

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS DE CULTURAS
DE ENTRESSAFRA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA E
EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO E
NA PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

Adolfo Valente Marcelo

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS DE CULTURAS
DE ENTRESSAFRA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA E
EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO E
NA PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

Adolfo Valente Marcelo

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Maio de 2011

M314d Marcelo, Adolfo Valente
Decomposição de resíduos vegetais de culturas de entressafra em sistema de semeadura direta e efeitos nos atributos químicos de um Latossolo e na produtividade de soja e milho / Adolfo Valente Marcelo. – – Jaboticabal, 2011
xii, 108 f. il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientador: José Eduardo Corá
Banca examinadora: Rogério Peres Soratto, Luís Reynaldo Ferraciú Alleoni, José Carlos Barbosa, Carlos Eduardo Angeli Furlani

Bibliografia

1. Rotação de culturas. 2. Culturas de cobertura. 3. Substâncias húmicas. 4. Matéria orgânica particulada. 5. Fertilidade do Solo I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.543.3:633.34:633.15

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Campus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

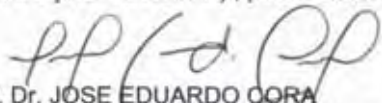
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS DE CULTURAS DE ENTRESSAFRA EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA E EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO E NA PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO

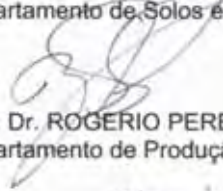
AUTOR: ADOLFO VALENTE MARCELO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

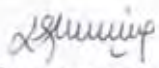
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ROGERIO PERES SORATTO

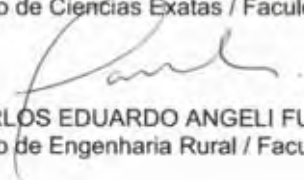
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Botucatu


Prof. Dr. LUÍS REYNALDO FERRACCIÙ ALLEONI

Departamento de Ciência do Solo / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP / Piracicaba/SP


Prof. Dr. JOSE CARLOS BARBOSA

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 27 de junho de 2011.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ADOLFO VALENTE MARCELO – Nascido dia 10 de junho de 1982, no Rio de Janeiro, RJ, cursou o ensino médio no Sistema COC de Educação, em Ribeirão Preto, SP, no período de 1997 a 1999. Em março de 2000, ingressou no Curso de Graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista - Campus de Jaboticabal, SP. Foi bolsista de iniciação científica pelo programa PIBIC/CNPq de agosto de 2002 a julho de 2004. Em março de 2005, graduou-se Engenheiro Agrônomo. Em agosto de 2005, iniciou o curso de Mestrado na mesma Universidade, em que foi bolsista FAPESP, obtendo o título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo) em julho de 2007. Em agosto de 2007, iniciou o curso de Doutorado na mesma Universidade, também como bolsista FAPESP. Em junho de 2011, submeteu-se à banca de avaliação da tese de doutorado e foi aprovado como Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

*“Ficou patente a importância deste **Ato**, que deve ser analisado como **Sagrado**, pela **maestria** com que a banca evidenciou, com **clareza**; que, apesar de todo o **esforço** empregado pelo **Doutorando**, em tornar **claro** a sua **capacidade intelectual**, o uso de suas **habilidades** nas pesquisas e na comunicação com aqueles que colaboraram e o incentivaram na elaboração desta **Tese**, com técnicas e propriedades que ele, pesquisador desconhecia com profundidade; apontou-lhe detalhes por ele ainda desconhecidos e por nós ignorados; fazendo-lhe reconhecer suas limitações; e, a todos os presentes que a **Perfeição**, caminho seguro para a **Busca da Grande Verdade**, é bastante difícil e sempre necessita de atualização e correções.”*

*“A **Defesa de Tese** diante da Banca Examinadora pode ser considerada uma das formas de **Combate ao Orgulho**, chaga do intelectualismo, propiciando, ao aprendiz, o **Renascimento da Humildade**, uma das Virtudes que **conduz o Espírito do Homem à Sabedoria Divina**. Ela, também, nos esclarece, que o **Estudo** e a **Pesquisa**, para o **Progresso** individual e da coletividade, por mais que se pareçam perfeitos, à maioria das pessoas, necessitam sempre de aprimoramento. O dinamismo do progresso evolutivo é galopante e impressionante; e, sem correções e atualizações precisas, as pesquisas tornar-se-iam arcaicas.”*

Trechos da homenagem prestada por **José Roberto Marcelo** ao doutorando **Adolfo Valente Marcelo**, seu filho, após a aprovação da banca examinadora.

À minha amada família,

José Roberto Marcelo, meu pai,

Regina Fátima da Cruz Valente Marcelo, minha mãe,

Mariana Valente Marcelo de Souza, minha irmã,

pelo amor e carinho prestados por toda minha vida...

DEDICO.

Ao meu Professor, Orientador e Amigo

José Eduardo Corá,

pela imensa contribuição em minha formação profissional...

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

- A **Deus** e ao **Nosso Senhor Jesus Cristo**, por tudo que aconteceu na minha vida até hoje e por toda saúde a mim proporcionada.
- Ao meu orientador **Prof. Dr. José Eduardo Corá**, pelos ensinamentos proporcionados e pelas demonstrações de confiança e amizade nesses anos de convivência.
- À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)** pelo apoio financeiro ao projeto e pela concessão da bolsa de estudos (Proc. nº 2007/59433-2).
- Aos professores doutores **Luís Reynaldo Ferraciú Alleoni, Rogério Peres Soratto e Carlos Eduardo Angeli Furlani**, pela participação na banca de avaliação da tese de doutorado e pelas excelentes sugestões de melhorias.
- À **Prof^a. Dr^a. Carolina Fernandes**, pela amizade, auxílio e acompanhamento de meus progressos desde a graduação, e pelas excelentes sugestões no presente trabalho.
- Ao **Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho**, por ter cedido o laboratório para a realização de análises químicas, e pelas excelentes sugestões de melhorias no trabalho em sua participação na banca do exame geral de qualificação.
- Ao **Prof. Dr. José Carlos Barbosa**, por todos os esclarecimentos quanto aos procedimentos estatísticos das análises dos dados do presente trabalho e pelas participações no exame geral de qualificação e na banca de avaliação da tese.
- À **Prof^a. Dr^a. Célia Regina Paes Bueno**, pela amizade, ensinamentos e participação na banca do exame geral de qualificação.
- Ao **Prof. Dr. Roberval Daiton Vieira**, pelos auxílios, ensinamentos, amizade e excelente companhia nos congressos internacionais.
- Aos companheiros de sempre, **Ricardo Falqueto Jorge (irmão), Márcio dos Reis Martins, Getulio de Freitas Seben Junior, Marcos Sales Rodrigues e José Marcos Garrido Beraldo**, pela amizade e auxílio durante a condução do experimento e o curso de Doutorado.
- Ao **Felipe Biondi de Lima Fernandes**, que rapidamente passou de estagiário ao posto de amigo e braço direito, contribuindo imensamente com a realização do presente trabalho.

- Aos estagiários que me auxiliaram nas coletas de dados, **Flávia Manduca Ferreira, Priscila Roberta Volante, Thiago William da Cunha, Julia Cavalhier Tittoto, Artur Pavan Furlanetto e Ana Gabriella Nogueira Soares.**
- Ao **Wanderlei Dibelli** e à **Claudia Campos Dela Marta**, pelo auxílio e ensinamentos das práticas laboratoriais, fundamentais em meu crescimento como pesquisador.
- Aos funcionários **Afonso Domingos da Silva** e **Tiago de Souza Fieno**, pelo companheirismo e pelos auxílios prestados durante a condução do experimento, fundamentais para a conclusão em tempo hábil.
- Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, **Célia Regina Muniz, Maria Inês Bueno, Luís Souza, Orivaldo Gomes, Dejair Silva, Ademir Silva e Anderson Morello da Silva**, pela amizade e prontidão nos momentos que precisei.
- Ao **Marcelo Scatolin** e aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção (FEPP) da FCAV, pelo total auxílio durante a condução e nas avaliações do experimento que resultou no presente trabalho.
- Ao Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal e seus coordenadores, os professores **Pedro Luís da Costa Aguiar Alves** e **Arthur Bernardes Cecílio Filho**, pela oportunidade e atenção nos momentos que precisei.
- Ao meu amigo de sempre, **Alan Rodrigo Panosso**, pelo convívio agradável desde a graduação e pela prontidão em todos os momentos.
- À minha querida amiga **Gilcileia Rizzatti Favaretto**, por ter sempre me ajudado e estado presente.
- Aos muitos amigos que fiz na Pós-Graduação, que me proporcionaram momentos muito agradáveis durante nossa convivência.
- Aos funcionários da seção de Pós-Graduação e da Biblioteca da Unesp – Campus de Jaboticabal, pelo excelente atendimento e auxílio.
- A todos os meus **amigos pessoais**, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e torcendo.
- Enfim, a todos, que de alguma forma, contribuíram para esse acontecimento se concretizasse.

MUITO OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
SUMMARY	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Resíduos vegetais em sistema de semeadura direta	4
2.2. Atributos químicos do solo	7
2.3. Sequências de culturas e produtividade das culturas de verão.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Área experimental e tratamentos	13
3.2. Condução das culturas.....	15
3.3. Avaliações	19
3.3.1. Quantidade e qualidade dos resíduos vegetais.....	19
3.3.2. Cobertura do solo	21
3.3.3. Atributos químicos do solo	21
3.3.4. Produtividade de grãos das culturas	23
3.4. Análise dos dados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Quantidade e qualidade dos resíduos vegetais das culturas	26
4.1.1. Concentração de nutrientes nos resíduos das culturas de entressafra	27
4.1.2. Matéria seca e acúmulo de nutrientes pelas culturas de entressafra	31
4.2. Decomposição dos resíduos das culturas de entressafra	44
4.3. Cobertura do solo proporcionada pelos resíduos vegetais.....	60
4.4. Fertilidade do solo	63
4.5. Frações de C no solo	73
4.6. Produtividade de soja e milho	84
5. CONCLUSÕES	90
6. REFERÊNCIAS	91

**DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS DE CULTURAS DE ENTRESSAFRA
EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA E EFEITOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DE UM LATOSSOLO E NA PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO**

RESUMO – Em sistema de semeadura direta, os resíduos das culturas de entressafra são utilizados para protegerem a superfície do solo dos agentes erosivos e promoverem a ciclagem de nutrientes. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de sequências de culturas na quantidade, qualidade, decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais de culturas de entressafra, bem como a cobertura do solo proporcionada pelos resíduos, na fertilidade do solo, nas frações particulada e associada aos minerais de C, nas substâncias húmicas do solo e na produtividade de milho e soja cultivados no verão, em região de clima tropical. O experimento foi conduzido em Jaboticabal, SP (48°15'22" W e 21°18'58" S), em um Latossolo Vermelho eutrófico. O delineamento experimental foi em faixas, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão (rotação soja-milho, monocultura de milho e monocultura de soja) com sete culturas de entressafra (milho, sorgo, girassol, crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto). O experimento foi iniciado em 2002 e o presente estudo se refere aos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010. Avaliaram-se as quantidades de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S pelas culturas de entressafra, bem como a dinâmica de decomposição e liberação dos nutrientes, por meio da utilização de sacolas de decomposição, com os seguintes períodos de avaliação: 15, 30, 60, 120 e 180 dias. A cobertura do solo foi avaliada após o manejo e ao final de cada ano agrícola. Amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade em duas ocasiões, antes da semeadura das culturas de entressafra, em março, e de verão, em outubro, nos anos de 2008 e 2009. As amostras de solo foram submetidas às análises químicas para determinação dos teores de C, P, Ca, Mg, K, acidez potencial (H + Al) e valores de pH (CaCl₂). Nas amostras coletadas em outubro, na camada 0-10 cm, foram realizados os fracionamentos físico e químico da matéria orgânica, visando à quantificação dos teores de C nas frações particulada, associada aos minerais, nos

ácidos húmicos, fúlvicos e humina. Monocultura de soja no verão proporcionou ao solo os maiores teores de C orgânico na fração particulada, e a monocultura de milho no verão, os maiores teores de C orgânico no solo nas frações associada aos minerais e nos ácidos húmicos. Os resíduos de crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto acumularam e liberaram as maiores quantidades de nutrientes e proporcionaram ao solo maiores teores de C nas frações humina e naquela associada aos minerais. Os resíduos de crotalária e de guandu proporcionaram maiores teores de C orgânico na fração particulada. As maiores produções acumuladas de grãos de milho e de soja durante a condução do experimento foram obtidas após cultivo de crotalária, nabo forrageiro e milheto, culturas de entressafra que foram manejadas no florescimento.

Palavras-Chave: rotação de culturas, culturas de cobertura, substâncias húmicas, matéria orgânica particulada, fertilidade do solo.

OFFSEASON CROPS RESIDUES DECOMPOSITION IN NO-TILLAGE SYSTEM AND EFFECTS IN AN OXISOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND SOYBEAN AND MAIZE YIELD

SUMMARY – In no-tillage system, the offseason crops residues are expected to maintain the soil covered in order to control soil erosion and to promote the nutrients cycling. The objective of this study was to evaluate the offseason crops dry matter quality and production, soil cover, residues decomposition and nutrient release and their effects on soil fertility, C content of humic substances, particulate and mineral associated organic matter fractions and summer maize and soybean yield. A field experiment has been carried out on a Rhodic Eutrudox at Jaboticabal, SP, Brazil (48°15'22" W and 21°18'58" S). A randomized split-block design with three replications was used. The treatments were the combination of three summer crops sequences (soybean-corn rotation, monoculture of corn and monoculture of soybean) with seven offseason crops (maize, grain sorghum, sunflower, sunn hemp, pigeon pea, oilseed radish and pearl millet). The cultivations started in 2002 and this study is related to 2008/2009 and 2009/2010 growing seasons. The offseason crops dry matter production and N, P, K, Ca, Mg and S accumulations were evaluated at management moment. The period of time to measure the residue decomposition and the nutrient release was 15, 30, 60, 120 and 180 days, using litter bags. The soil cover was evaluated after the offseason crops management and at the end of each growing season. The soil was sampled at 0-10, 10-20 and 20-30 cm soil depths in two occasions, before the offseason crops sowing, at March, and before the summer crops sowing, at October, in 2008 and 2009. Total organic C, pH, P, K, Ca, Mg and H+Al were determined in each soil samples. The soil samples obtained on October at 0-10 cm were submitted for physical and chemical organic matter fractionation, for particulate, mineral-associated, humic acid, fulvic acid and humin C content determination. The summer monoculture of soybean provided the highest particulate C organic content, and the monoculture of maize, the highest mineral-associated and humic acid C organic content. Sunn hemp, pigeon pea, oilseed radish and pearl millet residues had the highest nutrient

accumulation and release, and provided higher humin and mineral-associated C content. Sunn hemp and pigeon pea provided higher particulate C content. The higher maize and soybean yield were obtained when sunn hemp, oilseed radish and pearl millet were used as offseason crop, with management at flowering.

Keywords: crop rotation, cover crops, humic substances, particulate organic matter, soil fertility.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de semeadura direta, inicialmente adotado na região Sul do Brasil na década de 70, tem se expandido para outras regiões do país a partir da década de 90, ocupando as principais regiões de produção de grãos. Em estimativa realizada para o ano de 2006, na região do Cerrado, a área cultivada nesse sistema de cultivo foi de aproximadamente 10 milhões de hectares e, no território nacional, superou 25 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2011).

A expansão do sistema de semeadura direta para as regiões centrais do Brasil se deve aos menores custos de produção e aos benefícios proporcionados pelo sistema, os quais se relacionam à permanência dos resíduos vegetais cobrindo a superfície do solo, o que reduz a erosão e a amplitude térmica nas camadas superficiais do solo. Esses fatores são favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos e das culturas, devido à maior infiltração e retenção de água no solo. Além desses benefícios, os resíduos das culturas, ao se decomporem, constituem a principal fonte de carbono e de nutrientes ao solo e aos microrganismos.

Um dos aspectos mais importantes para se conseguirem os benefícios proporcionados pelo sistema de semeadura direta é a formação permanente de cobertura vegetal, viva ou morta, capaz de minimizar o processo erosivo, que leve à maior retenção de água no solo e que promova maior ciclagem de nutrientes. No entanto, essas metas somente são alcançadas mediante a adoção de um sistema de culturas que siga a uma sequência racional de espécies, baseada em suas características, considerando suas exigências edafo-climáticas, seus efeitos benéficos no solo e eficiência no controle de pragas e doenças. Além de adaptada à região de cultivo, a sequência de culturas deve proporcionar praticidade à sua adoção e, ainda, promover efeitos benéficos às culturas subsequentes, resultando em ganhos econômicos.

Com o objetivo específico de proporcionarem cobertura do solo e reciclagem de nutrientes na entressafra, as culturas devem ser escolhidas considerando-se a produção de matéria seca com elevadas concentrações de nutrientes. No entanto,

também podem ser implantadas culturas produtoras de grãos na entressafra, nesse caso, tendo o aumento da rentabilidade no ano agrícola como vantagem e, ao mesmo tempo, contribuindo para a manutenção da cobertura do solo.

A escolha das culturas vai depender especialmente do clima da região. No Brasil, a maior diversidade de espécies é mais limitada nas regiões Sudeste e Centro Oeste, por apresentarem, no período de entressafra, restrição de chuvas e temperaturas relativamente elevadas. Em condições de clima tropical, onde a taxa de decomposição dos resíduos é elevada e os teores de carbono orgânico no solo são baixos, pesquisadores têm somado esforços no sentido de definir sistemas de cultivos que integrem sequências de culturas que produzam resíduos em quantidade e qualidade adequadas para promoverem cobertura por maior período de tempo possível. Além disso, é desejável que os resíduos presentes na superfície do solo proporcionem melhorias nos atributos do solo, sobretudo no aumento dos teores de carbono orgânico do solo e na reciclagem de nutrientes, de maneira a armazenar e disponibilizar nutrientes às culturas em sucessão de acordo com suas demandas. Consequentemente, ao longo do tempo, poderá haver redução gradual das quantidades de nutrientes aplicadas via fertilizantes.

O processo de decomposição dos resíduos das plantas, com consequente liberação de nutrientes, é dependente de suas qualidades, mais especificamente de sua composição química, ou seja, dos teores de nutrientes, lignina, assim como das relações carbono:nitrogênio e lignina:nitrogênio. Além disso, o manejo adotado para os resíduos da cultura, como a trituração ou o acamamento das plantas (manejo físico), ou mesmo a dessecação por herbicidas (manejo químico), pode originar resíduos com características distintas quanto ao processo de decomposição. Adicionalmente às qualidades do resíduo, as condições climáticas também afetam a decomposição e a liberação dos nutrientes dos resíduos. Temperatura e umidade do solo mais elevadas podem favorecer a atividade microbiana, contribuindo para o aumento da taxa de decomposição dos resíduos, o que também pode afetar os teores de carbono orgânico no solo.

A análise do carbono orgânico do solo apresenta grande potencial para ser utilizada na avaliação da qualidade do solo, pois, além de ser sensível às modificações de manejo do solo, a matéria orgânica do solo influencia a infiltração e a retenção de água, a atividade microbiana, a agregação e a ciclagem de nutrientes.

Nas regiões tropicais úmidas, de maneira geral, os solos apresentam um grau mais avançado de intemperismo, apresentando baixa capacidade de troca catiônica na fração mineral. Portanto, nesses solos, a matéria orgânica tem importância preponderante na geração de cargas negativas, aumentando a eficiência da ciclagem dos nutrientes, devido à maior retenção dos nutrientes no complexo de troca do solo. Entretanto, em algumas situações, especialmente naquelas alteradas por práticas de manejo em curto prazo, a análise do carbono orgânico total do solo pode não ser eficiente na detecção das alterações ocorridas no solo. Nesse caso, a análise de frações específicas do carbono orgânico no solo, como nas frações particulada e associada aos minerais, ou mesmo nas substâncias húmicas do solo, pode constituir uma importante alternativa de avaliação.

A hipótese desse trabalho é que a decomposição e a liberação de nutrientes pelos resíduos vegetais das culturas dependem de suas características químicas, o que interfere nos atributos químicos do solo e na produtividade das culturas.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de sequências de culturas na quantidade, qualidade, decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais de culturas de entressafra, bem como seus efeitos na fertilidade do solo, nas frações particulada e associada aos minerais de carbono orgânico, nas substâncias húmicas do solo e na produtividade de milho e soja cultivados no verão, em sistema de semeadura direta em região de clima tropical.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos vegetais em sistema de semeadura direta

A adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o sistema de semeadura direta (SSD), tem se apresentado como estratégia de sustentabilidade econômica e ambiental dos agroecossistemas. Para tanto, adotando-se o SSD, torna-se necessária a prática da rotação de culturas com a utilização de espécies que proporcionem a cobertura constante do solo pelos resíduos vegetais, visando à proteção contra a erosão, assim como à reciclagem de nutrientes (LOPES et al., 2004).

Resultados de pesquisas em diversas condições climáticas demonstram que o acúmulo de resíduos na superfície do solo, principalmente naqueles sistemas com maior tempo de adoção, tem influenciado a recomendação do manejo da adubação das culturas (CABEZAS et al., 2004), pois a ausência do revolvimento do solo promove modificações na ciclagem dos nutrientes (SILVA et al., 2006a). Segundo GIACOMINI et al. (2004), as capacidades das plantas de cobertura em promoverem a reciclagem de nutrientes disponíveis no solo, aliada à elevada demanda pelas culturas em sucessão e à possibilidade de redução de gastos com fertilizantes, contribuem para a adoção da rotação de culturas em SSD.

A persistência, a quantidade e a qualidade dos resíduos produzidos pelas plantas na superfície do solo estão relacionadas à eficácia do SSD. Para a escolha das espécies para a composição de um adequado sistema de rotação de culturas, a adaptação às condições climáticas é de fundamental importância (CERETTA et al., 2002), além de outras características desejáveis, tais como: elevada produção de matéria seca (MS); rápido estabelecimento; facilidade de manejo; sistema radicular vigoroso e profundo; eficiência na ciclagem de nutrientes; não apresentar problemas de doenças e infestação das áreas; além do interesse do produtor às perspectivas de comercialização dos produtos (LOPES et al., 2004).

Diversas espécies vegetais podem ser utilizadas como culturas de entressafra (cultivadas no outono/inverno) com objetivo específico de proporcionarem cobertura do solo e reciclagem de nutrientes.

Resultados satisfatórios têm sido observados para milho e sorgo, pela rusticidade (OLIVEIRA et al., 2002; TREZZI & VIDAL, 2004; BOER et al., 2007; TEIXEIRA et al., 2010), nabo forrageiro, pelo rápido crescimento (CERETTA et al., 2005; CRUSCIOL et al., 2005), guandu (SALMI et al., 2006; CARVALHO et al., 2009) e crotalária (CAZETTA et al., 2005; COLLIER et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2010) pela produção de MS com elevadas quantidades de nitrogênio (N).

O cultivo de plantas de cobertura do solo na entressafra, em SSD, principalmente de leguminosas, tem demonstrado ser uma alternativa promissora na suplementação de N para as culturas em sucessão (AMADO et al., 2003; SISTI et al., 2004). As leguminosas caracterizam-se pela capacidade de fixação do N_2 atmosférico e pela estreita relação carbono:nitrogênio (C:N), o que leva a uma rápida decomposição dos seus resíduos (GIACOMINI et al., 2003), disponibilizando ao solo, aos microrganismos e às plantas em sucessão, além do N e do C acumulado (MULVANEY et al., 2010), todos os nutrientes contidos na biomassa.

BORKERT et al. (2003), ao quantificarem o acúmulo de nutrientes nos resíduos de guandu com uma produção de $6,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS, obtiveram, em kg ha^{-1} , 185,6 de N, 17,9 de fósforo (P) e 87,5 de potássio (K). SALMI et al. (2006), também com cultivo de guandu na entressafra e com $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS produzida, obtiveram acúmulos de 200, 8 e 35 kg ha^{-1} de N, P e K, respectivamente. Outra leguminosa muito utilizada na entressafra em SSD é a crotalária (CAZETTA et al., 2005; SILVA et al., 2006b; CARVALHO et al., 2009). Em $5,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS produzida pela crotalária no período de entressafra, CAZZETTA et al. (2005) obtiveram os seguintes acúmulos de nutrientes, em kg ha^{-1} : 137 (N), 11 (P), 62 (K), 45 (Cálcio - Ca), 21 (Magnésio - Mg) e 6 (Enxofre - S). Portanto, as leguminosas, quando apresentam desenvolvimento com elevada produção de MS, podem acumular e disponibilizar grandes quantidades de nutrientes às plantas em sucessão. Contudo, devido à rápida decomposição, a redução da cobertura do solo pode comprometer a proteção da superfície do solo contra os agentes erosivos.

Por outro lado, os resíduos deixados pelas gramíneas, por apresentarem elevada relação C:N, decompõem-se mais lentamente e permanecem mais tempo sobre o solo,

reduzindo a erosão, o que é desejável, principalmente nas regiões de clima tropical, no qual favorece a rápida decomposição dos resíduos das culturas (PIRES et al., 2008; CARVALHO et al., 2009). Entretanto, a menor velocidade de decomposição dos resíduos também reduz a taxa de liberação de nutrientes ao solo, podendo ocorrer, inclusive, imobilização microbiana de N (SILVA et al., 2006a), devido à maior relação C:N dos resíduos.

Gramíneas tolerantes a déficits hídricos e com elevada produção de MS têm apresentado desenvolvimentos satisfatórios no período da entressafra como plantas de cobertura, principalmente o milheto (BRAZ et al., 2004; TEIXEIRA et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2010). Em estudo na região do Cerrado com a cultivar ADR500 na safrinha, BOER et al. (2007) obtiveram 10,8 Mg ha⁻¹ de MS produzida, contendo elevadas quantidades de nutrientes, principalmente N e K. Segundo BRAZ et al. (2004), o milheto BN-2, com uma produção de 12,5 Mg ha⁻¹ de MS, acumula no limbo foliar, entre 52 a 55 dias de idade, 348 kg ha⁻¹ de N e 314 kg ha⁻¹ de K. Além do milheto, o sorgo também pode apresentar considerável acúmulo de nutrientes na palhada, embora haja a possibilidade da colheita dos grãos. OLIVEIRA et al. (2002) obtiveram uma produção de MS de sorgo de 15,5 Mg ha⁻¹, quando manejado aos 100 dias após a semeadura, acumulando 199 kg ha⁻¹ de N e 248 kg ha⁻¹ de K.

Alternativamente, o cultivo do solo no período de entressafra pode ter como objetivo a produção de grãos, visando ao aumento da renda do produtor. Nessa situação, milho e sorgo têm sido as culturas de maior utilização. O milho, em decorrência da fácil comercialização, e o sorgo, pela maior tolerância à seca, manejo semelhante ao do milho e por se apresentar como substituto do milho na composição de rações, o que facilita sua comercialização (VASCONCELLOS et al., 1998; 2001). O girassol tem sido outra opção, devido ao grande interesse mundial pelos grãos com elevada qualidade de óleo (ZOBIOLE et al., 2010), o que facilita sua comercialização, e também por apresentar relativa adaptação a diversas condições edafoclimáticas (HECKLER, 2002), o que se faz pela tolerância a baixas temperaturas no início do ciclo de desenvolvimento e à relativa resistência ao estresse hídrico.

