



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CULTURAS ANUAIS E DE COBERTURA NA SAFRINHA EM SUCESSÃO À
SOJA EM PLANTIO DIRETO: FITOMASSA, CICLAGEM DE NUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.**

Rondonópolis

2019

TÁSSIA MAIRA GRECO
Engenheira Agrícola e Ambiental

**CULTURAS ANUAIS E DE COBERTURA NA SAFRINHA EM SUCESSÃO À
SOJA EM PLANTIO DIRETO: FITOMASSA, CICLAGEM DE NUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco

Rondonópolis
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

G791c Greco, Tassia.

CULTURAS ANUAIS E DE COBERTURA NA SAFRINHA
EM SUCESSÃO À SOJA EM PLANTIO DIRETO: FITOMASSA,
CICLAGEM DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE
GRÃOS. / Tassia Greco. -- 2020

44 f. ; 30 cm.

Orientador: Leandro Pereira Pacheco.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2020.

Inclui bibliografia.

1. Consórcio de culturas. 2. liberação de nutrientes. 3. culturas
anuais. 4. leguminosas. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO-GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
Avenida dos Estudantes,5055 - Cidade Universitária, - CEP: 78736-900 -Rondonópolis/MT
Tel.: (66) 3410-4121 - E-mail : spgeagri@hotmail.com

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título: “CULTURAS ANUAIS E DE COBERTURA NA SAFRINHA EM SUCESSÃO À SOJA EM PLANTIO DIRETO: FITOMASSA, CICLAGEM DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.”

AUTOR: Tássia Maira Greco

Dissertação defendida e aprovada em 20 de fevereiro de 2020

Presidente da Banca / Orientador: Doutor Leandro Pereira Pacheco

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Interno: Doutor Carlos Eduardo Avelino Cabral

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Externo: Doutora Niedja Marizze Cezar Alves

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Rondonópolis, 20 de fevereiro de 2020

A minha família

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Obrigado por me permitir errar, aprender e crescer.

Ao **meu esposo**, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigado por permanecer ao meu lado.

À **minha mãe e ao meu pai** deixo um agradecimento especial, por todas as lições de amor, companheirismo, amizade, caridade, dedicação e compreensão.

À **minha irmã querida**, sempre pronta a me apoiar em tudo nesta vida.

Ao **Prof. Dr. Leandro Pereira Pacheco**, pela orientação, competência, profissionalismo, dedicação e pela partilha do conhecimento. Tenho certeza que não chegaria neste ponto sem o seu apoio.

Aos **membros da banca examinadora**, Prof^a Dr^a Niedja Marizze Cezar Alves e Prof. Dr. Carlos Eduardo Avelino Cabral, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação.

A **todos integrantes do GPISI**, Grupo de Pesquisa e Inovação em Sistemas Puros e Integrados de Produção Agropecuária, por toda ajuda nas atividades nos campos experimentais.

Aos **amigos e colegas do PPG em Engenharia Agrícola**, por todo apoio intelectual e emocional: Priscilla Barros e Andressa Selestina.

A **todos os demais amigos** e amigas da pós graduação, obrigado pelo convívio, amizade e apoio demonstrado.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

“Os que desprezam os pequenos acontecimentos nunca farão grandes descobertas. Pequenos momentos mudam grandes rotas (Augusto Cury)”

SUMÁRIO

SUMÁRIO	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
INTRODUÇÃO.....	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Cultura da Soja	9
2.2 Sistema Plantio Direto	10
2.3 Culturas de Cobertura.....	11
2.4 Consorciação de culturas.....	12
2.5 Produção de Fitomassa e Ciclagem de nutrientes.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	154
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista panorâmica da estação experimental.....	14
Figura 2. Plantio mecanizado da soja no ano agrícola 2018/2019.....	17
Figura 3. Adubação na linha de semeadura	19
Figura 4. Coleta de fitomassa com o uso do quadrado de ferro	19
Figura 5. Coleta de fitomassa com o uso do quadrado de ferro.....	20
Figura 6. Acúmulo da produtividade da soja proporcionada pelos sistemas de culturas cobertura na safra 2017/18.....	21
Figura 7. Acúmulo de fitomassa promovida pelas culturas de cobertura no período da senescência.....	24
Figura 8. Decomposição e tempo de meia vida do acúmulo de fitomassa das culturas de cobertura das safras 2014/2015 a 2018/2019.....	27
Figura 9. Acúmulo de Nitrogênio promovido pelas culturas de cobertura no período da senescência.....	28
Figura 10. Decomposição e tempo de meia vida do acúmulo de nitrogênio das culturas de cobertura das safras 2014/2015 a 2018/2019.....	30
Figura 11. Acúmulo de Fósforo promovido pelas culturas de cobertura no período da senescência.....	32
Figura 12. Decomposição e tempo de meia vida do acúmulo de fósforo das culturas de cobertura das safras 2014/2015 a 2018/2019.....	33
Figura 13. Acúmulo de Potássio promovido pelas culturas de cobertura no período da senescência.....	34
Figura 14. Decomposição e tempo de meia vida do acúmulo de potássio das culturas de cobertura das safras 2014/2015 a 2018/2019.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do Latossolo Vermelho antes da instalação do experimento.....	15
Tabela 2. Histórico das culturas semeadas em safrinha nos anos agrícolas de 2014/2015 a 2018/2019 após a colheita da soja.....	16
Tabela 3. Histórico da semeadura e colheita da safra e safrinha durante os cinco anos de experimento.....	17
Tabela 4. Histórico da dessecação das culturas em safrinha durante os cinco anos de experimento.....	18
Tabela 5. Acúmulo de fitomassa produzida por culturas de cobertura semeada em safrinha no Cerrado no momento da dessecação de manejo para a semeadura da soja das safras 2014/2015 a 2018/2019.....	25
Tabela 6. Decomposição e liberação da fitomassa por culturas de cobertura semeadas em safrinha nas safras 2016/2017 a 2018/2019.....	26
Tabela 8. Valor absoluto (kg ha^{-1}) dos nutrientes liberados da senescência até o momento da dessecação.....	29
Tabela 9. Valor absoluto (kg ha^{-1}) dos nutrientes liberados do momento da dessecação até 120 dias após dessecação.....	29

RESUMO

CULTURAS ANUAIS E DE COBERTURA NA SAFRINHA EM SUCESSÃO À SOJA EM PLANTIO DIRETO: FITOMASSA, CICLAGEM DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE.

O sistema plantio direto (SPD) é uma alternativa à sustentabilidade da produção agrícola, já que promove maior eficiência do sistema solo-planta-atmosfera, favorece a fertilidade do solo e o desenvolvimento das culturas. A prática de rotação de culturas é o principal entrave ao SPD, em razão da predominância do cultivo em sucessão de culturas com a soja no verão e milho na safrinha. Desta forma o objetivo do trabalho foi identificar alternativas de culturas anuais e de cobertura para sucessão da soja, assim sendo, o estudo avaliou a produção e decomposição da fitomassa, ciclagem de nutrientes e incremento na produtividade da cultura em sucessão. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Rondonópolis - UFR, nas safras de 2014/2015 a 2018/2019. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho. O ensaio foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com nove sistemas de produção, semeadas em safrinha, e com quatro repetições cada, totalizando 36 parcelas experimentais. As coletas de acúmulo de fitomassa e nutrientes aconteceram aos 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação. A produtividade da soja em sucessão foi influenciada positivamente por todos os tratamentos, exceto pelos pousios e S8. Os sistemas consorciados com milho apresentaram os maiores acúmulos de fitomassa. A sincronia de liberação dos nutrientes com a demanda da cultura em sucessão reflete diretamente nos resultados de produção. Sistemas com leguminosas acumulam mais nitrogênio, ao passo que a utilização do girassol aumenta o acúmulo de potássio. Sistemas com *U.ruziziensis* foram significativos na produção de fitomassa e na ciclagem de nitrogênio e fósforo.

Palavras-Chave: Consórcio de culturas, liberação de nutrientes, culturas anuais, leguminosas.

ABSTRACT

ANNUAL AND COVERAGE CROPS IN THE CROP IN SUCCESSION TO SOYBEAN IN NO-TILLAGE: PHYTOMASS, NUTRIENT CYCLING AND PRODUCTIVITY.

Brazil is the second largest producer of soybeans in the world, with 116 million tons, with the increase in demand, the increase in productivity becomes fundamental. The no-tillage system (SPD) is an alternative to the sustainability of agricultural production, as it promotes greater efficiency in the soil-plant-atmosphere system, favors soil fertility and the development of crops. The practice of crop rotation is the main obstacle to SPD, due to the predominance of cultivation in succession of crops with soy in the summer and corn in the off-season. In this way, the objective of the work was to identify alternatives for annual crops and cover for succession of soybeans, therefore, the study evaluated the production and decomposition of phytomass, nutrient cycling and increase in crop productivity in succession. The experiment was conducted at the Federal University of Mato Grosso – UFMT, University Campus of Rondonópolis, in the 2014/2015 to 2018/2019 seasons. The area's soil is classified as an Oxisol. The experiment was carried out in a randomized block design, with nine production systems, sown in safrinha, and with four replications each, totaling 36 experimental plots. Collections of phytomass and nutrient accumulation took place at 0, 15, 30, 60, 90 and 120 days after desiccation. Soybean productivity in succession was positively influenced by all treatments, except for fallows and S8. The systems intercropped with parallel corn have the largest accumulations of phytomass. A synchronization of nutrient release with the demand of the crop in succession reflected directly in the production results. Legume systems accumulate more nitrogen, while the use of sunflower increases the accumulation of potassium. Systems with *U.ruziziensis* were produced in the production of phytomass and in the cycling of nitrogen and phosphorus.

Keywords: Crop consortium, nutrient release, annual crops, legumes.

INTRODUÇÃO

Estima-se que a produção mundial de soja, na safra 2018/2019, foi de 362 milhões de toneladas. Nesse cenário, o Brasil se apresenta como o segundo maior produtor, com 114 milhões de toneladas, em que 28% corresponde à produção do Estado de Mato Grosso (CONAB, 2019). Esses dados destacam a importância do estado mato-grossense na produção brasileira, porém devido aos altos custos com herbicidas, fungicidas, inseticidas e fertilizantes, a busca por tecnologias de cultivo que aumentam a produtividade do grão e reduzem a utilização destes insumos torna-se essencial (EMBRAPA, 2017).

O sistema plantio direto (SPD) é uma tecnologia de cultivo que pode promover o aumento da produtividade do grão, pois promove maior eficiência do sistema solo-planta-atmosfera (PACHECO et al., 2008) e melhora a fertilidade e conservação do solo. Esse sistema é composto por três pilares básicos: mínimo revolvimento, cobertura permanente e rotação de culturas. A prática de rotação de culturas é a principal limitação ao SPD, devido à predominância do cultivo em sucessão da soja safra e milho safrinha, desta forma, estudos de opções de culturas a serem utilizadas na safrinha são essenciais para garantir a evolução dos sistemas produtivos de alto rendimento.

