os grãos de milho, aumentando a exportação.

Para cada tonelada de grãos de milho produzida, no primeiro ano, as exportações de K, Ca e Mg foram superiores na área que foi cultivado a crotalária e o M+G, em comparação com o milheto e o pousio (Tabela 45). Nota-se que a exportação de Ca é pequena e, por esse motivo, em alguns casos não se considera o Ca nos grãos de milho (BENDER *et al.*, 2013).

A exportação de S pelo milho, no segundo ano, indicou que o cultivo de guandu propiciou maior valor ($1,28 \text{ kg t}^{-1}$ de grãos), deferentemente do cultivo de milheto ($1,04 \text{ kg t}^{-1}$) e o pousio ($1,07 \text{ kg t}^{-1}$) (Tabela 45). Possivelmente, esse resultado foi consequência da maior extração de S pelo milho, impulsionado pelo cultivo, no inverno/primavera, de guandu, em relação ao milheto e o pousio (Tabelas 42 e 43).

Verificou-se que, na média dos dois anos, para a produção de cada tonelada de grãos de milho, as exportações de N, P, K, Ca, Mg e S, foram: 15,3; 3,8; 6,6; 0,4; 1,4 e 1,3 kg. A ordem decrescente foi semelhante à exportação total ($\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S} > \text{Ca}$). Em partes, os dados corroboram Resende *et al.* (2016), que verificaram exportação de 14,3, 1,8, 3,1, 0,04, 0,8 e 0,9 kg de N, P, K, Ca, Mg e S para cada tonelada de grãos de milho, respectivamente ($\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{S} > \text{Mg} > \text{Ca}$). Comparando com os valores do presente trabalho, observou-se que apenas o Mg e o S apresentaram ordem inversa de exportação, os demais seguiram o mesmo padrão.

4.4.8 Atributos químicos e físicos do solo na área de milho

De acordo com os atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm, em 2014/15 (Tabela 46), aferidos por ocasião do florescimento feminino do milho, observa-se que as plantas de cobertura, semeadas na pré-safra de verão e o arroz e a soja, semeadas em sucessão, não proporcionaram alterações com base estatística.

Tabela 46 - Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm aferidos por ocasião do florescimento da cultura do milho segunda safra semeado em sucessão a resíduos de arroz e soja em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al	SB	CTC	S-SO ₄ mg dm ⁻³	V %
Profundidade	0-10 cm (2014/15)											
Início	52,75	25,58	5,93	3,56	40,96	33,63	26,67	-	78,13	104,80	2,25	74,25
Culturas (C)												
Arroz	45,77	23,33	6,03	3,00	49,89	40,11	17,39		93,00	110,39	8,22	83,50
Soja	38,11	23,39	5,95	3,10	45,56	37,11	16,78		85,77	102,55	7,67	82,83
CV	22,81	8,68	7,83	13,33	19,92	25,45	26,20		19,86	12,56	11,10	8,55
Plantas de cobertura (P)												
Crotalária	40,33	23,00	5,82	3,35	42,33	33,33	18,50	-	79,02	97,52	8,33	80,50
Guandu	37,67	23,50	6,00	3,28	47,00	35,00	16,83	-	85,28	102,12	7,67	81,50
Milheto	38,83	24,00	6,02	2,50	51,67	42,50	17,33	-	96,67	114,00	7,50	84,33
M+C ¹	43,67	23,17	5,97	2,53	49,17	40,17	17,50	-	91,87	109,37	7,67	83,33
M+G ²	49,00	23,67	6,15	3,70	53,50	44,33	15,33	-	101,53	116,87	7,33	86,67
Pousio	42,17	22,83	6,02	2,97	42,67	36,33	17,00	-	81,97	98,97	9,17	82,67
CV	15,54	8,53	4,75	30,10	28,52	30,77	14,90	-	27,60	22,24	18,14	7,01
Valor de F ³	C	5,78	0,01	0,25	0,54	1,87	0,84	0,17	1,49	3,10	3,57	0,08
	P	2,35	0,29	0,85	1,62	0,69	0,82	0,99	0,76	0,70	1,37	0,84
	C x P	1,39	0,21	1,97	0,59	0,39	1,28	1,04	0,63	0,53	1,05	0,96
CV		20,30	9,99	2,74	20,41	20,80	14,69	11,04	16,34	13,32	18,14	3,95
Média Geral		41,94	23,36	6,00	3,05	47,72	38,61	17,08	89,39	106,47	7,94	83,17

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV

– Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Tabela 47 - Atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm aferidos por ocasião do florescimento da cultura do milho segunda safra semeado em sucessão a resíduos de arroz e soja em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al	SB	CTC	S-SO ₄ mg dm ⁻³	V %
Profundidade	0-10 cm (2015/16)											
Início	52,75	25,58	5,93	3,56	40,96	33,63	26,67	-	78,13	104,80	2,25	74,25
Culturas (C)												
Arroz	28,22b	28,56	5,70	2,91a	41,56	33,39	26,28		75,81	102,08	3,22b	73,72
Soja	36,22a	28,17	5,62	2,39b	38,94	27,44	25,94		68,63	94,57	4,00a	72,17
CV	15,75	8,78	1,31	12,75	33,21	59,01	35,58		39,31	20,51	12,21	18,50
Plantas de cobertura (P)												
Crotalária	32,67	27,16	5,55	2,38	38,00	28,83	27,00	-	69,22	96,22	4,50	71,50
Guandu	32,17	29,50	5,63	2,88	40,50	30,00	27,67	-	67,25	94,92	3,33	70,33
Milheto	30,67	28,67	5,60	2,72	38,17	31,83	26,67	-	72,72	99,38	3,50	72,83
M+C ¹	30,67	28,33	5,80	2,32	45,33	34,00	23,33	-	81,65	104,98	3,83	77,17
M+G ²	38,17	30,00	5,77	2,88	43,50	32,83	24,17	-	79,22	103,38	3,33	76,00
Pousio	29,00	26,50	5,62	2,25	36,00	25,00	27,83	-	63,25	91,08	3,17	69,83
CV	18,00	7,22	5,82	15,98	13,44	29,42	20,97	-	15,21	9,52	24,68	8,46
Valor de F ³	C	22,37*	0,22	0,13	37,21*	0,34	0,99	0,01	0,58	1,25	28,00*	0,12
	P	1,81	2,57	0,57	2,98	2,62	0,79	0,72	2,51	1,91	1,82	1,44
	C x P	3,52	0,88	1,67	1,43	1,78	0,94	2,99	-	0,86	0,56	2,01
CV		15,53	7,36	3,88	18,32	13,00	27,66	13,08	-	15,15	8,79	28,53
Média Geral		32,22	28,36	5,66	2,57	40,25	30,42	26,11	-	72,22	98,33	3,61

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * – significativo a 5 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Com base em estudos visando interpretar os níveis dos atributos químicos do solo, verificou-se que na camada de 0-10 cm, na média geral, o teor de P é considerado alto (41-80 mg dm⁻³), pH baixo (5,6-6,0), K alto (3,1-6,0 mmol_c dm⁻³), S-SO₄ médio (5-10 mg dm⁻³), V% alta (71-90) e o teores de Ca e Mg são considerados altos (Ca: >7 e Mg: >8 mmol_c dm⁻³) (RAIJ et al., 1997).

No ano 2015/16 o teor de P e de S na camada de 0-10 cm do solo foram favorecidos pelo cultivo anterior de soja e o teor de K foi beneficiado pelo cultivo anterior do arroz (Tabela 47). A palhada da cultura da soja acumulou quase o dobro de P que a palhada de arroz (Tabela 33), e propiciou maior teor do nutriente no solo. Provavelmente, a mesma explicação é válida em relação ao teor de S no solo. De forma semelhante, a palhada de arroz acumulou aproximadamente 41 % mais K que a palhada de soja, o que pôde favorecer o maior teor desse nutriente no solo.

Visando interpretar os níveis dos atributos químicos do solo, verificou-se que na camada de 0-10 cm, na média geral, o teor de P é considerado médio (16-40 mg dm⁻³), pH baixo (5,6-6,0), K médio (1,6-3,0 mmol_c dm⁻³), S-SO₄ baixo (0-4,0 mg dm⁻³), V% alta (71-90) e o teores de Ca e Mg são considerados altos (Ca: >7 e Mg: >8 mmol_c dm⁻³) (RAIJ et al., 1997).