Independentemente da finalidade do cultivo na entressafra, as culturas produzem resíduos vegetais, constituindo a cobertura do solo. Contudo, o tipo ideal de cobertura do solo é aquele cuja taxa de decomposição de seus resíduos seja compatível com a manutenção da proteção do solo aos agentes erosivos por maior período possível, aliado ao fornecimento de nutrientes de acordo com as demandas pela cultura subsequente (AITA et al., 2004; SILVA et al., 2006c).

A susceptibilidade dos resíduos vegetais à decomposição vai depender da sua composição química, principalmente, quanto aos teores de lignina e polifenóis e às relações entre constituintes como as relações C:N, lignina:N, polifenóis:N e (lignina + polifenóis):N (CARVALHO et al., 2009). Os resíduos vegetais que possuem baixas concentrações de N e de P e altos conteúdos de lignina e polifenóis apresentam baixa taxa de decomposição e lenta liberação de nutrientes.

Adotando-se determinadas sequências de culturas em SSD, frequentemente poderão ocorrer misturas de diferentes resíduos vegetais na superfície do solo, resultando em relação C:N intermediária, ou seja, com características favoráveis tanto à proteção do solo, proporcionado principalmente por resíduos de gramíneas, quanto pelo aporte de N propiciado pelas leguminosas. Isso pode modificar o processo de decomposição dos resíduos e a dinâmica de liberação dos nutrientes para o solo. Por um lado, proporcionando proteção do solo contra a erosão pelos resíduos com maiores valores de relação C:N. Por outro lado, pelo potencial de liberação de nutrientes em menor tempo, devido aos resíduos com maiores quantidades de nutrientes, principalmente N.

2.2. Atributos químicos do solo

Durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais na superfície do solo, e também das raízes das plantas no subsolo, os nutrientes e os compostos orgânicos liberados dos resíduos exercem influências na disponibilidade de nutrientes no solo e, portanto, na absorção pelas culturas em sucessão (PAVINATO & ROSOLEM, 2008). Nesse sentido, a introdução de espécies distintas ao sistema de cultivo contribui para o equilíbrio dos nutrientes no solo, melhorando sua fertilidade ao longo do tempo

(CARNEIRO et al., 2009), podendo haver reduções de gastos com fertilizantes (AITA et al., 2004). COLLIER et al. (2006), ao avaliarem o efeito da decomposição de plantas de cobertura em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na região do Cerrado, verificaram acréscimo de 7 mg dm^{-3} nos teores de P no solo nos primeiros 15 cm de profundidade após um cultivo de crotalária no período de pré-semeadura.

ALCÂNTARA et al. (2000) constataram no solo, na camada 0-5 cm de profundidade, aos 90 dias após o manejo do guandu, teores de K 3,6 e 6,3 vezes maiores daqueles encontrados após crotalária e pastagem de braquiária, respectivamente. Os autores observaram ainda que, nos primeiros 5 cm do solo, os teores de Ca e Mg e os valores de saturação por bases e de CTC efetiva foram maiores após cultivo de guandu e crotalária, quando comparados àqueles observados na pastagem de braquiária. Os autores atribuíram os resultados à liberação de Ca, Mg e K pelos resíduos das plantas. Segundo PAVINATO & ROSOLEM (2008), a complexação dos íons H^+ e Al^{3+} da solução do solo pelos compostos orgânicos aniônicos provenientes da decomposição dos resíduos vegetais, aliada ao aumento da concentração de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ liberados pelos resíduos vegetais na solução do solo pode resultar no aumento da saturação dessas bases na CTC do solo e no aumento do pH da solução do solo, devido à elevação da concentração de bases na solução do solo. Nesse sentido, FRANCHINI et al. (2001) obtiveram aumentos dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ trocáveis e dos valores do pH do solo ao analisarem colunas de um Latossolo Vermelho (0-20 cm) em resposta à adição de extratos aquosos de resíduos vegetais após 15 dias de incubação.

Além dos efeitos sobre os nutrientes no solo, práticas de manejo que diversificam culturas contribuem para a elevação ou a manutenção dos teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo (MIELNICZUK, 2008). A matéria orgânica do solo tem importante papel na reserva de nutrientes, assim como grande influência em atributos do solo como agregação, pH e CTC (MENDONÇA et al., 2006).

A quantidade, a qualidade e o manejo dos resíduos das culturas em SSD têm sido considerados fatores predominantes das alterações das propriedades do solo sob esse sistema (LOVELAND & WEBB, 2003; JUNG et al., 2008). Em decorrência da

importância dos teores de C orgânico nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, pesquisadores têm dado ênfase aos sistemas de cultivos que integrem espécies com alto potencial para produção de resíduos e com alta porcentagem de cobertura do solo, visando à seleção de sistemas que favoreçam ao sequestro do C no solo (ROLDÁN et al., 2007; PAJARES et al., 2009).

O aumento dos teores de C orgânico no solo, em decorrência de maiores quantidades de resíduos produzidos pelas sequências de culturas, tem sido o principal foco dos sistemas sustentáveis de produção agrícola (ROLDÁN et al., 2007). VIEIRA et al. (2007a) estimaram que a adição anual de $4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C orgânico ao solo por meio da decomposição de resíduos vegetais em SSD é a quantidade mínima para manter o estoque inicial de C orgânico no solo. MARCELO et al. (2009) avaliaram os efeitos de culturas de entressafra após quatro anos de implantação do SSD e constataram que crotalária, milheto, nabo forrageiro e sorgo proporcionaram maiores teores de C orgânico no solo do que milho, girassol e guandu, demonstrando que a quantidade e a qualidade dos resíduos das culturas envolvidas no sistema interferiram nos teores de C orgânico total do solo.

O C orgânico pode se encontrar em diferentes frações no solo, como na fração particulada ($>53 \mu\text{m}$) ou na fração associada aos minerais ($<53 \mu\text{m}$) (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992). A fração particulada é constituída por resíduos orgânicos em processo inicial de decomposição e, portanto, os teores de C da fração particulada podem variar rapidamente em função de práticas de manejo de solo e planta (GALANTINI & ROSELL, 2006; VIEIRA et al., 2007b; ZAGAL et al., 2009). Assim, vários autores têm sugerido que os teores de C da fração particulada seja um indicador dos efeitos do manejo do solo (BAYER et al., 2001; FIGUEIREDO et al., 2010; SANTOS et al., 2011).

BAYER et al. (2004), ao avaliarem o efeito de quatro sistemas de culturas de outono (guandu-anão-milheto, crotalária-sorgo, girassol-aveia-preta e nabo forrageiro-milho) na sucessão soja-milho em SSD, constataram que os acréscimos nos teores de C orgânico no solo ocorreram na fração particulada. Segundo esses autores, as alterações proporcionadas pelos sistemas de culturas foram mais facilmente detectadas por meio do C orgânico da fração particulada do que por meio dos teores totais de C

orgânico do solo. Teor elevado de C orgânico na forma particulada em um determinado sistema pode ser indicativo de aumento do C orgânico do solo, já que essa fração se encontra em um estágio de decomposição intermediário entre as fontes de adição do C ao solo e o C humificado (SANTOS et al., 2011). Contudo, o C orgânico da fração particulada pode ser rapidamente consumido pelos microrganismos do solo, devido à maior labilidade (VIEIRA et al., 2007b).

Em contrapartida, a fração de C orgânico associada aos minerais do solo apresenta maior estabilidade, a qual se encontra em contato íntimo com os minerais do solo e é constituída principalmente por substâncias húmicas (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992). Essas são, basicamente, divididas em humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (STEVENSON, 1994), as quais diferem entre si quanto à complexidade e ao grau de polimerização, que são maiores na fração humina e menores nos ácidos fúlvicos. A proporção dessas três frações no solo pode variar com o manejo do solo (MCCALLISTER & CHIEN, 2000) e, dependendo da fração predominante, pode caracterizar o C humificado no solo (ZECH et al., 1997). Entre as substâncias húmicas, os ácidos fúlvicos, por serem solúveis em meio alcalino ou ácido e possuírem menores pesos moleculares, estão sujeitos à maior mobilidade no solo. Por outro lado, a fração humina é a mais recalcitrante, em decorrência da sua maior força de associação com a fração mineral do solo. Assim, a predominância da fração humina no solo contribui para uma maior estabilidade do C orgânico no solo (GALANTINI & ROSELL, 2006) e indica maior grau de humificação do C no solo.

Em solos muito intemperizados, nos quais há predomínio de minerais argila de baixa atividade e com cargas pH-dependentes, a presença de radicais carboxílicos e fenólicos, nos compostos de C humificado no solo, é a principal fonte de geração de cargas negativas, responsáveis pela CTC do solo. MELO et al. (1994) constataram que aumentos dos teores de C orgânico no solo resultaram em aumentos da CTC de um Latossolo Vermelho de textura média, e que 70% do C do solo estava na fração humina, a qual se correlacionou fortemente com a CTC do solo. Resultados semelhantes também foram observados por YAGI et al. (2003), também em Latossolo Vermelho de textura média.

SOUZA & MELO (2003), ao avaliarem efeitos de sistemas de produção de milho em SSD nos teores de C de um em Latossolo Vermelho, observaram que o pousio e os cultivos de mucuna preta e guandu no inverno favoreceram a elevação dos teores de C na fração humina. Portanto, em manejos de solo e plantas que favoreçam ao aumento da fração humina no solo, são esperados aumentos da CTC do solo ao longo do tempo e, conseqüentemente, na adsorção de nutrientes no complexo de troca do solo.

2.3. Sequências de culturas e produtividade das culturas de verão

Alguns pesquisadores avaliaram os efeitos de culturas de entressafra na produtividade de culturas amplamente utilizadas em SSD, como o milho e a soja.

Em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico localizado em Gurupi, TO, COLLIER et al. (2006) avaliaram o efeito da aplicação de N na produtividade de milho semeado após cultivos de crotalária e feijão-de-porco em pré-semeadura, no período de outubro a dezembro. Esses autores observaram que, na ausência de adubação nitrogenada, a produção de grãos de milho foi 26% superior quando semeado após cultivo de crotalária e relacionaram o resultado às diferentes quantidades de resíduos produzidos, velocidades de decomposição e liberação do N contido na MS das culturas de cobertura. Também com cultivo de plantas de cobertura em pré-semeadura, SOUSA NETO et al. (2008), em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, reportaram que as maiores quantidades de N nos resíduos de milheto e de crotalária proporcionaram maiores produtividades de milho, quando comparadas às produtividades de milho cultivado após lab-lab.

SILVA et al. (2006a) obtiveram produtividade de grãos de milho 25% inferior em sucessão ao milheto, quando comparada àquela do milho cultivado em sucessão à crotalária. Os autores atribuíram o resultado à imobilização do N pela microbiota do solo, para a decomposição dos resíduos, que condicionaram um assincronismo entre a época de demanda de N pela planta e a disponibilidade de N na solução do solo. SILVA et al. (2006c), ao elaborarem estratégias de manejo de culturas de entressafra para obtenção de maiores rendimentos de grãos de milho em sucessão em SSD, recomendaram a utilização de espécies das famílias das fabáceas e das brassicáceas.

Segundo os autores, a maior taxa de disponibilização do N pelos resíduos dessas culturas ao solo é favorável ao sincronismo entre a liberação do N e a demanda pelo milho em sucessão.

CARVALHO et al. (2004), em Latossolo Vermelho distrófico no Cerrado, ao avaliarem o desempenho da cultura da soja em sucessão a adubos verdes (crotalária, guandu, mucuna-preta, milheto e pousio) em dois sistemas de cultivo, não obtiveram resposta da cultura em função do cultivo anterior. Segundo os autores, a ausência de resposta da soja foi relacionada à época de semeadura da cultura, considerada tardia, o que resultou em baixa produtividade de grãos, que foi de $1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ na média. MANCIN et al. (2009) também não obtiveram respostas da soja aos cultivos anteriores. Os autores relacionaram o fato a veranicos na fase de enchimento de grãos, o que afetou negativamente a produtividade de soja, atingindo baixos valores, de aproximadamente $1,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ na média.

TANAKA et al. (1992), em condições tropicais, obtiveram maiores produtividades de soja após incorporação dos resíduos de crotalária e mucuna. Nesses casos, o aumento nos rendimentos de grãos de soja em relação à soja contínua foi de 30% para crotalária e 20% para mucuna. BRANDT et al. (2006) observaram efeito do histórico de cultivos na produtividade de soja. Os autores obtiveram maiores produtividades de soja nas sucessões arroz-sorgo-arroz-feijão-milheto e soja-trigo-soja-milho-milheto, quando comparadas à produtividade de soja após a sucessão milho-aveia-milho-feijão-milheto. MARCELO et al. (2009) observaram maiores produtividades de soja após cultivo de crotalária, nabo forrageiro e milheto, quando comparadas às produtividades soja após cultivo de milho, sorgo, girassol e guandu. Os autores atribuíram o resultado aos maiores teores de P no solo na camada 0-5 cm de profundidade, proporcionados pela liberação do elemento pelos resíduos das culturas de entressafra.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental e tratamentos

A área experimental localizou-se em Jaboticabal, SP, cuja altitude local é de 595 m e as coordenadas geodésicas são de aproximadamente 21°15'22" S e 48°18'58" W. O clima, segundo a classificação de KÖPPEN (1936), é do tipo Aw, com precipitação pluviométrica acumulada média anual de 1425 mm, concentrada no período de outubro a março, com temperatura média anual de 22 °C (Figura 1).

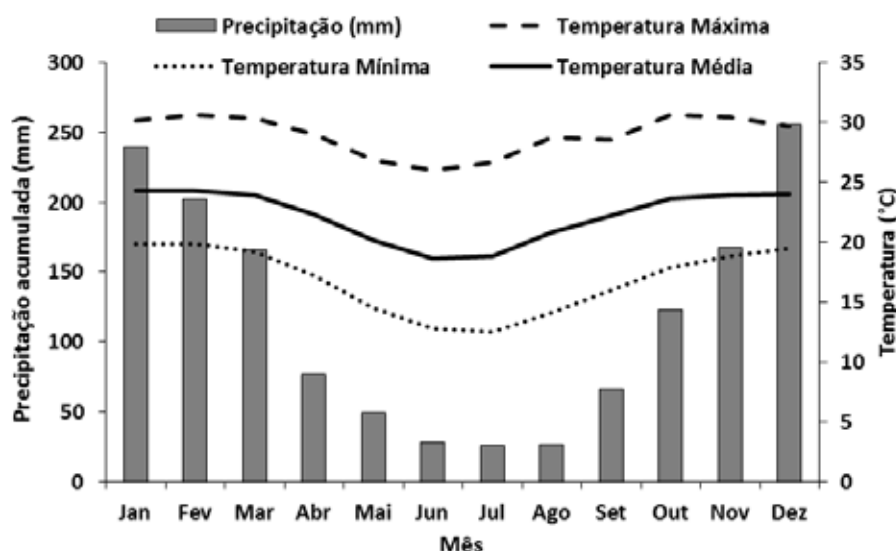


Figura 1. Valores médios mensais de temperatura do ar e de precipitação pluviométrica acumulada para Jaboticabal, SP (1971-2000).

Por 25 anos, a área foi utilizada para a produção de soja e milho em sistema convencional de preparo de solo. Conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa, A moderado, caulínítico, hipoférrico (CENTURION, 1998). Antes da instalação do experimento, os atributos do solo na camada 0-20 cm de profundidade foram: pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) = 5,0; Carbono orgânico = 11 g kg⁻¹; P (resina) = 13 mg dm⁻³; K = 4,1, Ca = 15, Mg = 9, acidez potencial = 34 e CTC = 62,1, em mmol_c dm⁻³; saturação por bases = 45%; areia = 370 g kg⁻¹; silte = 65 g kg⁻¹ e argila = 565 g kg⁻¹.

Antes da instalação do experimento, realizaram-se operações de subsolagem a 40 cm de profundidade e de calagem para elevação da saturação por bases do solo para 70%. A incorporação do calcário com PRNT de 100%, aplicado na dose de $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, foi realizada por operações de aração e de gradagem.

Em setembro de 2002, foi implantado um experimento em sistema de semeadura direta (SSD), visando à avaliação do efeito de sequências de culturas nos atributos do solo e nas produtividades de soja e milho, com delineamento experimental em faixas, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três sequências de culturas de verão com sete culturas de entressafra, totalizando 21 parcelas por bloco experimental (Figura 2).

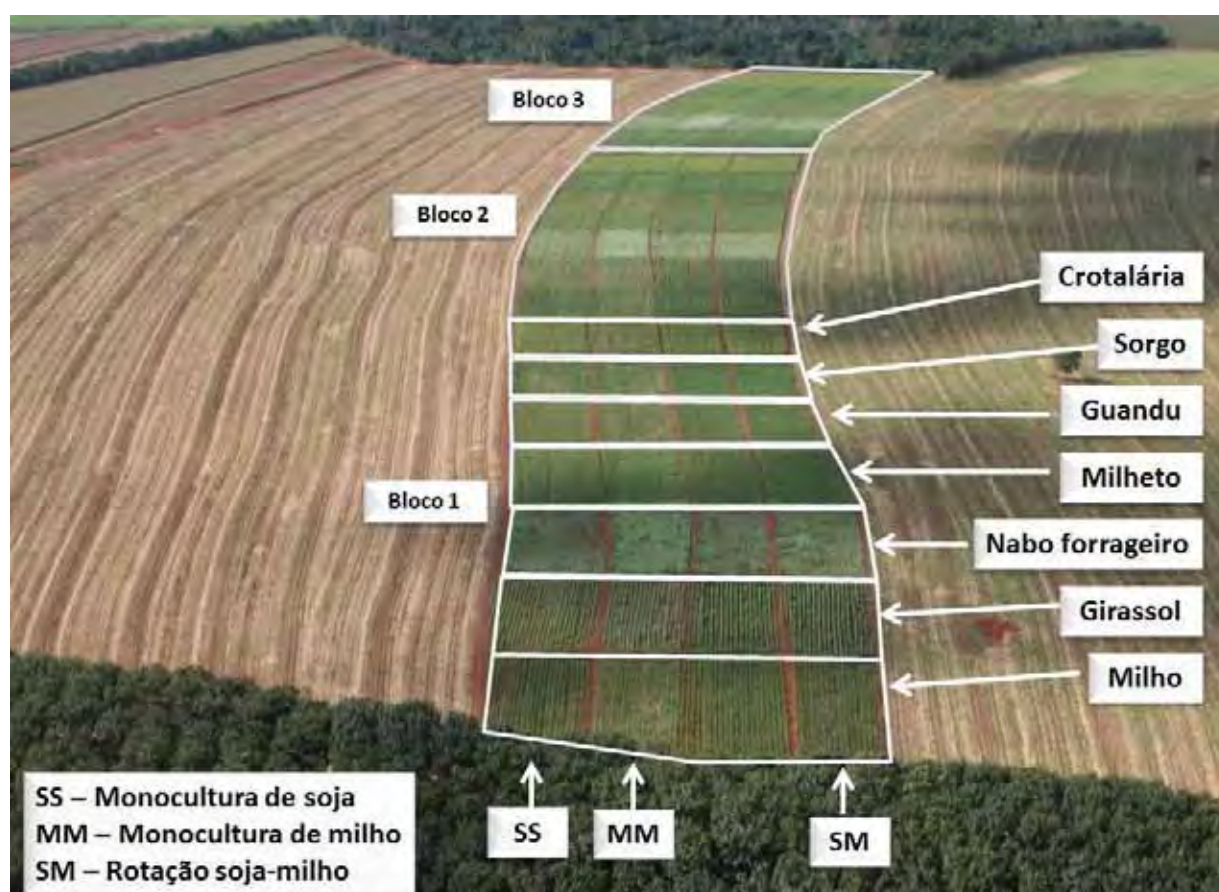


Figura 2. Área experimental em maio de 2009. Disposição das parcelas pelo cruzamento das faixas constituídas pelas sequências de culturas de verão e pelas culturas de entressafra.

As sequências de culturas de verão foram: monocultura de milho (*Zea mays* L.) (MM); monocultura de soja (*Glycine max* L. Merrill) (SS); e rotação soja-milho (SM), com cultivos intercalados de soja e milho ano a ano.

As culturas de entressafra foram: milho, sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), semeadas em fevereiro-março (safrinha), repetindo-se a cada ano agrícola as mesmas culturas de entressafra nas mesmas parcelas.

Cada parcela experimental ocupou uma área de 600 m² (40 m de comprimento por 15 m de largura). As bordaduras das parcelas corresponderam aos 10 m iniciais e finais do comprimento e aos 2,5 m das laterais, ficando a área útil de cada parcela com 200 m² (20 m x 10 m). As dimensões das parcelas, assim como das bordaduras, foram planejadas para viabilizar a mecanização de todas as operações exigidas durante a condução do experimento.

Em julho de 2005, efetuou-se aplicação de 1,0 Mg ha⁻¹ de calcário com PRNT de 70%, na superfície do solo e sem a incorporação do corretivo.

3.2. Condução das culturas

O experimento vem sendo conduzido desde o ano agrícola 2002/2003 e os resultados apresentados no presente trabalho são referentes aos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010, sétimo e oitavo anos agrícolas após implantação do experimento, respectivamente. Na sequência de verão SM, cultivou-se soja no ano agrícola 2008/2009 e milho no ano agrícola 2009/2010.

Para a implantação das culturas de verão, em todos os anos agrícolas, utilizou-se o critério de aguardar uma precipitação pluviométrica acumulada de 50 mm para iniciarem-se as operações de semeadura. As recomendações das adubações de semeadura das culturas de verão basearam-se nos resultados das análises químicas do solo, provenientes das avaliações do ano agrícola anterior, tendo em vista altas produtividades esperadas, seguindo recomendações de CANTARELLA et al. (1997) para milho, e de AMBROSANO et al. (1997) para soja.

Foram semeados os híbridos de milho DKB 330 (ano agrícola 2008/2009) e AG-9010 (ano agrícola 2009/2010), com 90 cm de espaçamento entrelinhas, visando a uma população de aproximadamente 66 mil plantas ha^{-1} . Nos dois anos agrícolas, a adubação de semeadura constituiu de 300 kg ha^{-1} da fórmula 8-20-20 + 1%Ca + 5%S + 0,3%Zn e a adubação de cobertura foi realizada no momento em que a planta apresentava seis folhas completamente desdobradas, com a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N na forma de sulfato de amônio.

As cultivares de soja, BMG-Titan RR básica S2 (ano agrícola 2008/2009) e Coodetec 216 RR (ano agrícola 2009/2010), foram semeadas com 45 cm de espaçamento entrelinhas, visando a uma população final de aproximadamente 480 mil plantas ha^{-1} . As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. As adubações de semeadura constituíram de 250 e 300 kg ha^{-1} da fórmula 2-20-20 nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010, respectivamente.

Em todos os anos agrícolas, o milho e o girassol cultivados na entressafra foram semeados mecanicamente com 90 cm de espaçamento entrelinhas, visando a atingir populações finais de 55 mil e 88 mil plantas ha^{-1} , respectivamente. As demais culturas foram semeadas mecanicamente com 45 cm de espaçamento entrelinhas visando a atingir populações, em plantas ha^{-1} , de 555 mil para nabo forrageiro (cultivar Siletina) e crotalária (cultivar comum), 665 mil para milheto (cultivar BN-2) e guandu (cultivar anão) e 175 mil para sorgo (cultivar 1G150). As quantidades de sementes utilizadas, em kg ha^{-1} , foram de 10 para girassol, 20 para milho, nabo forrageiro, milheto e sorgo, 25 para guandu e 30 para crotalária. Nos períodos de entressafra nos anos de 2008 e 2009, as culturas de entressafra não receberam adubações de semeadura e de cobertura. Durante o experimento, foram registrados dados diários de temperatura média do ar e de precipitação pluviométrica (Figura 3) (Tabela 1).

Na entressafra, por ocasião do pleno florescimento, crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto foram triturados por meio o equipamento triturador de resíduos vegetais tratorizado (Figura 4). Milho, sorgo e girassol foram conduzidos até a colheita dos grãos. Após a colheita, as plantas de milho, sorgo e girassol foram trituradas com o objetivo de homogeneizar a distribuição dos resíduos na superfície do solo, condição

semelhante daquela das demais culturas de entressafra (crotalária, guandu, nabo forrageiro e milho). Os momentos de realização das operações de trituração dos resíduos para cada cultura de entressafra, nos dois anos, assim como das operações de semeadura das culturas de verão e de entressafra, estão indicados na Figura 3.

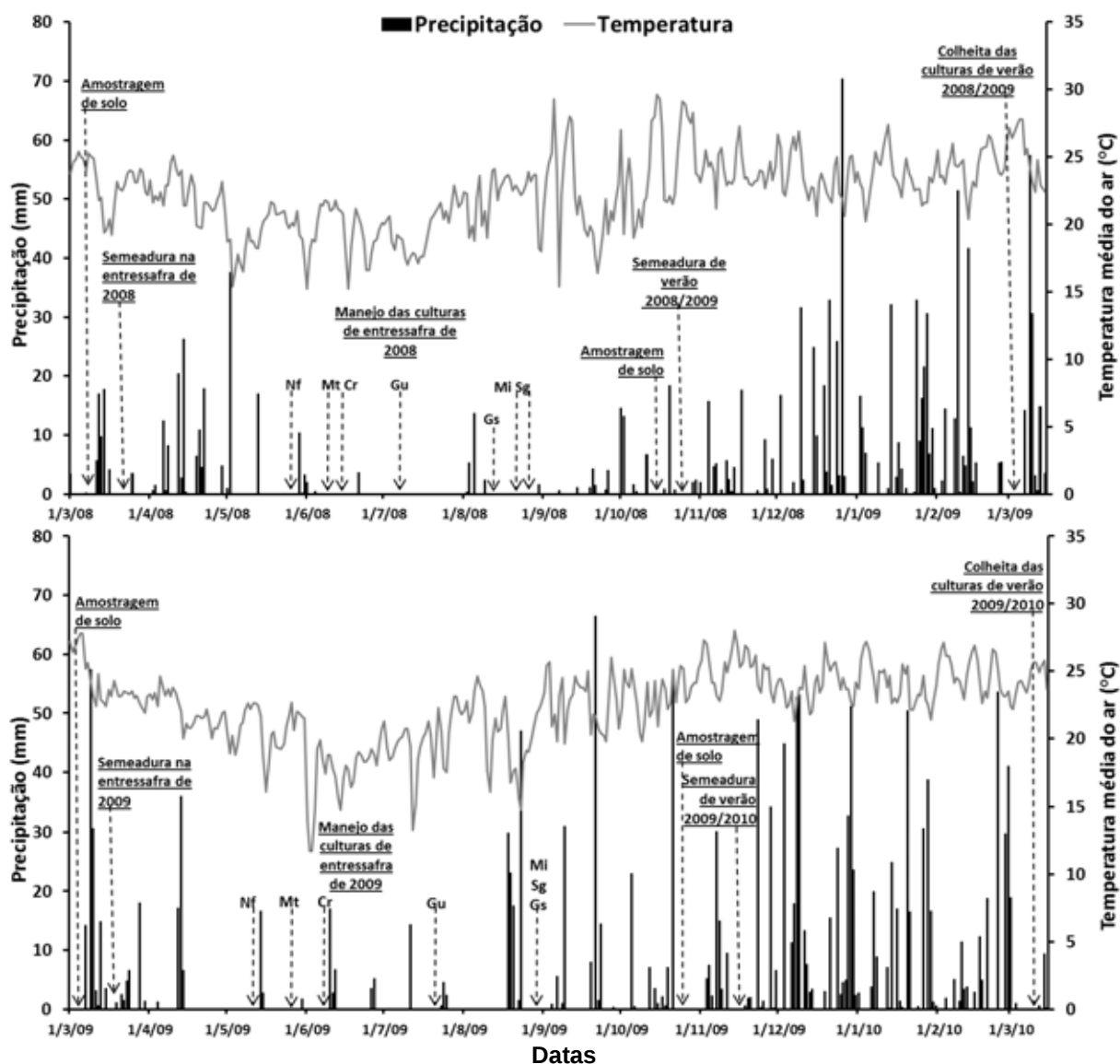


Figura 3. Valores diários de precipitação pluviométrica e de temperatura média do ar na área experimental no período de março de 2008 a março de 2010 e os momentos de semeadura e trituração das culturas e de amostragem de solo. Nf: nabo forrageiro; Mt: milheto; Cr: crotalária; Gu: guandu; Mi: milho; Sg: sorgo; Gs: girassol.