A sucessão da soja, com culturas anuais e/ou de cobertura consorciadas, é uma técnica que pode ser adotada visando à diversificação das culturas em safrinha. Essa prática garante a diversificação florística do sistema, devido às características fisiológicas, morfológicas e estruturais de cada espécie, a exemplo da qualidade da fitomassa produzida, ciclagem e absorção de nutrientes e incrementos na produtividade das culturas em sucessão. Sendo assim o estudo das características fitotécnicas de cada cultura e sua interação em todo o sistema é essencial para garantir a eficácia da prática conservacionista adotada.

A diversificação de culturas na safrinha pode restituir quantidades significativas de nutrientes ao sistema, visto que estas absorvem das camadas subsuperficiais do solo e posteriormente os libera na camada superficial através da decomposição da fitomassa (BOER et al., 2007). Com a adoção dessa técnica, é possível aumentar a eficiência no uso dos fertilizantes minerais na agricultura e conseqüentemente aumentar a produtividade das culturas.

A eficiência da absorção e liberação dos nutrientes varia de acordo com as características estruturais e fisiológicas de cada espécie, sendo que culturas com sistemas

radiculares agressivos são mais eficientes quanto à ciclagem dos nutrientes. Para que essas tecnologias com uso de culturas anuais e/ou cobertura na safrinha após a colheita da soja sejam validadas, são necessárias observações em experimentações de médio e longo prazo, uma vez que os efeitos nos primeiros anos desses sistemas são de difícil observação.

Dessa forma, objetivou-se com o referido trabalho comparar o desempenho de culturas de cobertura e anuais em sistemas consorciados e solteiros, cultivados em safrinha, na produtividade da soja em sucessão, produção de fitomassa, acúmulo e ciclagem de N, P e K em um experimento com cinco anos de cultivo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura da Soja

A soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é classificada como uma leguminosa granífera de ciclo C3 e sustenta posição de destaque entre as principais culturas que movimentam a economia mundial, justificada por suas características estruturais que permitem a utilização dos seus grãos para uma extensa cadeia agroindustrial, além de seu emprego como alternativa de biocombustível (COSTA NETO & ROSSI, 2000). O cultivo da soja ocupa maior parte do território brasileiro, o que torna o Brasil o segundo maior produtor do grão em escala mundial, atrás apenas dos EUA. Na safra 2018/2019, a área ocupada para o cultivo do grão foi de 33,89 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 113,92 milhões de toneladas, sendo a produtividade média de 3.362 kg ha⁻¹.

O estado do Mato Grosso é o principal produtor de soja brasileiro, sua produção equivale cerca de 30% do total produzido no país. As condições climáticas da região, a exemplo da regularidade das chuvas, concorrem para as máximas produtividades. O solo mato-grossense é predominantemente, ácido e com baixo teor de nutrientes, porém essa característica deixou de ser um fator limitante à produção de grão, na medida em que novas tecnologias de cultivo foram sendo desenvolvidas com vistas à adaptação das novas cultivares às condições locais (FIGUEIREDO, 2015).

O cultivo de soja no Estado do Mato Grosso ocorre principalmente na modalidade de sucessão soja-milho, já que esta técnica garante o aumento da produção sem o aumento proporcional da área cultivada, viabilizando uma segunda receita financeira no calendário agrícola. Para implantar esse sistema, deve-se utilizar cultivares de soja precoce; o milho

safrinha, por sua vez, deve ser semeado posterior e imediatamente à colheita da safra, permitindo o desenvolvimento da cultura sob condições climáticas adequadas. Todavia o sistema contínuo de sucessão com soja-milho tende a provocar degradação das condições naturais do solo, visto que rompem os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da matéria orgânica (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), bem como reduz a disponibilidade dos nutrientes, além de tornar o ambiente mais suscetível ao desenvolvimento de pragas e doenças, devido a falta de diversificação das espécies.

2.2 O Sistema Plantio Direto

O Sistema Plantio Direto (SPD) é uma técnica conservacionista que se originou nos EUA e foi implantada no Brasil, no início da década de 70 (MUZILLI, 1985). Surgiu como uma necessidade de tornar a produção agrícola mais sustentável, além de reduzir os custos operacionais e com adubações (Anghinoni et al., 2018). Essa tecnologia tem como fundamento três princípios básicos: não revolvimento do solo ou revolvimento mínimo na linha de semeadura; rotação de culturas e, por último, a cobertura permanente do solo, possibilitada pela formação de palhadas das plantas de cobertura semeadas em safrinha (Peche Filho, 2005). O equilíbrio dos três princípios garantem a sustentabilidade e eficiência do sistema, o que proporciona melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e conseqüentemente o aumento na produtividade.

No entanto, dentre os três princípios citados do SPD, a rotação de culturas é um entrave para a implantação deste sistema, uma vez que o modelo agrícola predominantemente adotado na região é a sucessão soja/milho. Este sistema viabiliza a economia da agricultura, já que permite ao produtor uma segunda safra, sem aumentar a área cultivada. Entretanto, este modelo de agricultura ao longo dos anos, acarreta na exaustão do solo e a redução dos nutrientes, o que aumenta os custos com a utilização de fertilizantes, e de defensivos agrícolas para controlar pragas e doenças, decorrentes da utilização das mesmas espécies em uma única área por longos períodos.

A adoção do SPD proporciona uma série de benefícios, desde que sua implantação seja feita com respeito às condições edafoclimáticas da região, às características do solo e aos resultados da interação entre as culturas (Bertol et al., 2001) De acordo com Saturnino & Londres (1997), a adoção da técnica conservacionista assegura ao sistema a proteção e reestruturação física do solo, avolumando a infiltração e retenção de água no solo, além de

aperfeiçoar o desenvolvimento das raízes. Com a formação de palhada e o mínimo revolvimento do solo, a fitomassa produzida decompõe-se e libera nutrientes de forma gradual sobre a cultura em sucessão, elevando a produtividade da cultura subsequente (Reicosky & Forcella, 1998), reduzindo os custos com as operações de correção da fertilidade do solo, tornando o sistema altamente rentável.

Com vistas ao sucesso do SPD, por ocasião da instalação do sistema, deve-se eliminar todas as depressões do terreno decorrentes de erosões por meio de escarificações e gradagens, realizar a correção química do solo com a incorporação de calcário em solos ácidos e a correção da fertilidade natural da área. Essas ações são fundamentais à sustentabilidade do SPD nos primeiros anos, já que os efeitos positivos da adoção dessa técnica não acontecem no início do cultivo. Outro fator importante a ser considerado para a instalação do sistema é a escolha das espécies que serão cultivadas, dado que estas devem, necessariamente, garantir a rentabilidade e a diversificação florística do sistema.

2.3 Culturas de cobertura

As culturas de cobertura são espécies cultivadas principalmente na safrinha e tem como principais objetivos a proteção do solo, melhoria na infiltração de água, incremento da biodiversidade do solo e, por fim, devolução ao solo de parte dos nutrientes e matéria orgânica extraída pelo cultivo intensivo (AMARAL et al., 2004). Diversas espécies de plantas de cobertura podem ser utilizadas para a ciclagem de nutrientes, porém, para o alcance de resultados positivos, deve haver sincronia entre a liberação do nutriente pela decomposição e a demanda da cultura subsequente (BRAZ et al., 2004). Dessa forma, as espécies a serem utilizadas, em cada sistema de plantio, devem ser avaliadas em função das condições climáticas da região, do solo e das necessidades da cultura em sucessão.

A presença de culturas de cobertura na entressafra em SPD interfere positivamente no controle de plantas daninhas, já que estas apresentam problemas em áreas de cultivo de soja, por competir pelos recursos naturais (água, luz, nutrientes e espaço físico). A fitomassa produzida pelas culturas também promove a formação de barreira física que minimiza a incidência de radiação solar na superfície do solo, o que reduz o processo de emergência e desenvolvimento das plantas daninhas. Por fim, durante o processo de decomposição da fitomassa, ocorre a liberação de substâncias alelopáticas ao solo, que reduzem a emergência e crescimento de plantas daninhas.

Dentre as espécies utilizadas como cultura de cobertura, podemos citar as leguminosas, que são conhecidas por serem fixadoras de nitrogênio, sua utilização em sistema plantio direto é uma alternativa ao suprimento total ou parcial de N (GONÇALVES et al., 2000; PERIN et al., 2004). A palhada das leguminosas possui menor relação C/N (Hargrove, 1986), o que auxilia na rápida disponibilização de nutrientes às culturas subsequentes, algumas culturas ainda reduzem os nematoides presentes no solo, como é o caso da crotalária.

As gramíneas também são utilizadas como culturas de cobertura, podendo exercer com exclusividade essa função, ou possuir valor agregado comercial, a exemplo do milho. Essas culturas promovem a melhoria dos atributos do solo, conforme demonstrado por Fassbender & Bornemisza, 1994, e conferida ao alto volume de raízes, às sucessivas renovações do sistema radicular e à uniforme distribuição dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana, em que seus subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados (Silva & Mielniczuk, 1997).

2.4 Consorciação de culturas

A diversificação funcional de espécies, por meio da consorciação de culturas, é uma alternativa importante a sucessão da soja, esta técnica consiste no cultivo de duas ou mais espécies com diferentes características em uma mesma área, semeadas no mesmo período ou não, que ocasionam na interação entre as espécies e ao meio em que estão inseridas. As principais vantagens da adoção deste método são: produção de fitomassa e grãos, melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos e conseqüentemente, melhores desempenho na produtividade das culturas anuais (ALTMANN, 2010), o aumento da matéria orgânica e da atividade biológica do solo devido à diversificação do sistema.

Alguns modelos de consorciação já estão bem consolidados na agricultura, na região Centro-Oeste do Brasil o consórcio milho+braquiária tem sido o mais utilizado, pelo fato do ciclo da braquiária se estender após a colheita do milho, o que protege o solo durante as primeiras chuvas, que historicamente tem se apresentado intensas. Estudos apontam que a utilização desse sistema produz até 12 toneladas de palha (EMBRAPA 2018), além disso, a adoção deste método é rentável, devido ao valor comercial do milho.

O consorcio milho + leguminosas, embora não seja muito utilizado na região, possui alto potencial de acumular nitrogênio, já que as leguminosas são importantes fixadoras deste nutriente.