No ano 2014/15, verificou-se que na camada de 10-20 cm não houve alteração nos atributos químicos do solo, aferidos por ocasião do florescimento feminino do milho (Tabela 48). Na média geral, o teor de P é considerado médio (16-40 mg dm⁻³), pH médio (5,1-5,5), K médio (1,6-3,0 mmol_c dm⁻³), S-SO₄ alto (>10 mg dm⁻³), V% média (51-70) e o teores de Ca e Mg são considerados altos (Ca: >7 e Mg: >8 mmol_c dm⁻³) (RAIJ et al., 1997).

O teor de P e K no solo, na camada de 10-20 cm, em 2015/16, foram superiores quando em sucessão a cultura do arroz de terras altas (Tabela 49). Houve maior acúmulo de P na palhada de soja (Tabela 33) e também maior liberação para o solo, refletindo em maior teor na camada de 0-10 cm. Como o P é um nutriente pouco móvel no solo, praticamente não há descida no perfil. Aproximadamente 70 % do sistema radicular da soja situa-se na camada de 0-20 cm (BORDIN et al., 2008), enquanto que 90 % do sistema radicular do arroz é encontrado na camada de 0-10 cm (GERMEK; INFORZATO; FRANCO, 1950). Dessa forma, pode-se inferir que a raiz de soja pode ter explorado maior profundidade de solo que as raízes do arroz, e por isso, reduzir o teor de P na camada inferior do solo. Em relação ao K, verificou-se que houve maior acúmulo na palhada de arroz (Tabela 33), isso possibilitou maior teor na camada de 0-10 cm do solo e, como se trata de um nutriente móvel no solo, culminou em maior teor também na camada de 10-20 cm.

Tabela 48 - Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm aferidos por ocasião do florescimento da cultura do milho segunda safra semeado em sucessão a resíduos de arroz e soja em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15.

Tratamentos	P ² mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ²	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al ⁴	SB	CTC	S-SO ₄ mg dm ⁻³	V %
Profundidade	10-20 cm (2014/15)											
Início	26,42	18,00	5,11	1,53	18,00	13,37	27,46	1,29	33,20	60,66	6,08	54,25
Culturas (C)												
Arroz	31,78	15,89	5,36	1,54	22,22	17,11	24,22	0,17	40,87	65,09	13,00	62,55
Soja	22,39	15,83	5,22	2,30	20,67	16,44	24,33	0,56	39,42	63,75	10,78	61,00
CV	24,39	6,89	8,47	35,99	36,63	34,41	17,24	53,60	33,24	14,23	47,72	19,40
Plantas de cobertura (P)												
Crotalária	23,17	15,67	5,15	1,58	18,00	14,50	26,00	0,50	34,08	60,08	10,00	56,33
Guandu	25,33	16,50	5,37	3,78	23,00	17,17	23,50	0,17	43,95	67,45	11,33	64,83
Milheto	27,83	15,83	5,20	1,27	19,67	16,67	23,67	0,50	37,60	61,63	13,33	60,83
M+C ¹	26,67	15,50	5,30	1,47	20,50	16,17	23,50	0,50	38,13	61,63	13,50	61,33
M+G ²	32,67	15,83	5,41	1,72	24,33	18,50	24,83	0,33	44,55	69,38	10,33	63,67
Pousio	26,83	15,83	5,30	1,72	23,17	17,67	24,17	0,17	42,55	66,72	12,83	63,67
CV	19,21	6,07	4,58	29,14	17,09	16,55	15,13	31,60	16,15	7,34	29,73	11,27
Valor de F ³	C	4,27	0,02	0,80	0,82	0,35	0,12	0,01	1,33	0,11	0,19	0,15
	P	0,59	0,75	1,02	1,41	2,65	1,48	0,43	0,42	2,48	4,05	1,17
	C x P	0,40	1,24	1,54	1,56	1,28	0,54	1,36	0,51	1,58	1,31	0,24
CV		12,11	4,72	2,33	23,10	14,32	13,93	8,02	33,31	13,14	8,37	42,80
Média Geral		27,08	15,86	5,29	1,92	21,44	16,78	24,28	0,36	40,14	64,42	11,89

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: não significativo. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental.

⁴Dados ajustados pela seguinte equação $(X + 0,5)^{0,5}$.

Fonte: Dados do próprio autor.

Tabela 49 - Atributos químicos do solo na camada de 10-20 cm aferidos por ocasião do florescimento da cultura do milho segunda safra semeado em sucessão a resíduos de arroz e soja em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. 2015/16.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	M.O g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al mmolc dm ⁻³	Al	SB	CTC	S-SO ₄ mg dm ⁻³	V %
Profundidade	10-20 cm (2015/16)											
Início	26,42	18,00	5,11	1,53	18,00	13,37	27,46	1,29	33,20	60,66	6,08	54,25
Culturas (C)												
Arroz	24,44a	19,28	5,18	1,61a	20,56	16,83	33,78	0,61	38,99	72,77	5,72	53,61
Soja	20,05b	19,50	5,02	1,11b	19,17	15,61	34,67	1,17	35,88	70,55	7,33	50,67
CV	8,34	9,91	12,86	13,30	49,64	36,57	28,63	84,45	42,15	9,82	28,97	32,39
Plantas de cobertura (P)												
Crotalária	20,83	18,50	5,15	1,23	19,33	15,33	33,50	0,67	35,90	69,40	6,17	51,83
Guandu	21,83	20,50	5,10	1,45	20,67	16,33	34,67	1,00	38,45	73,12	5,83	52,67
Milheto	25,17	19,17	5,05	1,33	19,83	16,67	35,67	1,17	37,83	73,50	6,17	51,33
M+C ¹	19,50	19,00	5,08	1,22	18,17	15,33	34,33	0,83	34,72	69,05	7,50	50,17
M+G ²	26,67	20,00	5,13	1,48	21,50	17,33	33,83	0,67	40,32	74,15	7,83	54,00
Pousio	19,50	19,17	5,08	1,42	19,67	16,33	33,33	1,00	37,42	70,75	5,67	52,83
CV	31,48	9,64	5,28	15,11	16,69	16,15	17,51	36,50	14,56	6,53	26,40	14,06
Valor de F ³	C	50,33*	0,12	0,51	69,23*	0,18	0,38	0,07	0,62	0,35	0,90	0,27
	P	1,11	0,91	0,11	1,82	0,71	0,53	0,13	0,32	0,78	0,31	0,20
	C x P	1,39	0,24	0,97	2,16	0,86	1,11	1,40	1,17	1,01	0,35	1,97
CV		30,16	8,04	2,55	26,65	13,22	11,07	8,80	14,29	11,75	6,81	20,70
Média Geral		22,25	19,39	5,10	1,36	19,86	16,22	34,22	0,89	37,44	71,66	6,52

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * – significativo a 5 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. CV – Coeficiente de variação experimental.

Fonte: Dados do próprio autor.

Para o ano 2015/16, na camada de 10-20 cm, verificou-se que na média geral, o teor de P é considerado médio (16-40 mg dm⁻³), pH médio (5,1-5,5), K baixo (0,8-1,5 mmol_c dm⁻³), S-SO₄ médio (5-10 mg dm⁻³), V% média (51-70) e o teores de Ca e Mg são considerados altos (Ca: >7 e Mg: >8 mmol_c dm⁻³) (RAIJ *et al.*, 1997).

Fazendo um balanço da fertilidade do solo, em ambas as profundidades, do primeiro para o segundo ano, verificou-se redução dos teores de P, K, Ca, Mg, pH, V% e aumento da MO e da acidez. Essas alterações são normais, pois há exportação de nutrientes pelos grãos das culturas, reduzindo os teores no solo e causando o aumento da acidez pela remoção de bases. O aumento da MO se deve a adição de grande quantidade de material vegetal promovida pelas plantas de cobertura, palhada de arroz e soja, e milho em consórcio com *U. ruziziensis*. O sistema plantio direto tem como característica a contínua adição superficial de palhada, que formam uma cobertura morta e enriquecem as camadas superficiais com matéria orgânica (STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 2006) e consequentemente melhoram a fertilidade do solo (MACHADO; SILVA, 2001; SILVA *et al.*, 2009).