Figura 4. Operação de trituração da crotalária por ocasião do florescimento com equipamento triturador de resíduos vegetais tratorizado.

Tabela 1. Valores de precipitação pluviométrica acumulada e de temperatura média do ar no período de crescimento das culturas de entressafra e no período de decomposição dos resíduos em 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- Período de desenvolvimento -----			-- Período de decomposição ² --	
	Crescimento ¹	Precipitação acumulada	Temperatura média do ar	Precipitação acumulada	Temperatura média do ar
	Dias	mm	° C	mm	° C
----- 2008 -----					
Crotalária	84	194,7	20,7	320,7	22,5
Guandu	105	198,5	20,4	464,0	22,9
Nabo forrageiro	74	188,6	21,1	196,7	22,1
Milheto	66	194,7	20,8	198,7	22,2
Milho	156	220,5	20,6	918,0	24,0
Sorgo	156	220,5	20,6	905,0	23,9
Girassol	147	220,5	20,5	887,2	23,7
----- 2009 -----					
Crotalária	84	136,5	21,1	759,8	22,1
Guandu	126	169,5	20,3	1.139,5	23,2
Nabo forrageiro	69	98,0	22,1	483,8	21,2
Milheto	55	117,5	21,7	578,5	21,5
Milho	165	296,6	20,3	1.203,2	24,1
Sorgo	165	296,6	20,3	1.203,2	24,1
Girassol	165	296,6	20,3	1.203,2	24,1

¹ Período entre a semeadura e a operação de trituração das culturas de entressafra.

² Período de 180 dias, utilizado para a avaliação dos resíduos nas sacolas de decomposição.

Durante a condução das culturas de verão e de entressafra, o controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado quando necessário, utilizando-se de produtos e doses recomendados pelos fabricantes.

3.3. Avaliações

3.3.1. Quantidade e qualidade dos resíduos vegetais

A avaliação da quantidade e da qualidade dos resíduos vegetais das culturas foi realizada em duas épocas. A primeira avaliação foi realizada logo após a colheita do milho e da soja cultivados no verão (no mês de março de 2008 e de 2009). Nessa avaliação, coletou-se todo o material vegetal que se encontrava na superfície do solo e contido no interior de um quadrado metálico de 0,50 m de lado (área de 0,25 m²) (STOTT et al., 1990), o qual foi lançado, aleatoriamente, em cada parcela. Foram realizadas cinco repetições para essa avaliação, constituindo-se cinco amostras simples para compor uma amostra composta, totalizando 1,25 m² por parcela. Portanto, o material vegetal coletado para essa avaliação foi constituído, não somente de resíduos de soja ou de milho, cultivados no verão do respectivo ano agrícola, mas também de resíduos vegetais de anos agrícolas anteriores que, eventualmente, ainda permaneciam na superfície do solo.

A segunda avaliação foi realizada antes da operação de trituração das culturas de entressafra, visando à avaliação somente dos resíduos vegetais de cada cultura de entressafra isoladamente. Para tanto, as plantas contidas em 1 m na linha de semeadura foram cortadas rente ao solo, coletadas e pesadas para determinação da matéria seca (MS). A avaliação foi realizada em três locais aleatórios na parcela, constituindo-se três amostras simples para compor uma amostra composta.

Os resíduos coletados na segunda avaliação, depois de secos em estufa, foram acondicionados em sacolas de decomposição confeccionadas com telas de náilon com malha 2 x 2 mm, denominadas “litter bags”, com dimensões de 20 x 20 cm (Figura 5a). A quantidade de resíduos acondicionada em cada sacola foi proporcional às quantidades determinadas (kg ha⁻¹) para cada cultura de entressafra, considerando-se as medidas das sacolas.

As sacolas foram distribuídas na superfície do solo na parcela correspondente à cultura (Figura 5b). A decomposição dos resíduos vegetais foi avaliada baseando-se na perda de peso entre as avaliações, representada em porcentagem de MS remanescente em relação à massa inicial. Os períodos de avaliação dos resíduos foram

de 15, 30, 60, 120 e 180 dias após a instalação das sacolas. Foram instaladas 15 sacolas por parcela, o que possibilitou, em cada avaliação, a coleta de três sacolas para compor uma amostra composta por parcela.



Figura 5. Sacola de decomposição (a) e parcela com as sacolas instaladas (b).

As amostras de material vegetal, provenientes das avaliações da produção de MS das culturas de entressafra e das sacolas de decomposição, foram lavadas com uma solução diluída (0,1%) de detergente neutro, posteriormente com solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ e finalmente com água deionizada, colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 65 °C, para a determinação de MS. Em seguida, as amostras foram moídas e preparadas para análise química para determinação das concentrações de carbono (C) (TEDESCO et al., 1995), lignina (SOEST, 1963), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (BATAGLIA et al., 1983).

De posse das concentrações dos nutrientes, calcularam-se os valores das relações C:N, C:P e lignina:N dos resíduos e as quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S na MS produzida pelas culturas de entressafra, em kg ha⁻¹.

Adicionalmente, foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos de milho, sorgo e girassol cultivados na entressafra. Com os teores dos elementos nos grãos e as produtividades obtidas para cada cultura, foram estimadas as quantidades dos nutrientes (kg ha⁻¹) exportadas pelos grãos.

3.3.2. Cobertura do solo

A porcentagem de cobertura do solo proporcionada pelos resíduos vegetais foi avaliada por meio da metodologia da transeção linear (SLONEKER & MOLDENHAUER, 1977) em duas épocas: a primeira, logo após a trituração das culturas de entressafra; e a segunda, no final de cada ano agrícola, ou seja, um dia antes da semeadura das culturas de verão do ano agrícola seguinte.

3.3.3. Atributos químicos do solo

Nos dois anos estudados, a amostragem de solo, para avaliação dos atributos químicos, foi realizada em duas épocas: a primeira, no início do período de entressafra, ou seja, logo após a colheita das culturas de verão (no mês de março de 2008 e de 2009); e a segunda, no final da entressafra e, portanto, do ano agrícola, antecedendo a semeadura das culturas de verão do ano agrícola seguinte (no mês de outubro de 2008 e de 2009) (Figura 3). Foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, em 20 pontos aleatórios (amostras simples), seguindo caminhamento diagonal de amostragem nas delimitações da área útil de cada parcela, para compor uma amostra composta. Em cada ponto de amostragem, a coleta foi realizada na entrelinha da cultura anterior, com auxílio de um trado do tipo holandês, com capacidade para amostras de solo de 10 cm de profundidade.

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas através de peneiras com abertura de malha de 2 mm e, posteriormente, submetidas às análises químicas para determinação de: teores de C orgânico total (YEOMANS & BREMNER, 1988), valores de pH (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹), teores de P (resina), K, Ca, Mg e acidez potencial (H+Al) (RAIJ et al., 2001) e calculados os valores de saturação por bases (V).

As avaliações dos teores de C orgânico no solo na fração particulada, associada aos minerais, humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos foram realizadas nas amostras de solo da camada 0-10 cm de profundidade, obtidas nas amostragens realizadas no mês de outubro de 2008 e de 2009. Para tanto, as amostras de solo foram submetidas aos fracionamentos físico granulométrico (Figura 6) e químico (Figura 7) da matéria orgânica do solo.

O fracionamento físico constituiu-se da obtenção das frações particulada ($> 53 \mu\text{m}$) e associada aos minerais ($< 53 \mu\text{m}$), conforme procedimento descrito por CAMBARDELLA & ELLIOT (1992) (Figura 6). A fração particulada foi seca em estufa a 50°C , moído em gral de porcelana e submetida à análise para determinação de C orgânico (YEOMANS & BREMNER, 1988).

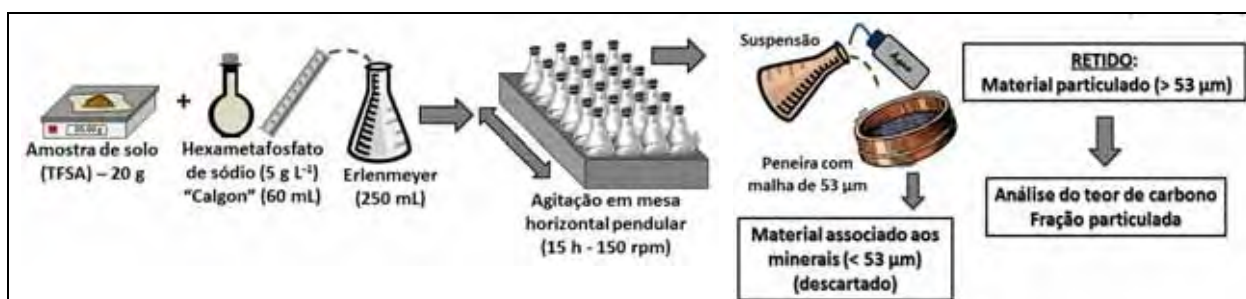


Figura 6. Esquema do fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1992). TFSA = terra fina seca ao ar.

O teor de C orgânico associado aos minerais foi obtido pela diferença entre os teores totais de C orgânico do solo e os teores de C orgânico da fração particulada. De posse dos teores de C das frações particulada e associada aos minerais, calcularam-se os percentuais de C orgânico de cada fração em relação aos teores totais de C orgânico do solo.

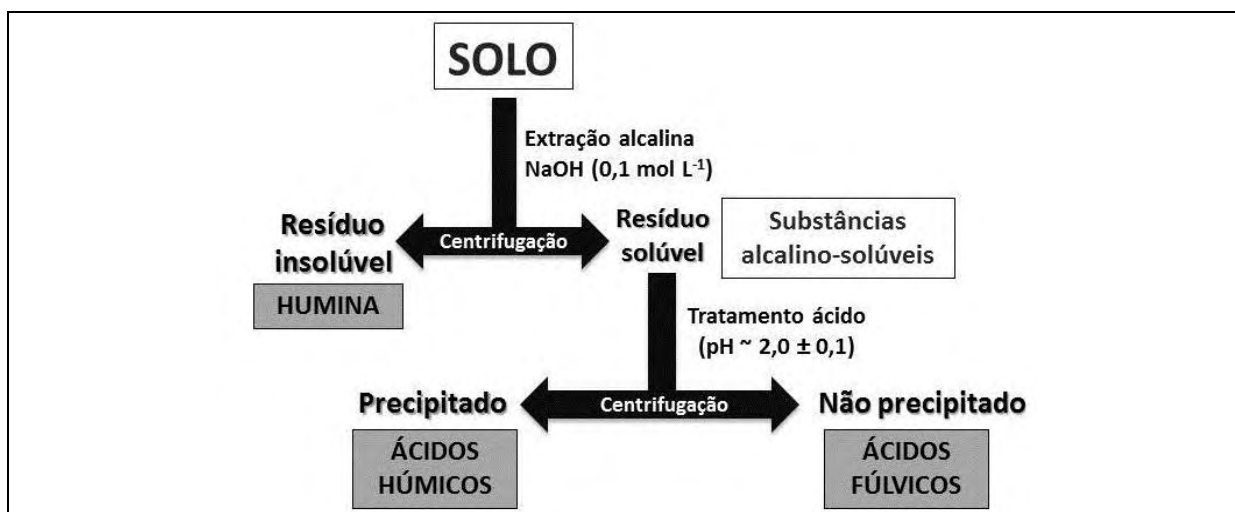


Figura 7. Esquema de extração e fracionamento das substâncias húmicas do solo, humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (SWIFT, 1996).

A obtenção das frações humina e dos ácidos húmicos e fúlvicos foi realizada conforme a solubilidade diferencial, como recomendação da Sociedade Internacional das Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996) (Figura 7). A quantificação dos teores de C orgânico nas frações humina e nos ácidos húmicos e fúlvicos foi realizada seguindo os procedimentos descritos por YEOMANS & BREMNER (1988).

3.3.4. Produtividade de grãos das culturas

Nas culturas de verão, nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010, nas delimitações da área útil de cada parcela, a colheita de soja foi realizada mecanicamente, com colhedora de experimentos em nove linhas de plantas com 15 m de comprimento, correspondendo a uma área colhida de 60,75 m². A colheita do milho foi realizada manualmente e com debulha mecanizada dos grãos, em quatro linhas de plantas com 15 m de comprimento, perfazendo uma área de 54 m².

A colheita das culturas no período de entressafra de 2008 e de 2009 foi realizada manualmente e com debulha mecanizada dos grãos, em quatro linhas de 10 m de comprimento, para milho e girassol, e em oito linhas de 10 m, para o sorgo, correspondendo a uma área colhida de 36 m², delimitada na área útil de cada parcela.

A massa final dos grãos foi ajustada para 13% de água para milho, soja e sorgo, e para 11% para o girassol, para posterior cálculo da produtividade, em kg ha⁻¹.

3.4. Análise dos dados

Os dados referentes às avaliações de coberturas do solo, quantidades de MS e dos nutrientes acumulados na parte aérea e os exportados pelos grãos das culturas de entressafra, por ocasião da trituração, e de fracionamento físico e químico do C orgânico do solo foram submetidos à análise de variância, conforme delineamento em faixas.

As porcentagens de MS, N, P, K, Ca, Mg e S remanescentes dos resíduos vegetais das sacolas de decomposição foram analisadas conforme delineamento em faixas e com medidas repetidas no tempo, em função dos períodos de amostragem (0, 15, 30, 60, 120 e 180 dias).

Os atributos químicos do solo obtidos nas amostragens realizadas em março e outubro dos anos de 2008 e 2009, ou seja, os teores de C orgânico total, P, K, Ca, Mg, H+Al e os valores de pH e V do solo foram submetidos à análise de variância, conforme delineamento em faixas com medidas repetidas no tempo, em função das épocas de amostragem do solo (março e outubro).

As produtividades de soja e de milho no verão foram analisadas seguindo delineamento em faixas, separadamente para cada cultura.

As produtividades de milho, sorgo e girassol, cultivados na entressafra, foram analisadas conforme delineamento em blocos ao acaso, separadamente para cada cultura de entressafra.

Os dados foram analisados separadamente para cada ano agrícola, sem considerar o ano de avaliação como um fator de variação nas análises de variância.

Levando-se em consideração os efeitos das culturas de entressafra, os graus de liberdade foram desdobrados por meio da composição de um contraste, tendo em vista a comparação entre as culturas que foram trituradas no florescimento (crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto) com aquelas que foram conduzidas até a colheita de grãos (milho, sorgo e girassol). Em seguida, dentro de cada grupo de culturas de entressafra, as culturas foram comparadas por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade, assim como as comparações das sequências de culturas de verão.

Em cada ano agrícola, as médias referentes às quantidades de MS produzidas pelas culturas de entressafra, assim como aqueles referentes às quantidades de nutrientes acumulados na MS, foram transformadas em porcentagem em relação à maior média observada, obtendo-se valores relativos, para comparação de desempenho das culturas de entressafra.

Com o objetivo de quantificar a porcentagem de resíduo decomposto ou de nutrientes liberados durante o período de decomposição para cada cultura de entressafra, as médias das porcentagens remanescentes de MS e dos nutrientes nas sacolas de decomposição foram ajustadas ao modelo de regressão não linear descrito por WIEDER & LANG (1982):

$$Y = A_0 e^{-k_0 t},$$

em que Y é a porcentagem remanescente de MS ou de cada nutriente nos resíduos após um período t , em dias. A_0 é a porcentagem inicial de resíduo decomposto ou do nutriente liberado e k_0 é a constante de decomposição.

As comparações dos valores de k_0 das equações de decomposição dos resíduos das culturas de entressafra foram realizadas por meio do teste t , a 5% de probabilidade.

Para as estimativas das quantidades de MS decomposta ou de nutrientes liberados dos resíduos das culturas de entressafra até o final de cada ano agrícola, considerou-se o período de decomposição dos resíduos entre o dia em que se realizou a trituração de cada cultura de entressafra e o final do ano agrícola, ou seja, quando ocorreu a semeadura das culturas de verão do ano agrícola seguinte. As quantidades de MS decomposta e dos nutrientes liberados durante o período de decomposição, assim como as quantidades remanescentes nos resíduos das culturas no final de cada ano agrícola, estimadas pelas equações ajustadas, foram submetidas à análise de variância, conforme delineamento em faixas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Quantidade e qualidade dos resíduos vegetais das culturas

Nos dois anos estudados, não foram observados efeitos das culturas de entressafra nas quantidades de matéria seca (MS) dos resíduos encontrados na superfície do solo por ocasião da avaliação realizada logo após a colheita do milho ou da soja no verão (Tabela 2). Contudo, foram observadas maiores quantidades de resíduos após a colheita de milho, quando comparadas àquelas observadas após a colheita de soja.

Tabela 2. Matéria seca dos resíduos coletados após a colheita das culturas de verão, em março de 2008 e 2009.

Tratamentos	2008	2009
Sequências de verão ¹ (V)	----- Mg ha ⁻¹ -----	
SM ²	8,5 a	5,4 b
MM	9,7 a	10,2 a
SS	3,1 b	5,8 b
Teste F	33,33**	163,10**
CV(%)	39,6	13,5
Culturas de entressafra (E)		
Teste F	0,47 ^{ns}	1,02 ^{ns}
CV(%)	26,8	16,0
Teste F da interação (V x E)	1,37 ^{ns}	1,03 ^{ns}

¹ SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

² Milho, no ano agrícola 2007/2008, e soja, no ano agrícola 2008/2009.

^{ns}: não significativo (P > 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Os resíduos encontrados sobre o solo após a colheita de milho apresentaram maiores valores de relação C:N, lignina:N e concentrações de lignina, quando comparados àqueles encontrados após a colheita de soja (Tabela 3). As menores relações C:N e lignina:N dos resíduos de soja são decorrentes das maiores concentrações de N na parte aérea da soja, característico de leguminosas, quando comparadas às concentrações de N nos resíduos do milho.

Tabela 3. Teores de lignina e valores das relações C:N, C:P e lignina:N dos resíduos das culturas, coletados após a colheita das culturas de verão e por ocasião da trituração das culturas de entressafra, nos anos de 2008 e 2009.

Tratamentos	2008				2009			
	Relação		Lignina	Relação Lignina:N	Relação		Lignina	Relação Lignina:N
	C:N	C:P			C:N	C:P		
	-	-	g kg ⁻¹	-	-	-	g kg ⁻¹	-
Sequências de verão ¹								
SM ²	60	889	163	25,9	43	841	118	12,3
MM	62	798	165	25,4	62	928	159	23,7
SS	50	673	135	18,2	48	799	129	14,8
Culturas de entressafra								
Crotalária	23	256	90	4,6	24	271	81	4,2
Guandu	20	341	123	5,2	21	301	121	5,5
Nabo forrageiro	31	233	28	2,1	23	252	33	1,7
Milheto	33	243	50	3,6	42	489	46	4,0
Milho	110	2.814	62	13,2	105	2.405	63	14,3
Sorgo	102	1.410	66	14,3	66	634	64	9,1
Girassol	83	1.606	77	14,0	39	678	73	7,3

¹ SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

² Milho, no ano agrícola 2007/2008, e soja, no ano agrícola 2008/2009.

4.1.1. Concentração de nutrientes nos resíduos das culturas de entressafra

Nos dois anos estudados, as concentrações dos nutrientes na MS da parte aérea por ocasião da trituração das culturas de entressafra foram diferentes (Tabela 4), por se tratarem de espécies distintas e ainda pelo fato de haver diferenças de manejo. Crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto foram triturados por ocasião do florescimento e milho, sorgo e girassol foram conduzidos até a colheita dos grãos, o que interferiu nas concentrações dos nutrientes na MS das culturas. Não foram observados efeitos das sequências de verão nas concentrações dos nutrientes na MS das culturas de entressafra, bem como da interação entre as sequências de verão e as culturas de entressafra (interação V x E).

Em média, milho, sorgo e girassol apresentaram as menores concentrações de N e P nos resíduos nos dois anos (Tabela 5), decorrentes da translocação dos nutrientes para os grãos, com consequente exportação pela colheita (Tabela 6). Portanto, maiores valores das relações C:N, C:P e lignina:N foram observados nos resíduos de milho, sorgo e girassol, quando comparados àqueles dos resíduos de crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto, cuja trituração ocorreu por ocasião do florescimento (Tabela 3).

Tabela 4. Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados das concentrações dos nutrientes nos resíduos das culturas por ocasião da trituração, nos períodos de entressafra dos anos de 2008 e 2009.

Fontes de variação	N	P	K	Ca	Mg	S
----- 2008 -----						
Sequências de verão (V)	0,80 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,69 ^{ns}	2,61 ^{ns}	1,49 ^{ns}
Culturas de entressafra (E)	90,36 ^{**}	57,03 ^{**}	27,70 ^{**}	53,57 ^{**}	7,34 ^{**}	122,38 ^{**}
Interação V x E	1,8 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,8 ^{ns}
CV _V (%)	18,1	17,6	31,7	25,1	21,0	9,7
CV _E (%)	19,7	26,8	23,8	25,8	23,5	19,3
----- 2009 -----						
Sequências de verão (V)	1,78 ^{ns}	1,62 ^{ns}	6,25 ^{ns}	0,20 ^{ns}	5,96 ^{ns}	0,68 ^{ns}
Culturas de entressafra (E)	71,54 ^{**}	81,74 ^{**}	81,52 ^{**}	68,42 ^{**}	224,05 ^{**}	323,21 ^{**}
Interação V x E	1,45 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,91 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,50 ^{ns}
CV _V (%)	21,8	23,7	18,1	22,1	9,3	12,5
CV _E (%)	18,3	18,2	18,7	27,9	10,3	15,8

ns: não significativo ($P > 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Nas culturas de entressafra manejadas no florescimento, as maiores concentrações de K na MS foram observadas no milho em 2008 e, além do milho, no nabo forrageiro, em 2009 (Tabela 5). As concentrações de K na MS de milho apresentadas no presente estudo foram superiores às observadas por CAZZETA et al. (2005), de $14,2 \text{ g kg}^{-1}$, em milho semeado em um Latossolo Vermelho distrófico típico na mesma região do presente estudo. No entanto, o teor de K^+ no solo utilizado pelos autores foi de $2,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, inferiores aos teores de K^+ verificados no solo do presente estudo, superiores a $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Além desse fato, CAZZETA et al. (2005) cultivaram o milho no período de setembro a novembro, cujas condições hídricas são favoráveis ao maior desenvolvimento da cultura e, portanto, podem contribuir para o maior acúmulo de MS e a redução das concentrações de K na parte aérea da cultura, devido ao efeito de diluição.

CRUSCIOL & SORATTO (2007), ao cultivarem o milho entre os meses de novembro e janeiro em um Latossolo Vermelho distrófico em Botucatu, SP, com teor de K^+ de $1,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, observaram concentração de $13,9 \text{ g kg}^{-1}$ de K na parte aérea do milho no estágio de grãos leitosos. Os autores relacionaram essas baixas concentrações de K nos resíduos do milho ao efeito de diluição, devido à grande

produção de MS e ao estágio fenológico da cultura. Segundo BRAZ et al. (2004), o maior acúmulo de K no limbo foliar pelo milho ocorre no florescimento, entre 52 e 55 dias após a emergência das plantas, com posterior queda nos valores.

Tabela 5. Concentrações dos nutrientes nos resíduos das culturas de entressafra por ocasião da trituração, em 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	N	P	K	Ca	Mg	S
2008						
	----- g kg ⁻¹ -----					
Crotalária	19,5 b	1,8	16,5 b	7,0 b	2,4 b	1,2 c
Guandu	23,5 a	1,5	14,2 b	8,4 b	1,9 b	1,0 c
Nabo forrageiro	13,6 c	1,8	12,2 b	14,1 a	3,5 a	2,9 a
Milheto	14,0 c	1,8	21,4 a	2,7 c	2,9 ab	1,6 b
Média (florescimento)	17,7	1,7	16,1	8,1	2,7	1,7
Milho	4,7	0,2	9,5 b	2,7 b	2,4	0,4 b
Sorgo	4,6	0,3	10,5 b	3,2 b	2,1	0,6 ab
Girassol	5,5	0,5	28,3 a	10,0 a	2,2	0,7 a
Média (colheita)	4,9	0,3	16,1	5,3	2,2	0,6
F (florescimento vs. colheita)	435,17 **	331,75 **	0,01 ^{ns}	37,18 **	8,28 *	339,53 **
2009						
	----- g kg ⁻¹ -----					
Crotalária	19,6 a	1,7 a	13,5 b	7,1 b	2,3 a	1,2 c
Guandu	21,9 a	1,6 a	11,9 b	7,7 b	1,9 b	1,5 b
Nabo forrageiro	19,8 a	1,8 a	21,1 a	12,0 a	2,4 a	4,9 a
Milheto	11,4 b	1,0 b	18,6 a	3,8 c	2,4 a	1,3 bc
Média (florescimento)	18,2	1,5	16,3	7,7	2,3	2,2
Milho	4,4 b	0,2 b	2,3 b	0,9 b	0,6 c	0,3 c
Sorgo	7,0 ab	0,7 a	3,9 b	2,4 b	1,4 b	0,8 b
Girassol	10,0 a	0,8 a	14,8 a	16,5 a	4,3 a	1,2 a
Média (colheita)	7,1	0,6	7,0	6,6	2,1	0,8
F (florescimento vs. colheita)	309,45 **	345,80 **	71,62 **	3,84 ^{ns}	6,85 *	511,57 **

ns: não significativo; * significativo (P < 0,05); ** significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

O nabo forrageiro apresentou elevadas concentrações de Ca, Mg e S na MS nos dois anos (Tabela 5). Concentrações semelhantes desses nutrientes foram obtidas por CRUSCIOL et al. (2005), ao semear nabo forrageiro no mês de julho em região de clima subtropical e em Latossolo Vermelho eutroférico nitossólico. Os autores observaram, no estágio de pré-florescimento, concentrações de Ca, Mg e S na MS de nabo forrageiro, de 12,6; 4,2 e 4,0 g kg⁻¹, respectivamente.

Tabela 6. Quantidades exportadas dos nutrientes pela colheita dos grãos de milho, sorgo e girassol na entressafra, em 2008 e 2009.