O consórcio com girassol também é uma opção viável a ser incluída no sistema, já que esta cultura apresenta elevada arquitetura de planta e altura de colheita, o que justifica a hipótese de consorciação com culturas de cobertura de baixo porte como as braquiárias. O fato de esta cultura apresentar elevada ciclagem de nutrientes reforça a sua importância, por ser possível um efeito acumulativo com a cultura de cobertura e, assim, favorecer a cultura da soja em sucessão.

2.5 Produção de Fitomassa e Ciclagem de Nutrientes

A cobertura vegetal contribui para a proteção do solo do cerrado no período da safrinha, intervalo em que o solo permanece vulnerável à ação direta das chuvas. Ademais, o cultivo de espécies vegetais com grande produção de fitomassa auxilia na formação da palhada, melhorando os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (BRAGAGNOLO E MIELNICZUK, 1990), permitindo uma apropriada ciclagem de nutrientes, a exemplo do nitrogênio (ESPINDOLA et al., 2006). Para isso, faz-se necessária a seleção de espécies de rápido desenvolvimento, propensas a sua supressão por outra cultura sem que com esta haja competição (LAL, 1979).

A respeito da escolha das espécies de vegetais, ao compararmos as leguminosas e gramíneas, temos que está se sobrepõe devido ao seu maior tempo de permanência no solo. Isso porque as gramíneas possuem elevada relação C/N (entre 30 a 40), enquanto as leguminosas dispõem de C/N inferior a 20 (ROSOLEM et al., 2003). Devido à incorporação de nitrogênio fixado pelas bactérias, associada alta temperatura e umidade do ar, as leguminosas passam a se decompor rapidamente. Nesse sentido, devido ao maior tempo de sobrevivência das gramíneas, aumenta-se a produção de palhada nesse sistema, no qual se assenta uma boa reserva de nutrientes a serem liberados lentamente, permitindo uma ascensão na estrutura do solo.

É de suma importância a identificação do tempo de decomposição e liberação da fitomassa, uma vez que o sucesso do plantio direto depende da manutenção de sistemas

capazes de gerar quantidades de matéria seca suficientes para manter o solo coberto durante todo o ano (KLIEMANN et al. 2006). Moraes (2001) ao estudar a decomposição do milho cultivado em Cerrado constatou que a decomposição da palhada é maior nos primeiros 42 dias enquanto a maior taxa da mineralização dos nutrientes ocorre nos primeiros 63 dias. Silva et al (1997) ao estudar a decomposição da crotalaria e braquiária constatou que a decomposição aos 60 dias foi de 61,3 e 78,9% respectivamente.

A fertilidade natural do solo é oriunda dos processos de intemperismo, da decomposição dos resíduos orgânicos (Folster & Khanna, 1997), material de origem e ação dos microrganismos, todavia, os processos de mineralização, extração pelas plantas e perdas por erosão são maiores do que as entradas de nutrientes. O fornecimento de nutrientes pelo intemperismo ocorre de forma lenta, já o processo de decomposição de resíduos, embora rápido, normalmente não é suficiente para equilibrar as perdas decorrentes da agricultura. Para manter a fertilidade do solo, grande parte dos agricultores realizam a adubação da área com fertilizantes minerais e/ou orgânicos, porém a adoção desta técnica onera o sistema, sendo assim práticas alternativas de manejo, tal como o uso de culturas de cobertura, podem reduzir os custos operacionais e ao mesmo tempo aumentar as restituições de nutrientes ao sistema.

A escolha da cultura de cobertura a ser utilizada é de suma importância para garantir a eficiência na ciclagem de nutrientes, fatores como a sincronia entre a necessidade nutricional da cultura em sucessão e a liberação dos nutrientes da palhada produzida devem ser estudados (BRAZ et al., 2004). A permanência da palhada no solo, atua como reserva de nutrientes, e pode ser disponibilizada de forma rápida e intensa (ROSOLEM et al., 2003), ou lenta e gradual, variando em função dos fatores climáticos, atividade macro e microbiológica do solo, qualidade e quantidade da palhada(ALCÂNTARA et al., 2000).

Mendonça et al (2005) ao estudar a liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja, constatou que o consórcio da cultura do milho com forrageiras é uma alternativa para elevar a quantidade de palhada e ciclagem de macronutrientes em sistema plantio direto. Sendo o potássio o nutriente que evidenciou maior acúmulo na palhada das forrageiras (até 150 kg ha⁻¹), com 100 % de liberação aos 90 dias após a semeadura da soja, o que confere uma eficaz alternativa de ciclagem deste nutriente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas: 2014/2015; 2015/2016; 2016/2017; 2017/2018 e 2018/2019 na Estação Experimental da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Câmpus Rondonópolis a 16°27'41.75''S e 54°34'52.55'' W, com altitude de 292 metros (Figura 1). O solo cultivado é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018), com relevo plano, anteriormente ocupado com vegetação nativa de Cerrado. O clima, segundo a classificação de Köppen é Aw, com duas estações bem definidas: seca e chuvosa.



Figura 1. Vista panorâmica da estação experimental. Fonte: Ruan Douglas

A área experimental foi instalada no ano 2014, a instalação do experimento iniciou-se com a limpeza da área, seguida de aração e gradagem e retirada das raízes de forma manual. A fim de identificar as condições iniciais da área, foram coletadas amostras de solo das camadas 0-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm para caracterização química e granulométrica do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do Latossolo Vermelho antes da instalação do experimento.

Profundidade (m)	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	T	V	MO	Areia	Silte	Argila
	CaCl ₂	-mg dm ⁻³ -		-----cmol.dm ⁻³ -----				%		----- g kg ⁻¹ -----		
0 - 10 cm	4,1	5,4	55	0,5	0,2	6,8	7,6	11	17,6	450	125	425
10 - 20 cm	4,0	1,4	49	0,2	0,2	7,2	7,6	5,6	19,9	500	100	400
20 -30 cm	4,1	0,2	31	0,3	0,1	6,2	6,7	7,2	13,7	500	100	400

P: fósforo disponível (Mehlich 1); K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação por bases.

Com base na análise química foi realizada a calagem (4000 kg ha⁻¹) pelo método de saturação por bases, com calcário filler (PRNT: 99,02%) incorporadas com grade aradora e niveladora.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com nove sistemas de produção e quatro repetições. Em todas as unidades experimentais no período de safra foi cultivada soja, enquanto na safrinha utilizaram-se culturas anuais e graníferas, em sistemas solteiros e consorciados (Tabela 2). A dimensão de cada unidade experimental foi de 63 m² (7 m de largura x 9 m de comprimento). A semeadura da safra foi realizada de forma mecanizada (Figura 2) com espaçamento entrelinhas de 0,45 m. As cultivares da soja utilizada foram: Safra 2014/2015 - ANTA 82 RR; Safras 2015/2016 e 2016/2017 – TMG 1175 RR; Safras 2017/2018 e 2018/2019 – TMG 7062 IPRO. A semeadura da safrinha aconteceu manualmente.

Tabela 2. Histórico das culturas semeadas em safrinha nos anos agrícolas de 2014/2015 a 2018/2019 após a colheita da soja.

SISTEMA	SAFRINHA				
	2014	2015	2016	2017	2018
S1	Pousio SPD	Pousio SPD	Pousio SPD	Pousio SPD	Pousio SPD
S2	Pousio Convencional	Pousio Convencional	Pousio Convencional	Pousio Convencional	Pousio Convencional
S3	<i>C. spectabilis</i>	<i>C. spectabilis</i>	<i>C. spectabilis</i>	<i>C. spectabilis</i>	<i>C. spectabilis</i>
S4	<i>C. breviflora</i>	<i>Z. mays</i> + <i>C.spectabilis</i>	<i>Z. mays</i> + <i>C.spectabilis</i>	<i>Z. mays</i> + <i>C.spectabilis</i>	<i>Z. mays</i> + <i>C.spectabilis</i>
S5	<i>P.glaucum</i>	<i>P.glaucum</i>	<i>P.glaucum</i>	<i>P.glaucum</i>	<i>P.glaucum</i>
S6	<i>U. ruziziensis</i>	<i>U. ruziziensis</i>	<i>U. ruziziensis</i>	<i>U. ruziziensis</i>	<i>U. ruziziensis</i>
S7	<i>C.cajan</i>	<i>H. annuus</i> + <i>U.ruziziensis</i>	<i>H. annuus</i> + <i>U.ruziziensis</i>	<i>H. annuus</i> + <i>U.ruziziensis</i>	<i>P.glaucum</i> + <i>U.ruziziensis</i> + <i>C.cajan</i> + <i>C.spectabilis</i>
S8	<i>Stylosanthes</i>	<i>V. unguiculata</i>	<i>V. unguiculata</i>	<i>C.cajan</i>	<i>C.cajan</i>
S9	<i>U.brizantha</i>	<i>Z. mays</i> + <i>U.ruziziensis</i>	<i>Z. mays</i> + <i>U.ruziziensi</i>	<i>Z. mays</i> + <i>U.ruziziensis</i>	<i>Z. mays</i> + <i>U.ruziziensi</i>

SPD- plantio direto; Pousio convencional - preparo convencional com uso de grade aradora + grade niveladora.

As culturas utilizadas em safrinha sofreram mudanças durante os cinco anos de cultivo devido à necessidade de adaptação ao experimento. No sistema S4, foi semeado a *C.breviflora* no primeiro ano, porém, seus resultados foram semelhantes ao sistema S3 com *C.spectabilis*, desta forma, optou-se por utilizar um consórcio entre *Z.mays* e a *C.spectabilis*, sendo possível, identificar os efeitos desta leguminosa em sistema solteiro e consorciado com uma gramínea. O mesmo ocorreu com o sistema S9, que no primeiro ano de cultivo foi semeado *U.brizantha* em sistema solteiro e após o segundo ano, consorciado com o *Z.mays*.

O sistema S7 foi modificado devido à dificuldade em encontrar sementes de qualidade do *H. annuus*, e em contrapartida a necessidade de encontrar um tratamento que apresentasse uma maior diversidade florística do sistema. No sistema S8 o *Stylosanthes*, apresentou baixo desempenho, por isso, a necessidade de mudança.



Figura 2. Semeadura mecanizada da soja no ano agrícola 2018/2019

As datas de semeadura e colheita da safra e safrinha durante os anos agrícolas 2014/2015 a 2018/2019 encontram-se dispostas na tabela 3.

Tabela 3. Histórico da semeadura e colheita da safra e safrinha durante os cinco anos de experimento.