Apenas o tratamento com arroz no ano 2014/15, na profundidade de 0-10 cm propiciou menor valor de densidade de solo, possibilitando melhor condição de desenvolvimento do sistema radicular da cultura do milho, semeado em sucessão (Tabela 50). Pode-se perceber, ainda, que no tratamento com arroz houve maior macroporosidade (mesmo que numericamente maior), fornecendo respaldo a explicação de menor densidade de solo nesse tratamento. De acordo com Ferreira (2010) a densidade do solo reflete o arranjo das partículas do solo que, por sua vez, caracteriza o sistema poroso. O autor ressalta, ainda, que as raízes das plantas se desenvolvem nos poros, sendo assim, alguma alteração significativa no sistema poroso pode resultar em interferência no crescimento delas. Fabian (2009) e Beutler *et al.* (2001) também verificaram que o aumento na macroporosidade do solo propicia redução na densidade.

No mesmo tipo de solo, Cavenage *et al.* (1999) verificaram que na área de Cerrado, na camada de 0-10 cm apresentava: Ds - 1,19; Mi - 0,38; Ma - 0,12; Pt - 0,50. Sendo assim, esses valores podem ser considerados ideais para o tipo de solo da região. Verificou-se que os valores para todos os atributos estão acima dos citados acima.

Pode-se observar que houve melhoria nos atributos físicos do solo, do primeiro para o segundo ano agrícola, principalmente pelo aumento da macroporosidade e redução da densidade do solo. Provavelmente, essa melhoria seja devido ao sistema radicular da *U. ruziziensis* que foi utilizada em consórcio com o milho, além do incremento de matéria orgânica promovido pela deposição de grande quantidade de material vegetal sobre o solo. Esses fatores propiciam, ao longo do tempo, benefícios a qualidade física do solo. Em trabalho realizado por

Pacheco et al. (2016), para verificar o desenvolvimento do sistema radicular de *U. ruziziensis* submetida a diferentes densidades de solo, concluíram que essa espécie tem capacidade de romper camadas compactadas e formar bioporos.

Tabela 50 - Atributos físicos do solo na camada de 0-10 cm, na área com milho segunda safra semeado em sucessão a arroz e soja em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16.

Tratamentos	⁴ Macro m ³ m ⁻³	Micro m ³ m ⁻³	P. Total	Ds Mg m ⁻³	Macro m ³ m ⁻³	Micro m ³ m ⁻³	P. Total	Ds Mg m ⁻³
Início	0,09	0,35	0,44	1,58	0,09	0,35	0,44	1,58
Culturas (C)	-----2014/15-----				-----2015/16-----			
Arroz	0,09	0,35	0,44	1,57 b	0,11	0,33	0,44	1,56
Soja	0,08	0,35	0,43	1,64 a	0,12	0,33	0,44	1,52
CV	16,52	4,6	3,15	3,28	20,63	11,31	5,32	2,79
Plantas de cobertura (P)								
Crotalária	0,08	0,35	0,43	1,61	0,11	0,33	0,44	1,56
Guandu	0,10	0,35	0,45	1,56	0,13	0,32	0,45	1,50
Milheto	0,08	0,34	0,44	1,60	0,11	0,33	0,44	1,54
M+C ¹	0,09	0,35	0,44	1,61	0,11	0,33	0,45	1,54
M+G ²	0,08	0,35	0,43	1,63	0,12	0,32	0,44	1,51
Pousio	0,08	0,36	0,44	1,60	0,10	0,34	0,44	1,59
CV	23,97	2,04	4,89	5,09	18,57	5,07	5,62	1,53
Valor de F ³	C	0,21	0,85	3,44	17,74*	0,99	0,01	0,46
	P	0,95	1,97	1,59	0,65	1,33	1,61	0,31
	C x P	0,34	0,54	0,21	0,18	1,50	1,22	3,22
CV		24,81	2,34	4,11	4,16	19,52	5,61	4,23
Média Geral		0,09	0,35	0,44	1,60	0,11	0,33	0,44

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * – significativo a 5 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental. ⁴Macroporosidade; Microporosidade; Porosidade Total; Densidade de solo.

Fonte: Dados do próprio autor.

Em 2015/16 a Ds na camada de 10-20 cm foi superior em solo sob o tratamento pousio (1,58) e inferior em solo cultivado com guandu (1,53) (Tabela 51). O sistema radicular do guandu é caracterizado como pivotante e com potencial de descompactação do solo. Assim, a ruptura de camadas compactadas promovida pelas raízes de guandu, propicia o melhor desenvolvimento das raízes da cultura subsequente e aumenta a possibilidade de absorção de água e nutrientes (SILVA *et al.*, 2015).

Em estudos objetivando caracterizar as condições físicas adequadas do solo da região de cerrado, Cavenage et al. (1999) verificaram que os valores para a camada de 10-20 cm do solo são: Ds – 1,31; Mi – 0,40; Ma – 0,09; Pt – 0,47. Dessa forma, pode-se inferir que os

atributos físicos em 2015/16 estão mais próximos dos considerados ideais, demonstrando melhoria do primeiro para o segundo ano de estudo.

Cabe ressaltar que no sistema plantio direto com qualidade, os objetivos principais envolvem grande deposição da palhada sobre o solo e, de preferência, diversidade de palhada (espécies diferentes). Pois a diversidade sobre o solo, indica, também, diversidade de organismos abaixo dele. Essa ideia é imprescindível para os modelos de sistemas de produção que visem sustentabilidade.

Tabela 51 - Atributos físicos do solo na camada de 10-20 cm, na área com milho segunda safra semeado em sucessão a arroz e soja em função das plantas de cobertura. Selvíria (MS), Brasil. (A) 2014/15 e (B) 2015/16.

Tratamentos	⁴ Macro m ³ m ⁻³	Micro m ³ m ⁻³	P. Total	Ds Mg m ⁻³	Macro	Micro m ³ m ⁻³	P. Total	Ds Mg m ⁻³
Início	0,08	0,35	0,43	1,60	0,08	0,35	0,43	1,60
Culturas (C)	-----2014/15-----				-----2015/16-----			
Arroz	0,08	0,36	0,44	1,58	0,09	0,34	0,43	1,56
Soja	0,08	0,36	0,44	1,59	0,09	0,34	0,43	1,55
CV	10,51	4,4	3,34	3,48	11,37	6,44	6,72	1,9
Plantas de cobertura (P)								
Crotalária	0,08	0,36	0,44	1,61	0,09	0,34	0,43	1,55ab
Guandu	0,08	0,35	0,43	1,59	0,10	0,34	0,44	1,53b
Milheto	0,08	0,36	0,44	1,58	0,09	0,34	0,43	1,56ab
M+C ¹	0,07	0,37	0,44	1,58	0,08	0,34	0,42	1,55ab
M+G ²	0,08	0,36	0,44	1,58	0,09	0,34	0,43	1,55ab
Pousio	0,07	0,37	0,44	1,60	0,08	0,35	0,43	1,58a
CV	13,61	4,24	3,60	2,44	16,42	3,02	3,34	1,70
Valor de F ³	C	0,02	0,08	0,37	0,38	0,08	0,00	0,86
	P	1,81	1,38	0,25	1,62	1,37	1,06	3,43*
	C x P	1,16	0,59	1,40	1,45	0,35	1,23	1,34
CV		10,87	4,10	2,79	2,11	23,03	3,26	3,86
Média Geral		0,08	0,36	0,44	1,59	0,09	0,34	0,43
								1,55

¹milheto + crotalária. ²milheto + guandu. ³Teste F: * – significativo a 5 % de probabilidade. Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DMS – diferença mínima significativa. CV – Coeficiente de variação experimental. ⁴Macroporosidade; Microporosidade; Porosidade Total; Densidade de solo.

Fonte: Dados do próprio autor.

Rapidamente, usando os valores de massa seca das plantas de cobertura (MSPC), sobre o cultivo de arroz, massa seca da palhada de arroz (MSRA) e massa seca de plantas de milho (MSPM) e massa seca da *U. ruziziensis* (MSUR) na área anteriormente com arroz, verificou-se que na média dos dois anos houve acumulado de 18.552 kg ha⁻¹ (Tabela 52). Fazendo o mesmo para o cultivo da soja, usando MSPC, MSRS, MSPM e MSUR na área anteriormente com soja

observa-se que na média dos dois anos houve acumulado de 20.376 kg ha⁻¹ (Tabela 52). Sendo que, na média das duas culturas, verificou-se massa seca acumulada de 19.464 kg ha⁻¹.

Sá et al. (2015), estudando o acúmulo de massa seca de culturas sobre o solo em oito anos consecutivos e em duas regiões distintas (Ponta Grossa – PR, clima subtropical e Lucas do Rio Verde – MT, clima tropical) e seu efeito no carbono do solo, verificaram que para manter o saldo positivo de C no solo, a quantidade de massa seca adequada seria de 8.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e 12.500 kg ha⁻¹ ano⁻¹, para Ponta Grossa e Lucas do Rio Verde, respectivamente.