Tratamentos	2008						2009					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Sequências de verão ¹ (V)												
kg ha ⁻¹												
SM ²	33,4 b	5,6	8,5 b	3,0	3,8	2,3 b	48,6	6,0	9,8	3,1	3,7	3,6 a
MM	32,2 b	5,4	8,2 b	1,9	3,3	2,1 b	41,7	5,3	7,9	2,8	3,3	3,1 ab
SS	49,8 a	6,8	10,7 a	2,8	4,3	3,2 a	40,3	4,4	6,8	2,3	2,7	2,8 b
Teste F	18,19**	3,28 ^{ns}	7,30*	1,42 ^{ns}	1,59 ^{ns}	14,85**	4,23 ^{ns}	2,39 ^{ns}	6,79 ^{ns}	1,62 ^{ns}	2,06 ^{ns}	8,91*
CV(%)	17,9	20,6	16,4	56,9	29,5	18,1	15,0	30,4	22,0	46,4	32,5	13,0
Culturas de entressafra (E)												
kg ha ⁻¹												
Milho	38,5	4,7 b	8,1	2,9	2,7 b	2,3	43,2	4,4	6,2 b	2,5 ab	2,3 b	3,1 ab
Sorgo	41,3	6,8 a	10,1	1,9	4,4 a	2,5	33,2	4,7	5,1 b	1,5 b	3,0 ab	2,1 b
Girassol	35,6	6,3 a	9,2	2,9	4,4 a	2,9	54,2	6,7	13,2 a	4,2 a	4,4 a	4,4 a
Teste F	1,18 ^{ns}	12,73*	3,19 ^{ns}	0,60 ^{ns}	9,16*	4,10 ^{ns}	5,16 ^{ns}	2,26 ^{ns}	13,47*	48,71**	7,12*	13,37*
CV (%)	20,1	14,8	18,3	88,0	25,8	16,0	31,9	46,5	43,9	39,9	37,4	29,2
Interação (V x E)	3,65 ^{ns}	2,98 ^{ns}	2,14 ^{ns}	1,31 ^{ns}	2,27 ^{ns}	1,90 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,58 ^{ns}	2,80 ^{ns}	2,21 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,44 ^{ns}

¹ SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

² Milho, no ano agrícola 2007/2008, e soja, no ano agrícola 2008/2009.

^{ns}: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Entre as culturas que foram conduzidas até a colheita dos grãos, os resíduos de girassol apresentaram concentrações de S superiores às dos resíduos de milho e as maiores concentrações de K e Ca em 2008, e de K, Ca, Mg e S em 2009 (Tabela 5). Em 2009, as concentrações de Mg e de S foram maiores nos resíduos de sorgo, quando comparadas àquelas dos resíduos de milho.

As menores concentrações de Ca e Mg nos resíduos de milho e sorgo podem ser atribuídas à menor demanda por essas culturas e à exportação pela colheita dos grãos (Tabela 6). No caso do K, esse resultado é atribuído à remoção de K das folhas e dos colmos durante o processo natural de senescência da planta, que devido às chuvas no final do ciclo da cultura, contribuíram para a redução de suas concentrações nos resíduos. No girassol, mesmo os nutrientes tendo sido exportados pelos grãos e o K parcialmente removido dos resíduos senescentes pelas chuvas no final do ciclo, as maiores quantidades de K, Ca e Mg nos resíduos do girassol evidenciaram a elevada

exigência dessa cultura por esses nutrientes. Em estudo de marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol na região Sul do Brasil, ZOBOLI et al. (2010) observaram elevada demanda do girassol por K, Ca e Mg, porém, com baixa exportação desses nutrientes pelos grãos, sendo de 5, 1 e 10% do total absorvido, respectivamente.

4.1.2. Matéria seca e acúmulo de nutrientes pelas culturas de entressafra

Nos dois anos estudados, foram observadas interações significativas entre culturas de entressafra e as sequências de culturas de verão para as quantidades de MS produzida e para alguns dos nutrientes acumulados pelas culturas de entressafra (Tabela 7), indicando que o desempenho das culturas na entressafra foi influenciado pela sequência de culturas de verão.

Tabela 7. Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados das quantidades de matéria seca e dos nutrientes acumulados pelas culturas de entressafra por ocasião do manejo, em 2008 e 2009.

Fontes de variação	Matéria seca	N	P	K	Ca	Mg	S
----- 2008 -----							
Sequências de verão (V)	8,57*	6,81 ^{ns}	2,65 ^{ns}	1,01 ^{ns}	2,65 ^{ns}	6,83 ^{ns}	10,93*
Culturas de entressafra (E)	25,77**	57,58**	45,53**	14,94**	20,01**	14,02**	60,15**
Interação V x E	2,66*	3,65**	2,63*	1,92 ^{ns}	1,78 ^{ns}	3,09**	6,48**
CV _V (%)	13,4	19,8	21,9	31,0	30,6	23,1	17,2
CV _E (%)	14,9	27,1	34,6	38,7	37,6	29,7	28,4
----- 2009 -----							
Sequências de verão (V)	9,24*	4,78 ^{ns}	6,28 ^{ns}	4,96 ^{ns}	3,32 ^{ns}	5,31 ^{ns}	3,78 ^{ns}
Entressafra (E)	14,75**	23,70**	22,74**	29,32**	11,64**	18,39**	38,13**
Interação V x E	4,13**	2,41*	1,38 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,69 ^{ns}	1,56 ^{ns}	1,43 ^{ns}
CV _V (%)	16,1	36,1	32,1	12,5	27,2	17,6	29,2
CV _E (%)	25,9	32,0	34,6	40,7	53,4	38,8	33,6

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Na entressafra de 2008, em todas as sequências de culturas de verão, em média, as culturas de entressafra triturdadas no florescimento produziram as maiores quantidades de MS (Tabela 8). Observou-se resultado semelhante na entressafra de 2009, porém, somente na sequência SM.

Tabela 8. Matéria seca das culturas de entressafra por ocasião da trituração em cada sequência de culturas de verão, nos períodos de entressafra de 2008 e de 2009.

2008:	----- 2008 -----			----- 2009 -----		
Culturas de entressafra	----- Sequências de verão -----					
	SM ¹	MM	SS	SM	MM	SS
	----- Mg ha ⁻¹ -----					
Crotalária	6,1	5,5 AB	5,3 B	4,3 BC	3,6 AB	3,5 B
Guandu	4,2	4,0 B	4,3 B	4,6 Ba	3,9 ABa	1,9 Bb
Nabo forrageiro	4,6	3,7 B	4,2 B	2,7 C	2,6 B	2,2 B
Milheto	5,2 b	6,2 Ab	9,0 Aa	7,3 Aa	4,6 Ab	7,2 Aa
Média (florescimento)	5,0	4,8	5,7	4,7	3,7	3,7
Milho	4,4	4,5	3,8 B	4,1	3,9	3,8 A
Sorgo	3,6 b	3,5 b	5,9 Aa	3,4	3,0	4,0 A
Girassol	3,2	3,3	3,2 B	3,2 ab	3,6 a	1,8 Bb
Média (colheita)	3,7	3,8	4,3	3,6	3,5	3,2
F (florescimento vs. colheita)	9.66**	6.26*	10.53**	10.30**	0.32 ^{ns}	2.24 ^{ns}

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Houve maior ocorrência de chuvas nos primeiros 60 dias após germinação das culturas no período de entressafra de 2008, nos meses de abril e maio, quando comparado ao mesmo período de 2009 (Figura 3). Esse fato resultou em maiores quantidades produzidas de MS pelas culturas de entressafra em 2008 (Tabela 8). Ressalta-se que as condições climáticas para a região no período de entressafra de 2008 foram atípicas, cuja precipitação pluviométrica acumulada foi 45% superior àquela da média histórica (1971-2000). Nesse sentido, as condições climáticas do período de entressafra de 2009 são as mais prováveis de se repetirem e melhor representam a região em que se desenvolveu o presente estudo.

Entre as culturas trituradas no florescimento, o milheto produziu maiores quantidades de MS na sequência SS nos dois anos, e também na sequência SM em 2009 (Tabela 8). Na sequência MM, a produção de MS pela crotalária foi semelhante àquela produzida pelo milheto. As quantidades de MS produzidas pelo milheto foram 56% maiores quando cultivado após soja nos dois anos, quando comparada àquela produzida quando o milheto foi cultivado após milho, evidenciando efeito da sequência de culturas de verão na produção de MS pelo milheto na entressafra.

Efeito semelhante foi observado nas quantidades de MS produzida pelo sorgo, 69% superior quando semeado após cultivo de soja em 2008, quando comparada àquelas após milho (Tabela 8). Esses resultados refletiram em maiores produtividades de grãos pelo sorgo (Tabela 9) e, conseqüentemente, em maiores quantidades de nutrientes exportados (Tabela 6). O melhor desempenho de milheto e sorgo, cultivados após soja, está relacionado à maior disponibilidade de N no solo, proporcionada pela fixação biológica de N pela soja, aliado à maior resposta ao N por essas gramíneas, em relação às demais espécies testadas.

Tabela 9. Produtividade de grãos pelo milho, sorgo e girassol cultivados na entressafra de 2008 e 2009 em cada sequência de culturas de verão.

Culturas de entressafra	2008				2009			
	Sequências de verão							
	SM ¹	MM	SS	Teste F	SM	MM	SS	Teste F
	kg ha ⁻¹				kg ha ⁻¹			
Milho	3,1 b	3,2 b	5,2 a	15,28**	3,7	3,2	3,2	3,22 ^{ns}
Sorgo	3,1 b	3,2 b	4,6 a	8,13*	2,2	1,7	2,2	6,41 ^{ns}
Girassol	1,9	1,7	1,6	0,22 ^{ns}	2,2 a	2,0 a	1,5 b	7,32*

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, na linha e dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Milheto e crotalária têm apresentado elevadas produções de MS quando cultivados na entressafra na região do Cerrado, devido à adaptação às condições climáticas (SILVA et al., 2006b). BOER et al. (2007) obtiveram produção de 10,8 Mg ha⁻¹ de MS de milheto com a cultivar ADR500 no período da entressafra. Em pesquisa na mesma região do presente estudo, CAZZETA et al. (2005) observaram produção de 5,2 Mg ha⁻¹ de MS com cultivo de crotalária, e de 10,7 Mg ha⁻¹, com o milheto, quando semeadas em setembro e trituradas em novembro.

Entre as culturas conduzidas até a colheita dos grãos, na sequência SS, as menores quantidades de MS foram observadas nos resíduos de girassol nos dois anos, e também nos resíduos de milho em 2008 (Tabela 8).

Comparando-se as sequências de culturas de verão em cada cultura de entressafra, menores quantidades de MS foram produzidas pelo girassol na sequência

SS, nos dois anos, e pelo guandu, também na sequência SS em 2009 (Tabela 8). No presente estudo, o girassol demonstrou ser uma opção de cultura com baixa capacidade de produção de resíduos, corroborando SODRÉ FILHO et al. (2004). Esses autores quantificaram $2,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS nos resíduos de girassol semeado no início de abril em SSD na região do Cerrado, com precipitação acumulada de 70 mm em 88 dias de ciclo, quando atingiu 50% de floração.

As quantidades de MS produzidas pelo nabo forrageiro em 2009 foram 40% inferiores às aquelas de 2008 (Tabela 8), que se deve às menores ocorrências de chuvas no estágio vegetativo da cultura em 2009 (Tabela 1 e Figura 3). Segundo CRUSCIOL et al. (2005), o nabo forrageiro tem sido utilizado na entressafra nas regiões Sul, Centro-Oeste e no Estado de São Paulo, por apresentar rápido crescimento. Mesmo quando não adubado, o nabo forrageiro pode produzir de $2,0$ a $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS, porém, dependendo das condições climáticas. Os autores observaram $2,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MS produzida pelo nabo forrageiro em 30 dias de ciclo em clima subtropical, com uma precipitação pluviométrica acumulada de 251,4 mm. No presente estudo, na entressafra de 2008, em 66 dias de ciclo e precipitação pluviométrica acumulada de 188,6 mm, o nabo forrageiro produziu em média $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, e na entressafra de 2009, em 55 dias de ciclo e precipitação pluviométrica de 98 mm, a produção média de MS foi de $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Nos dois anos estudados, a exportação dos nutrientes pelos grãos de milho, sorgo e girassol na entressafra (Tabela 6), resultou em resíduos com menores quantidades acumuladas de N e P (Tabelas 10 e 11).

O milheto semeado em SS em 2008 acumulou a maior quantidade de N entre as culturas de entressafra trituradas no florescimento, em razão das maiores quantidades de MS produzidas após cultivo de soja no verão (Tabela 10). A crotalária acumulou maiores quantidades de N nos resíduos em relação ao nabo forrageiro nas sequências SM e MM em 2008, e na sequência SM em 2009. Crotalária e guandu foram semelhantes quanto ao acúmulo de N nos resíduos, com exceção da sequência SS na entressafra de 2009, em consequência da menor produção de MS pelo guandu.

Tabela 10. Nitrogênio acumulado na matéria seca das culturas de entressafra por ocasião da trituração em cada sequência de culturas de verão, no período de entressafra em 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	2008			2009		
	Sequências de verão					
	SM ¹	MM	SS	SM	MM	SS
	kg ha ⁻¹					
Crotalária	115,9 A	117,4 A	97,0 B	82,9 A	77,1 AB	64,5 AB
Guandu	106,3 AB	92,5 A	95,4 B	103,8 Aa	86,2 Aa	38,5 Bb
Nabo forrageiro	72,9 B	38,2 B	59,8 B	48,2 B	52,2 B	47,7 AB
Milheto	60,5 Bb	82,4 Ab	153,6 Aa	76,4 AB	60,7 AB	71,4 A
Média (florescimento)	88,9	82,6	101,5	77,8	69,1	55,5
Milho	19,8	20,0	21,0	27,3	20,3	19,4
Sorgo	15,1	16,3	30,1	37,4	42,2	28,1
Girassol	15,4	19,3	20,5	35,8	37,3	16,0
Média (colheita)	16,8	18,5	23,9	33,5	33,3	21,2
F (florescimento vs. colheita)	132,22**	106,33**	187,56**	23,87**	15,31**	10,88**

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

** : significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Na entressafra de 2008, na sequência SS, o milheto apresentou maior acúmulo de P entre as culturas trituradas no florescimento, e na sequência MM, os resíduos de milheto e crotalária apresentaram os maiores acúmulos de P (Tabela 11). Considerando o efeito das sequências de verão em cada cultura de entressafra, a sequência SS resultou no maior acúmulo de P pelo milheto, devido à maior produção de MS pelo milheto semeado após cultivo de soja no verão anterior. O nabo forrageiro semeado na sequência SM acumulou maiores quantidades de P, quando comparado ao nabo forrageiro semeado na sequência MM.

Em 2009, independentemente das sequências de verão, entre as culturas trituradas no florescimento, a crotalária acumulou maiores quantidades de P, quando comparada ao nabo forrageiro (Tabela 11). Entre as culturas conduzidas até a colheita dos grãos, os resíduos de milho apresentaram menor acúmulo de P, quando comparados aos resíduos de sorgo, decorrentes das menores concentrações desse nutriente na MS.

Tabela 11. Fósforo acumulado na matéria seca das culturas de entressafra por ocasião da trituração em cada sequência de culturas de verão, no período de entressafra em 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----			---- 2009 ----
	Sequências de verão			
	SM ¹	MM	SS	
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Crotalária	11,3	10,4 A	8,8 B	6,9 A
Guandu	7,4	5,6 B	7,1 B	5,4 AB
Nabo forrageiro	9,5 a	5,8 Bb	7,9 Bab	4,6 B
Milheto	9,5 b	10,7 Ab	15,8 Aa	6,1 AB
Média (florescimento)	9,4	8,1	9,9	5,7
Milho	0,6	1,6	0,9	1,0 B
Sorgo	0,8	1,2	1,9	3,4 A
Girassol	0,9	2,4	1,5	2,5 AB
Média (colheita)	0,8	1,7	1,4	2,3
F (florescimento vs. colheita)	290,81**	177,89**	159,46**	115,30**

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

** : significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

As culturas trituradas no florescimento acumularam maiores quantidades de K na MS nos dois anos estudados (Tabela 12), devido às maiores quantidades de MS dos resíduos dessas culturas de modo geral (Tabela 8). Entre as culturas manejadas no florescimento, nos dois anos, o milheto acumulou as maiores quantidades de K, devido às maiores concentrações do nutriente em seus resíduos e às maiores quantidades de MS produzida (Tabelas 5 e 8). Elevadas quantidades de K acumuladas na MS pelo milheto têm sido observadas em pesquisas realizadas em SSD (BRAZ et al., 2004; BOER et al., 2007). Na região do Cerrado, BOER et al. (2007) observaram um acúmulo de 417 kg ha⁻¹ de K em 10,8 Mg ha⁻¹ de MS produzida pelo milheto cultivar ADR 500, por ocasião do florescimento da cultura.

Entre as culturas com produção de grãos na entressafra, em 2008, menores acúmulos de K foram observados nos resíduos de milho e de sorgo e, em 2009, nos resíduos de milho, quando comparados aos de girassol (Tabela 12), o que se deve às baixas concentrações desse nutriente nos resíduos dessas culturas após a colheita dos grãos (Tabela 5).

Tabela 12. Potássio e cálcio acumulados na matéria seca das culturas de entressafra por ocasião da trituração, no período de entressafra de 2008 e de 2009.

Culturas de entressafra	Potássio		Cálcio	
	2008	2009	2008	2009
	kg ha ⁻¹			
Crotalária	93,2 B	63,5 B	39,8 B	27,2
Guandu	58,8 B	41,8 B	34,2 B	26,2
Nabo forrageiro	51,1 B	52,7 B	59,3 A	29,2
Milheto	143,7 A	118,1 A	23,7 B	23,8
Média (florescimento)	86,7	69,0	39,3	26,6
Milho	39,1 B	12,0 B	11,5 B	8,0 B
Sorgo	45,5 B	20,2 AB	13,7 B	12,6 B
Girassol	94,3 A	46,2 A	32,8 A	46,9 A
Média (colheita)	59,7	26,1	19,3	22,5
F (florescimento vs. colheita)	38,90**	81,00**	15,55**	4,44 ^{ns}

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

ns: não significativo (P > 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Nos resíduos de girassol, as maiores quantidades acumuladas de K são decorrentes das maiores concentrações do nutriente nos resíduos dessa oleaginosa. ZOBOLI et al. (2010) observaram elevada extração de K do solo pelo girassol semeado em outubro em um Latossolo Vermelho distroférrico com teor de K⁺ de 4,5 mmol_c dm⁻³ (0-20 cm), em Londrina, PR. Os autores quantificaram extração 190 kg ha⁻¹ de K pelo girassol aos 53 dias de ciclo e observaram que o processo de redistribuição do nutriente na planta não foi o mesmo daqueles observados para N e P, pois, o K foi direcionado ao capítulo, e não para os grãos, o que resultou em baixa exportação do nutriente. No presente estudo, o K exportado pelos grãos de girassol correspondeu a 10% do K acumulado nos resíduos dessa cultura, corroborando ZOBOLI et al. (2010), que afirmaram que 90-95% do K absorvido pelo girassol pode retornar ao solo pela decomposição de seus resíduos.

Na entressafra de 2008, os resíduos das culturas trituradas no florescimento apresentaram maiores quantidades acumuladas de Ca quando comparados àqueles daquelas culturas de entressafra conduzidas até a colheita dos grãos (Tabela 12). Entre as culturas trituradas no florescimento, o nabo forrageiro acumulou as maiores quantidades de Ca na MS na entressafra de 2008. Porém, o mesmo não foi observado

na entressafra de 2009, devido à menor produção de MS pelo nabo forrageiro nesse período (Tabela 8). Entre as culturas com colheita de grãos na entressafra, os resíduos de girassol acumularam as maiores quantidades de Ca nos dois anos. Considerando-se as elevadas quantidades de Ca nos resíduos de girassol e as baixas quantidades observadas nos grãos (Tabela 6), ficou evidente a baixa capacidade de redistribuição do nutriente na planta, resultados que corroboram os de ZOBOLI et al. (2010).

As baixas quantidades de Ca nos resíduos de milheto, entre as culturas trituradas no florescimento, e nos resíduos de milho e sorgo, entre as culturas conduzidas até a colheita dos grãos (Tabela 12), são decorrentes das menores concentrações desse nutriente na MS dessas culturas (Tabela 5) e evidenciam a baixa exigência dessas gramíneas por esse nutriente. Reforçando essa afirmação, as quantidades de Ca exportadas pelos grãos de milho e sorgo também foram baixas (Tabela 6). Resultados semelhantes foram obtidos por BORDIN et al. (2003), na mesma região do presente estudo e com o mesmo cultivar de milheto (BN-2) semeado na entressafra, em março. Após 70 dias de ciclo, os autores observaram acúmulo de 18,3 kg ha⁻¹ de Ca em 9,6 Mg ha⁻¹ de MS.

As maiores quantidades acumuladas de Mg foram observadas nos resíduos das culturas trituradas no florescimento (Tabela 13), resultado atribuído às maiores concentrações de Mg nos resíduos dessas culturas, quando comparadas àsquelas dos resíduos das culturas que foram conduzidas até a colheita dos grãos (Tabela 5).

Em 2008, entre as culturas manejadas no florescimento, na sequência SM, a crotalária acumulou maiores quantidades de Mg em relação ao guandu; na sequência MM, o milheto acumulou maiores quantidades de Mg em seus resíduos, quando comparado ao guandu; e na sequência SS, o milheto acumulou a maior quantidade de Mg entre as culturas manejadas no florescimento (Tabela 13). No milheto, o acúmulo de Mg foi maior na sequência SS, após cultivo de soja no verão, devido ao maior crescimento e produção de MS pelo milheto nessa sequência de verão (Tabela 8). Efeito semelhante pôde ser observado nos resíduos de sorgo, que acumularam maiores quantidades de Mg após cultivo de soja no verão. Já o nabo forrageiro, acumulou mais

Mg em seus resíduos na sequência SM, quando comparado ao nabo semeado na sequência MM, resultado relacionado à produção de MS pelo nabo forrageiro.

Tabela 13. Magnésio acumulado na matéria seca das culturas de entressafra por ocasião da trituração em cada sequência de culturas de verão na entressafra de 2008 e independentemente da sequência de verão na entressafra de 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----			---- 2009 ----
	Sequências de verão			
	SM ¹	MM	SS	
	kg ha ⁻¹			
Crotalária	16,9 A	12,7 AB	10,9 B	9,3 B
Guandu	7,9 B	7,1 B	8,6 B	6,3 B
Nabo forrageiro	14,1 ABa	11,9 ABb	13,7 Bab	5,8 B
Milheto	12,6 ABb	17,8 Ab	27,5 Aa	15,2 A
Média (florescimento)	12,9	12,4	15,2	9,2
Milho	10,8	10,7	8,9	3,2 B
Sorgo	7,6 ab	5,9 b	15,5 a	7,1 B
Girassol	6,5	6,9	7,5	12,0 A
Média (colheita)	8,3	7,8	10,6	7,4
F (florescimento vs. colheita)	8,08**	6,87*	5,14*	11,90**

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

*: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Na entressafra de 2009, independentemente das sequências de culturas de verão, as maiores quantidades acumuladas de Mg foram observadas nos resíduos de milheto, entre as culturas manejadas no florescimento (Tabela 13), devido às maiores produções de MS (Tabela 8), e nos resíduos de girassol, entre as culturas conduzidas até a colheita dos grãos, devido à maior concentração de Mg em seus resíduos (Tabela 5).

As culturas manejadas no florescimento acumularam maiores quantidades de S na MS (Tabela 14), em decorrência das maiores concentrações de S nos resíduos dessas culturas (Tabela 5).

Na entressafra de 2008, nas sequências SM e MM, o maior acúmulo de S foi observado nos resíduos do nabo forrageiro (Tabela 14), devido às maiores concentrações desse nutriente em seus resíduos (Tabela 5). Na sequência SS, o

milheto acumulou a maior quantidade de S na MS, seguido pelo nabo forrageiro, o qual acumulou maiores quantidades de S que a crotalária e o guandu na entressafra. Considerando o efeito das sequências de culturas de verão, o maior acúmulo de S pelo milheto foi observado na sequência SS, resultado atribuído à maior produção de MS pelo milheto cultivado após soja.

Tabela 14. Enxofre acumulado na matéria seca das culturas de entressafra por ocasião da trituração em cada sequência de culturas de verão, na entressafra de 2008, e independentemente da sequência de verão, na entressafra de 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----			---- 2009 ----
	Sequências de verão			
	SM ¹	MM	SS	
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Crotalária	7,8 B	6,8 BC	5,6 C	4,6 C
Guandu	4,2 C	4,2 C	3,7 C	5,1 BC
Nabo forrageiro	14,4 A	12,3 A	12,8 B	12,4 A
Milheto	7,2 BCb	8,9 Bb	16,5 Aa	8,4 B
Média (florescimento)	8,4	8,1	9,7	7,6
Milho	1,7	2,1	1,8	1,6
Sorgo	1,7	2,1	3,5	4,1
Girassol	2,5	2,7	2,1	3,6
Média (colheita)	2,0	2,3	2,5	3,1
F (florescimento vs. colheita)	76,89**	101,00**	114,73**	118,46**

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

** : significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Na entressafra de 2009, independentemente das sequências de culturas de verão, a maior quantidade acumulada de S foi observada nos resíduos de nabo forrageiro, seguida pelo acúmulo dos resíduos de milheto, os quais apresentaram maiores quantidades de S quando comparados aos resíduos de crotalária (Tabela 14).

Ao analisarem-se simultaneamente os valores relativos de produção de MS e dos nutrientes acumulados pelas culturas de entressafra em relação à maior média observada em cada ano agrícola, observou-se melhor desempenho do milheto cultivado após soja (sequência SS) na entressafra de 2008, quando comparado àqueles das demais sequências de verão, devido aos maiores valores relativos de produção de MS e acúmulos de N, P, K, Mg e S nos resíduos (Figura 8a).