ANO AGRÍCOLA	Semeadura Safra	Colheita Safra	Semeadura Safrinha
2014/2015	29/10/2014	02/03/2015	04/03/2015
2015/2016	29/10/2015	16/02/2016	18/02/2016
2016/2017	16/10/2016	06/02/2017	11/02/2017
2017/2018	24/11/2017	28/02/2018	06/03/2018
2018/2019	22/10/2018	02/02/2019	16/02/2019

Durante os cinco anos de condução do experimento procederam-se com a dessecação das culturas em safrinhas antes da semeadura da soja, sendo realizada com o uso do glyphosate (1920 g i.a ha⁻¹), aplicado com pulverizador manual. A dessecação de cada tratamento durante as safrinhas ocorrera em dias diferentes devido às características fisiológicas de cada cultura (Tabela 4). Em alguns anos, o sistema S6 (*U.ruziziensis*) foi

dessecado antes das demais culturas, por apresentar alta capacidade de rebrota e ser de difícil controle, principalmente no período das chuvas.

Tabela 4. Histórico da dessecação das culturas em safrinha durante o período experimental

SISTEMAS	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019
S1	27/10/2014	22/09/2015	02/10/2016	07/10/2017	24/09/2018
S2	27/10/2014	22/09/2015	02/10/2016	07/10/2017	24/09/2018
S3	27/10/2014	22/09/2015	02/10/2016	07/10/2017	09/10/2018
S4	27/10/2014	22/09/2015	02/10/2016	07/10/2017	09/10/2018
S5	27/10/2014	22/09/2015	02/10/2016	07/10/2017	24/09/2018
S6	27/10/2014	21/08/2015	02/10/2016	07/10/2017	23/08/2018
S7	27/10/2014	22/09/2015	02/10/2016	07/10/2017	24/09/2018
S8	27/10/2014	22/09/2015	02/10/2016	07/10/2017	24/09/2018
S9	27/10/2014	22/09/2015	02/10/2016	07/10/2017	09/10/2018

A adubação utilizada na soja nas cinco safras foi de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 22 kg ha⁻¹ de N via monoamônio fosfato no sulco de semeadura, e 100 kg ha⁻¹ de K₂O via cloreto de potássio (Figura 3), aplicados metade a lanço em pré-semeadura e o restante quando a soja atingiu o estágio fenológico V4. Além disso, em todos os anos a soja foi inoculada antes da semeadura. As culturas anuais semeadas em safrinhas seguiram as recomendações de adubação de acordo com Sousa e Lobato (2004), para as culturas de cobertura não foram utilizados fertilizantes. Na segunda safra foram necessários tratos culturais apenas nos sistemas com o *C.cajan*, em que no momento da semeadura da soja, foi preciso cortar o mesmo com o auxílio de um tesourão e após isso, este foi deixado no chão, paralelo à linha de semeadura.



Figura 3. Adubação na linha de semeadura

A produtividade de grãos da soja foi avaliada por meio de coletas realizadas em duas linhas de dois metros, expressos em kg ha^{-1} (padronizadas em 13% umidade). A produtividade apresentada corresponde ao acúmulo dos cinco anos de cultivo. No ano de 2016 em diante iniciou-se a avaliação da fitomassa seca na ocasião da senescência de cada cultura, sendo coletada com o uso de um quadrado de ferro com dimensões de 0,5x0,5m (Figura 5), em dois pontos distintos na área útil da parcela, conforme metodologia de Crusciol et al. (2005). Em seguida, as folhas e caules foram separados e secos em estufa de circulação de ar forçado, a 60°C até atingirem massa constante e posteriormente moída em moinho de facas. Por fim, estimou-se a produção de fitomassa do sistema de produção em kg ha^{-1} em cada safra e ao final verificou-se o acúmulo dos cinco anos.



Figura 4: Coleta da soja para determinação da produtividade



Figura 5. Coleta de fitomassa com o uso do quadrado de ferro.

Para avaliar o acúmulo de nutrientes nos cinco anos de cultivo, a coleta de fitomassa foi repetida no momento da dessecação e aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação para a semeadura da soja. As análises dos teores de N, P e K foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Malavolta et al (1997).

A liberação de fitomassa e nutrientes ocorridas nas culturas de cobertura foram descritas por um modelo matemático exponencial decrescente, descrito por Wieder & Lang (1982):

$$Q = Q_0 \exp(-kt)$$

sendo:

Q = quantidade de fitomassa/nutrientes existente no tempo t, em dias (kg ha^{-1});

Q_0 = fração de fitomassa/nutrientes potencialmente liberada (kg ha^{-1}), e

k = constante de liberação de fitomassa/nutriente (g g^{-1}).

Com o valor de k, calcula-se o tempo de meia-vida ($T_{1/2}$ vida) da fitomassa/nutriente remanescente, ou seja o tempo que levará para meta/de da massa seca se decompor e ser liberado, com uso da fórmula $T_{1/2} \text{ vida} = 0,693/k$, proposta por Paul & Clark (1989), os dados apresentados são referentes ao acúmulo de cinco anos de adoção do sistema.

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do programa Sisvar, sendo utilizado o teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Os gráficos foram plotados com o programa Sigma Plot 10.0

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade da soja (Figura 6) apresentou resultados significativos em todos os tratamentos, exceto nos pousios e no sistema S8. Os resultados dos pousios (S1 e S2) já eram esperados, visto que esses sistemas proporcionam pouca cobertura do solo e baixa diversificação florística do sistema, o que gera o desequilíbrio ecológico, perda da biodiversidade e balança do teor de água no solo, já que este permanece descoberto (ALVARENGA et al.,2001). FIDELIS et al., 2006 ao estudar o sistema plantio direto afirma que a produtividade média da soja pode aumentar em até 17% quando comparado ao sistema convencional, devido as melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo quando utilizado a tecnologia do SPD.

No sistema S8, embora cultivado com leguminosa, os resultados não influenciaram positivamente a produção da soja. A baixa produtividade da cultura em sucessão pode ser justificada pelo baixo desenvolvimento do *Stylosantes* no primeiro ano de cultivo, além disso, esse sistema teve baixo acúmulo de fitomassa na ocasião da senescência das culturas semeadas em safrinha (Figura 7). Dentre os três anos analisados, verificou-se que a produção de fitomassa em 2018 foi significativamente menor que em 2017, o que está correlacionado com o alto índice de ataque de formigas em 2018.

O sistema S3 (*C. spectabilis*) proporcionou a maior produtividade para a cultura em sucessão, entretanto não foi o que proporcionou o maior acúmulo de fitomassa, Tanaka et al. (1992), obtiveram incrementos na produtividade de soja após a sucessão de leguminosas como a crotalaria e a mucuna-preta e atribuíram os resultados à qualidade da fitomassa produzida por esses sistemas. Outro fator a ser destacado nos sistemas com a crotalaria é o seu potencial em desenvolver a biomassa microbiana do solo, sendo esta de suma importância no processo da decomposição dos resíduos orgânicos e na ciclagem de nutrientes (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Carneiro et al. (2008), ao estudar culturas de cobertura e suas alterações na atividade microbiana do solo, evidenciaram que as áreas com maior aumento na atividade microbiana houve maior mineralização dos nutrientes na fitomassa quando comparado com as áreas com menor atividade microbiana

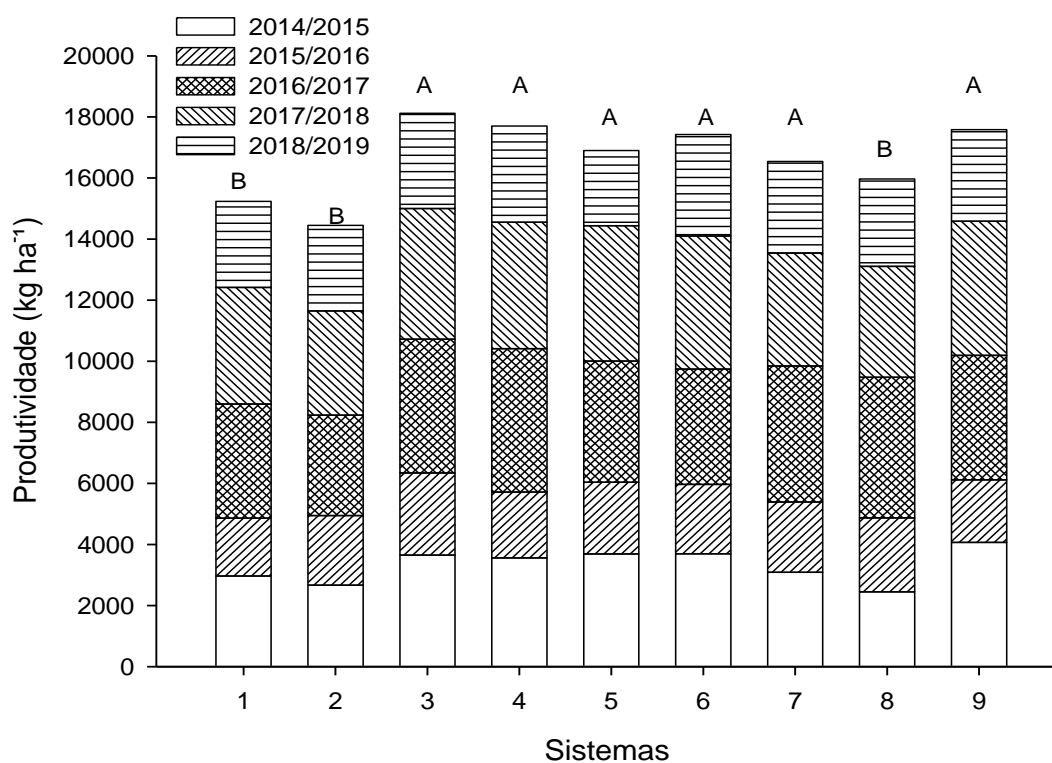


Figura 6. Acúmulo da produtividade da soja proporcionada pelos sistemas de culturas cobertura (CV: 6,70).

Os consórcios *Z.mays* + *C.spectabilis* (S4) e *Z.mays* + *U. ruziziensis* (S9) expuseram os maiores acúmulos de fitomassa no período de senescência com 33691,75 e 34743,44 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 7). Esses resultados também foram encontrados por Silva et al. (2009), que ao estudarem a fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura, verificaram que consorciações de sorgo e milho com outras espécies superam a produtividade de fitomassa se cultivada em monocultivo. Um maior acúmulo de fitomassa também foi observado no S7, onde havia o consórcio de girassol + *U. ruziziensis* e no último ano com o mix de espécies de cobertura, sendo o sistema com maior diversidade florística. A inclusão de cultivos consorciados ou mix de culturas na safrinha favorece a manutenção da fitomassa na área até o final da safra e com isso há menor amplitude térmica no solo, a cultura em sequência se desenvolve com maior facilidade e há incremento da matéria orgânica no sistema.

Os sistemas S3, S5, S6 e S8 apresentaram menor acúmulo de fitomassa (Figura 7), sendo todos esses cultivados de forma solteira, o que contribui significativamente para o baixo acúmulo de fitomassa. Os sistemas em pousio por serem compostos

predominantemente por plantas infestantes não apresentaram resultados satisfatórios na produção de fitomassa.