Tabela 52 – Valores médios de massa seca acumulada na área experimental, nos dois anos, em função de plantas de cobertura e cultivo de arroz e soja. Selvíria (MS), Brasil. 2014/15 e 2015/16.

2014/15 e 2015/16.									
Plantas	MSPC	¹ MSRA	MSPM	MSUR	MSPC	MSRA	MSPM	MSUR	MÉDIA
	-----ARROZ (2014/15)-----				-----ARROZ (2015/16)-----				
kg ha ⁻¹									
Crotalária	7.763	6.874	5.349	1.904	6.307	5.127	4.888	2.211	20.212
Guandu	5.876	6.474	4.923	1.424	5.944	5.634	4.523	2.085	18.442
Milheto	6.235	7.020	4.653	1.293	6.642	4.528	4.412	1.973	18.378
M+C	7.967	6.300	5.343	1.457	8.090	4.740	4.279	2.059	20.118
M+G	6.656	6.182	7.146	1.331	6.400	4.761	4.628	1.613	19.359
Pousio	4.603	5.560	4.944	1.318	3.473	4.231	3.998	1.487	14.807
MÉDIA	6.517	6.402	5.393	1.455	6.143	4.837	4.455	1.905	18.552
Plantas	MSPC	² MSRS	MSPM	MSUR	MSPC	MSRS	MSPM	MSUR	MÉDIA
	-----SOJA (2014/15)-----				-----SOJA (2015/16)-----				
kg ha ⁻¹									
Crotalária	7.771	7.566	4.881	1.885	5.237	6.693	4.626	2.444	20.552
Guandu	6.092	6.615	5.097	1.552	6.162	8.155	4.415	2.275	20.182
Milheto	6.276	5.607	5.626	1.424	7.735	7.950	4.784	2.133	20.768
M+C	7.026	6.672	5.784	1.216	6.293	8.004	4.839	2.217	21.026
M+G	6.280	6.618	7.077	1.273	6.514	9.293	4.663	1.856	21.787
Pousio	4.709	6.519	6.058	1.175	4.405	6.685	4.372	1.965	17.944
MÉDIA	6.359	6.600	5.754	1.421	6.058	7.797	4.617	2.148	20.376

MSPC: massa seca de plantas de cobertura; ¹MSRA: massa seca residual de arroz; ²MSRS: massa seca residual de soja; MSPM: massa seca de plantas de milho; MSUR: massa seca de *Urochloa ruziziensis*.

Fonte: Dados do próprio autor.

De acordo com o relato acima, verificou-se que no experimento foi obtido 56 % mais massa em relação ao indicado por Sá et al. (2015), para uma região com características climáticas semelhantes ao do presente estudo (Lucas do Rio Verde). Dessa forma, ao longo do tempo, os atributos químicos, físicos e biológicos podem ser melhorados e beneficiar a produtividade e qualidade de grãos das culturas do arroz, soja e milho irrigados no Cerrado brasileiro.

5 CONCLUSÕES

Subprojeto 1 – Sistemas de produção para arroz de terras altas com o uso de plantas de cobertura

- ✓ No cultivo do arroz de terras altas, o consórcio milho + crotalária, propicia maior acúmulo de palhada, macronutrientes, além de manter maior quantidade de palhada sobre o solo e promover maior liberação de nutrientes no período de 120 dias após a semeadura do arroz.
- ✓ O cultivo de crotalária, no inverno/primavera, favorece o maior número de espiguetas totais e granadas por panícula, além de beneficiar a produtividade de grãos de arroz.
- ✓ O uso de plantas de cobertura, anteriormente ao cultivo do arroz, no período de dois anos, não foi suficiente para alterar os atributos químicos do solo. No entanto, a condição física do solo, na camada de 0-10 e 10-20 cm, em 2015/16, foi melhorada com o cultivo do guandu anteriormente à cultura do arroz.

Subprojeto 2 – Sistemas de produção para soja com o uso de plantas de cobertura

- ✓ O acúmulo de palhada e de nutrientes pela crotalária, bem como a manutenção de cobertura do solo e a liberação dos nutrientes são prejudicadas pela sucessão com a soja. Enquanto que, nesse sistema, a soja beneficia o cultivo do milho.
- ✓ Nenhum tratamento influenciou os componentes de produção e produtividade da soja.
- ✓ Os dois anos de cultivo com plantas de cobertura no inverno/primavera, não foram suficientes para alterar os atributos químicos do solo. Entretanto, o cultivo de guandu, anteriormente à cultura da soja, favoreceu as condições físicas do solo em relação ao milho e ao pousio.

Subprojeto 3 – Milho segunda safra, consorciado com *Urochloa ruziziensis*, semeado sobre resíduos de arroz e soja, em função de plantas de cobertura

- ✓ O acúmulo de palhada de soja e a ciclagem de N, P, Ca e Mg são superiores a palhada de arroz.
- ✓ A quantidade de silício absorvida pelo arroz e pela soja não interferem na degradação da palhada (arroz e soja).
- ✓ A cultura do arroz de terras altas pode ser uma alternativa para entrar em rotação no verão com a soja, obtendo produtividade média de 4.071 kg ha⁻¹ e potencial para produção de 5.619 kg ha⁻¹ de palhada sobre o solo, além de contribuir com a ciclagem de nutrientes.

- ✓ Na região de Cerrado de baixa altitude, com o uso de irrigação suplementar, é interessante o sistema de produção com plantas de cobertura, no inverno/primavera, arroz/soja no verão e milho em consórcio com *U. ruziziensis* no outono/inverno (período de 350 dias), pois possibilita aporte de aproximadamente 20.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de palhada para cobertura do solo (planta de cobertura + resíduos de arroz/soja + resíduos de milho + *Urochloa*) e aproximadamente 9.350 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de grãos (arroz/soja + milho).

REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. K.; MAHMOOD, M.; SABIR, N.; KHURSHID, M. Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization–immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions. **Solid Earth**, Berlin, v. 6, n. 2, p. 197-205. 2015.
- ACOSTA, J. A. A.; AMADO, T. J. C.; SILVA, L. S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da qualidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.
- ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, Exeter, v. 58, n. 3, p.343-351, 1986.
- AI, Y.; JANE, J. L. Macronutrients in corn and human nutrition. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 15, n. 3, p. 581-598, 2016.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In: LIMA FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 225-264.
- ALCÂNTARA, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.
- ALI, A.; SIVAKAMI, S.; RAGHURAM, N. Effect of nitrate, nitrite, ammonium, glutamate, glutamine and 2- oxoglutarate on RNA, levels and enzyme activities of nitrate reductase and nitrite reductase in rice. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, Lucknow, v. 13, n. 1, p. 17-25, 2007.
- ALMEIDA, K.; CAMARA, F. L. A. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 55-62, 2011.
- ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C.; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1227-1237, 2008.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVAREZ, R. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; ALVAREZ, A. C. C. Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 162-169, 2005.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.

AMADO, T. J. C.; FIORIN, J. E.; ARNS, U.; NICOLOSO, R. S.; FERREIRA, A. O. Adubação verde na produção de grãos e no sistema de plantio direto. In: LIMA FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. v. 1, p. 81-125.

AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação- IAC, 1997. p. 189-204.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

ARAÚJO, J. L.; FAQUIN, V.; VIEIRA, N. M. B.; OLIVEIRA, M. V. C.; SOARES, A. A.; RODRIGUES, C. R.; MESQUITA, A. C. Crescimento e produção do arroz sob diferentes proporções de nitrato e amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 921-930, 2012.

ARAÚJO, S.C. Inoculação da soja: uma prática altamente rentável. In: PROCHNOW, L.I. **Agricultura: progresso através do conhecimento**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p. 9. (Informações Agronômicas, 87).

ARF, O. RODRIGUES, R. A. F. SÁ, M. E. CRUSCIOL, C. A. C. Influência da época de semeadura no comportamento de cultivares de arroz irrigado por aspersão em Selvíria, MS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.10, p. 1967-76, 2000.

ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E. Crop rotation green manure and nitrogen fertilizers in upland rice under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 2, p. 53-162, 2018.

ARF, O.; FERNANDES, R. N.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 211-217, 2007.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 715-722, 2001.

ASSIS, E. P. M.; CORDEIRO, M. A. S.; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Efeito da aplicação e nitrogênio na atividade microbiana e na decomposição da palhada de sorgo em solo de cerrado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 2, p. 107-112, 2003.