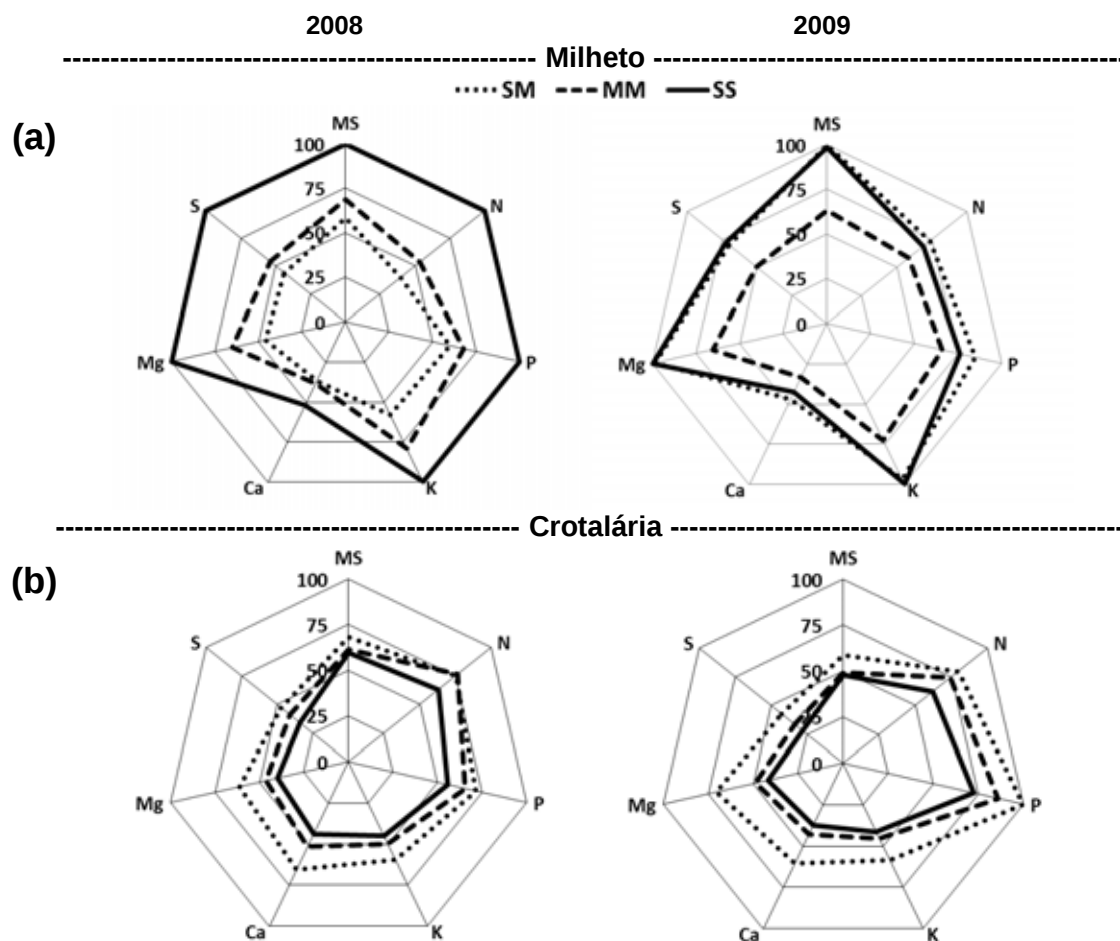


Figura 8. Produção relativa de matéria seca (MS) e acúmulo relativo de N, P, K, Ca, Mg e S por milheto (a) e crotalária (b), por ocasião do manejo em cada sequência de culturas de verão em 2008 e 2009. SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

Em 2009, após cultivo de soja, nas sequências SM e SS, os resíduos de milheto apresentaram os maiores valores relativos de produção de MS e acúmulo de K e Mg (Figura 8a). Após cultivo de soja, apesar dos resíduos de milheto não terem atingido os valores máximos relativos de N, P e S, como observado no ano agrícola anterior, esses valores foram superiores a 75%. Portanto, no presente estudo, o milheto demonstrou potencial de utilização como cultura de entressafra, por produzir elevadas quantidades de MS e com elevadas quantidades de nutrientes, principalmente após cultivo de soja.

Nos dois anos, a crotalária cultivada na sequência SM apresentou melhor desempenho, quando comparada à crotalária das sequências MM e SS (Figura 8b),

inclusive, acumulando a maior quantidade de P nos resíduos na entressafra de 2009. Com exceção do S, os valores relativos de MS e dos demais nutrientes nos resíduos da crotalária na sequência SM atingiram valores superiores a 50%, demonstrando potencial de utilização da crotalária como cultura de entressafra na região do presente estudo. Entretanto, nos dois anos, o desempenho da crotalária foi relativamente pior quando cultivada em sucessão à soja da sequência SS. Esse resultado pode ser atribuído à inibição do processo de fixação biológica de N pela crotalária, devido ao aumento do N disponível no solo (REIS et al., 2006), resultante do cultivo sucessivo de leguminosas nessa combinação de culturas.

Na entressafra de 2008, o guandu não foi influenciado pelas sequências de culturas de verão, apresentando desempenho semelhante nas três sequências (Figura 9a). Os maiores valores relativos nos resíduos de guandu foram observados para os acúmulos de N, P e Ca, próximos a 50%, apresentando desempenho limitado para sua utilização como cultura de entressafra de modo geral. Em 2009, o menor crescimento do guandu cultivado na sequência SS resultou em baixos valores relativos de produção de MS e dos nutrientes acumulados nos resíduos. Entretanto, nas sequências SM e SS, o guandu apresentou elevados valores relativos de N e P, e no caso do N, atingiu o maior acúmulo de N na entressafra de 2009.

O nabo forrageiro demonstrou elevada capacidade em acumular S nos resíduos, atingindo valores relativos superiores a 75% nos dois anos (Figura 9b). Na entressafra de 2008, o nabo forrageiro cultivado na sequência SM apresentou o maior acúmulo de Ca nos resíduos. Entretanto, o nabo forrageiro apresentou baixos valores relativos de K acumulado nos resíduos nos dois anos e baixos valores relativos de produção de MS em 2009, em decorrência do menor crescimento na entressafra desse último ano.

Nos dois anos, milho e sorgo apresentaram baixos valores relativos dos nutrientes acumulados em seus resíduos (Figura 10), decorrentes do estado de senescência dos tecidos e da exportação dos nutrientes. Resultados semelhantes foram observados nos resíduos de girassol cultivado na entressafra de 2008. No entanto, em 2009, devido ao maior acúmulo de Ca e Mg nos resíduos de girassol e a baixa exportação pelos grãos, observaram-se elevados valores relativos desses

nutrientes em seus resíduos nas sequências SM e MM. O menor desenvolvimento do girassol na sequência SS em 2009 resultou em baixos valores relativos de MS produzida e dos nutrientes acumulados nos resíduos.

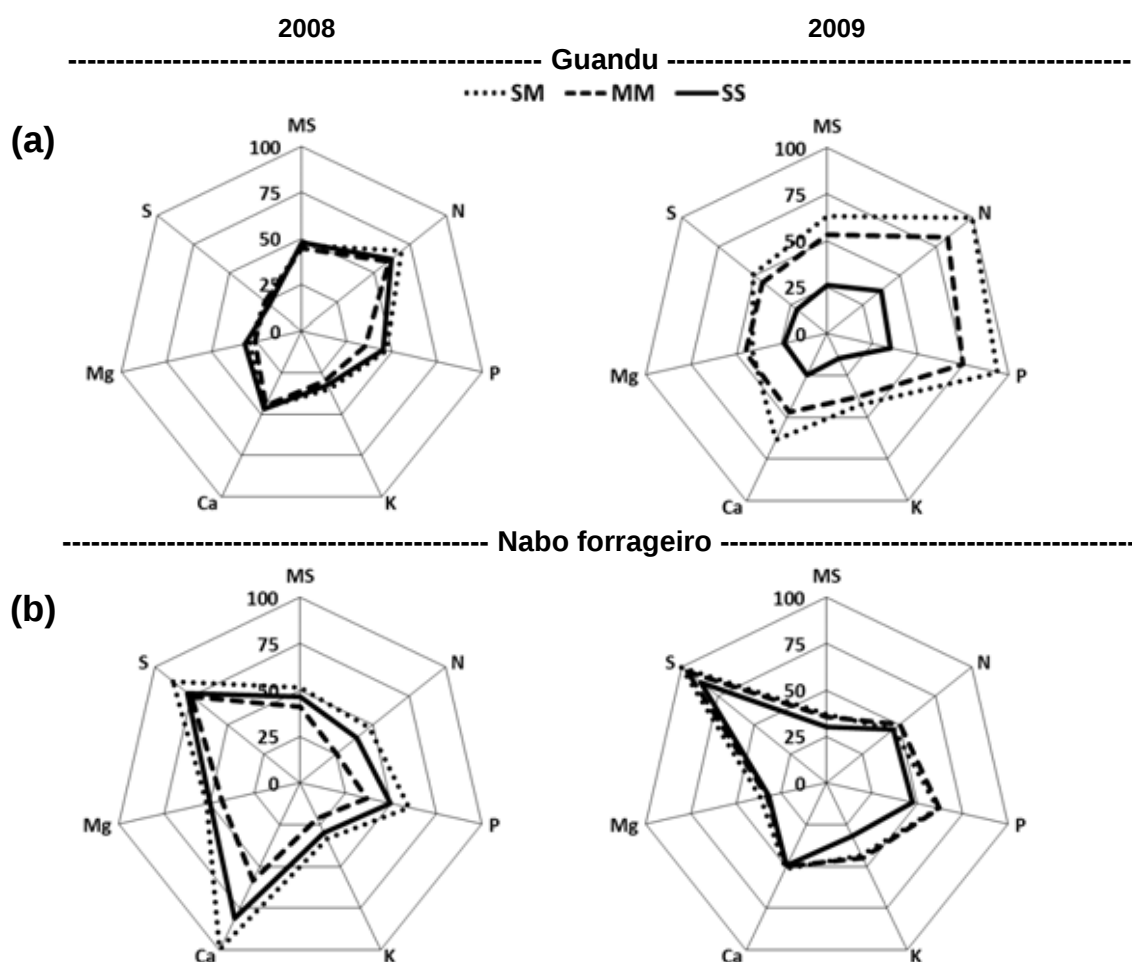


Figura 9. Produção relativa de matéria seca (MS) e acúmulo relativo de N, P, K, Ca, Mg e S por guandu (a) e nabo forrageiro (b), por ocasião da trituração em cada sequência de culturas de verão em 2008 e 2009. SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

Em suma, considerando o desempenho de cada cultura de entressafra nos dois anos estudados, o milho apresentou as maiores produções de MS e os maiores acúmulos de K e Mg nos resíduos, principalmente quando em sucessão ao cultivo de soja no verão anterior. Crotalária, principalmente na sequência SM, apresentou maior capacidade em produzir resíduos com elevadas quantidades de nutrientes, porém, com

exceção do S, nutriente o qual foi acumulado em maiores quantidades nos resíduos de nabo forrageiro. O guandu apresentou valores relativos de MS e de nutrientes limitados, principalmente em 2008, e também na sequência SS, na entressafra de 2009. No geral, as culturas com colheita de grãos na entressafra produziram resíduos com baixas quantidades de nutrientes.

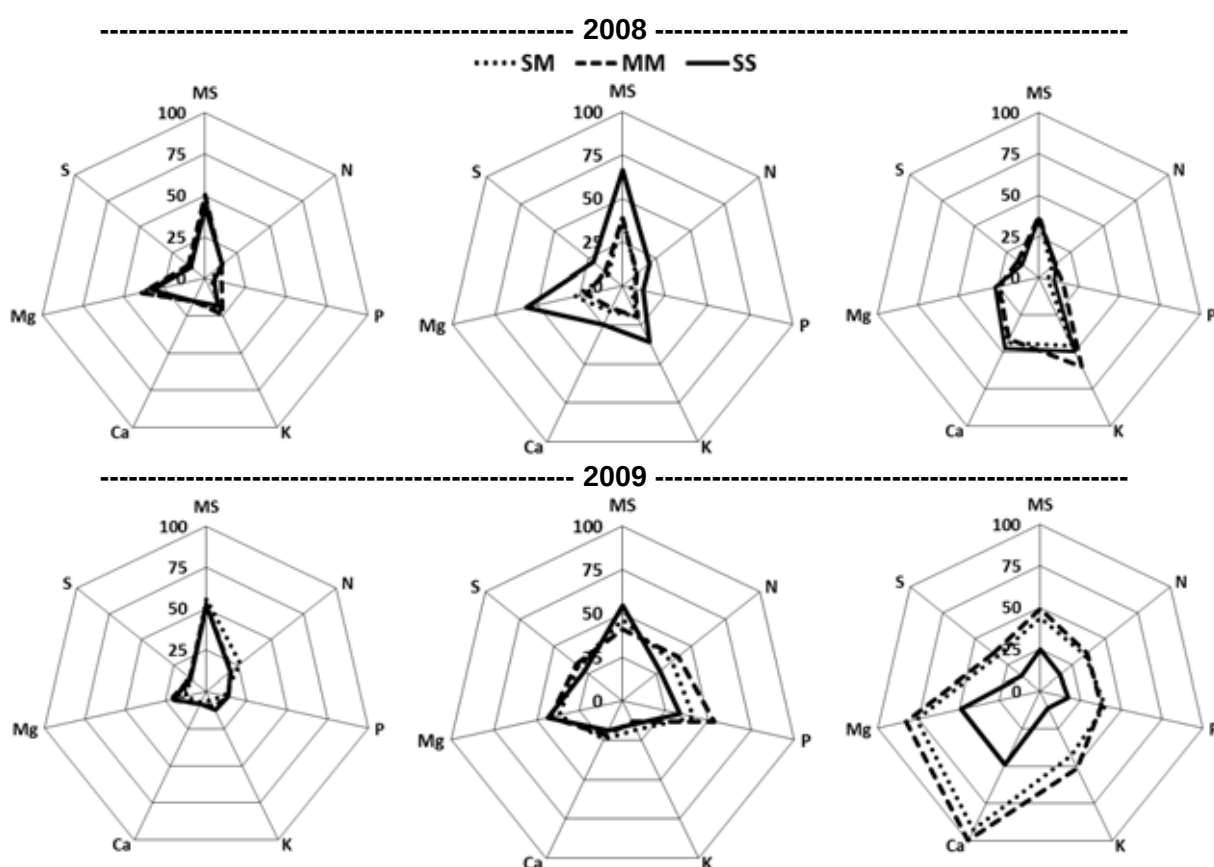


Figura 10. Produção relativa de matéria seca (MS) e acúmulo relativo de N, P, K, Ca, Mg e S por milho, sorgo e girassol por ocasião da colheita em cada sequência de culturas de verão em 2008 e 2009. SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

4.2. Decomposição dos resíduos das culturas de entressafra

A análise de variância apresentou interação entre culturas de entressafra e os períodos de amostragem quanto às porcentagens de MS e dos nutrientes remanescentes nas sacolas de decomposição (Tabela 15). As sequências de verão não influenciaram a decomposição e a liberação dos nutrientes dos resíduos das culturas.

Tabela 15. Resultados da análise de variância (Teste F) para as avaliações da decomposição e liberação dos nutrientes dos resíduos das culturas de entressafra em 2008 e 2009.

Fontes de variação	Matéria seca	N	P	K	Ca	Mg	S
----- 2008 -----							
Sequência de verão (V)	1,16 ^{ns}	6,36 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,35 ^{ns}	2,89 ^{ns}	1,63 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Entressafra (E)	6,33 ^{**}	8,23 ^{**}	5,85 ^{**}	22,03 ^{**}	1,90 ^{ns}	2,74 ^{ns}	28,00 ^{**}
Interação V x E	1,71 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,67 ^{ns}
Períodos (P)	2.224,19 ^{**}	920,35 ^{**}	74,51 ^{**}	2.207,45 ^{**}	602,81 ^{**}	925,27 ^{**}	69,83 ^{**}
Interação P x V	1,81 ^{ns}	1,83 [*]	1,30 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,70 ^{ns}
Interação P x E	6,20 ^{**}	10,23 ^{**}	6,63 ^{**}	22,34 ^{**}	6,46 ^{**}	7,70 ^{**}	12,60 ^{**}
Interação P x V x E	1,22 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,81 ^{ns}
CV _V (%)	8,1	28,8	61,9	27,5	14,9	24,0	60,5
CV _E (%)	9,5	28,5	82,3	29,6	35,4	34,1	57,5
CV _P (%)	5,7	24,7	98,8	32,6	36,8	39,4	51,4
----- 2009 -----							
Sequência de verão (V)	2,57 ^{ns}	3,45 ^{ns}	2,16 ^{ns}	0,64 ^{ns}	3,65 ^{ns}	2,04 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Entressafra (E)	113,06 ^{**}	24,10 ^{**}	9,27 ^{**}	8,08 ^{**}	17,83 ^{**}	50,64 ^{**}	13,5 ^{**}
Interação V x E	2,03 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,94 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Períodos (P)	3.503,26 ^{**}	837,88 ^{**}	856,60 ^{**}	1.068,36 ^{**}	336,80 ^{**}	1.689,25 ^{**}	924,06 ^{**}
Interação P x V	1,31 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Interação P x E	28,30 ^{**}	15,33 ^{**}	11,03 ^{**}	8,58 ^{**}	9,78 ^{**}	21,35 ^{**}	8,08 ^{ns}
Interação P x V x E	1,27 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,62 ^{ns}
CV _V (%)	5,0	20,2	47,4	65,4	20,9	29,4	39,9
CV _E (%)	7,5	28,5	35,2	59,0	33,3	18,9	33,1
CV _P (%)	5,4	32,0	45,3	43,9	23,1	28,9	45,9

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Na entressafra de 2009, os resíduos de crotalária, milho, sorgo e girassol apresentaram menores taxas de decomposição, quando comparados aos resíduos de nabo forrageiro (Figuras 11b e 12b). Na entressafra de 2008, não foram observadas diferenças nos valores das constantes (K_0) das equações que descrevem o processo de decomposição dos resíduos das culturas de entressafra ao longo do tempo (Figura 12a). No entanto, passados os 180 dias do período de decomposição dos resíduos das culturas de entressafra de 2008, as maiores porcentagens remanescentes de MS que permaneceram na superfície do solo foram observadas nos resíduos de crotalária, milho, sorgo e girassol, quando comparadas àquelas dos resíduos de nabo forrageiro, guandu e milheto (Figura 11a).

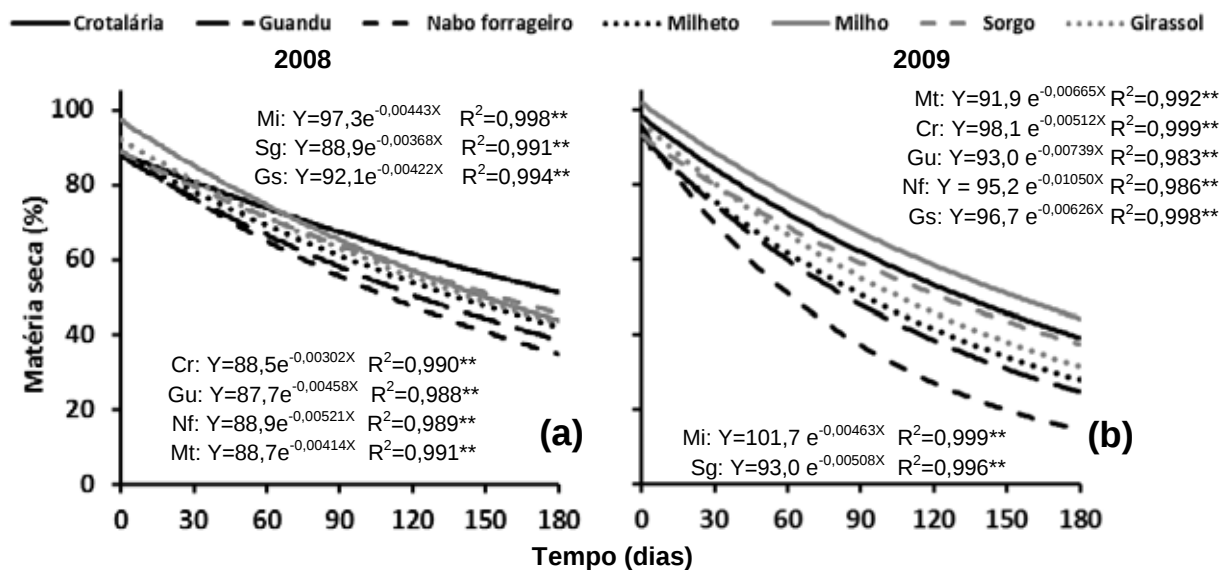


Figura 11. Matéria seca remanescente dos resíduos das culturas sobre o solo ao longo do tempo no período de entressafra dos anos de 2008 (a) e de 2009 (b). Cr: crotalária; Gu: guandu; Nf: nabo forrageiro; Mt: milheto; Mi: milho; Sg: sorgo; Gs: girassol. **: significativo ($P < 0,01$).

De modo geral, observaram-se maiores taxas de decomposição dos resíduos na entressafra de 2009, quando comparadas àquelas do mesmo período de 2008 (Figuras 11a, 11b, 12a e 12b), fato atribuído à maior ocorrência de chuvas no período de decomposição dos resíduos em 2009 (Tabela 1). Esse resultado é devido ao efeito físico do impacto das gotas de chuva sobre os resíduos vegetais e à combinação da maior umidade do solo com temperatura média do ar superior a 20 °C ocorridas nesse período de 2009, favorecendo a atividade microbiológica do solo (SKOPP et al., 1990), contribuindo para o aumento das taxas de decomposição dos resíduos.

Os resíduos de milho, sorgo e girassol demonstraram maior resistência à decomposição em relação às demais culturas de entressafra, pois, mesmo expostos a maiores ocorrências de chuvas e elevadas temperaturas no período de decomposição em 2009 (Tabela 1), as taxas de decomposição dessas culturas pouco se alteraram entre os anos de avaliação, ao contrário das taxas das demais culturas de entressafra (Figuras 12a e 12b).

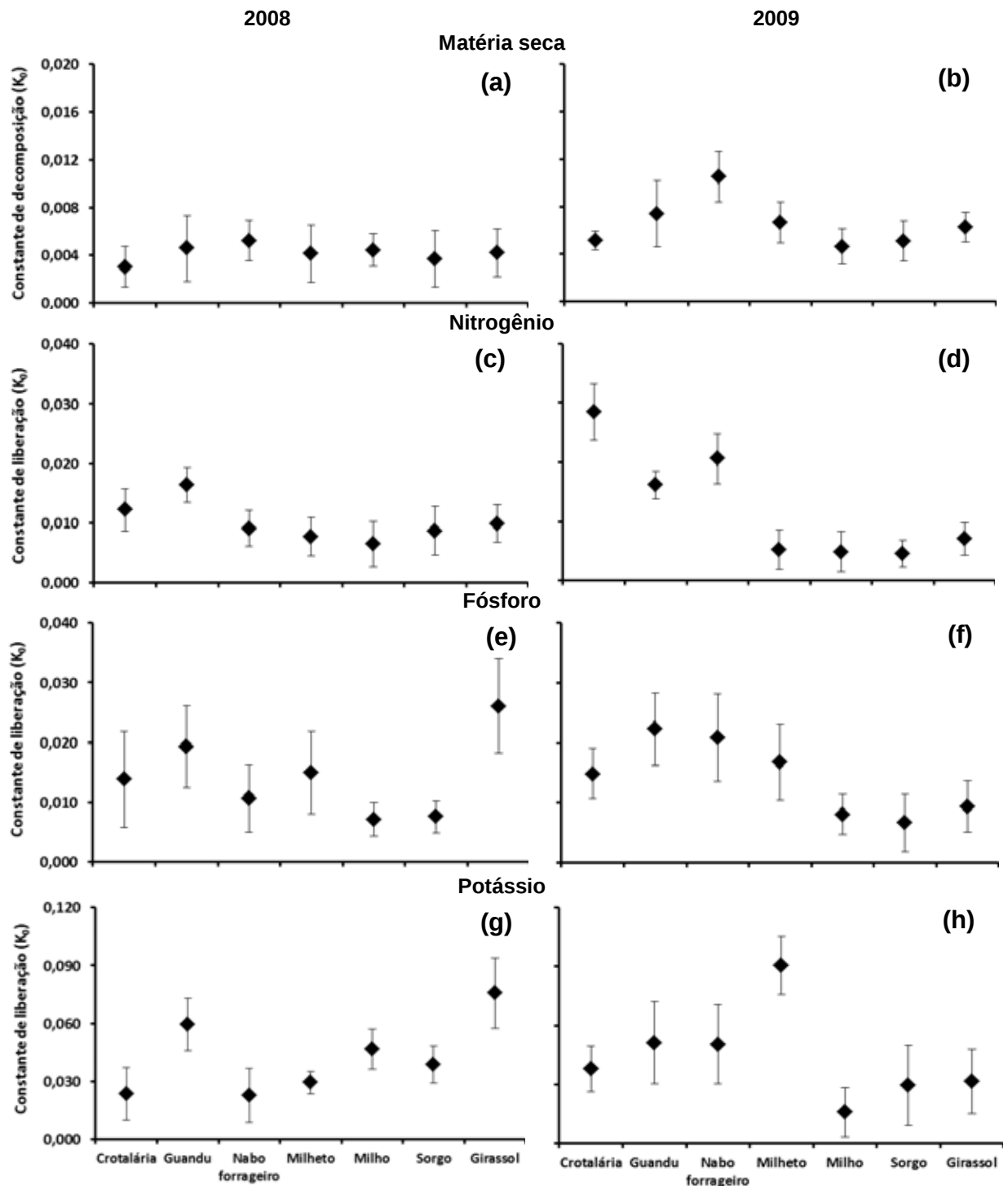


Figura 12. Constantes (K_0) das equações ajustadas para a decomposição da matéria seca (a, b) e a liberação de nitrogênio (c, d), fósforo (e, f) e potássio (g, h) dos resíduos das culturas de entressafra nos anos de 2008 e 2009. As barras verticais representam o intervalo de confiança do parâmetro K_0 ($P = 0,05$).

A maior resistência à decomposição dos resíduos de milho, sorgo e girassol se deve ao manejo de condução até a colheita dos grãos, que resultou em resíduos com baixas concentrações de N (Tabela 5) e, portanto, com maiores valores de relação C:N e lignina:N (Tabela 3).

O estágio de desenvolvimento da cultura de entressafra, no momento em que se realizou o manejo, interferiu na qualidade dos resíduos vegetais e, portanto, na taxa de decomposição. Segundo BERG (2000), os nutrientes presentes nos resíduos adicionados ao solo, principalmente o N, favorecem à atividade dos microrganismos, provocando rápido crescimento de sua população e, portanto, contribuindo para maiores taxas de decomposição na fase inicial do processo. Entretanto, na região do Cerrado brasileiro, informações da relação C:N dos resíduos por si só não representam bem o processo de decomposição, por não considerar a qualidade da fonte do C (CARVALHO et al., 2009). Para tanto, esses autores recomendaram a inclusão de informações relacionadas à composição química dos resíduos vegetais, como a presença e as concentrações de compostos aromáticos.

No presente estudo, além da relação C:N, a análise das concentrações de lignina foi importante na caracterização dos materiais vegetais deixados sobre o solo, pois, observou-se que os resíduos de crotalária, apesar de possuírem menor relação C:N, apresentaram menores taxas de decomposição, devido às maiores concentrações de lignina em seus resíduos (Tabela 3). MANSOER et al. (1997), ao particionarem plantas de crotalária após 12 semanas da semeadura, observaram maiores concentrações de lignina (184 g kg^{-1}) e relação C:N (38) nos caules, quando comparadas às concentrações nas folhas da cultura (lignina = 64 g kg^{-1} e relação C:N = 11). Deste modo, no presente estudo, as maiores concentrações de lignina nos caules da crotalária proporcionaram menores taxas de decomposição.

Apesar de os resíduos de guandu terem apresentado valores de relação C:N e lignina:N semelhantes aos de crotalária (Tabela 3), as maiores taxas de decomposição dos resíduos de guandu podem ser atribuídas à maior ocorrência de chuvas no período que os resíduos foram expostos à decomposição (Tabela 1), o que proporcionou maior

desfragmentação dos resíduos na superfície do solo pela ação das gotas de chuva e, portanto, taxa de decomposição relativamente maior.