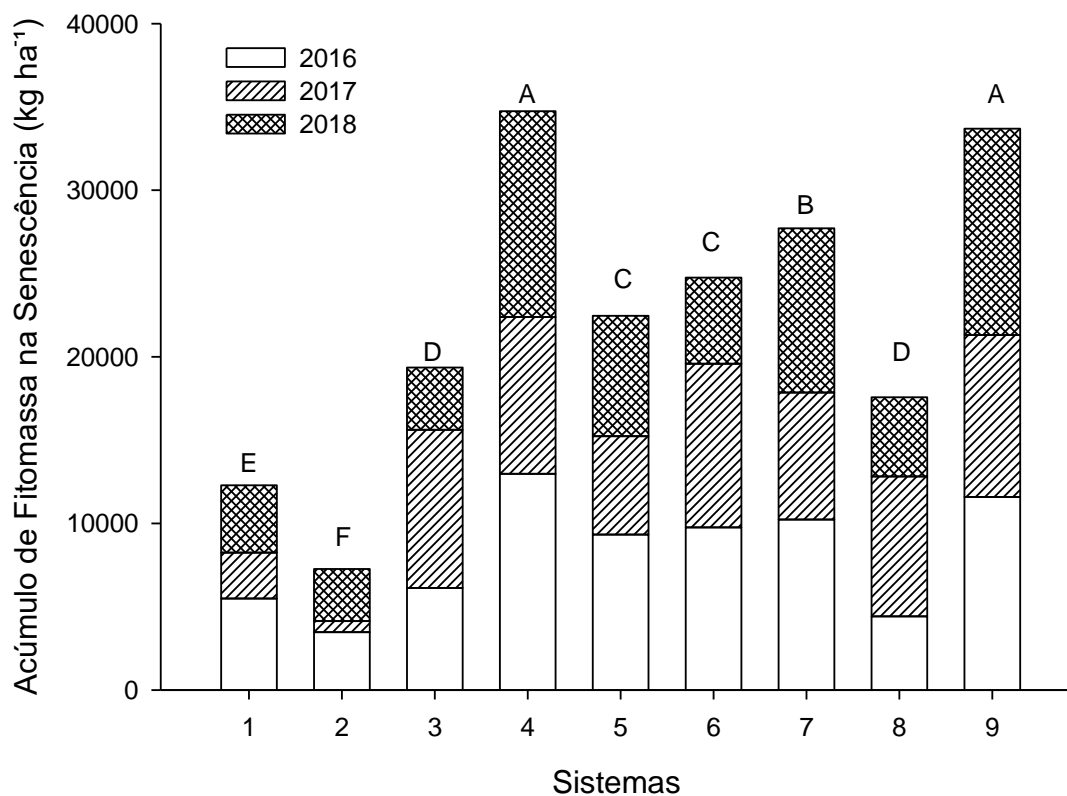


Figura 7. Acúmulo de fitomassa promovida pelas culturas de cobertura no período da senescência nas safras de 2016/2017 a 2018/2019 (CV: 8,57).

Quando comparado a fitomassa nos três estádios avaliados (Tabela 5) (senescência, momento da dessecação e após 120 dias da dessecação), evidencia-se que houve pouca perda, nos consórcios com *Z.mays*, fator este que está correlacionada com o efeito recalitrante da fitomassa do milho. Este resultado permite que o solo se mantenha coberto por um intervalo maior de tempo, protegendo-o assim dos efeitos das intempéries.

Tabela 5. Acúmulo de fitomassa por culturas de cobertura semeada em safrinha nas safras 2016/2017 a 2018/2019.

Sistemas de Produção	Fitomassa (kg ha ⁻¹)					
	Senescência		0 DAD		120 DAD	
S1	12290.47	E	8559.95	D	3074.45	D
S3	19361.34	D	16160	C	3322.4	D
S4	34743.44	A	18665.7	B	6470.3	A
S5	22462.84	C	17784.3	B	4861.3	C
S6	24757.06	C	21857.05	A	6535.95	A
S7	27711.697	B	14246.9	C	5340.82	B
S8	17571.53	D	15176.067	C	3914.6	C
S9	33691.75	A	17472.6	B	6353.75	A
CV (%)	8,57		11,41		16,91	

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p>0,05$).

O sistema de produção com *U.ruziziensis* (S6) proporcionou o maior acúmulo no momento da dessecação e após 120 dias (Tabela 5). Desta forma observa-se que por possuir alta capacidade de rebrota após as chuvas finais do outono e as primeiras do verão, o sistema com *U. ruziziensis* superou a produção de fitomassa do consórcio *Z.mays* + *C.Spectabilis* que proporcionou maior acúmulo de fitomassa no período da senescência. Esses resultados estenderam até 120 dias após a dessecação. Esse resultado também foi encontrado por PACHECO et al.(2011), ao estudar a produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura, concluíram que os tratamentos com *B. ruziziensis* e *B.ruziziensis* + *C. cajan* destacaram-se na produção de matéria seca, taxa de cobertura do solo e acúmulo de fitomassa.

Comparativamente a outras culturas, os sistemas com *C.spectabilis* e *C.cajan* foram os que apresentaram menor tempo de meia-vida (Figura 8), 60,26 e 66,63 dias, respectivamente, ao passo que o do Consórcio *Z.mays* + *C.spectabilis* ostentou o maior tempo, 85,5 dias. As leguminosas e gramíneas apresentam tempo de decomposições distinto. As leguminosas possuem elevados teores de nitrogênio no tecido vegetal em razão da fixação de nitrogênio atmosférico, além da baixa relação C/N, que altera sua atividade microbológica, acelerando a decomposição (CALVO et al., 2010). Por outro lado, as gramíneas apresentam maior relação C/N, acarretando maior tempo de cobertura do solo.

Além disso, a lignina e celulose encontradas no caule do Milho retardam a decomposição (TORRES & PEREIRA, 2014).

O S7, por apresentar diversidade de espécies, proporcionou tempo de meia-vida (Figura 8) intermediário devido aos diferentes materiais vegetais. Esta composição diversificada se torna importante para a ciclagem de nutrientes e manutenção da fitomassa sob o solo, uma vez que os tecidos são decompostos em velocidades diferentes e garantem a liberação dos nutrientes ao longo dos estádios da soja, o que favorece o incremento na produtividade de grãos.

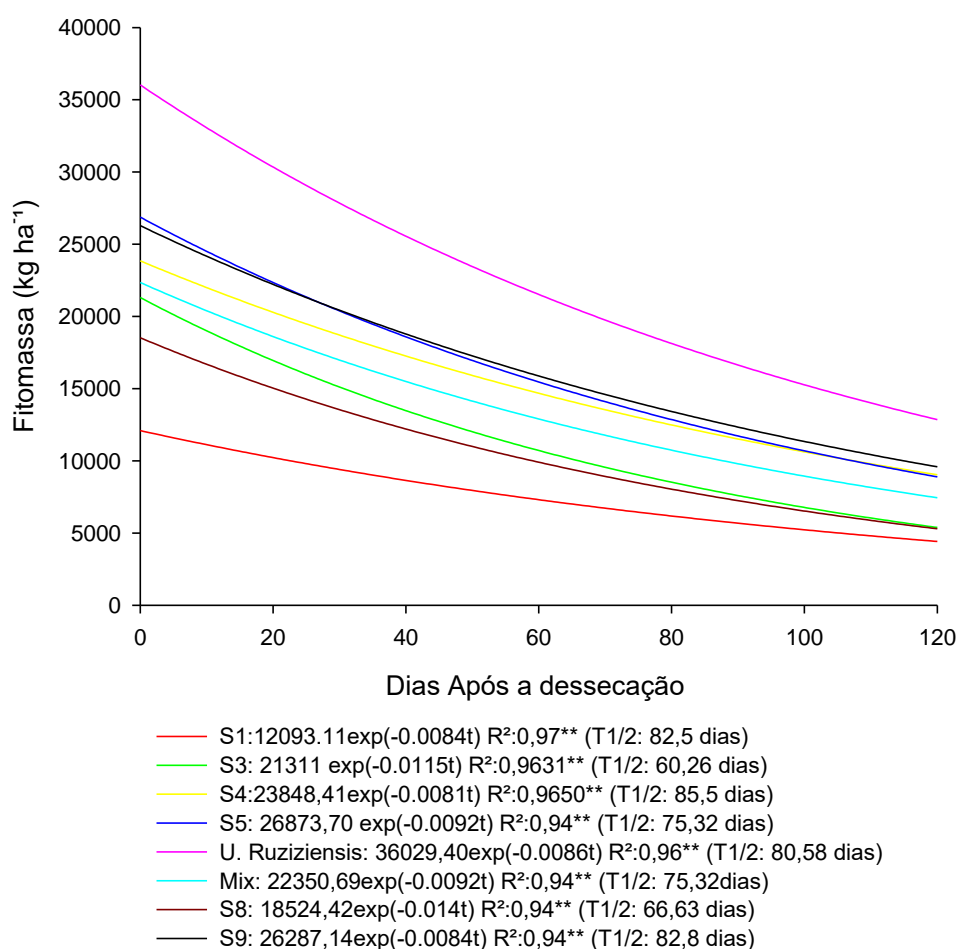


Figura 8. Decomposição e tempo de meia vida do acúmulo de fitomassa das culturas de cobertura das safras 2014/2015 a 2018/2019.

Ao avaliar o acúmulo de nutrientes produzido pelas culturas de cobertura no período da senescência, evidenciou-se que o sistema *Z.mays* consorciado com *C.spectabilis* (S4) apresentou o maior acúmulo de nitrogênio (Figura 9), esse resultado também foi encontrado por PEREIRA, et al, 2004 ao estudarem a ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura, em que atribuíram este resultado a capacidade das leguminosas em fixar o nitrogênio atmosférico pela associação simbiótica com bactérias do gênero *Rizobium* (Perin et al., 2004). Entretanto, esse sistema apresentou um tempo de meia-vida alto para a liberação do nutriente (Figura 10), o que pode ser justificado pela recalcitrância da fitomassa do milho o que torna a decomposição mais lenta quando comparada as demais culturas. Em estudo a fenologia da soja, é possível identificar que a maior necessidade deste nutriente para a cultura acontece no estágio vegetativo, desta forma, sistemas com tempo de meia-vida baixo, tendem a apresentar melhores resultados, já que disponibiliza o nutriente na fase em que a planta necessita.