AZEDO, D. M. P.; SPEHAR, C. R. **Decomposição da palhada de culturas para plantio no período de segunda safra em solos de tabuleiros costeiros**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 147).

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FRANQUINI, J. C.; DEBIASI, H.; WERNER, F.; FERREIRA, A. S.; IWASAKI, G. S.; MANDARINO, J. M. G.; AGUIARA, M. A. S.; ZUCARELLI, C. Produtividade e crescimento de cultivares de soja em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de semeadura. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA, 34., 2014, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja; 2014. p. 36-39.

BARBOSA, C. E. M.; LAZARINI, E.; PICOLI, P. R. F.; FERRARI, S. Plantas de cobertura em região de inverno seco para semeadura direta na soja. **Científica**, Jaboticabal, v. 39, n. 1/2, p. 52-64, 2011.

BATISTA, K.; DUARTE, A. P.; CECCON, G.; DE MARIA, I. C.; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho segunda safra em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1154-1160, 2011.

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern soybean varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 2, p. 563-573, 2015.

BENDER, R.R.; JASON, W.H.; RUFFO, M.L.; BELOW, F.E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 161-170, 2013.

BENITES, V.M.; CARVALHO, M.C.S.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C.; BERNADI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba, IPNI, 2010. cap. 3, p. 137-191.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo da região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 5, p. 167-177, 2001.

BLOOM, A. J.; MEYERHOFF, P. A.; TAYLOR, A. R.; ROST, T. L. Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 21, n. 4, p. 416-431, 2003.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PEREIRA, A. J. B.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1269-1276, 2007.

BOLDIERI, F. M.; CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada em cultivares de arroz de terras altas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 421-428, 2010.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; SANTOS, J. C. F.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1785-1792, 2008.

BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Produção de soja e milho cultivados sobre diferentes coberturas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 1, p. 89-98, 2015.

BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. O arroz como componente de sistemas agrícolas na região centro-norte do Mato Grosso. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, 9.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 5., 1994, Goiânia. **Anais...**Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1995. v. 1. p. 123-137. (Documentos, 60).

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.

BRANDT, E. A.; SOUZA, L. C. F. D.; VITORINO, A. C. T.; MARCHETTI, M. E. Desempenho agrônomo de soja em função da sucessão de culturas no sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 869-874, 2006.

BROCH, D. L.; CECCON, G. Produção de milho segunda safra com integração lavoura e pecuária. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SEGUNDA SAFRA, 9., 2007, Dourados. **Anais...**Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p. 121-128.

BULISANI, E. A.; ROSTON, A. J. Leguminosas: adubação verde e rotação de culturas. In: CURSO SOBRE ADUBAÇÃO VERDE NO INSTITUTO AGRONÔMICO, 1., 1993, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 13-16. (Documentos IAC, 35).

CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, Braquiária e Labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.

CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Arroz de sequeiro. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto agrônomo/Fundação- IAC, 1997. p. 48-49.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V.; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas/Fundação- IAC, 1997. p.43-73.

CARTER, M. R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, R. (Ed.) **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 1062-1065.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; ALCÂNTARA, F. A.; RESCK, I. S.; LEMOS, S. S. Characterization by solid-state CPMA 13C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil and**

Tillage Research, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 144-150, 2009.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 5, p. 997-1003, 1999.

CAZETTA, D.A.; ARF, O.; BUZETTI, S.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F. Desempenho do arroz de terras altas com a aplicação de doses de nitrogênio e em sucessão às culturas de cobertura do solo em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 471-479, 2008.

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**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 575-580, 2005.

CECCON, G. **Milho segunda safra com braquiária em consórcio**. Dourados: Embrapa, 2008, p. 6. (Comunicado Técnico, 140).

CECCON, G. Milho segunda safra com solo protegido e retorno econômico em Mato Grosso do Sul. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 17, n. 97, p. 17-20, jan.-fev. 2007.

CECCON, G.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Modalidades e Métodos de Implantação do Consórcio Milho-Braquiária. In: CECCON, G. (Org.). **Consórcio milho-braquiária**. Brasília: Embrapa, 2013. cap. 2, p. 25-46.

CECCON, G.; KAPPES, C.; SILVA, A. G.; FRANCISCHINI, R. Sistemas de produção de milho e sorgo segunda safra na região Centro-Oeste. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.) **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. cap. 17, p. 183-192.

CECCON, G.; MACHADO, L. A. Z.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; NUNES, D. P.; MARIANI, J. A. Consórcio de milho segunda safra com espécies forrageiras e adubo verde em Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 9., 2007, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p. 455-460.

CECCON, G.; ALVES, V. B.; PADILHA, N. S.; LEITE, L. F. Consórcio de milho segunda safra com *Brachiaria ruziziensis* em populações de plantas. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 11., 2011, Lucas do Rio Verde. **Anais...** Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde. v. 1, p. 235-242.

CENTURION, J. F. Balanço hídrico da região de Ilha Solteira. **Científica**, Jaboticabal, v. 10, n. 1, p. 57-61, 1982.

COLOMBI, T.; BRAUN, S.; KELLER, T.; WALTER, A. Artificial macropores attract crop roots and enhance plant productivity on compacted soils. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 574, n. 1, p.1283-1293, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2018/19: sexto levantamento**. Brasília: Conab, 2019. 69 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2017/18:** décimo segundo levantamento. Brasília: Conab, 2018. 155 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2016/17:** sexto levantamento. Brasília: Conab, 2017. 176 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2015/16:** sexto levantamento. Brasília: Conab, 2016. 140 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2014/15:** sexto levantamento. Brasília: Conab, 2015. 106 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2013/14:** sexto levantamento. Brasília: Conab, 2014. 88 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2012/13:** sexto levantamento. Brasília: Conab, 2013. 26 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2011/12:** sexto levantamento. Brasília: Conab, 2012. 32 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2010/11:** sexto levantamento. Brasília: Conab, 2010. 45 p.

CORDEIRO, D. S.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D.; SILVEIRA, R. I. Extração de macronutrientes pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em função dos níveis de NPK. **Anais da E.S.A. “Luiz de Queiroz”**, v. 36, n. 1, p. 551-604, 1979.

COSTA, E. D. **Arranjo de plantas, características agronômicas e produtividade de soja.** 2013. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP, Botucatu, 2013.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1038-1047, 2012.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; ULIAN, N. A.; COSTA, B. S.; PARIZ, C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Acúmulo de nutrientes e tempo de decomposição da palhada de espécies forrageiras em função de épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 3, p. 818-829, 2015.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 436-443, 2000.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; MACHADO, J. R. Extração de macronutrientes pelo arroz de terras altas sob diferentes níveis de irrigação por aspersão e adubação. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 2, p. 145-150, 2003.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Integração Lavoura-Pecuária: benefício das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 125, p. 2-15, 2009.

CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, A. M.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; ALVAREZ, R. C. F. Macronutrient uptake and removal by upland rice cultivars with different plant architecture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, n. 1, p. 1-20, 2016a.

CRUSCIOL, C. A. C.; MARQUES, R. R.; CARMEIS FILHO, A. C. A.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A.; PARIZ, C. M.; CASTILHO, A. M. Annual crop rotation of tropical pastures with no-till soil as affected by lime surface application. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 88-104, 2016b.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; ARF, O. Produtividade de grãos e exportação de nutrientes de cultivares de arroz irrigadas por aspersão em consequência da época de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 247-257, 2007.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E.; SIMÃO, E. P. **Quatrocentas e setenta e sete cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2015/16**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 29 p. (Documentos, 184).

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C.; BRUGNERA, A.; LOPES, P. V. L. Índices fisiológicos de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 663-679, 2011.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H. Adubação em sistemas de produção de soja e milho segunda safra. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO MILHO SEGUNDA SAFRA: RUMO A ESTABILIDADE, 9., 2007, Dourados, 2007. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p.44-61. (Documentos, 89).

DUARTE, A. P.; KURIHARA, C. H.; CANTARELLA, H. Adubação do milho segunda safra em consórcio com braquiária. In: CECCON, G. (Org.). **Consórcio milho-braquiária**. Brasília: Embrapa, 2013. cap. 6, p. 113-142.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil - 2008**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 280 p. (Sistemas de Produção, 12).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil - 2011**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255p. (Sistemas de Produção, n.14).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Catálogo de cultivares de arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 11 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FABIAN, A. J. **Plantas de cobertura**: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação. 2009. 99 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal)– Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- UNESP, Jaboticabal. 2009.