Ao final de cada ano agrícola, ou seja, ao término do período de entressafra de 2008 e 2009, em média, as maiores quantidades estimadas de resíduos remanescentes na superfície do solo foram observadas nos resíduos das culturas que foram conduzidas até a colheita dos grãos (Tabela 16). Esse resultado é devido à maior recalcitrância dos resíduos dessas culturas (Tabela 3) e ao menor tempo de exposição a fatores de decomposição, quando comparados àqueles dos resíduos das culturas manejadas no florescimento (Figura 3), os quais apresentaram as maiores quantidades de MS decomposta no período considerado, nos dois anos estudados.

Tabela 16. Matéria seca decomposta no período de entressafra após a trituração das culturas e as quantidades remanescentes na superfície do solo ao final do período de entressafra dos anos de 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----				----- 2009 -----			
	Decomposta		Remanescente		Decomposta		Remanescente	
	Mg ha ⁻¹	%	Mg ha ⁻¹	%	Mg ha ⁻¹	%	Mg ha ⁻¹	%
Crotalária	2,3 B	(41)	3,4 A	(59)	2,2 B	(62)	1,6 A	(38)
Guandu	1,9 C	(47)	2,2 B	(53)	2,2 B	(62)	1,3 A	(38)
Nabo forrageiro	2,4 B	(56)	1,7 B	(44)	2,2 B	(77)	0,3 B	(23)
Milheto	3,4 A	(49)	3,4 A	(51)	4,6 A	(66)	1,8 A	(34)
Média (florescimento)	2,5		2,7		2,8		1,3	
Milho	0,9	(20)	3,4	(80)	1,2	(31)	2,7 A	(69)
Sorgo	1,1	(25)	3,3	(75)	1,4	(39)	2,1 AB	(61)
Girassol	0,8	(25)	2,4	(75)	1,2	(42)	1,6 B	(58)
Média (colheita)	0,9		3,0		1,3		2,1	
F (florescimento vs. colheita)	564,74**		9,15*		154,68**		48,92**	

* significativo (P < 0,05); ** significativo (P < 0,01).

Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação à produção total de matéria seca.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Entre as culturas trituradas no florescimento, a maior recalcitrância dos resíduos de crotalária e as elevadas quantidades produzidas de MS pelo milheto contribuíram para as maiores quantidades estimadas de MS remanescente no final da entressafra nos dois anos (Tabela 16). O nabo forrageiro, além da baixa produção de MS na entressafra de 2009, apresentou resíduos com rápida decomposição, o que resultou na menor quantidade de MS remanescente no final da entressafra de 2009.

As condições climáticas favoráveis à decomposição dos resíduos em 2009 resultaram em maiores porcentagens de MS decomposta na entressafra de 2009 (Tabela 16). Além disso, as menores quantidades remanescentes na superfície do solo no final do período de entressafra em 2009 foram atribuídas às menores quantidades produzidas pelas culturas de entressafra em 2009 (Tabela 8). No final do período de entressafra de 2009, entre as culturas que foram conduzidas até a colheita dos grãos, o girassol apresentou as menores quantidades de resíduos remanescentes, quando comparado ao milho.

As menores taxas de liberação de N foram observadas nos resíduos de milheto, milho, sorgo e girassol, quando comparadas às taxas dos resíduos de guandu, na entressafra de 2008 (Figuras 12c e 13a), e quando comparadas às taxas dos resíduos de crotalária, guandu e nabo forrageiro na entressafra de 2009 (Figuras 12d e 13b).

As maiores quantidades acumuladas de N nos resíduos das culturas manejadas no florescimento (Tabela 10) resultaram nas maiores quantidades liberadas no período de decomposição nos dois anos (Tabela 17), em especial nos resíduos de crotalária e guandu, por serem leguminosas.

Mesmo liberando as maiores quantidades de N durante o período da entressafra, os resíduos das culturas trituradas no florescimento apresentaram maiores quantidades remanescentes do nutriente no final do período de entressafra em 2008 (Tabela 17). Porém, a maior ocorrência de chuvas no período de entressafra de 2009 favoreceu o aumento das taxas de liberação de N dos resíduos (Figuras 12c e 12d), o que resultou em baixas quantidades remanescentes de N nos resíduos de crotalária, guandu e nabo forrageiro ao final do período de entressafra de 2009. Consequentemente, as culturas conduzidas até a colheita dos grãos na entressafra apresentaram, em média, maiores quantidades remanescentes de N ao final do período de entressafra de 2009. Entre as culturas trituradas no florescimento, a maior quantidade remanescente de N foi observada nos resíduos de milheto nos dois anos, relativa a aproximadamente 25 kg ha⁻¹ de N, em média.

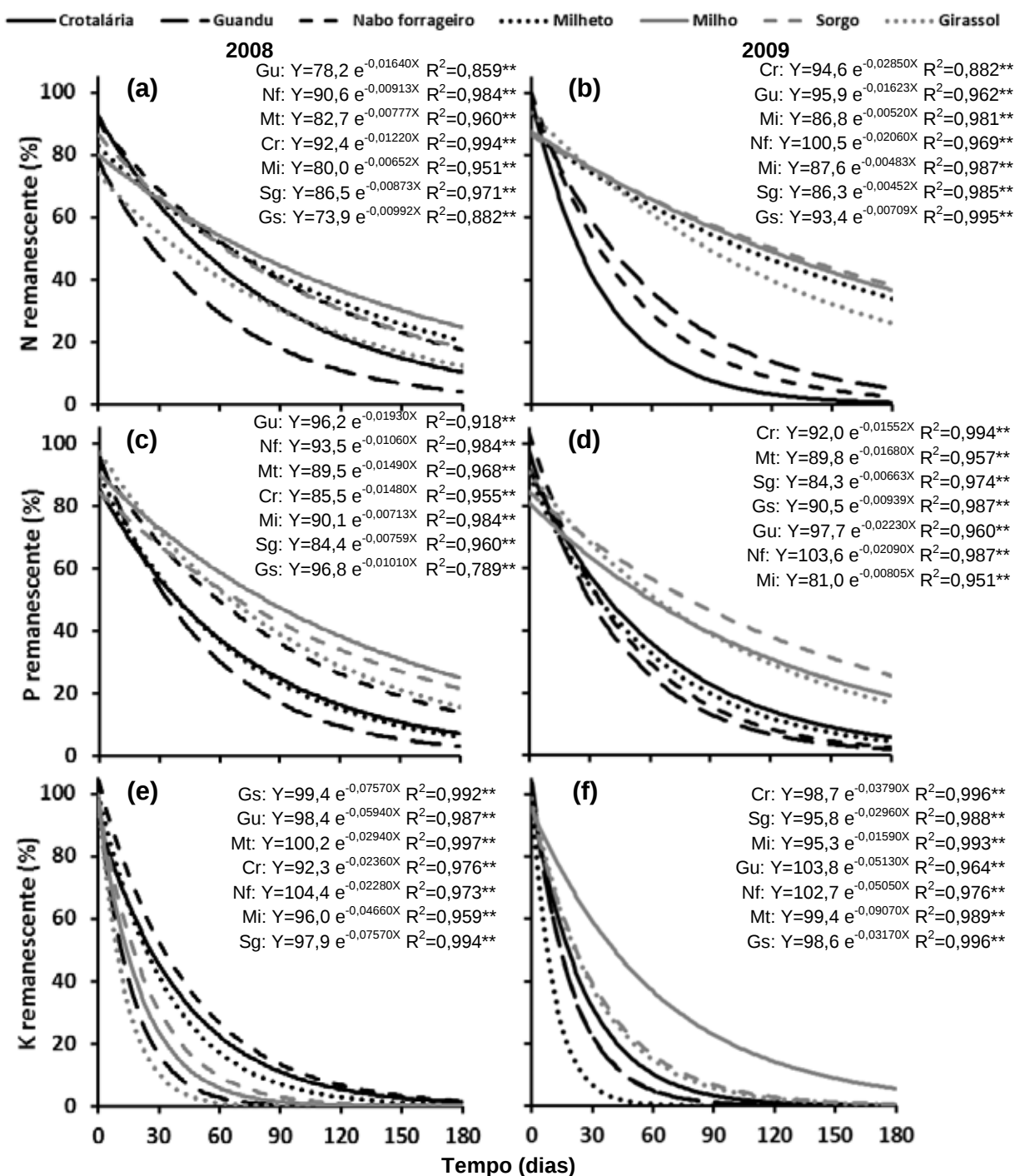


Figura 13. Nitrogênio (a, b), fósforo (c, d) e potássio (e, f) remanescentes nos resíduos das culturas de entressafra sobre o solo ao longo do tempo no período de entressafra dos anos de 2008 e de 2009. Cr: crotalária; Gu: guandu; Nf: nabo forrageiro; Mt: milheto; Mi: milho; Sg: sorgo; Gs: girassol. **: significativo ($P < 0,01$).

Tabela 17. Nitrogênio liberado dos resíduos no período de entressafra após a trituração das culturas e as quantidades remanescentes nos resíduos ao final do período de entressafra dos anos de 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----				----- 2009 -----			
	Liberado		Remanescente		Liberado		Remanescente	
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Crotalaria	89,0 A	(76)	21,1 A	(24)	74,2 A	(82)	0,6 C	(18)
Guandu	85,0 A	(72)	13,0 B	(28)	66,4 AB	(68)	9,8 B	(32)
Nabo forrageiro	43,6 B	(71)	13,4 B	(29)	48,5 BC	(98)	0,9 BC	(2)
Milheto	71,3 A	(65)	27,5 A	(35)	46,0 C	(59)	23,5 A	(41)
Média (florescimento)	72,2		18,8		58,8		8,7	
Milho	8,2	(40)	12,1	(60)	9,2	(41)	13,1 B	(59)
Sorgo	8,5	(42)	12,0	(58)	14,6	(41)	21,3 A	(59)
Girassol	10,0	(55)	8,4	(45)	14,3	(48)	15,4 B	(52)
Média (colheita)	8,9		10,8		12,7		16,6	
F (florescimento vs. colheita)	397,21**		45,36**		245,10**		10,09**	

** significativo (P < 0,01).

Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação ao acúmulo total do nutriente.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Os nutrientes remanescentes nos resíduos das culturas ao final do ano agrícola são importantes pelo fato da liberação ocorrer gradualmente durante o ciclo de desenvolvimento das culturas de verão (SILVA et al., 2006a), sobretudo quanto aos resíduos de milho, que no presente estudo, apresentaram elevada capacidade em acumular N (Tabela 10) e com menores taxas de decomposição e de liberação do nutriente (Figuras 12a, 12b, 12c e 12d), constituindo-se uma importante estratégia de ciclagem de N na entressafra.

Os resíduos de milho, sorgo e girassol, os quais apresentaram menores quantidades acumuladas de P (Tabela 11) e maiores valores de relação C:P (Tabela 3), foram aqueles que liberaram as menores quantidades de P durante o período de decomposição (Tabela 18). Além disso, ao final do período de cada entressafra, as quantidades remanescentes nos resíduos de todas as culturas de entressafra foram pequenas. A maior liberação de P dos resíduos foi observada nos resíduos de milho e, em 2008, o P liberado dos resíduos correspondeu a aproximadamente 10 kg ha⁻¹ de P, em média.

Tabela 18. Fósforo liberado dos resíduos no período de entressafra após a trituração das culturas e as quantidades remanescentes nos resíduos ao final do período de entressafra dos anos de 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----				----- 2009 -----			
	Liberado		Remanescente		Liberado		Remanescente	
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Crotalária	8,7 AB	(86)	1,5	(14)	6,4 A	(74)	0,5	(26)
Guandu	5,9 B	(83)	0,8	(17)	5,1 AB	(82)	0,3	(18)
Nabo forrageiro	6,2 B	(75)	1,5	(25)	4,5 B	(98)	0,1	(2)
Milheto	10,7 A	(77)	1,3	(23)	5,8 AB	(80)	0,3	(20)
Média (florescimento)	7,9		1,3		5,5		0,3	
Milho	0,4	(32)	0,7	(68)	0,6	(58)	0,4 C	(42)
Sorgo	0,5	(40)	0,8	(60)	1,8	(52)	1,7 A	(48)
Girassol	0,7	(32)	0,9	(68)	1,5	(58)	1,1 B	(42)
Média (colheita)	0,5		0,8		1,3		1,1	
F (florescimento vs. colheita)	331,84**		9,60**		253,81**		25,09**	

** significativo (P < 0,01).

Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação ao acúmulo total do nutriente.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Esses resultados evidenciam as baixas quantidades de P absorvidas pelas culturas de entressafra e liberadas na decomposição dos resíduos, mesmo naquelas que foram trituradas no florescimento, as quais não tiveram os nutrientes exportados pela colheita dos grãos. TEIXEIRA et al. (2010) avaliaram a decomposição e a liberação de P dos resíduos de milho após dessecação química em SSD na região de Lavras, MG. Os autores semearam o milho (cultivar ADR-500) em março e, após 143 dias de ciclo, quantificaram acúmulo de 3,8 kg ha⁻¹ de P na MS e observaram que, após 68 dias da dessecação, 2,0 kg ha⁻¹ foram liberados dos resíduos, cerca de 50% do P acumulado. No presente estudo, no geral, as porcentagens de P liberados dos resíduos superaram as observadas por TEIXEIRA et al. (2010), provavelmente, em decorrência da trituração dos resíduos de milho com triturador de resíduos vegetais tratorizado, que resultou em maior desfragmentação dos resíduos e, portanto, resultou em maiores taxas de decomposição da MS e de liberação do nutriente.

Acredita-se que o P liberado pelos resíduos das culturas ao solo pouco influencie as culturas em sucessão em curto prazo, devido às baixas quantidades liberadas e à fixação do elemento às partículas minerais do solo (NOVAIS et al., 2007). Contudo, ao longo do tempo, pode ocorrer efeito cumulativo do P liberado anualmente pelas

culturas, contribuindo para compor uma fração orgânica do nutriente no solo, e pela imobilização do P na biomassa microbiana (TAKEDA et al., 2009). Segundo ANDRADE & MENDONÇA (2003), os compostos orgânicos fosfatados liberados pelos resíduos vegetais reduzem a capacidade do solo em adsorver o P e, dessa maneira, aumentam a disponibilidade do nutriente no solo.

Entre os nutrientes avaliados no presente estudo, o K foi o que apresentou as maiores taxas de liberação pelos resíduos (Figuras 12g, 12h, 13e e 13f). Isso pode ser explicado pelo fato desse nutriente ser facilmente extraído dos tecidos das plantas pela água, por se encontrar na forma iônica, não participando de compostos orgânicos estáveis na planta (MENGEL & KIRKBY, 2001). Portanto, ao final de cada ano agrícola, praticamente todo o K já havia sido liberado dos resíduos de crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto (Tabela 19), culturas que foram manejadas no florescimento.

Tabela 19. Potássio liberado dos resíduos no período de entressafra após a trituração das culturas e as quantidades remanescentes nos resíduos ao final do período de entressafra dos anos de 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----				----- 2009 -----			
	Liberado		Remanescente		Liberado		Remanescente	
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Crotalária	89,1 B	(96)	4,1 A	(4)	63,4 B	(96)	0,1	(4)
Guandu	58,7 B	(94)	0,1 C	(6)	41,8 B	(100)	0,1	(0)
Nabo forrageiro	49,3 B	(96)	1,8 B	(4)	52,7 B	(100)	0,0	(0)
Milheto	141,4 A	(95)	2,3 B	(5)	118,1 A	(100)	0,0	(0)
Média (florescimento)	84,6		2,1		69,0		0,1	
Milho	34,5 B	(88)	4,6 B	(12)	8,9 B	(72)	3,0 AB	(28)
Sorgo	37,7 B	(83)	7,8 A	(17)	18,6 AB	(85)	1,7 B	(15)
Girassol	92,0 A	(92)	2,3 C	(8)	42,9 A	(93)	3,3 A	(7)
Média (colheita)	54,7		4,9		23,5		2,7	
F (florescimento vs. colheita)	16,97**		240,31**		95,30**		63,54**	

** significativo (P < 0,01).

Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação ao acúmulo total do nutriente.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Nos dois anos, as maiores quantidades liberadas de K foram observadas nos resíduos de milheto, cultura que acumulou as maiores quantidades desse nutriente na MS por ocasião da trituração, no florescimento da cultura (Tabela 12). Entre as culturas com colheita de grãos, os resíduos de girassol liberaram maiores quantidades de K,

quando comparados aos resíduos de milho nos dois anos estudados (Tabela 19). Nos resíduos de milho, sorgo e girassol, mesmo havendo menor período de exposição a fatores de decomposição em relação às manejadas no florescimento (Figura 3), os percentuais de K liberado dos resíduos foram superiores a 70% nos dois anos. Portanto, a rápida liberação de K dos resíduos faz com que poucas quantidades de K permaneçam nos resíduos e sejam liberadas após a semeadura das culturas de verão.

Na entressafra de 2009, os resíduos de nabo forrageiro apresentaram as maiores taxas de liberação de Ca, quando comparado aos resíduos de crotalária e aos de guandu (Figuras 14a, 14b, 15a e 15b). No final do período de entressafra, os resíduos das culturas de entressafra manejadas no florescimento liberaram as maiores quantidades de Ca (Tabela 20).

As maiores quantidades liberadas de Ca foram observadas nos resíduos de nabo forrageiro, entre as culturas trituradas no florescimento, e no girassol, entre as culturas conduzidas até a colheita dos grãos (Tabela 20). Contribuindo para as maiores quantidades de Ca liberadas, os resíduos de nabo forrageiro apresentaram as maiores concentrações desse nutriente nos resíduos (Tabela 5). Além disso, considera-se o fato de que o manejo do nabo forrageiro ocorreu por volta dos 60 dias após a semeadura, quando atingiu o florescimento nas condições deste experimento, o que aumentou o período de exposição dos resíduos a fatores de decomposição, quando comparado às demais culturas (Figura 3), resultando em menores quantidades remanescentes de Ca ao final do período de entressafra e, portanto, do ano agrícola. As maiores quantidades remanescentes de Ca nos resíduos de girassol no final dos anos agrícolas (Tabela 20) se devem ao menor tempo de exposição dos resíduos a fatores de decomposição, pela condução da cultura até a colheita dos grãos e as elevadas concentrações de Ca nos resíduos.

As taxas de liberação de Mg foram semelhantes entre as culturas de entressafra (Figuras 15c e 15d). Adicionalmente, as taxas de liberação de Mg pelos resíduos das culturas de entressafra foram elevadas, em consequência da participação do Mg em compostos iônicos e moléculas solúveis nas plantas (MENGEL & KIRKBY, 2001).

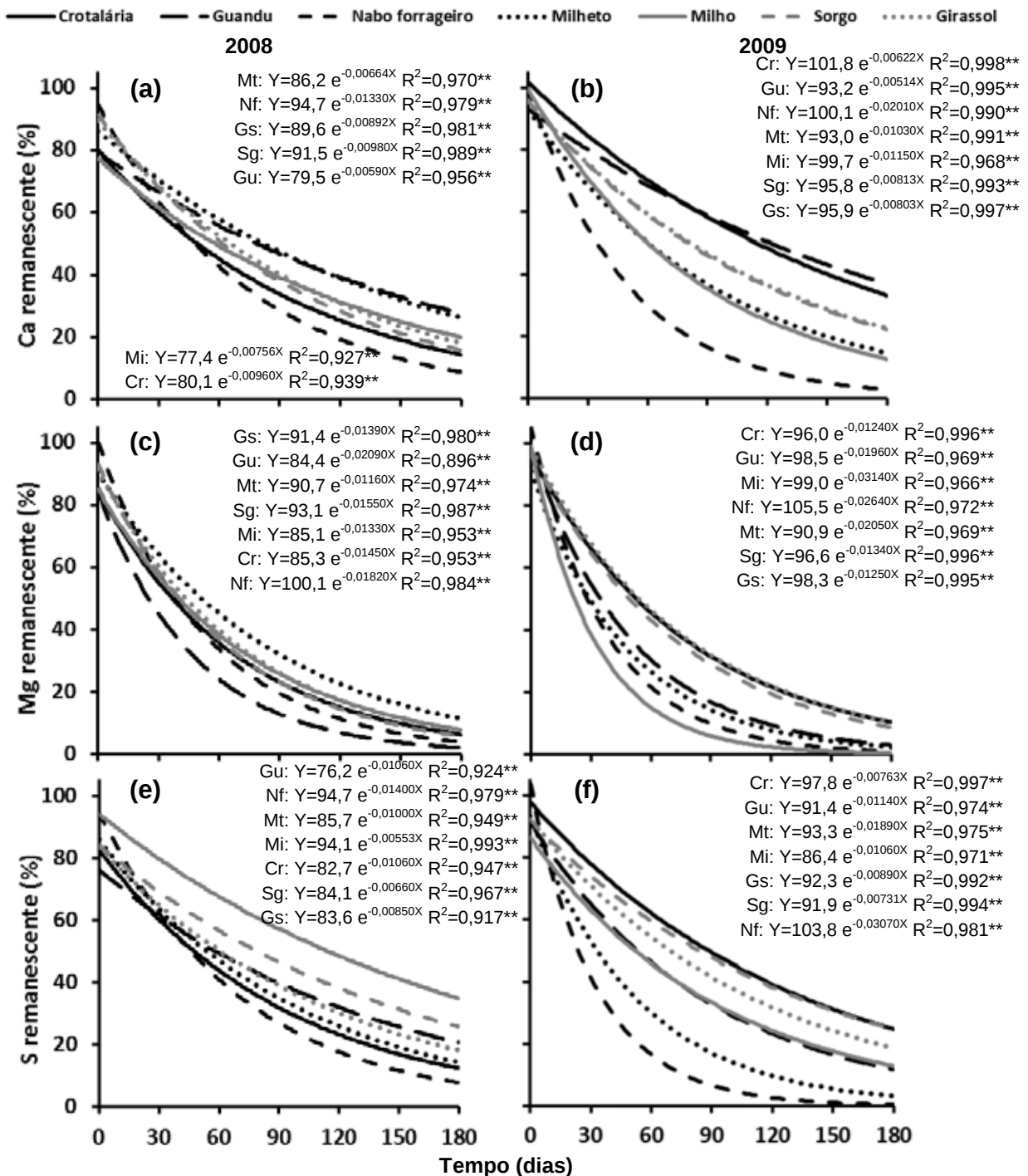


Figura 14. Cálcio (a, b), magnésio (c, d) e enxofre (e, f) remanescentes nos resíduos das culturas de entressafra sobre o solo ao longo do tempo, nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009. Cr: crotalária; Gu: guandu; Nf: nabo forrageiro; Mt: milheto; Mi: milho; Sg: sorgo; Gs: girassol. **: significativo ($P < 0,01$).

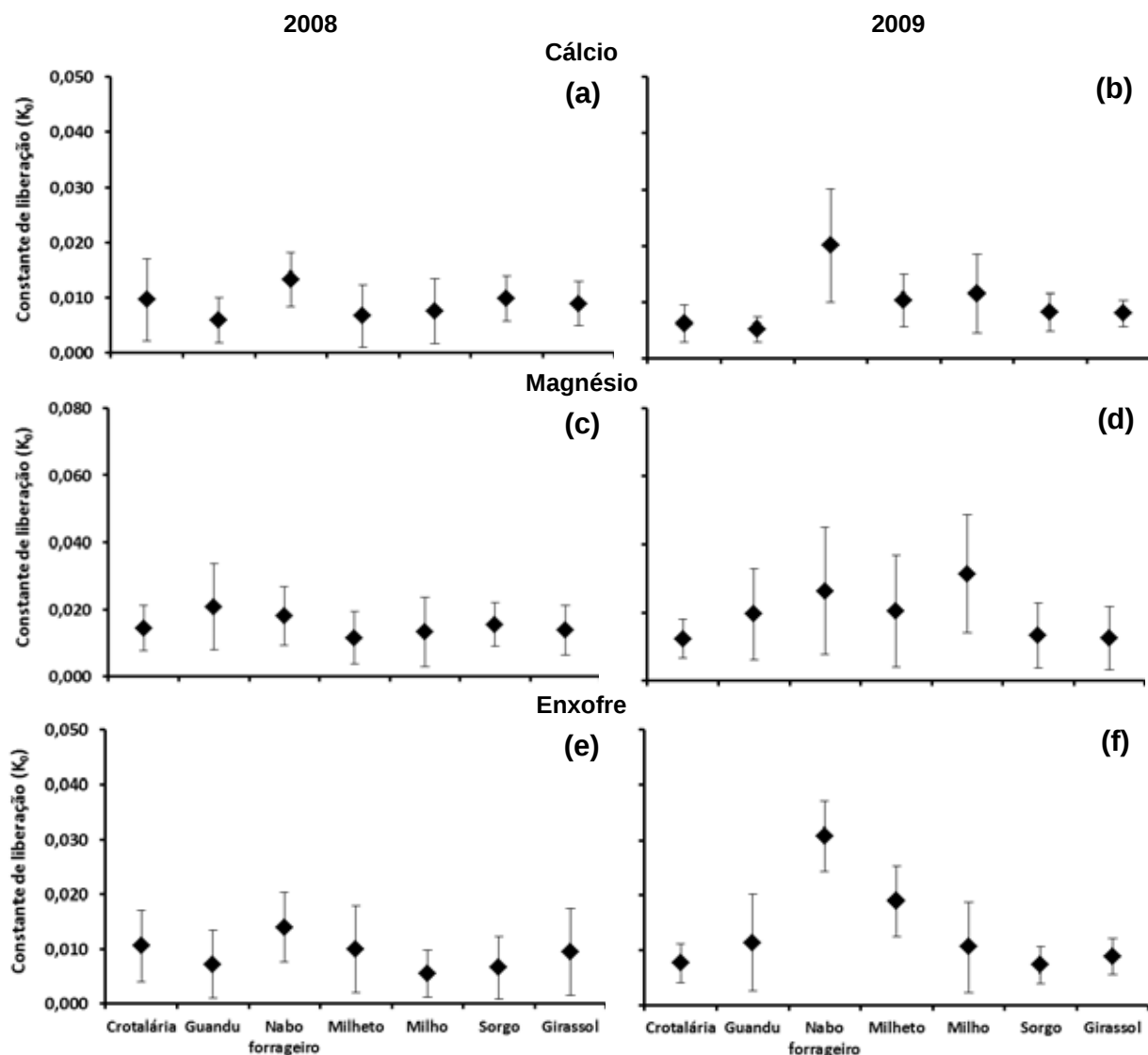


Figura 15. Constantes (K_0) das equações ajustadas para a liberação de cálcio (a, b), magnésio (c, d) e enxofre (e, f) dos resíduos das culturas de entressafra nos anos de 2008 e 2009. As barras verticais representam o intervalo de confiança do parâmetro k_0 ($P = 0,05$).

De modo geral, 50% do Mg acumulado nos resíduos das culturas de entressafra foi liberado em menos de 60 dias (Figuras 14c e 14d). No final de cada ano agrícola, as culturas trituradas no florescimento liberaram maiores quantidades de Mg, quando comparadas àquelas conduzidas até a colheita dos grãos nos dois anos estudados (Tabela 21). Entre as culturas manejadas no florescimento, em 2008, os resíduos de milho e nabo forrageiro liberaram maiores quantidades de Mg que os resíduos de

guandu, e em 2009, os resíduos de milho liberaram as maiores as quantidades de Mg. As quantidades de Mg nos resíduos remanescentes foram baixas, inferiores a 6 kg ha^{-1} , o que se deve à rápida liberação do Mg dos resíduos das culturas.