Os sistemas com *U.ruziziensis* apresentaram as maiores liberações do nitrogênio do momento da dessecação de manejo para semeadura da soja até 120 dias após dessecação (Tabela 8), o que pode ser justificado pela elevada capacidade de produção de fitomassa; sistema radicular vigoroso e, além disso, por ser uma cultura que renova com alto índice de rebrota, o que incrementa o acúmulo de N na fitomassa. O sistema com *U.ruziziensis* (S6), apresentou o menor tempo de meia-vida na decomposição do nitrogênio, desta forma, apresentou acúmulo e liberação significativo deste nutriente no momento da dessecação e após 120 dias. Como esta cultura teve rebrota no período da chuva, os tecidos vegetativos eram novos, o que facilitou a decomposição da fitomassa e consequente liberação do nutriente. Em estudo a fenologia da soja, é possível identificar que a maior necessidade deste nutriente para a cultura acontece no estágio vegetativo, desta forma, sistemas com tempo de meia-vida baixo, tendem a apresentar melhores resultados, já que disponibiliza o nutriente na fase em que a planta necessita. Portanto, pressupõe-se que o sistema S6 embora não apresentou acúmulo significativo do nitrogênio a sua liberação aconteceu em momento propício para beneficiar o desenvolvimento da soja (Figura 10). Estudo realizado por Pacheco et al. (2011) no acúmulo e liberação de nutrientes por culturas de cobertura no Cerrado goiano, destacaram a *U. ruziziensis* como uma cultura capaz de acumular significativa quantidade de nutrientes em sua fitomassa, principalmente após o reinício das chuvas em setembro e outubro, e assim, disponibilizá-los após sua decomposição.

Os sistemas S3, S7, S8 e S9 apresentaram acúmulo de nitrogênio mediano quando comparados com o S4, no entanto, significativo, principalmente para os sistemas solteiros (S3 e S8) (Figura 9). Os pousios apresentaram os menores acúmulos do nitrogênio, resultado já esperado devido à baixa diversificação do sistema e pela infestação natural de plantas daninhas.

A avaliação do acúmulo e liberação de nitrogênio por culturas de cobertura em sucessão a soja é de suma importância, uma vez que esta leguminosa possui alta demanda deste nutriente, sendo sua maior absorção na fase vegetativa. Desta forma, sistemas que apresentam maior acúmulo, liberação deste nutriente e tempo de meia vida em sincronia com o desenvolvimento da soja, tendem a proporcionar melhores resultados à cultura em sucessão.

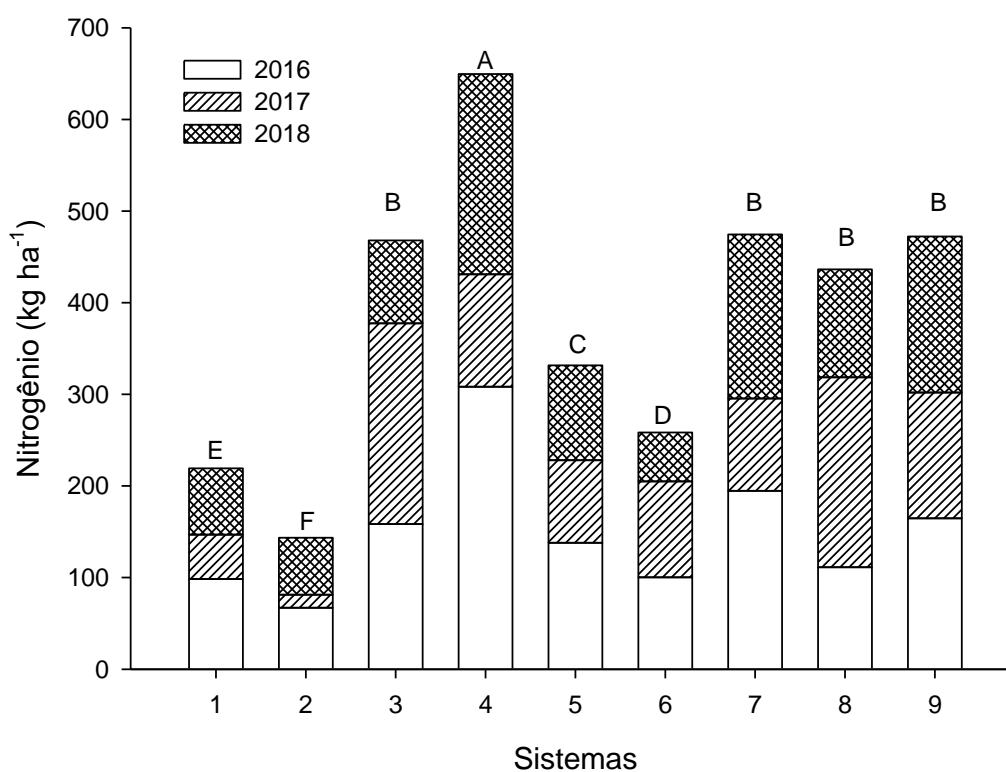


Figura 9. Acúmulo de Nitrogênio promovido pelas culturas de cobertura no período da senescência (CV: 11,03).

Tabela 7. Valor absoluto (kg ha^{-1}) dos nutrientes liberados da senescência até o momento da dessecação de manejo para semeadura da soja.

Sistemas de Produção	N(kg ha^{-1})		P(kg ha^{-1})		K(kg ha^{-1})	
S1	71.42	C	44.58	D	162.96	B
S3	23.99	C	75.1	B	133.31	B
S4	355.27	A	68.67	C	526.24	A
S5	-10.28	C	66.39	C	230.83	B
S6	-247.05	D	38.05	D	500.56	A
S7	30.61	C	83.78	B	794.32	A
S8	231.27	B	33.85	D	213.07	B
S9	53.94	C	152.7	A	677.66	A
CV (%)	64,43		11,66		51,86	

Tabela 8. Valor absoluto (kg ha^{-1}) dos nutrientes liberados do momento da dessecação de manejo para semeadura da soja até 120 dias após dessecação.

Sistemas de Produção	N(kg ha^{-1})		P(kg ha^{-1})		K(kg ha^{-1})	
S1	108.85	E	10.75	D	36.08	F
S3	376.51	A	23.44	C	182.46	C
S4	193.58	D	22.13	C	142.59	D
S5	261.68	C	24.95	C	146.45	D
S6	402.62	A	48	A	234.72	B
S7	361.77	A	29.5	B	285.64	A
S8	146.49	E	10.38	D	68.62	E
S9	322.8	B	26.85	B	194.43	C
CV (%)	11,11		11,11		9,79	

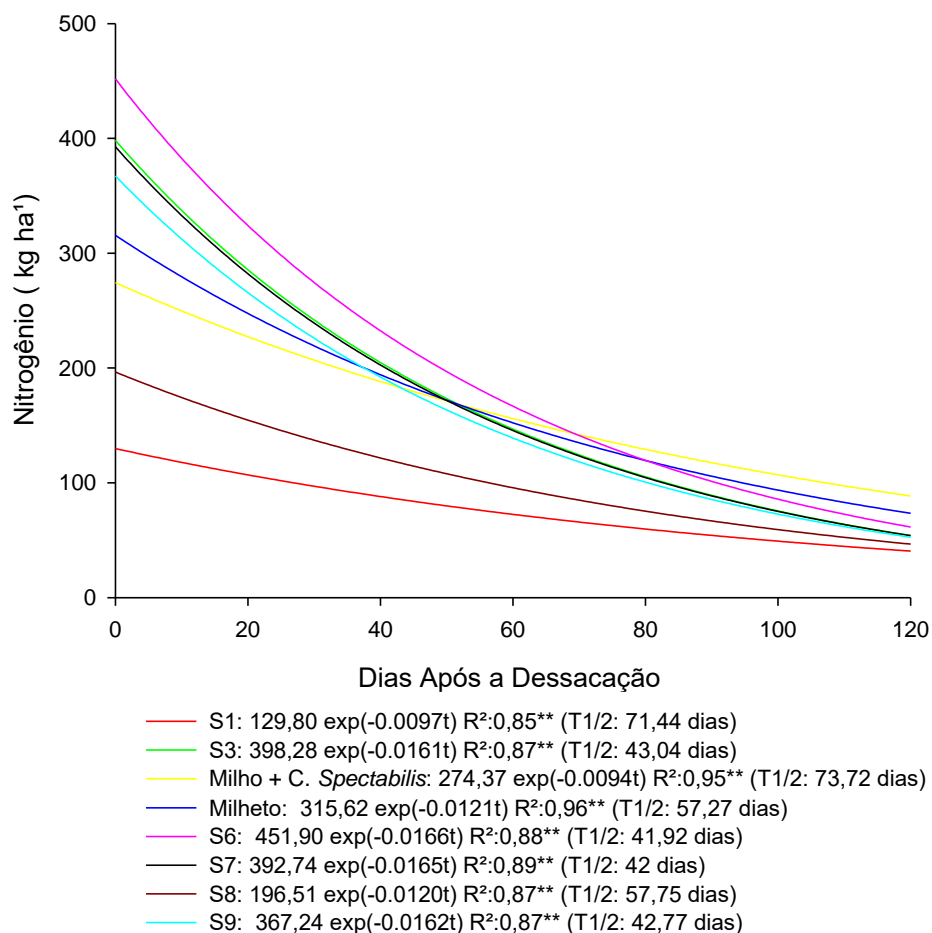


Figura 10. Decomposição e tempo de meia vida do acúmulo de nitrogênio das culturas de cobertura das safras 2014/2015 a 2018/2019.

O sistema S9 (*Z.mays* consorciado com *U.ruziziensis*) apresentou o maior acúmulo de fósforo no período da senescência (Figura 11) e o que mais liberou este nutriente da senescência até o momento da dessecação (Tabela 7). A alta concentração de fósforo nos sistemas com a presença da *U.ruziziensis* está correlacionado com a capacidade que a braquiária tem de reduzir a concentração de formas recalcitrantes de P de camadas mais profundas do solo, ocorre um considerável aumento de concentração de formas de P lábil nas camadas mais superficiais, retornando o P à superfície em virtude da mineralização de seus resíduos. (ALMEIDA & ROSOLEM 2016). Além disso, o *Z. mays* tem elevada capacidade de acumular fósforo no caule e folha, dessa forma o consórcio das culturas é benéfico para o acúmulo deste nutriente ao sistema. São Miguel et al. 2018, ao estudar a

ciclagem dos nutrientes relata um acúmulo significativo de fósforo em sistemas de *Z.mays* e *U.ruziziensis* consorciadas.

O sistema S6 (*U.ruziziensis*) apresentou a maior liberação de fósforo no período da dessecação até após 120 dias, e o menor tempo de meia vida (Figura 12). Isto devido a sua fitomassa ser constituída, principalmente, de tecidos de fácil decomposição (folhas), o que torna a liberação do fósforo mais rápida, além da decomposição da fitomassa mais jovem proveniente da rebrota em decorrência das chuvas iniciais de verão. O S3, S4, S5, S6 e S7 apresentaram comportamento intermediário tanto na senescência quanto na dessecação, bem como tempos de meia vida semelhantes. Todos estes tratamentos apresentaram os maiores desempenhos para a produtividade da soja.