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. 425 p.

FALKER. **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola, 2008. 33 p.

FAN, J.; McCONKEY, B.; WANG, H.; JANZEN, H. Root distribution by depth for temperate agricultural crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 189, n. 15, p. 68-74, 2016.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. (Ed.) **Milho**: do plantio a colheita. Viçosa: Ed. UFV, 2015. cap. 3, p. 50-76.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Circular Técnica, 48).

FEHR, W. E.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). **Crop Science**, Madison, v. 11, p. 929-931, 1971.

FERNANDEZ, A. T.; TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Decomposição dos resíduos culturais de milho e soja sobre diferentes coberturas de solo numa área sob semeadura no cerrado. In: ANAIS DO PRIMEIRO SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1., 2008, Uberaba, **Anais...Uberaba**: CEFET, 2008. p. 33-39.

FERNANDEZ, F. A.; BULL, L. T.; CORREA, J. C.; CRESPIAM, D. R. Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 935-945, 2009.

FERREIRA, C. M.; DEL VILLAR, P. M. Aspectos da produção e do mercado de arroz.

Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 11-18, 2004.

FERREIRA, C. M.; DEL VILLAR, P. M.; GAMEIRO, A. H. Demandas tecnológicas e perspectivas da rizicultura de terras altas no Brasil. In: FERREIRA, C. M.; SOUSA, I. S. F.; DEL VILLAR, P. M. (Ed.) **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção do arroz de terras altas no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p. 103-114.

FERREIRA, D. F. 2011. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. VAN. (Ed.) **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-27.

FIGUEIRÓ, G. G.; GRACIOLLI, L. A. Influência da composição do substrato no cultivo de *Pleurotus florida*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 5, p. 924-930, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION-FAO. **Faostat 2017**: production crops. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <http://faostat.fao.org> Acesso em: 30 fev. 2019.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 273 p.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep, 2006. 589 p.

FURLANI, A. M. C. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 472 p.

GERMEK, E. B.; INFORZATO, R.; FRANCO, C. M. Estudo do sistema radicular do arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 89-98, 1950.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HÜBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GITTI, D. C.; ARF, O.; PORTUGAL, J. R.; CORSINI, D. C. D. C.; RODRIGUES, R. A. F.; KANEKO, F. H. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 509-517, 2012.

GOEL, P.; BHURIA, M.; KAUSHAL, M.; SINGH, A. K. Carbon: nitrogen interaction regulates expression of genes involved in N-uptake and assimilation in *Brassica juncea* L. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 11, n. 9, p. 1-19, 2016.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; NEVES, P. C. F. Eficiência produtiva de cultivares de arroz com divergência fenotípica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 465-470, 2008.

HE, C.; WANG, L.; LIU, J.; LIU, X.; LI, X.; MA, J.; LIN, Y.; XU, F. Evidence for 'silicon' within the cell walls of suspension-cultured rice cells. **New Phytologist**, Lancaster. v. 200, n. 3, p. 700-709, 2013.

HERNANI, L. C.; PADOVAN, M. P. Adubação verde na recuperação de solos degradados. In: LIMA FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 372-398.

HIRAKURI, H. M.; DEBIASI, H.; PROCÓPIO, S. O.; FRANCHINI, J. C.; CASTRO, C. **Sistemas de Produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 24 p. (Documento, 335).

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARMONA, F.C.; COSTA, S.E.V.G.A. Resposta do arroz irrigado ao suprimento de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1323-1331, 2009.

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; PIZZOLATO, T. M.; CARMONA, F. C.; CARLOS, F. S. Absorção de nutrientes e crescimento do arroz com suprimento combinado de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1357-1366, 2011.

JAHANZAD, E., A.V. BARKER, M. HASHEMI, T. EATON, A. SADEGHPOUR, AND S.A. WEIS. Nitrogen release dynamics and decomposition of buried and surface cover crop residue. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 4, p. 1735-1741, 2016.

JARREL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 34, n. 1, p. 197-224, 1981.

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**, Goiânia, v. 37, n. 4, p. 214-220, 2007.

KANEKO, F. H.; ARF, O.; GITTI, D.C.; ARF, M.V.; FERREIRA, J.P.; BUZETTI, S. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 125-133, 2010.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, campinas, v. 70, n. 2, p. 334-343, 2011.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agronômicos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1322-1333, 2013a.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1310-1321, 2013b.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.) **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. cap. 33, p. 358-381.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; PINHEIRO, B. S.; YOKOYAMA, L. P. O arroz nos sistemas de cultivo do cerrado. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, 9.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 5., 1994, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1995. v. 1. p. 95-115. (Documentos, 60).

LEEGOOD, R. C. 1996. Primary photosynthate production: physiology and metabolism. In: ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A. A. (Ed.) **Photoassimilate distribution in plants and crops. Source-sink relationships**. New York: Marcel Dekker, 1996, p. 21-42.

LEITE, J. N. F.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; ANDRIOLI, I.; BRAOS, L. B. Frações orgânicas e inorgânicas do fósforo no solo influenciadas por plantas de cobertura e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 11, p. 1880-1889, 2016.

LEONG, C. C.; SHEN, T. C. Occurrence of nitrate reductase inhibitor in rice plants. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 70, n. 6, p. 1762-1763, 1982.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Viçosa: Ed. UFV, 2015. p. 492.

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J. F.; LUTTS, S.; GUERRIERO G. Silicon and Plants: Current Knowledge and Technological Perspectives. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, n. 411, p. 1-8, 2017.

LYNCH, M. J.; MULVANEY, M. J.; HODGES, S. C.; THOMPSON, T. L.; THOMASON, W. E. Decomposition, nitrogen and carbon mineralization from food and cover crop residues in the central plateau of Haiti, **Springer Plus**, Deutschland, v. 5, n. 1, p. 973, 2016.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier, 2002. 294 p.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in plant science**, Oxford, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MACHADO, M. F.; ABDO, M. T. V. N.; SOARES, M. B. B.; MARTINS FILHO, M. V.; PISSARRA, R. C. T. Atributos de solos e comunidade infestante sob diferentes culturas de sucessão em área de pousio. **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 12, n. 3, p. 803-812, 2016.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, n. 1-2, p. 119-130, 2001.

MAGALHÃES, P. M.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Circular Técnica, 76)

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: KERBAUY, G. G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 472 p. 2004.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. ed. 2. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARIA, I. C.; ROSSETTO, R.; AMBROSANO, E. J.; CASTRO, O. M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 87-98, 1993.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London: Academic Press, 2012. 649 p.

MARXEN, A.; KLOTZBÜCHER, T.; JAHN, R.; KAISER, K.; NGUYEN, V. S.; SCHMIDT, A.; SCHÄDLER, M.; VETTERLEIN, D. Interaction between silicon cycling and straw decomposition in a silicon deficient rice production system. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 398, n. 1-2, p. 153-163, 2016.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. Soja. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 202-203. (Boletim Técnico, 100).

MASCARENHAS, H. A. A.; WUTKE, E. B. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 59-168.

MASUDA, T.; GOLDSMITH, P. D. World soybean production: area harvested, yield, and long-term projections. **International Food and Agribusiness Management Review- IAMA**, Minneapolis, v. 12, n. 4, p. 143-162, 2009.

MATA, J. F.; SILVA, R. R.; CHAGAS, J. F. R.; FREITAS, G. A.; FARIAS, V. L. S. Production, decomposition and half-life of the straw of grass under different levels of manure for no-tillage system in Cerrado. **Applied Research and Agrotechnology**. Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 95-112, 2011.

MELERO, M. M.; GITTI, D. C.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 343-353, 2013.

METWALLY, T. Impact of organic materials combined with mineral nitrogen on rice growth, yield, grain quality and soil organic matter. **International Journal of Chemtech Research**, Mumbai, v. 8, n. 4, p. 1533-1542, 2015.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, A. L.; BROETTO, F.; NASCENTE, A. S.; CARNEIRO, J. P. C. Manejo da adubação nitrogenada na atividade da nitrato redutase e acúmulo de biomassa por plantas do arroz de terras altas. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 11, n. 1, p. 11-22, 2015.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; CANTARELLA, H. Atividade da enzima nitrato redutase em cultivares de arroz de terras altas. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 26, p. 602-607, 2014.

MORO, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; CANTARELLA, H. Teor de nitrogênio inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 424-435, 2013.