Tabela 20. Cálcio liberado dos resíduos no período de entressafra após a trituração das culturas e as quantidades remanescentes nos resíduos ao final do período de entressafra dos anos de 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----				----- 2009 -----			
	Liberado		Remanescente		Liberado		Remanescente	
	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%
Crotalaria	30,6 B	(77)	9,2 AB	(23)	17,4 AB	(64)	9,9 AB	(36)
Guandu	19,8 BC	(58)	14,4 A	(42)	13,3 B	(61)	12,9 A	(39)
Nabo forrageiro	51,4 A	(79)	7,8 AB	(21)	28,7 A	(94)	0,6 C	(6)
Milho	12,6 C	(62)	6,5 B	(38)	20,3 AB	(80)	3,4 BC	(20)
Média (florescimento)	28,6		9,5		19,9		6,7	
Milho	5,2	(45)	6,4 B	(55)	4,4 B	(55)	0,3 B	(45)
Sorgo	5,6	(41)	8,1 B	(59)	6,4 B	(51)	6,1 B	(49)
Girassol	13,8	(47)	19,0 A	(53)	23,8 A	(51)	23,1 A	(49)
Média (colheita)	8,2		11,2		11,5		9,8	
F (florescimento vs. colheita)	94,56**		2,49 ^{ns}		23,92**		3,21 ^{ns}	

ns: não significativo ($P > 0,05$); ** significativo ($P < 0,01$).

Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação ao acúmulo total do nutriente.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Tabela 21. Magnésio liberado dos resíduos no período de entressafra após a trituração das culturas e as quantidades remanescentes nos resíduos ao final do período de entressafra dos anos de 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----				----- 2009 -----			
	Liberado		Remanescente		Liberado		Remanescente	
	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%
Crotalaria	11,7 AB	(87)	1,8 B	(13)	8,1 B	(85)	1,1	(15)
Guandu	7,2 B	(75)	0,7 B	(25)	5,8 B	(83)	0,5	(17)
Nabo forrageiro	13,6 A	(93)	1,0 B	(7)	5,8 B	(99)	0,0	(1)
Milho	15,8 A	(74)	3,5 A	(26)	14,9 A	(98)	0,3	(2)
Média (florescimento)	12,1		1,8		8,7		0,5	
Milho	5,4	(53)	4,7 A	(47)	3,2 B	(81)	0,0 B	(19)
Sorgo	5,2	(54)	4,5 A	(46)	4,8 AB	(68)	2,2 AB	(32)
Girassol	3,7	(57)	3,2 B	(43)	7,8 A	(65)	4,2 A	(35)
Média (colheita)	4,8		4,1		5,3		2,1	
F (florescimento vs. colheita)	99,55**		153,92**		46,21**		43,96**	

** significativo ($P < 0,01$).

Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação ao acúmulo total do nutriente.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Em média, os resíduos das culturas de entressafra conduzidas até a colheita dos grãos liberaram menores quantidades de S, quando comparadas àqueles das culturas trituradas no florescimento nos dois anos (Tabela 22). Também nos dois anos, as maiores quantidades liberadas de S no período de entressafra foram observadas nos resíduos de nabo forrageiro e milheto, superiores às quantidades liberadas dos resíduos de crotalária e de guandu.

Tabela 22. Enxofre liberado dos resíduos no período de entressafra após a trituração das culturas e as quantidades remanescentes nos resíduos ao final do período de entressafra dos anos de 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----				----- 2009 -----			
	Liberado		Remanescente		Liberado		Remanescente	
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Crotalária	5,3 B	(70)	1,4 B	(30)	3,3 C	(85)	1,3 A	(15)
Guandu	2,6 C	(63)	1,4 B	(37)	3,9 C	(72)	1,1 AB	(28)
Nabo forrageiro	10,7 A	(85)	1,5 B	(15)	12,3 A	(100)	0,0 B	(0)
Milheto	8,6 A	(70)	2,3 A	(30)	8,2 B	(85)	0,3 B	(15)
Média (florescimento)	6,8		1,7		6,9		0,7	
Milho	0,5	(38)	1,4	(62)	1,0	(62)	0,6 B	(38)
Sorgo	0,9	(38)	1,5	(62)	2,0	(50)	2,0 A	(50)
Girassol	1,1	(41)	1,3	(59)	2,0	(55)	1,6 A	(45)
Média (colheita)	0,8		1,4		1,7		1,4	
F (florescimento vs. colheita)	312,26**		5,25*		229,49**		9,61**	

* significativo (P < 0,05); ** significativo (P < 0,01).

Os valores entre parênteses referem-se aos percentuais em relação ao acúmulo total do nutriente.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

A rápida liberação de S dos resíduos das culturas de entressafra (Figuras 14e, 14f, 15e e 15f) é explicada pelo fato de grande parte do S encontrar-se na forma de sulfato nos tecidos das plantas, suscetível à extração pela água, ou ainda, fazendo parte da constituição de aminoácidos e de proteínas, os quais são rapidamente consumidos pelos microrganismos decompositores no início do processo de decomposição (BERG, 2000). Consequentemente, assim como para o K e o Mg, devido ao rápido processo de liberação dos resíduos, as quantidades remanescentes de S foram baixas, inferiores a 3 kg ha⁻¹.

4.3. Cobertura do solo proporcionada pelos resíduos vegetais

Após o manejo das culturas de entressafra, foram observados elevados valores de porcentagem de cobertura do solo proporcionados pelos resíduos nos dois anos estudados, próximos a 100% (Tabela 23). Entretanto, nas parcelas com cultivo de girassol, a cobertura do solo foi menor.

Tabela 23. Cobertura do solo proporcionada pelos resíduos das culturas, avaliada após a trituração das culturas de entressafra em cada sequência de verão, em 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	----- 2008 -----			----- 2009 -----		
	----- Sequências de verão -----					
	SM	MM	SS	SM	MM	SS
	----- % -----					
Crotalária	100	100	99	100	100	100
Guandu	100	100	98	100	100	100
Nabo forrageiro	100	100	97	99	100	98
Milheto	100	100	100	100	100	97
Média (florescimento)	100	100	99	100	100	99
Milho	100 A	100 A	99 A	100 A	100 A	100 A
Sorgo	100 A	100 A	100 A	100 A	100 A	100 A
Girassol	89 Ba	88 Ba	81 Bb	86 Ba	84 Ba	81 Bb
Média (colheita)	96	96	93	95	95	94
F (florescimento vs. colheita)	25,49**	26,83**	33,89**	101,33**	203,76**	197,22**

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

** : significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

A menor cobertura do solo observada após a colheita dos grãos de girassol se deve à forma de seus resíduos, constituídos predominantemente por hastes, e às menores quantidades de resíduos produzidas por essa cultura (Tabela 8). Ao avaliarem a cobertura do solo após a colheita de girassol em sistema convencional de preparo do solo, LYON et al. (1998) observaram que os resíduos de girassol proporcionaram uma cobertura do solo de 43%. Os autores alertaram que além da baixa capacidade de cobertura após a colheita do girassol, seus resíduos apresentam rápida redução de massa após a trituração.

Adicionalmente, quando se cultivou girassol na entressafra, menores porcentagens de cobertura do solo foram observadas na sequência SS, quando comparadas àquelas observadas nas sequências MM e SM, nos dois anos (Tabela 23). Devido à baixa capacidade dos resíduos de girassol em proporcionarem a cobertura do solo, foi possível notar efeitos dos resíduos de cultivos anteriores na cobertura do solo. Portanto, as menores porcentagens de cobertura do solo observadas na sequência SS são atribuídas à menor contribuição dos resíduos da soja cultivada no verão anterior e que permaneceram na superfície do solo por ocasião da avaliação, quando comparada às porcentagens de cobertura das demais sequências de verão, nas quais se cultivou milho. A menor contribuição dos resíduos de soja na cobertura do solo ocorreu devido à menor quantidade de MS produzida (Tabela 2) e com menores relações C:N e lignina:N (Tabela 3), que contribuíram para uma maior taxa de decomposição e, conseqüentemente, maior redução da cobertura do solo.

Na avaliação da cobertura do solo realizada no final do período de entressafra, ou seja, no final de cada ano agrícola, não foram observadas interações entre sequências de verão e culturas de entressafra. Assim, independentemente das culturas de entressafra, menores porcentagens de cobertura do solo foram observadas na sequência SS, quando comparadas àquelas das sequências SM e MM (Tabela 24), fato que pode ser relacionado à menor contribuição dos resíduos de soja para a cobertura do solo.

Considerando as culturas de entressafra, nos dois anos, os resíduos das culturas manejadas no florescimento proporcionaram maior cobertura do solo, quando comparadas às culturas conduzidas até a colheita dos grãos (Tabela 24). Entre as culturas que foram colhidas, os resíduos de girassol proporcionaram menor cobertura do solo, quando comparados aos resíduos de sorgo em 2008 e, a menor porcentagem de cobertura do solo em 2009. Entre as culturas manejadas no florescimento, os resíduos de nabo forrageiro apresentaram as menores porcentagens de cobertura do solo em 2009, fato relacionado às menores quantidades de MS produzida pelo nabo forrageiro nesse ano (Tabela 8).

Tabela 24. Cobertura do solo proporcionada pelos resíduos vegetais das culturas em função das sequências de verão e das culturas de entressafra, avaliada no final dos anos agrícolas, em 2008 e 2009.

Tratamentos	2008	2009
Sequências de verão ¹ (V)	----- % -----	
SM ²	91 A	82 A
MM	93 A	83 A
SS	87 B	80 B
Teste F	17,16*	24,10**
CV(%)	4,1	2,7
Culturas de entressafra (E)		
Crotalária	91 B	81 B
Guandu	89 B	81 B
Nabo forrageiro	91 B	73 C
Milheto	94 A	87 A
Média (florescimento)	91	81
Milho	89 AB	92 A
Sorgo	93 A	83 B
Girassol	84 B	74 C
Média (colheita)	89	83
Teste F	3,67*	26,20**
CV(%)	5,7	4,8
F (florescimento vs. colheita)	4,94*	7,94*
Teste F da interação (V x E)	1,33 ^{ns}	1,80 ^{ns}

¹ SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

² Milho, no ano agrícola 2007/2008, e soja, no ano agrícola 2008/2009.

^{ns}: não significativo (P > 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

As menores quantidades de MS produzida pelas culturas de entressafra de 2009 (Tabela 8), aliada às maiores taxas de decomposição dos resíduos observadas em 2009 (Figuras 11b e 12b), resultaram em menores porcentagens de cobertura do solo ao final do período de entressafra de 2009, quando comparadas às coberturas do solo observadas na mesma avaliação no ano anterior (Tabela 24). Esse fato demonstra a importância da quantidade de MS produzida pelas culturas de entressafra para a manutenção da cobertura do solo pelos resíduos até a semeadura das culturas de verão do próximo ano agrícola.

É provável que o cultivo de girassol na entressafra na sequência SS tenha contribuído para a redução da capacidade produtiva do solo em relação às sequências SM e MM, em decorrência da menor capacidade de cobertura do solo proporcionada

pelos seus resíduos. Consequentemente, houve aumento da exposição da superfície do solo a maiores oscilações de temperatura e de umidade no solo. Essas condições afetam negativamente a atividade biológica e aumentam a taxa de oxidação da matéria orgânica do solo (KIRSCHBAUM, 1995; KÄTTERER et al., 1998; ELTZ & ROVEDDER, 2005). Sob essas condições, o armazenamento de água nas camadas superficiais do solo diminui, afetando o desenvolvimento das culturas, principalmente, no período que compreende a germinação, emergência e desenvolvimento das plântulas. Nesse sentido, reforçando essa afirmação, menores produtividades de grãos de girassol foram observadas na sequência SS na entressafra de 2009 (Tabela 9).

Situação semelhante pôde ser observada nas parcelas cultivadas com guandu em SS. Menor produção de MS no período, em decorrência do menor fotoperíodo na entressafra (AMABILE et al., 2000), aliada à rápida decomposição de seus resíduos favorece menores porcentagens de cobertura do solo pelos resíduos de guandu ao longo do tempo. Essas explicações justificam as menores produções de MS de guandu, observadas na sequência SS, quando comparadas àquelas das sequências MM e SM na entressafra de 2009 (Tabela 8).

4.4. Fertilidade do solo

Nos dois anos de cultivo, as culturas de entressafra não influenciaram os teores de P (resina), Ca^{2+} , Mg^{2+} , acidez potencial e valores de pH e saturação por bases do solo (Tabelas 25 e 26). No entanto, de modo geral, foram observados menores valores de pH e de saturação por bases, menores teores de P (resina), Ca^{2+} e Mg^{2+} e maior acidez potencial no solo da sequência MM, quando comparado ao solo das sequências SS e SM, principalmente na camada 0-10 cm (Tabela 27). Esses resultados podem ser explicados pelo efeito da acidificação do solo, proporcionado pelas adubações nitrogenadas realizadas no milho cultivado no verão, principalmente as adubações de cobertura, realizadas por meio da aplicação de fertilizantes nitrogenados nas formas de sulfato de amônio e de ureia predominantemente.

Entre as sequências de culturas de verão, os menores teores de P (resina) no solo da sequência MM (Tabela 27) são atribuídos aos menores valores de pH do solo

observados na sequência MM, o que contribuiu para a redução dos teores disponíveis de P no solo (NOVAIS et al., 2007).

Tabela 25. Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2008.

Camadas de solo cm	Sequência de verão (V)	Culturas de entressafra (E)	Época de amostragem (A)	----- Interações -----				---- CV ---- (%)		
				VxE	AxV	AxE	AxVxE	V	E	A
C total										
0-10	46,58**	1,58 ^{ns}	161,49**	2,39*	2,14 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,71 ^{ns}	8,7	11,4	5,9
10-20	18,42**	4,86**	200,89**	0,88 ^{ns}	4,41*	0,61 ^{ns}	0,36 ^{ns}	13,7	11,2	5,6
20-30	3,50 ^{ns}	1,50 ^{ns}	983,54**	0,91 ^{ns}	31,84**	1,79 ^{ns}	0,89 ^{ns}	17,4	12,3	11,1
P (resina)										
0-10	12,49*	0,87 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,11 ^{ns}	8,58**	0,67 ^{ns}	0,84 ^{ns}	29,3	44,0	27
10-20	6,18 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,18 ^{ns}	6,07**	0,32 ^{ns}	0,46 ^{ns}	86,0	50,4	42,2
20-30	9,65*	0,47 ^{ns}	7,23*	0,47 ^{ns}	15,26**	0,18 ^{ns}	0,70 ^{ns}	42,7	48,5	34,1
K ⁺										
0-10	6,90 ^{ns}	8,81**	77,50**	1,39 ^{ns}	17,80**	2,85*	0,61 ^{ns}	36,6	17,7	16,4
10-20	1,02 ^{ns}	2,22 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1,58 ^{ns}	23,88**	2,36*	0,68 ^{ns}	55,5	25,4	23,3
20-30	1,06 ^{ns}	2,86 ^{ns}	10,79**	0,91 ^{ns}	54,41**	1,06 ^{ns}	1,74 ^{ns}	66,5	27,6	27,1
Ca ²⁺										
0-10	18,63**	0,85 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,99 ^{ns}	17,38**	0,66 ^{ns}	0,64 ^{ns}	30,6	23,7	19,2
10-20	8,09*	0,39 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,94 ^{ns}	20,85**	1,91 ^{ns}	0,41 ^{ns}	33,4	38,0	16,7
20-30	5,29 ^{ns}	0,69 ^{ns}	9,45**	0,69 ^{ns}	33,24**	1,75 ^{ns}	0,78 ^{ns}	30,6	30,9	20,9
Mg ²⁺										
0-10	7,40*	0,81 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,13 ^{ns}	4,86*	0,52 ^{ns}	1,04 ^{ns}	27,4	15,7	16,2
10-20	2,77 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,56 ^{ns}	4,25*	1,28 ^{ns}	0,72 ^{ns}	45,2	34,0	22,1
20-30	2,61 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,67 ^{ns}	10,12**	0,63 ^{ns}	0,61 ^{ns}	28,3	27,7	20,2
pH (CaCl ₂)										
0-10	19,41**	1,12 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,63 ^{ns}	3,64*	0,25 ^{ns}	0,57 ^{ns}	7,5	4,5	3,7
10-20	4,85 ^{ns}	0,47 ^{ns}	8,44**	0,95 ^{ns}	3,24*	1,37 ^{ns}	0,28 ^{ns}	7,7	7,2	5,2
20-30	6,02 ^{ns}	0,55 ^{ns}	10,27**	0,58 ^{ns}	3,43*	1,03 ^{ns}	0,88 ^{ns}	6,6	7,4	5,8
H+Al										
0-10	33,27**	2,51 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,51 ^{ns}	5,06*	0,23 ^{ns}	0,46 ^{ns}	24,9	15,2	14,1
10-20	7,42*	0,76 ^{ns}	4,77*	0,65 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,33 ^{ns}	15,5	17,3	15,4
20-30	18,61**	0,48 ^{ns}	3,93 ^{ns}	0,49 ^{ns}	5,18**	0,70 ^{ns}	0,77 ^{ns}	11,9	17,8	16,0
Saturação por bases										
0-10	19,34**	1,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,43 ^{ns}	10,72**	0,24 ^{ns}	0,53 ^{ns}	19,0	11,4	10,2
10-20	5,80 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,65 ^{ns}	7,66**	1,44 ^{ns}	1,44 ^{ns}	27,9	26,5	17,8
20-30	9,50*	0,60 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,53 ^{ns}	2,70 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,78 ^{ns}	16,6	23,0	16,3

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Além disso, considera-se a maior exigência da cultura do milho pelo P, quando comparada à exigência da soja pelo nutriente, o que pode ter contribuído para a diminuição dos teores de P (resina) no solo, devido à maior absorção e exportação pelos grãos de milho. O milho, com uma produtividade de grãos de 7,7 Mg ha⁻¹, exporta

aproximadamente 32 kg ha⁻¹ de P (GUIMARÃES et al., 2006), valor superior aos 16 kg ha⁻¹ de P exportados pelos grãos de soja, com uma produtividade de 3,5 kg ha⁻¹ (FRANCISCO et al., 2007). Além disso, a menor velocidade de decomposição dos resíduos vegetais do milho, em relação aos de soja, também pode ter influenciado tal resultado, por apresentarem maiores valores de relação C:N e C:P (Tabela 3), reduzindo a taxa de decomposição e de liberação de P dos resíduos.

Tabela 26. Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos atributos químicos do solo amostrado em 2009.

Camadas de solo cm	Sequência de verão (V)	Culturas de entressafra (E)	Época de amostragem (A)	----- Interações -----				---- CV ---- (%)		
				V x E	A x V	A x E	AxVxE	V	E	A
C total										
0-10	23,31**	2,33 ^{ns}	33,59**	1,07 ^{ns}	13,14**	1,30 ^{ns}	1,21 ^{ns}	7,5	10,6	9,1
10-20	5,07 ^{ns}	3,15*	2,65 ^{ns}	0,92 ^{ns}	14,42**	0,43 ^{ns}	0,74 ^{ns}	25,1	13,2	13,3
20-30	24,06**	5,74**	1,09 ^{ns}	0,74 ^{ns}	58,47**	0,52 ^{ns}	0,65 ^{ns}	13,9	11,4	14,3
P (resina)										
0-10	8,29*	1,75 ^{ns}	26,44**	0,78 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,80 ^{ns}	38,1	26,7	36,4
10-20	2,37 ^{ns}	0,86 ^{ns}	26,96**	0,89 ^{ns}	2,43 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,00 ^{ns}	57,8	56,9	51,6
20-30	41,66**	1,02 ^{ns}	7,24*	0,77 ^{ns}	13,32**	1,72 ^{ns}	0,31 ^{ns}	24,1	32,7	31,0
K ⁺										
0-10	2,31 ^{ns}	7,72**	0,94 ^{ns}	1,02 ^{ns}	7,68**	2,93*	0,99 ^{ns}	41,4	14,5	19,1
10-20	0,11 ^{ns}	3,61*	46,42**	1,41 ^{ns}	6,80**	0,19 ^{ns}	1,42 ^{ns}	65,2	23,1	23,0
20-30	2,54 ^{ns}	2,06 ^{ns}	14,07**	0,89 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,41 ^{ns}	56,1	28,1	25,3
Ca ²⁺										
0-10	8,81*	0,79 ^{ns}	11,55**	0,65 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,44 ^{ns}	47,0	27,5	20,5
10-20	0,95 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,69 ^{ns}	4,02*	1,43 ^{ns}	1,53 ^{ns}	41,9	37,1	28,5
20-30	1,83 ^{ns}	0,69 ^{ns}	2,70 ^{ns}	0,81 ^{ns}	4,81*	1,02 ^{ns}	0,58 ^{ns}	27,6	38,8	31,1
Mg ²⁺										
0-10	3,58 ^{ns}	0,73 ^{ns}	29,89**	0,58 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,37 ^{ns}	61,1	30,9	24,9
10-20	0,74 ^{ns}	0,61 ^{ns}	12,30**	0,57 ^{ns}	1,80 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,43 ^{ns}	44,7	32,1	21,6
20-30	0,08 ^{ns}	0,45 ^{ns}	37,65**	0,70 ^{ns}	2,33 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,96 ^{ns}	36,6	34,7	22,7
pH (CaCl ₂)										
0-10	14,45*	2,13 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,45 ^{ns}	5,60**	1,12 ^{ns}	0,83 ^{ns}	11,4	5,8	5,6
10-20	2,99 ^{ns}	0,57 ^{ns}	12,83**	1,05 ^{ns}	15,38**	0,99 ^{ns}	0,94 ^{ns}	9,9	7,8	3,5
20-30	6,18 ^{ns}	0,80 ^{ns}	20,96**	0,56 ^{ns}	10,82**	0,70 ^{ns}	0,83 ^{ns}	4,8	6,0	4,1
H+Al										
0-10	18,33**	2,89 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,81 ^{ns}	15,27**	1,19 ^{ns}	0,85 ^{ns}	34,7	13,8	15,7
10-20	1,53 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,93 ^{ns}	31,1	14,6	10,3
20-30	12,65*	2,83 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,43 ^{ns}	34,95**	0,62 ^{ns}	0,34 ^{ns}	14,6	8,2	6,7
Saturação por bases										
0-10	12,21*	2,01 ^{ns}	8,36**	0,51 ^{ns}	4,86*	0,78 ^{ns}	0,55 ^{ns}	29,6	15,3	15,2
10-20	1,25 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,98 ^{ns}	5,18**	1,77 ^{ns}	1,24 ^{ns}	40,4	25,7	16,2
20-30	0,53 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,41 ^{ns}	2,13 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,51 ^{ns}	19,0	21,4	15,8

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Tabela 27. Teores de fósforo disponível, cálcio e magnésio trocáveis, acidez potencial e valores de pH e de saturação por bases do solo nas sequências de verão e nas camadas de solo, em março e outubro de 2008 e 2009.

Época de amostragem	Sequências de verão ¹								
	SM	MM	SS	SM	MM	SS	SM	MM	SS
	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
2008									
	P resina (mg dm ⁻³)								
Março	40 Aa	27 b	34 Bab	12 b	8 Bb	22 a	10 Aab	7 Bb	13 a
Outubro	29 B	27	44 A	12	16 A	20	8 Bb	13 Aa	14 a
	Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)								
Março	46 Aa	27 Bb	39 Ba	22 Aa	15 b	18 Bab	20 Aa	15 Bb	18 Bab
Outubro	40 Ba	30 Ab	41 Aa	17 Bb	16 b	23 Aa	17 Bb	17 Ab	22 Aa
	Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)								
Março	21 Aa	16 b	20 a	11	9	11	12	10	11
Outubro	19 B	17	20	10	9	12	10	10	12
	H+Al (mmol _c dm ⁻³)								
Março	24 Bb	37 a	24 b	36 b	40 a	36 b	34 b	37 a	32 Bb
Outubro	27 Ab	36 a	24 b	38 b	42 a	38 b	32 b	39 a	37 Aa
	pH (CaCl ₂)								
Março	5,7 Aa	5,1 b	5,6 a	5,0 Aa	4,7 b	4,9 ab	5,0 A	4,7	5,0
Outubro	5,5 Ba	5,0 b	5,6 a	4,8 B	4,7	4,8	4,8 Ba	4,7 b	4,9 a
	Saturação por bases (%)								
Março	74 Aa	55 Bb	72 a	50 Aa	39 b	46 ab	50 Aa	42 b	49 a
Outubro	69 Bab	59 Ab	72 a	43 Bab	39 b	49 a	47 Bab	43 b	50 a
2009									
	P resina (mg dm ⁻³)								
Março	30 B	25	34 B	25 A	18	24 A	10 Ab	8 Bb	14 Aa
Outubro	39 Aab	30 b	44 Aa	11 B	13	16 B	7 Bb	10 Aa	12 Ba
	Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)								
Março	33 Aab	26 b	39 a	18	18	19 B	17	18	17 B
Outubro	29 Bab	23 b	36 a	17	18	21 A	16	19	19 A
	Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)								
Março	18 A	14 A	21 A	10	10	12 A	11 A	11	11 A
Outubro	15 B	12 B	17 B	9	10	10 B	9 B	10	9 B
	H+Al (mmol _c dm ⁻³)								
Março	35 Aa	43 a	25 Bb	40	44	39	38 A	39 B	36
Outubro	29 Bb	38 a	38 Ab	31	48	41	32 Bc	42 Aa	37 b
	pH (CaCl ₂)								
Março	5,2 Ba	4,9 b	5,6 Aa	4,7 B	4,6	4,9	4,8 B	4,7	4,8
Outubro	5,5 Aa	4,9 b	5,4 Ba	5,0 A	4,7	4,8	5,0 Aa	4,7 b	4,8 ab
	Saturação por bases (%)								
Março	60 ab	51 b	71 Aa	44 a	41 b	46 a	44	44	45
Outubro	61 a	47 b	64 Ba	48 a	39 b	45 ab	46	42	44

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada atributo do solo e minúscula na linha e dentro de cada camada de solo, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

WISNIEWSKI & HOLTZ (1997), ao avaliarem a mineralização de P em resíduos de aveia-preta (relações C:N = 24 e C:P = 364) e milho (relações C:N = 43 e C:P = 470), observaram uma liberação de 85% do P dos resíduos de aveia-preta, valor superior aos 77% observados nos resíduos de milho, indicando influência da relação C:P e C:P dos resíduos na liberação de P. No presente estudo, os resíduos de milho apresentaram maiores valores de relação C:P, quando comparados aos resíduos de soja (Tabela 3). Segundo DALLAL (1977), resíduos com maiores valores de relação C:P favorecem a imobilização de P pelos microrganismos do solo, diminuindo a disponibilidade do elemento no solo.

Em 2008, de modo geral, observaram-se aumentos dos teores de K⁺ no solo na camada 0-10 cm de profundidade, quando se compararam os teores do elemento do solo coletado em março com os teores do solo coletado em outubro (Tabela 28).

Tabela 28. Teores de potássio trocável do solo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade em função das culturas de entressafra, em março e outubro de 2008.