Os sistemas S8 e pousios apresentaram os menores acúmulos de P. O S8 apresentou baixo acúmulo de fitomassa o que pode ter interferido diretamente na disponibilidade do nutriente. Quanto aos pousios, o resultado já era esperado.

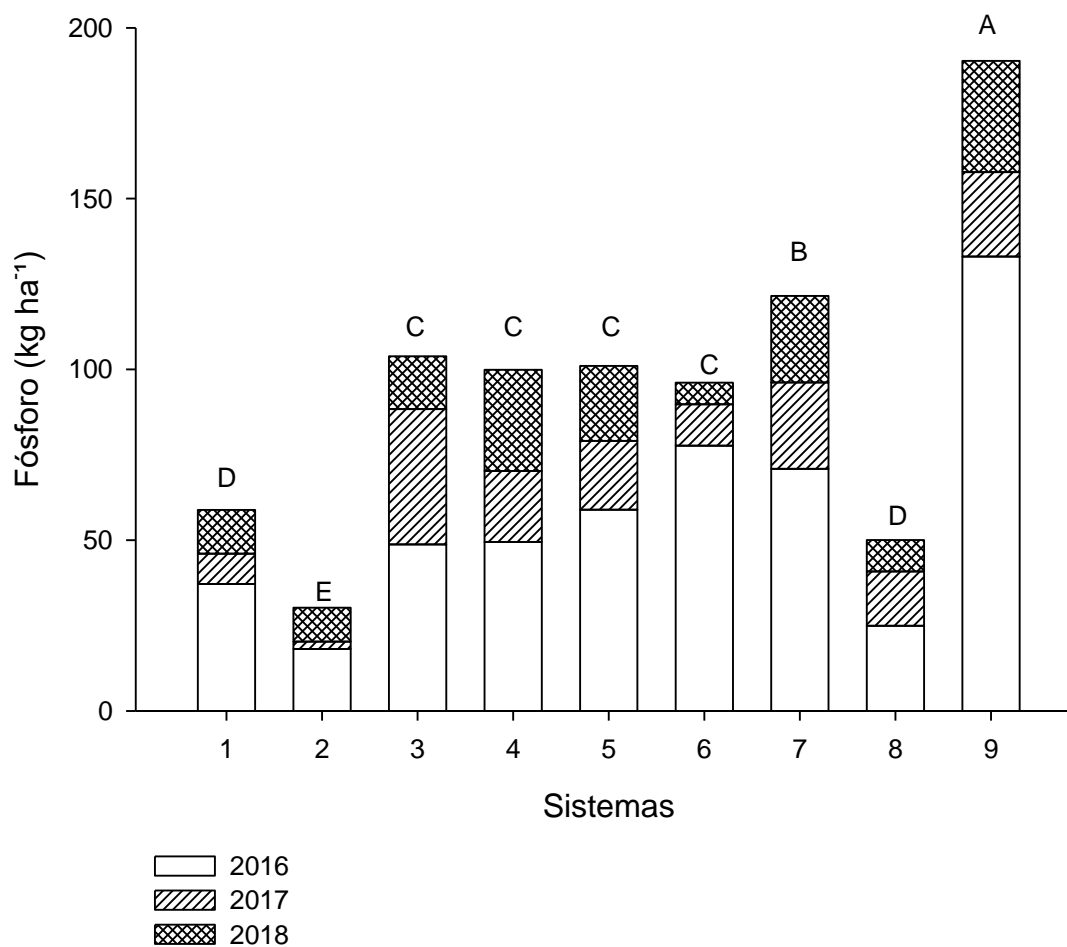


Figura 11. Acúmulo de Fósforo promovido pelas culturas de cobertura no período da senescência (CV: 8,02).

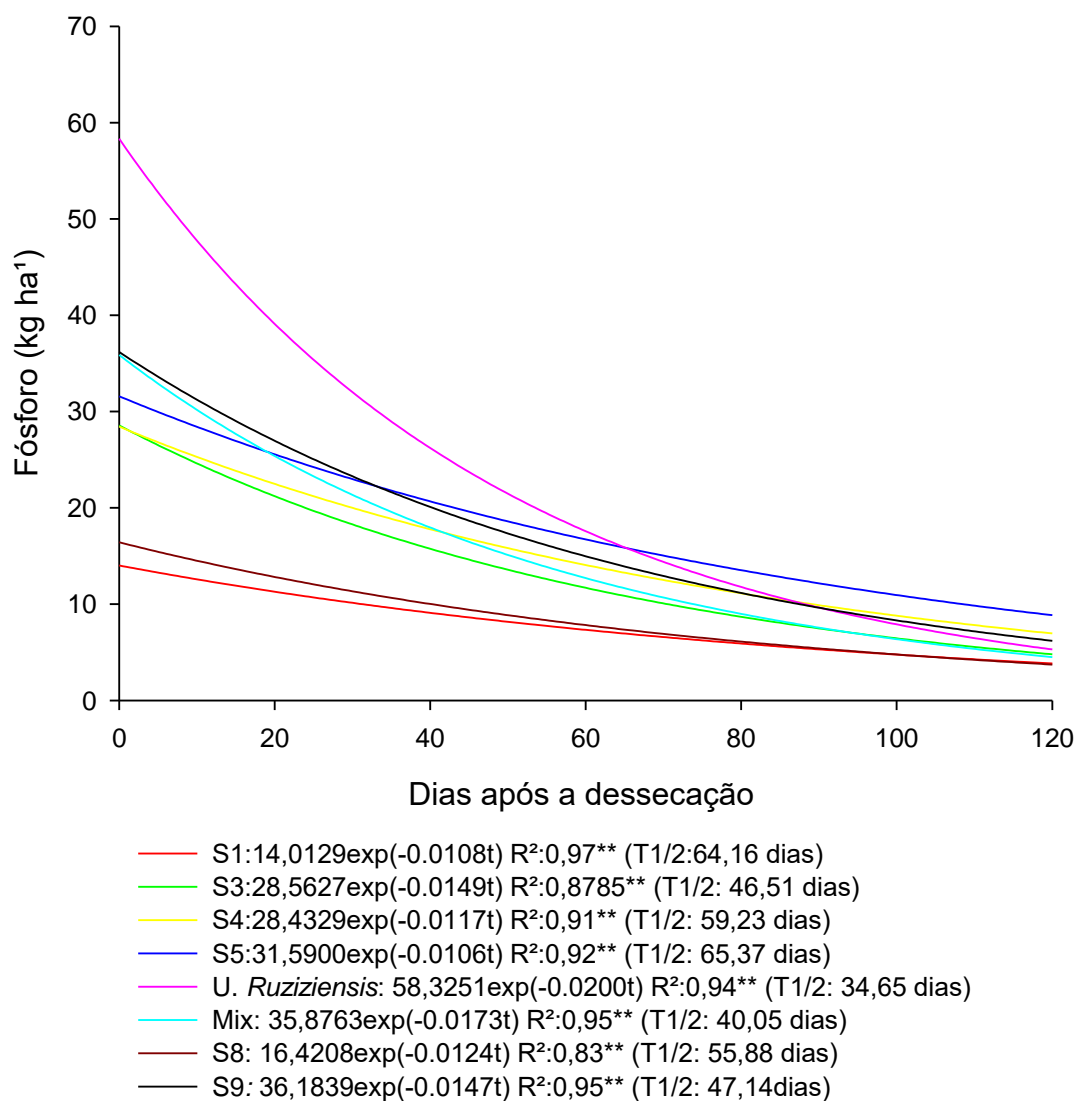


Figura 12. Decomposição e tempo de meia vida do acúmulo de fósforo das culturas de cobertura das safras 2014/2015 a 2018/2019.

O sistema de produção S7 apresentou o melhor desempenho no acúmulo de potássio no período da senescência (Figura 13). Vale salientar que nas safrinhas dos anos 2015, 2016 e 2017 a cultura utilizada neste sistema foi o *H.annuus* (girassol) consorciado com a *U.ruziziensis*. Ao total foram acumulados 1093,14 kg ha⁻¹ de Potássio, sendo que o girassol contribuiu com 798,02 kg ha⁻¹ deste nutriente, o que equivale a 73% do acúmulo total, tal resultado é justificado pelo fato do girassol acumular altos teores de K nos

componentes da planta, principalmente nos pecíolos e hastes CASTRO & OLIVEIRA, 2005. Porém o sistema Mix, adotado no último ano do experimento, contribuiu com 344,76 kg há⁻¹ o que evidencia a eficiência deste sistema quanto ao acúmulo de potássio. No momento da dessecação da cultura também foi evidenciado o maior acúmulo deste nutriente e após 120 dias o resultado não foi significativo quando comparado aos demais tratamentos, o que evidencia que grande parte do nutriente acumulado no momento da dessecação das culturas em safrinha foram liberados para o sistema e foram disponibilizados para a cultura em sucessão.

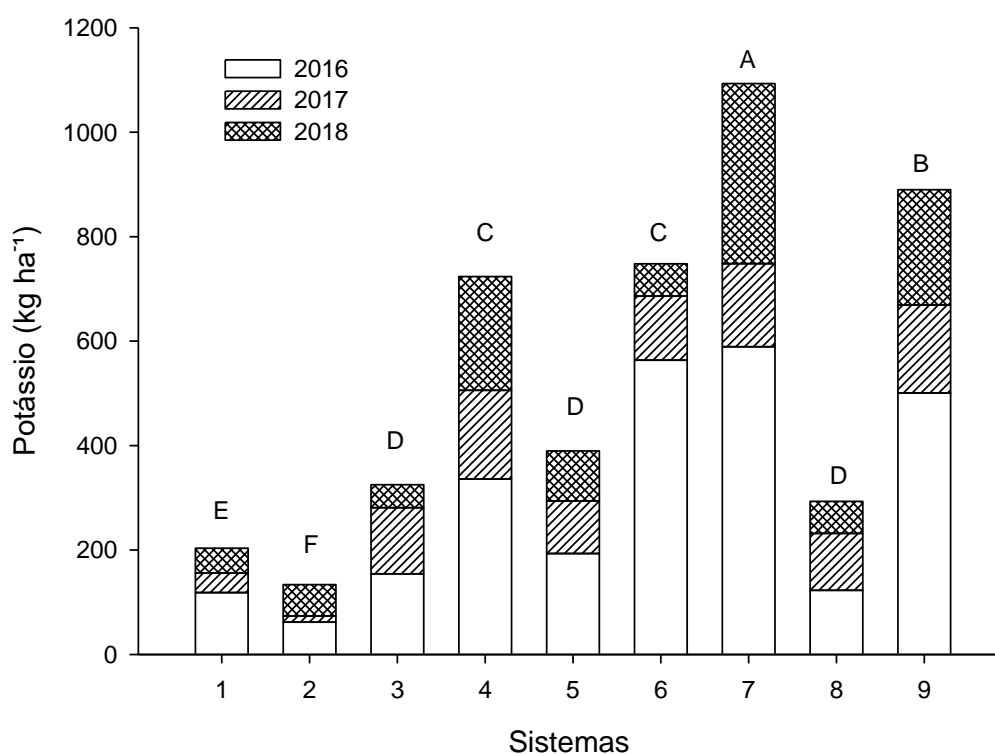


Figura 13. Acúmulo de Potássio promovido pelas culturas de cobertura no período da senescência (CV: 7,84).