MORO, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; CANTARELLA, H.; LAMBAIS, M.R. Bactérias amonificantes e nitrificantes e teores de amônio e nitrato afetados por plantas de cobertura e fertilizantes nitrogenados. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n.33, p.210-218, 2016.

MURAISHI, C. T.; LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; RODRIGUES, L. L.; GOMES JUNIOR, F. G. Manejo de espécies vegetais de cobertura de solo e produtividade do milho e da soja em semeadura direta. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 199-207, 2005.

MURPHY, A. T.; LEWIS, O. A. M. Effect of nitrogen feeding source on the supply of nitrogen from root to shoot and the site of nitrogen assimilation in maize (*Zea mays* L. cv. R201). **New Phytologist**, Lancaster, v. 107, n. 2, p. 327-333, 1987.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops - alternatives to increase upland rice yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 45, n. 1, p. 124–131, 2013.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops affecting levels of ammonium and nitrate in the soil and upland rice development. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2189-2202, 2013.

NASCENTE, A. S.; LACERDA, M. C.; LANNA, A. C. Nitrogênio mineral do solo e produtividade do arroz de terras altas afetado por plantas de cobertura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 9., 2015, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa: SOSBAI, 2015. p. 1-4.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 825-831, 2005.

NASCIMENTO, V. **Impactos do manejo de um sistema plantio direto no crescimento e produtividade do arroz de terras altas e feijão de inverno em sucessão e nos atributos do solo**. 2015. 197 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” UNESP, Ilha Solteira, 2015.

NIEDER, R.; BENBI, D.K. **Carbon and nitrogen in the terrestrial environment**. Lugar de Publicação: Springer, 2008. 434 p.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

OLIVEIRA, R. A.; TIECHER, T.; PICCIN, R.; SOMAVILLA, L. M.; COMIN, J. J.; LOSS, A.; LOURENZI, C.R.; KÜRTZ, C.; BRUNETTO, G. Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 1-16, 2017.

OLIVEIRA, F. A.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; CASTRO, C. **Exigências minerais e adubação: soja**. Lugar de Publicação: Local de Edição ano de publicação. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_38_271020069132.html. Acesso em: 20 dez. 2018.

OLIVEIRA, L. E. Z. **Plantas de cobertura: características, benefícios e utilização**. 2014. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)- Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

OLIVEIRA, M. W.; TREVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. D. A.; ASSIS, R. D.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1787-1799, 2011.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1228-1236, 2013.

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; SOUZA, E. D.; CARVALHO, I. C.; PETTER, F. A.; SILVA, R. G.; SILVA, C. M. R. Shoot and root development of *Brachiaria* grass (*Urochloa ruziziensis*) under different levels of soil density. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 10, n. 10, p. 1424-1428, 2016.

PAL, S. K.; PAL, U. R. Seasonal changes in nitrate reductase activity and nitrogen contents of upland rice at low and optimum N fertility. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Braunschweig, v. 156, n. 1, p. 13-17, 1986.

PANTOJA, J. L.; WOLI, K. P.; SAWYER, J. E.; BARKER, D.W. Winter rye cover crop biomass production, degradation, and nitrogen recycling. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 2, p. 841-853, 2016.

PARENTE, T. L.; LAZARINI, E.; CAIONI, S.; PIVETTA, R. S.; SOUZA, L. G. M.; BOSSOLANI, J. W. Adubação nitrogenada em genótipos de soja associada a inoculação em semeadura direta no cerrado. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 2, p. 249-255, 2015.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, F. A.; ULIAN, N. A.; FURLAN, L. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CAVASANO, F. A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2029-2037, 2011.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “segunda safra” sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n. 3, p. 262-271, 2009.

PERES, A. R. **Variação hídrica e fontes de nitrogênio em cultivares de arroz de terras altas: produção e qualidade fisiológica de sementes**. 2017. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Sistemas de Produção)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho- UNESP, Ilha Solteira, 2017.

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**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 35-40, 2004.

POLETO, N.; MUNDSTOCK, C. M.; GROHS, D. S.; MAZURANA, M. Padrão de afilamento em arroz afetado pela presença dos íons amônio e nitrato. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 96-103, 2011.

PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. Aspectos climáticos no feijoeiro. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (Ed.) **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** Botucatu: FEPAF, 2015. cap. 4, p. 65-75.

PORTUGAL, J. R. **Coberturas vegetais e doses de nitrogênio associadas com *Azospirillum brasilense* no cultivo do milho na Região de Cerrado**. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Sistemas de Produção)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho- UNESP, Ilha Solteira, 2015.

PORTUGAL, J. R.; ARF, O.; PERES, A. R.; GITTI, D. C.; GARCIA, N. F. S. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 639-649, 2017.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. S. **Aquecimento global e mudanças climáticas: uma visão integrada tropical**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 213 p.

R PROGRAM, R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, v. ..., n. 81, p.1-31, 1983.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B.V; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A. V.; SILVA, C. G. M.; GUTIÉRREZ, A. M.; SIMÃO, E. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; MOREIRA, S. G.; BORGHI, E. **Indicadores de demanda de macro e micronutrientes por híbridos modernos de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 9 p. (Circular Técnica, 220)

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da sucessão consórcio milho-braquiária/soja/milho segunda safra. In: CECCON, G. (Org.). **Consórcio milho-braquiária**. Brasília: Embrapa, 2013. cap. 8, p. 163-175.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta de milho se desenvolve**. Piracicaba: POTAFÓS, 2003. 20 p. (Informações Agrônomicas, 103).

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E.; BENSON, G. O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1985. 20 p. (Special Report, 53).

RODRIGUES, G. B.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V.; BUZETTI, S.; BERTOLIN, D. C.; PINA, T. P. Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n. 3, p. 380-385, 2012.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

SÁ, J. C. M.; SÉGURY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation and Development**, Chichester, v. 26, n. 6, p. 531-543, 2015.

SABATO, E. O.; LANDAU, E. C.; OLIVEIRA, C. M. **Recomendações para o manejo de doenças do milho disseminadas por insetos-vetores**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014, 15 p. (Circular Técnica, 205).

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E. Dinâmica do enxofre (^{35}S) proveniente da mucuna-preta em um sistema solo-planta. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 20, n. 1, p. 25-32, 2002.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil**: calagem, adubação e nutrição mineral. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p. (Documentos, 305).

SILVA, A. A. D.; SILVA, P. R. F. D.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência rural**, Santa Maria. v. 37, n. 4, p. 928-935, 2007.

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de plantio direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.

SILVA, E. C.; AMBROSANO, E. J.; SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; CARVALHO, A. M. Adubação verde como fontes de nutrientes às culturas. In: LIMA FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e práticas. Brasília: Embrapa, 2014^a. p. 265-305.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 477-486, 2006.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; FRANZINI, V. I.; SAKADEVAN, K.; BUZETTI, S.; ARF, O.; BENDASSOLLI, J. A.; SOARES, F. A. L. Use of nitrogen from fertilizer and cover crops by upland rice in an Oxisol under no-tillage in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 6, p. 728-737, 2016.

SILVA, J. C. S.; ALVES, C. A. T.; GOUVEIA NETO, G. C.; ABDALLA, A. L.; SILVA, J. I. S. Evaluation of two varieties of maize intercropped with pigeonpea in the semi-arid region of Brazil. **Global Journal of Engineering Science and Researches**, Indore, v. 2, n. 3, p. 85-92, 2015.

SILVA, M. P.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; SOUZA, L. C. D.; ARRUDA, N. Palhada, teores de nutrientes e cobertura do solo por plantas de cobertura semeadas no verão para semeadura direta de feijão. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 24, p. 233-243, 2014b.

SILVA, M. P.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; SOUZA, L. C. D. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 1, p. 60-67, 2017.

SILVA, M. R. R.; VANZELA, L. S.; VASQUEZ, G. H.; SANCHES, A. C. Influência da irrigação e cobertura morta do solo sobre as características agronômicas e produtividade de milho. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 170-180, 2012.

SILVA, P. C. C.; COUTO, J. L.; SANTOS, A. R. Absorção dos íons amônio e nitrato e seus efeitos no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, v. 10, n. 2, p. 97-104, 2010.

SILVA, R. G.; GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; OLIVEIRA, E. Identificação dos níveis e fontes de resistência aos enfezamentos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 3, p. 18-29, 2002.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

SOARES, A. A. Desvendando o segredo do insucesso do plantio direto do arroz de terras altas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p. 61-69, 2004.