O sistema com a *C.spectabilis* apresentou o menor tempo de meia-vida para a decomposição do potássio (Figura 14) (9,82 dias), enquanto o pousio apresentou 33,97 dias

de tempo de meia-vida. O sistema *U.ruziziensis* que contribuiu com o maior acúmulo deste nutriente teve um tempo de meia-vida de 14,65 dias. A liberação do potássio entre a senescência e a dessecação foi significativa, sendo este o nutriente com maior taxa de liberação do período. O sistema S7 1093,14 kg ha⁻¹ de potássio na senescência enquanto que na dessecação 298,82 kg ha⁻¹, ou seja, teve uma liberação de 794.32 kg ha⁻¹ deste nutriente. Desta forma, grande parte deste nutriente já estaria disponível no solo em grande quantidade na ocasião da semeadura da soja, o que sugere a possibilidade de redução com fertilizantes potássicos para a cultura da soja em sucessão.

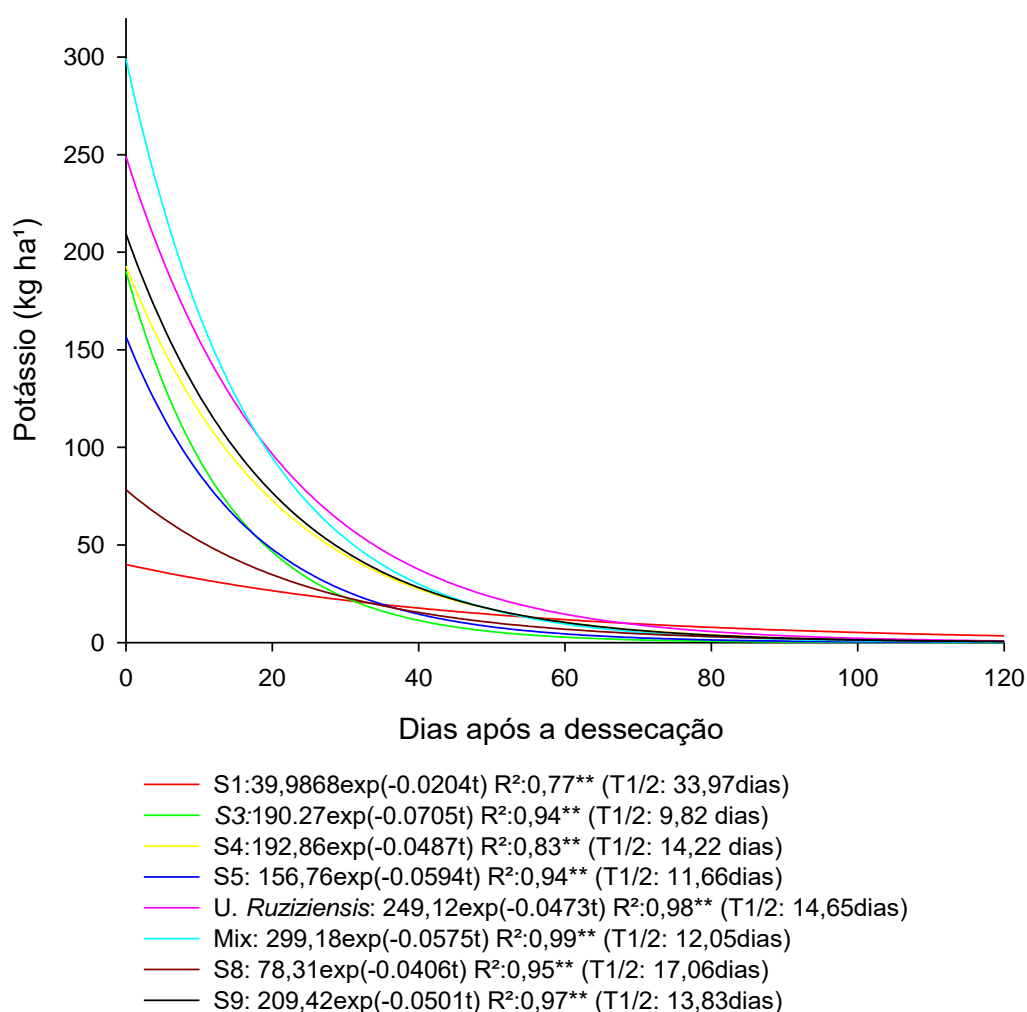


Figura 14. Decomposição e tempo de meia vida do acúmulo de potássio das culturas de cobertura das safras 2014/2015 a 2018/2019.

Os sistemas com pousio não apresentaram resultados satisfatório quanto ao acúmulo de nutrientes, devido a sua baixa produção de fitomassa e pela falta de diversificação florística do sistema.

CONCLUSÕES

1. As culturas anuais e de cobertura promoveram aumento de produtividade de grãos de soja em relação aos pousios nos cinco primeiros anos, com exceção dos pousios e S8 (*Stylosanthes*; *V. unguiculata* e *C. cajan*);
2. Os consórcios com *Z. mays* + *C. spectabilis* e *Z. mays* + *U. ruziziensis* apresentaram o maior potencial de produção de fitomassa após a colheita de grãos do milho (senescência - entressafra).
3. A presença da *U. ruziziensis* se mostrou determinante para aumentar o potencial dos sistemas de sucessão em produzir fitomassa, em especial, no momento da semeadura da soja.
4. A presença da *C. spectabilis* aumenta a eficiência na ciclagem de nitrogênio no consórcio com o milho, enquanto que a *U. ruziziensis* promove aumento da ciclagem de fósforo em consórcio com o milho.
5. A *U. ruziziensis* solteira destaca na ciclagem de nitrogênio e fósforo ao final da entressafra, no momento da dessecação de manejo para semeadura da soja.
6. O sistema S7 (*H. annuus* seguido por Mix (*P. glaucum* + *U. ruziziensis* + *C. cajan* + *C. spectabilis*)) apresentou os melhores resultados quanto à ciclagem do potássio.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. S.; ROSOLEM, C. A. Ruzigrass grown in rotation with soybean increases soil labile phosphorus. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, p. 1-9, 2016

ALMEIDA, Vicente Pereira de; ALVES, Marlene Cristina; SILVA, Edson Cabral da e OLIVEIRA, Simone Aparecida de. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2008, vol.32, n.3

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

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; FILHO, W.M.; REGAZZI, A.J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação dos solos. **Pesquisa agropecuária brasileira.**, Brasília, v.30, p.175-185, 1995.

ARGENTON, J.; Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Wildner, L. do P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.425-435, 2005.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n. 1, p.91-98, 1990.

BRAZ, A.J.B.P.; SILVEIRA, P.M. da; KLIEMANN, H.J.; ZIMMERMANN, F.J.P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, p.83-87, 2004.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.

CARDOSO, Eduardo Garcia et al. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesq. agropec. bras.** [online]. 2006, vol.41, n.3, pp.493-501. ISSN 0100-204X.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone et al . Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas , v. 67, n. 2, p. 455-462, 2008 .

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R.F.; DECHEN, A.R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, 30:214-220, 2006.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.321- 328, 2006a

FASSBENDER, H. W.; Bornemisza, E. Química de suelos: Com énfasis en suelos de América Latina. 2.ed. San José: IICA, 1994. 420p.

FIDELIS, R. R., Carvalho Rocha, R. N., Leite, U. T., & Tancredi, F. D. (2006). Alguns aspectos do plantio direto para a cultura da soja.

FIGUEIREDO, Margarida Garcia de; BARROS, Alexandre Lahós Mendonça;

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.153-159, 2000.

GUILHOTO, Joaquim José Martins. Relação econômica dos setores agrícolas do Estado do Mato Grosso com os demais setores pertencentes tanto ao Estado quanto ao restante do Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural** [online]. 2003, vol.43, n.3, pp. 557-575. ISSN 0103-2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/resr/v43n3/27746.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2015

HARGROVE, W. L. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. **Agronomy Journal**, v.78, n.1, p.70-74, 1986.

INOMOTO, M. M.; ASMUS, G. L. Adubos verdes das famílias Fabaceae e Mimosaceae para o controle de fitonematoides. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1, p. 441-479

LAL, R. Modification of soil fertility characteristics by management of soil physical properties. In. LAL, R.; GREENLAND, D.I. (Eds) Soil physical properties and crop production in the tropics. **New York: J. Wiley**, 1979. p. 397-405.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo**, 1997. 319 p.

MORAES, R.N.S. Decomposição das palhadas de sorgo e milheto, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto. 2001. 90p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras

PACHECO, Leandro Pereira et al. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura no cerrado piauiense. *Bragantia* [online]. 2013, vol.72, n.3 [citado 2019-11-25], pp.237-246.

PACHECO, Leandro Pereira et al. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2011, vol.35, n.5 [citado 2019-11-24], pp.1787-1800

PERIN, A. et. al. Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão-de-porco em

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.

PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo. 4.ed. São Paulo: Nobel, 1982. 541p

REICOSKY, D.C. & FORCELLA, F. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *J. Soil Water Conserv.*, 53:224-229, 1998.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

S. AMARAL, I. ANGHINONI & F. C. DESCHAMPS. Resíduos De Plantas De Cobertura E Mobilidade Dos Produtos Da Dissolução. Seção Iv-Fertilidade Do Solo E Nutrição De Plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:115-123, 2004

SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N. Plantio direto e transferência de tecnologia nos trópicos e subtropicais. In: _ (Ed.). O meio ambiente e o plantio direto. Goiânia: APDC, 1997. Cap.2, p.89-112.

SILVA, I. de F.; Mielniczuk, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.1, p.113-117, 1997.

TORRES, J.L. R; SILVA, M. G. de S.; CUNHA, M.de A.; VALLE, D.X.P; PEREIRA, M.G; Produção de fitomassa e decomposição de resíduos culturais de plantas de coberturas no cultivo da soja em sucessão. **Revista Caatinga**, v. 27, p. 247-253, 2014.