SODEK, L. Metabolismo do Nitrogênio. In: KERBAUY, G.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 472 p.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p. 1462-1470, 2012.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; CARVALHO, J. E. B. Adubação verde na física do solo. In: LIMA FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 336-369.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 5, p. 885-896, 2000.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 133-139, 2003.

SPOHR, R. B.; MAGGI, M. F.; CARLESSO, R.; KUNZ, J. H.; FIORIN, T. T. Irrigação na produção de silagem de milho e sorgo, em sucessão ao arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 469-474, 2005.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. **Irrigação do arroz de terras altas em função de porcentagem de cobertura do solo pela palhada, no sistema plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 4 p. (Circular Técnica, 69).

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. **Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 39 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2nd ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; ANDRADE, M. J. B.; SILVA, C. A.; PEREIRA, J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **IDESIA**, Chile, v. 30, n.1, p. 55-64, 2012.

TEIXEIRA, R.A.; SOARES, T. G.; FERNANDES, A. R.; BRAZ, A. M. S. Grasses and legumes as cover crops in no-tillage system in northeastern Pará Brazil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 44, n. 4, p. 411-418, 2014.

TOFFANELLI, C. M.; BEDENDO, I. P. Efeito da população infetiva de *Dalbulus maidis* na produção de grãos e no desenvolvimento de sintomas do enfezamento vermelho do milho. **Patologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 82-86, 2002.

BRAN, J. V.; BOS, M. S. The changing economics and politics of rice: implications for food security, 7 globalization, and environmental sustainability. In: TORIYAMA, K.; HEONG, K.L.; HARDY, B. (Eds) **Rice is life: scientific perspectives for the 21st century**, Tsukuba. 2005.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1609-1618, 2008.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 3, n. 3, p. 421-428, 2008.

TROEH, R.F.; THOMPSON, L.M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Andrei, 2007. 718 p.

VIANA, J. H. M.; CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. Manejo do solo para a cultura do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.) **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 99-129.

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SILVA, J. S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luiz: EDUFMA, 2010, 230 p.

VIEIRA, S. P. **Sistemas de manejo do solo, culturas de cobertura e rotação de culturas: resposta para soja e milho**. 2009. 78f. Tese (Doutorado em Agronomia - Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”- UNESP, Ilha Solteira. 2009.

WIDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Tempe, v. 63, n. 6, p. 1636-1642, 1982.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 59-168.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269 p.

ZOBIOLE, L. H. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KREMER, R. J.; MOREIRA, A.; ROMAGNOLI, L. M. Acúmulo de nutrientes em soja convencional e soja RR em diferentes tipos de controle de planta daninha. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 75-85, 2012.

APÊNDICE – FOTOS DO EXPERIMENTO

Figura 31 - Amostragem de solo da área experimental (esquerda) e semeadura das coberturas vegetais (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 32 – Uniformidade de plantas de crotalária (esquerda) e de milho (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 33 - Uniformidade de plantas de guandu (esquerda) e de milho + crotalária (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 34 - Uniformidade de plantas de milho + guandu (esquerda) e do pousio (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 35 – Aspecto geral da uniformidade das plantas de cobertura. Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 36 – Momento da dessecação das plantas de crotalária (esquerda) e de guandu (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 37 - Momento da dessecação das plantas de milho (esquerda) e de milho + crotalária (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 38 - Momento da dessecação das plantas de milho + guandu (esquerda) e do pousio (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 39 – Aspecto geral das plantas de cobertura no momento da dessecação. Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 40 – Aspecto geral das plantas de cobertura no momento da dessecação. Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 41 – Plantas de milho (esquerda), crotalária (centro) e guandu (direita) no momento da dessecação. Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 42 – Passagem do rolo faca para facilitar a semeadura do arroz e soja. Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 43 - Momento da semeadura da soja (esquerda) e do arroz (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 44 – Detalhe do dos litter bags instalados nas entrelinhas da soja (esquerda) e do arroz (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 45 – Emergência e detalhe do dos *litter bags* instalados nas entrelinhas do arroz (esquerda) e da soja (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 46 - Emergência das plantas de arroz (esquerda) e de soja (direita). Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 47 - Momento da coleta do solo para determinação de nitrato e amônio (esquerda) e uso do clorofilômetro no arroz (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 48 – Coleta de anel volumétrico para determinar a física do solo na área de arroz (esquerda) e da soja (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



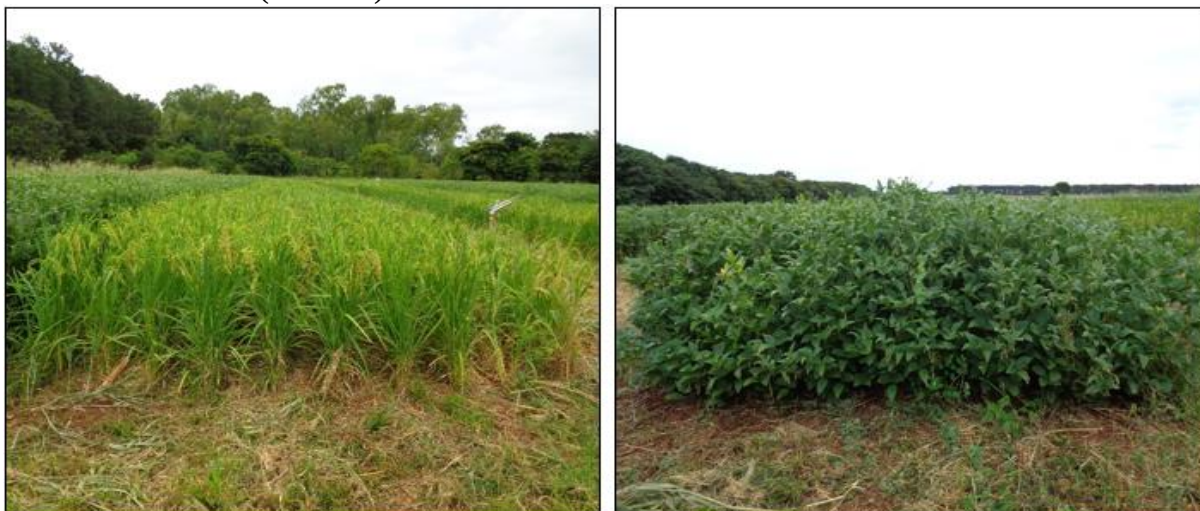
Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 49 – Aspecto geral das plantas de arroz e soja. Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 50 – Aspecto geral das plantas de arroz (esquerda) e da soja (direita). Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 51 – Colheita do arroz (esquerda) e da soja (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 52 - Coleta dos resíduos de arroz e soja após a passagem do tritor (esquerda) e semeadura do milho (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 53 - Detalhe dos resíduos de soja, nos *litter bags*, nas entrelinhas do milho (esquerda) e resíduos de arroz (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 54 - Detalhe dos resíduos de soja, nos *litter bags*, nas entrelinhas do milho (esquerda) e resíduos de arroz (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 55 – Emergência das plantas de milho sob palhada de arroz (esquerda) e palhada de soja (direita). Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 56 - Detalhe de plantas de *U. ruziziensis* junto as linhas do milho. Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 57 – Leitura com o clorofilômetro no primeiro (esquerda) e segundo ano (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 58 - Colheita manual das espigas de milho (esquerda) e plantas de *U. ruziziensis* após a colheita mecânica (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 59 – Espigas de milho do primeiro (esquerda) e segundo ano (direita). Selvíria – MS, Brasil (2014/15 e 2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 60 - Dessecação da área de milho com *U. ruzizensis*, para realizar a semeadura das plantas coberturas para o segundo ano da pesquisa. Selvíria – MS, Brasil (2014/15).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 61 – Passagem do triton na área para mensurar a massa seca de resíduos de milho com *U. ruzizensis*, após o segundo ano. Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 62 – Passagem do triton na área para rebaixar a *U. ruzizensis*, após 120 dias da colheita do milho. As extremidades com coloração amarela são bordaduras, demonstrando que na área útil o capim formado está melhor nutrido. O sistema de produção com culturas favorece melhor fertilidade e a formação de pastagem com qualidade. Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.

Figura 63 – Detalhe do desenvolvimento do sistema radicular da *U. ruzizensis* em trincheira com 1,20 m de profundidade, aos 385 dias após a colheita do milho. Essa condição favorece os atributos físicos do solo, pela formação de bioporos, atributos químicos, pela deposição de material orgânico em profundidade e atributos biológicos, pela melhoria dos outros dois atributos. Selvíria – MS, Brasil (2015/16).



Fonte: Dados do próprio autor.