Culturas de entressafra	----- Camadas de solo -----					
	----- 0-10 -----		----- 10-20 -----		----- 20-30 -----	
	Março	Outubro	Março	Outubro	Março	Outubro
Crotalária	4,1 b	5,2 ABa	2,6 A	2,5	2,6	2,8
Guandu	3,5 b	5,0 Ba	2,2 AB	2,4	2,2	2,5
Nabo forrageiro	3,6 b	5,9 Aa	2,4 AB	2,3	2,2	2,4
Milheto	4,0 b	5,4 ABa	2,0 Bb	2,5 a	2,0 b	2,4 a
Média (florescimento)	3,8	5,4	2,3	2,4	2,3	2,5
Milho	3,0 B	3,8 B	2,1	1,7	1,8	2,0
Sorgo	3,8 Ab	4,8 Aa	2,3	2,2	2,2	2,2
Girassol	3,2 ABb	4,4 ABa	2,3	2,1	2,1	2,1
Média (colheita)	3,3	4,3	2,2	2,0	2,0	2,1
F (florescimento vs. colheita)	6,94*	35,04**	0,30 ^{ns}	13,05**	2,72 ^{ns}	12,10**

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada camada de solo, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Nas parcelas cultivadas com milheto, cultura a qual acumulou as maiores quantidades de K na MS (Tabela 12), no período entre março e outubro de 2008, foram observados aumentos dos teores de K⁺ no solo nas três camadas de solo avaliadas (Tabela 28). Em outubro de 2008, as culturas de entressafra trituras no florescimento

proporcionaram maiores teores de K^+ no solo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, quando comparadas às culturas que foram conduzidas até a colheita dos grãos. Esses resultados são atribuídos às maiores quantidades de K liberadas pelos resíduos das culturas de entressafra durante a decomposição (Tabela 19).

Em 2009, foram observadas reduções dos teores de K^+ do solo no período entre março e outubro, nas parcelas cultivadas com girassol na camada 0-10 cm de profundidade, e de modo geral, na camada 10-20 cm de profundidade (Tabela 29). Na camada 20-30 cm, foram observadas reduções dos teores de K^+ nas parcelas cultivadas com crotalária na entressafra.

Tabela 29. Teores de potássio trocável do solo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade em função das culturas de entressafra, em março e outubro de 2009.

Culturas de entressafra	Camadas de solo					
	0-10		10-20		20-30	
	Março	Outubro	Março	Outubro	Março	Outubro
Crotalária	4,2 AB	4,3 AB	3,3 a	2,6 b	2,5 a	2,1 b
Guandu	3,6 B	3,9 B	2,7 a	2,2 b	2,0	1,9
Nabo forrageiro	4,4 A	4,5 AB	3,1 a	2,6 b	2,4	2,1
Milheto	4,7 A	4,7 A	3,1 a	2,6 b	2,3	2,0
Média (florescimento)	4,2	4,3	3,1	2,5	2,3	2,0
Milho	3,7 B	3,3 B	2,6 a	2,1 ABb	2,0	1,9
Sorgo	4,0 B	4,2 A	3,1 a	2,5 Ab	2,3	2,0
Girassol	4,8 Aa	3,8 ABb	2,6 a	1,9 Bb	1,9	1,6
Média (colheita)	4,1	3,7	2,8	2,2	2,1	1,8
F (florescimento vs. colheita)	0,45 ^{ns}	17,04 ^{**}	4,29 [*]	6,27 [*]	3,58 ^{ns}	3,27 ^{ns}

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada camada de solo, não diferem pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Mesmo as culturas acumulando elevadas quantidades de K em seus resíduos e liberando o nutriente durante a decomposição, provavelmente, a ausência de alterações nos teores de K^+ no solo na camada 0-10 cm e a redução de K^+ na camada 10-20 cm entre os meses de março e outubro de 2009 estejam relacionadas às precipitações pluviométricas entre as amostragens de solo nos períodos de entressafra dois anos estudados. Entre os meses de março e outubro de 2008, a precipitação pluviométrica acumulada foi de 293 mm e, entre as amostragens realizadas em 2009, de 486 mm.

Provavelmente, a maior precipitação pluviométrica na entressafra de 2009 resultou na maior lixiviação do K^+ no solo, reduzindo os efeitos da ciclagem desse elemento no solo pelas culturas de entressafra em 2009. Contribuindo para essa afirmação, além da maior precipitação pluviométrica acumulada, a ocorrência de chuvas foi maior no período que antecedeu a amostragem de solo em 2009 (Figura 3).

Em março e outubro de 2008, nas camadas 0-10 e 10-20 cm de profundidade, os teores de C orgânico total do solo foram menores na sequência SM, quando comparados aos teores observados no solo das sequências MM e SS (Tabela 30). Resultados semelhantes foram observados na camada 20-30 cm de profundidade em outubro de 2008, e na camada 0-10 cm de profundidade, em março de 2009.

Tabela 30. Teores de C orgânico total do solo nas sequências de verão e nas camadas de solo, em março e outubro de 2008 e 2009.

Época de amostragem	Sequências de verão ¹								
	SM	MM	SS	SM	MM	SS	SM	MM	SS
	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
	C orgânico total (g kg ⁻¹)								
	2008								
Março	14,9 Ab	17,4 Aa	17,2 Aa	9,9 Ab	11,0 Aa	11,6 Aa	9,9 A	9,9 A	10,4 A
Outubro	12,8 Bb	14,5 Ba	14,5 Ba	7,5 Bb	9,3 Ba	8,7 Ba	6,4 Bb	8,1 Ba	7,5 Ba
	2009								
Março	12,0 b	14,0 Aa	14,7 Aa	8,8 Aa	9,5 Aa	6,8 Ab	8,3 Aa	7,4 b	5,2 Bc
Outubro	12,2	12,5 B	12,5 B	7,6 B	8,3 B	8,1 B	5,9 Bb	7,5 a	6,9 Aa

¹: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada ano de avaliação e minúscula na linha e dentro de cada camada de solo, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Os menores teores de C orgânico total no solo cultivado com a rotação soja-milho no verão indicam maior atividade microbológica no solo e corrobora os resultados observados por BORGES (2010) nas mesmas parcelas do presente experimento, por ocasião da coleta de solo pelo autor, em março de 2008. O autor, ao avaliar o teor de C e alguns atributos microbiológicos no solo, observou menores teores de C orgânico no solo, maiores conteúdos de C na biomassa microbiana e maior evolução de CO₂, indicando maior atividade microbiana no solo na sequência SM, quando comparada às sequências SS e MM. Segundo o autor, houve maior consumo e

imobilização do C do solo pelos microrganismos na sequência SM, em decorrência da utilização do C do solo como fonte de energia metabólica.

Acredita-se que a diversidade e a atividade microbiológica do solo tenham aumentado ao longo do tempo na sequência SM, em relação às sequências de verão com monoculturas (SS e MM), em decorrência da diferença da qualidade dos resíduos produzidos pelo milho ou pela soja, cuja degradação envolve espécies distintas de microrganismos e enzimas. Segundo SPEDING et al. (2004), adições sucessivas de diferentes resíduos vegetais influenciam a dinâmica populacional dos microrganismos do solo. Após 15 anos de semeadura direta na região dos Pampas na Argentina, PALMA et al. (2000) observaram menores teores de C no solo, maior número de bactérias e maior atividade microbiológica no solo na condição envolvendo rotação soja-milho, quando comparado à monocultura de milho. Os autores atribuíram os resultados à quantidade e à qualidade dos resíduos vegetais, os quais influenciam a quantidade e espécies de microrganismos envolvidos no processo de degradação dos resíduos vegetais das diferentes culturas.

De modo geral, houve redução dos teores de C orgânico total do solo entre os meses de março e outubro nos dois anos (Tabela 30). As reduções dos teores de C orgânico total do solo no período da entressafra observadas em 2008 foram superiores às ocorridas em 2009. No entanto, ressalta-se que, em março de 2009, os teores de C orgânico total do solo foram inferiores do que aqueles observados em março de 2008. Essa redução de C orgânico total no solo no período pode ser relacionada ao clima da região em que se desenvolveu o presente estudo, com temperaturas relativamente altas no período da entressafra, o que é favorável aos processos mais acelerados de oxidação biológica do C orgânico do solo a CO₂ (RESCK et al., 2008). Contribuindo para a menor redução dos teores de C orgânico total em 2009, além dos menores teores iniciais, a maior ocorrência de chuvas no período da entressafra em 2009 (Figura 3) contribuiu para o aumento das taxas de decomposição dos resíduos das culturas. Provavelmente, esse fato aumentou a taxa de incorporação de C no solo e contrabalanceou a redução dos teores de C orgânico total do solo entre as amostragens. Além disso, pode ser considerada a possível proteção física do C do solo

à ação decompositora dos microrganismos proporcionada pelos agregados do solo (TISDALL & OADES, 1982), sobretudo nos Latossolos argilosos (MIELNICZUK, 2008).

Em 2008, independentemente da época de amostragem do solo, foi observada interação entre as sequências de culturas de verão e as culturas de entressafra para os teores de C orgânico total do solo, na camada 0-10 cm de profundidade (Tabela 25). Na sequência MM, entre as culturas trituradas no florescimento, o cultivo de guandu na entressafra proporcionou maiores teores de C orgânico total no solo, quando comparado ao cultivo de milho na entressafra (Tabela 31).

Tabela 31. Teores de C orgânico total do solo em 2008, em função das sequências de culturas de verão e as culturas de entressafra na camada 0 10 cm, e em função das culturas de entressafra nas camadas 10-20 e 20-30 cm.

Análise das culturas de entressafra nas camadas 10-20 e 20-30 cm.								
Culturas de entressafra	----- Camadas de solo (cm) -----							
	----- 0-10 -----		--- 10-20 --- --- 20-30 ---					
	---- Sequências de verão ----							
	SM	MM		SS				
	----- C orgânico total (g kg ⁻¹) -----							
Crotalária	13,5 b	15,8	ABa	16,3	Aa	10,3	9,1	
Guandu	13,0 b	16,2	Aa	14,2	Ba	10,1	8,9	
Nabo forrageiro	12,7 b	15,3	ABa	15,3	ABa	9,9	8,6	
Milheto	12,5 b	14,8	Ba	15,3	ABa	10,0	8,6	
Média (florescimento)	12,9	15,5		15,3		10,1	8,8	
Milho	12,7 b	15,7	a	14,5	Ba	9,1	B	8,2
Sorgo	13,5 b	15,5	a	16,0	Aa	10,4	A	8,8
Girassol	12,8 b	14,5	a	14,0	Bab	9,0	B	8,5
Média (colheita)	13,0	15,2		14,8		9,5		8,5
F (florescimento vs. colheita)	0,05 ^{ns}	0,76 ^{ns}		1,36 ^{ns}		3,71 ^{ns}		0,91 ^{ns}

ns: não significativo (P > 0,05).

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e dentro de cada grupo de médias, e minúscula na linha e dentro de cada camada de solo, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Na sequência SS, foram observados menores teores de C orgânico total no solo nas parcelas cultivadas com guandu, quando comparados aos teores das parcelas cultivadas com crotalária na entressafra (Tabela 31). Ainda na sequência SS, entre as culturas conduzidas até a colheita dos grãos na entressafra, o cultivo de sorgo na entressafra proporcionou ao solo os maiores teores de C orgânico total. O mesmo efeito pôde ser observado na camada 10-20 cm de profundidade, independentemente da sequência de culturas de verão.

Sabendo-se da contribuição do sistema radicular das plantas no aporte de C orgânico ao solo, cujos resíduos são mais recalcitrantes (maior relação lignina:N), quando comparado àqueles da parte aérea, acredita-se que o maior volume de raízes de sorgo em relação aos de milho e girassol, devido ao maior adensamento de plantas (177.000 plantas ha⁻¹), tenha contribuído para a manutenção do C orgânico no solo ao longo do tempo de condução do experimento, demonstrando o efeito cumulativo do tratamento. No caso do girassol, considera-se a menor capacidade dos resíduos na cobertura do solo (Tabelas 23 e 24). Em consequência da maior exposição da superfície do solo à radiação solar e às oscilações de temperatura e umidade, houve maior oxidação do C orgânico do solo nas sequências de culturas que combinaram o cultivo de soja no verão com girassol na entressafra.

Em 2009, as culturas triturdadas no florescimento proporcionaram ao solo os maiores teores de C orgânico total nas camadas 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade (Figura 32).

Tabela 32. Teores de C orgânico total do solo em 2009 em função das culturas de entressafra nas camadas de solo.

Culturas de entressafra	Camadas de solo (cm)		
	--- 0-10 ---	--- 10-20 ---	--- 20-30 ---
Crotalária	13,3	9,0	7,3
Guandu	13,6	8,0	7,0
Nabo forrageiro	13,1	8,4	6,7
Milheto	13,1	8,3	7,0
Média (florescimento)	13,3	8,4	7,0
Milho	12,4	7,8	6,4
Sorgo	12,9	8,2	7,4
Girassol	12,2	7,5	6,2
Média (colheita)	12,5	7,8	6,7
F (florescimento vs. colheita)	9,78**	8,32*	5,31*

*: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Em consequência das maiores quantidades liberadas de N dos resíduos das culturas que foram manejadas no florescimento (Tabela 17), houve favorecimento da atividade microbológica do solo na decomposição dos resíduos e, portanto, da incorporação do C no solo (HAGEDORN et al., 2003; DIJKSTRA et al., 2004).

4.5. Frações de C no solo

Não foram observadas interações significativas entre as sequências de verão e as culturas de entressafra para os teores de C orgânico total e nas frações particulada, associada aos minerais, humina, dos ácidos húmicos e dos ácidos fúlvicos, nas amostras de solo coletadas em outubro dos dois anos avaliados, na camada 0-10 cm de profundidade (Tabela 33). Portanto, os resultados foram analisados separadamente para as sequências de culturas de verão e para as culturas de entressafra.

Tabela 33. Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados dos teores de C orgânico total e nas frações associada aos minerais (COAM), particulada (COP), humina (C-HUM) e nos ácidos húmicos (C-AH) e fúlvicos (C-AF) do solo na camada 0-10 cm, em 2008 e 2009.

Fontes de variação	C total	COAM	COP	C-HUM	C-AH	C-AF
----- 2008 -----						
Sequências de verão (V)	20,06**	26,05**	39,28**	10,72*	128,84**	0,56 ^{ns}
Culturas de entressafra (E)	1,23 ^{ns}	0,67 ^{ns}	3,34*	1,44 ^{ns}	3,43*	0,29 ^{ns}
Interação V x E	0,98 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,95 ^{ns}
CV _V (%)	8,3	6,7	20,9	15,9	4,5	59,8
CV _E (%)	9,4	12,7	13,6	12,8	14,9	57,4
----- 2009 -----						
Sequências de verão (V)	0,58 ^{ns}	9,63*	16,71*	3,13 ^{ns}	4,44 ^{ns}	2,77 ^{ns}
Culturas de entressafra (E)	3,20*	2,85 ^{ns}	2,67 ^{ns}	2,15 ^{ns}	3,69*	1,02 ^{ns}
Interação V x E	1,05 ^{ns}	1,32 ^{ns}	1,49 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,97 ^{ns}
CV _V (%)	4,5	5,6	10,0	8,7	15,4	49,6
CV _E (%)	9,1	9,0	13,5	14,1	15,3	53,1

ns: não significativo ($P > 0,05$); * significativo ($P < 0,05$); ** significativo ($P < 0,01$).

A sequência SM proporcionou ao solo os menores teores de C orgânico total e nas frações particulada em 2008 (Tabela 34), e nos ácidos húmicos nos dois anos (Tabela 35). Também nos dois anos estudados, os teores de C na fração associada aos minerais no solo da sequência SM foram menores do que aqueles da sequência MM.

Em 2008, apesar da maior atividade biológica do solo na sequência SM ter resultado em menores teores de C orgânico no solo (BORGES, 2010), de acordo com os resultados do presente estudo, acredita-se que o consumo e a imobilização do C orgânico do solo pelos microrganismos não tenham ocorrido somente nas frações associada aos minerais, humina e dos ácidos húmicos, cuja recalcitrância é elevada

(QUALLS, 2004), mas, principalmente, nas frações mais lábeis de C, como na fração particulada.

Tabela 34. Teores de carbono orgânico total (COT) e nas frações associada aos minerais (COAM) e particulada (COP) em cada sequência de culturas de verão em 2008 e 2009.

Sequências de verão ¹	COT	COAM	COP	COT	COAM	COP
	-----	2008 -----	-----	-----	2009 -----	-----
	g kg^{-1}					
SM	12,1 B	8,4 B	3,7 C	12,0	8,7 B	3,3 A
MM	14,0 A	9,6 A	4,4 B	13,2	10,5 A	2,7 B
SS	13,9 A	8,6 B	5,3 A	12,7	9,7 AB	3,0 AB

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Tabela 35. Teores de carbono orgânico nas frações humina (C-HUM), nos ácidos húmicos (C-AH) e nos ácidos fúlvicos (C-AF) do solo em cada sequência de culturas de verão em 2008 e 2009.

Sequências de verão ¹	COT	C-AH	C-AF	C-HUM	C-AH	C-AF
	-----	2008 -----	-----	-----	2009 -----	-----
	g kg^{-1}					
SM	6,2 B	5,2 C	1,4	6,8	6,6 B	1,4
MM	7,8 A	6,5 A	1,1	7,2	7,6 A	1,1
SS	7,0 AB	5,8 B	1,3	6,8	7,5 A	0,9

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Portanto, acredita-se que os menores teores de C na fração associada aos minerais e nos ácidos húmicos, observados na sequência SM em 2008 (Tabelas 34 e 35), estejam associados aos menores teores de C da fração particulada. Deste modo, com o C da fração particulada imobilizado pelos microrganismos do solo, menores quantidades de substrato são disponibilizadas para a formação de substâncias humificadas (HAYNES, 2005), já que os microrganismos do solo utilizam a fração lábil do C (particulada) do solo como fonte preferencial de energia (BONGIOVANNI & LOMBARDINI, 2006; VIEIRA et al., 2007b). Reforçando essa hipótese, em 2009, os teores de C na fração associada aos minerais e dos ácidos húmicos permaneceram inferiores na sequência SM.

Entre os sistemas com monoculturas em 2008, observaram-se maiores teores de C na fração particulada do solo na sequência SS e maiores teores de C na fração

associada aos minerais (Tabela 34) e nos ácidos húmicos na sequência MM (Tabela 35). Os maiores teores de C na fração particulada na sequência SS são decorrentes da maior labilidade à decomposição dos resíduos de soja cultivada no verão, devido aos menores valores de relação C:N e lignina:N, quando comparados aos resíduos de milho (Tabela 3). Por essa razão, os resíduos de soja contribuíram para o aumento de C na fração particulada no solo, a qual é representada, principalmente, por resíduos de plantas e raízes em processo inicial de decomposição (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992). Resultados semelhantes foram observados por NEEDELMAN et al. (1999), ao estudarem a contribuição dos resíduos de soja nos teores de C na fração particulada no solo quando comparados aos resíduos de milho, em solos de 36 localidades no Estado de Illinois, EUA.

Os maiores teores de C na fração associada aos minerais e nos ácidos húmicos, observados na sequência MM, podem estar relacionados à maior recalcitrância e menor taxa de degradação apresentados pelos resíduos de milho, devido aos maiores valores de relação C:N, lignina:N, teores de lignina e de polifenóis (MARTENS, 2000b). Adicionalmente, a lignina e os compostos fenólicos, juntamente com produtos exsudados pelos microrganismos do solo no processo de decomposição dos resíduos, formam os principais componentes do húmus (STEVENSON, 1994), presente na fração dos ácidos húmicos do solo e que estão associadas aos minerais. Em análise bioquímica de resíduos de soja e milho, MARTENS (2000a) constatou baixos teores de ácidos fenólicos nos resíduos de soja e maiores quantidades de ácidos fenólicos no solo após incubação por 84 dias com resíduos de milho (MARTENS, 2000b).

Observaram-se reduções de 9% nos teores totais de C orgânico do solo nas sequências MM e SS entre as avaliações realizadas em 2008 e em 2009 (Tabela 34). Na fração particulada, as reduções dos teores de C foram de 39% na MM e de 43% na SS de um ano para o outro, portanto, uma redução muito maior na fração particulada quando comparada ao C orgânico total do solo. Quando se considerou o percentual do C da fração particulada em relação ao teor total de C, houve redução de 30% para 22% na sequência MM e de 38% para 24% na SS. Os menores teores de C orgânico total

em 2009 podem estar relacionados à maior ocorrência de chuvas no período que antecedeu a amostragem de solo, quando comparada àquela de 2008 (Figura 3).

A maior ocorrência de chuvas proporcionou adequadas condições de umidade do solo, favorecendo a atividade microbológica (SKOPP et al., 1990) e, portanto, o consumo de C do solo pelos microrganismos (KIRSCHBAUM, 1995; LEIRÓS et al., 1999). Foi possível notar que a redução do C ocorreu principalmente na fração particulada, pois, não foram observadas reduções de C na fração associada aos minerais (Tabela 34). Portanto, esses resultados indicam que a fração particulada é a fração de C do solo de maior labilidade para os microrganismos, pela maior facilidade de decomposição. ANGERS et al. (1993) também verificaram rápidas reduções dos teores de C do solo em solo canadense no período de maio a junho, e relacionaram essas reduções à mineralização do C orgânico da fração particulada.

Contudo, na sequência SM, não foram observadas alterações dos teores de C orgânico total no solo e nem nas frações particulada e associada aos minerais de um ano para o outro (Tabela 34). A explicação desse fato pode estar relacionada à dinâmica do C orgânico do solo logo após a adição de materiais orgânicos ao solo. Com a adição de resíduos ao solo, os microrganismos dão início ao processo de decomposição desses materiais, o que provoca rápido crescimento de sua população e, conseqüentemente, da incorporação de C ao solo. Em seguida, as quantidades de resíduos vegetais tornam-se inferiores à demanda dos microrganismos decompositores, e estes passam a consumir o C presente no solo, o que resulta num decréscimo gradual dos teores de C do solo até atingir novo equilíbrio (KUZYAKOV et al., 2000).

Nesse sentido, devido à maior labilidade dos resíduos de soja e de sua contribuição na formação da fração particulada (NEEDELMAN et al., 1999), é possível que a maior e mais ativa comunidade microbológica do solo observada na sequência SM tenha degradado rapidamente os resíduos da soja colhida em março de 2009, resultando em rápido aumento da fração particulada, logo após a adição dos resíduos no solo na sequência SM. Deste modo, o aumento do teor do C da fração particulada em SM ocorreu de maneira a superar os teores de C da fração particulada na sequência MM, pois, em 2009, os teores de C na fração particulada foram maiores na

sequência SM (Tabela 34). Portanto, uma vez que as condições climáticas do período da entressafra de 2009 foram favoráveis à mineralização do C do solo, assim como na forma particulada, o aumento dos teores de C orgânico na fração particulada na sequência SM, logo após a colheita das culturas de verão, provavelmente, tenha sido o fator responsável pela manutenção dos teores de C orgânico no solo na sequência SM.

Em 2009, o percentual do C da fração particulada em relação ao C total do solo foi de 27% na sequência SM, de 22% na MM e de 23% na SS. Estudos têm mostrado valores semelhantes, em torno de 20%, nas camadas superficiais de solos cultivados em SSD em condições tropicais e subtropicais (BAYER et al., 2001; BONGIOVANNI & LOMBARDINI, 2006; FIGUEIREDO et al., 2010; SANTOS et al., 2011). Em condições tropicais, mesmo com elevadas adições de resíduos vegetais ao solo, o clima (temperatura e distribuição da chuva) favorece a atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, o rápido consumo de C orgânico do solo, preferencialmente da fração particulada, o que dificulta o aumento expressivo do C dessa fração no solo, como observado no presente estudo.

De modo geral, verificou-se que o percentual médio do C da fração particulada em relação ao C total do solo foi maior em 2008 (34%) quando comparado àquele de 2009 (24%). Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que no ano agrícola 2007/2008 foi cultivado milho nas sequências SM e MM, enquanto que no ano agrícola 2008/2009, cultivou-se soja nas sequências SM e SS. Portanto, o aporte de resíduo vegetal, proporcionado pela cultura de verão e a cultura de entressafra foi muito maior em 2008, quando comparado àquele de 2009, em decorrência da maior quantidade de resíduos produzidos pela cultura do milho (Tabela 2) e pelas culturas de entressafra (Tabela 8). Segundo YANG & KAN (2001), quando o histórico de culturas é semelhante, a quantidade dos resíduos vegetais que retornam ao solo é o fator responsável pelas alterações dos teores de C no solo.

De outubro de 2008 a outubro de 2009, observaram-se aumentos de 9% nos teores médios de C orgânico da fração associada aos minerais nas parcelas cultivadas com crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto e de 3% nas parcelas cultivadas com milho, sorgo e girassol (Tabela 36). Esses resultados indicam que os resíduos das

culturas de entressafra trituradas no florescimento contribuíram mais significativamente para a manutenção dos teores de C orgânico da fração associada aos minerais do solo.

Tabela 36. Teores de carbono orgânico total (COT) e nas frações associada aos minerais (COAM) e particulada (COP) para cada cultura de entressafra em 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	COT	COAM	COP	COT	COAM	COP
	-----	2008 -----		-----	2009 -----	
	----- g kg ⁻¹ -----					
Crotalária	13,5	8,9	4,6	13,3	10,0	3,3 A
Guandu	13,3	9,0	4,3	13,1	9,8	3,3 A
Nabo forrageiro	13,1	8,7	4,4	12,2	9,4	2,8 B
Milheto	13,0	8,8	4,2	12,0	9,0	3,0 AB
Média (florescimento)	13,2	8,9	4,4	12,7	9,6	3,1
Milho	13,5	8,6	4,9 A	11,8	8,9	2,9
Sorgo	13,9	9,0	4,9 A	12,7	9,6	3,1
Girassol	12,6	8,4	4,2 B	11,4	8,7	2,6
Média (colheita)	13,3	8,7	4,7	12,0	9,1	2,9
F (florescimento vs. colheita)	0,01 ^{ns}	3,82 ^{ns}	1,14 ^{ns}	5,33*	5,08*	3,11 ^{ns}

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Em 2009, os resíduos das culturas de entressafra trituradas no florescimento proporcionaram ao solo maiores teores de C orgânico total, de C nas frações associada aos minerais (Tabela 36) e humina (Tabela 37), quando comparados aos resíduos das culturas que foram conduzidas até a colheita dos grãos. Esses resultados são atribuídos às maiores quantidades de N liberadas no processo de decomposição dos resíduos das culturas manejadas no pleno florescimento de modo geral (Tabela 17).

O N liberado dos resíduos estimulou a atividade dos microrganismos do solo, aumentando a taxa de decomposição dos resíduos e de humificação do C no solo. Adicionalmente, acredita-se que pode ter ocorrido redução da mineralização do C das frações humificadas, devido à maior oferta do nutriente nos resíduos (DIJKSTRA et al., 2004). HAGEDORN et al. (2003) observaram aumentos das quantidades de C associado às frações silte e argila, em decorrência da adição de N ao solo, e atribuíram o resultado ao retardamento das reações de mineralização do C no solo. Contribuindo para essas afirmações, em experimento com 13 anos de condução em Latossolo na região Sul do Brasil, SISTI et al. (2004) concluíram que o fator principal que controla o

acúmulo de C em SSD é o N adicionado ao sistema por meio das culturas de cobertura, principalmente pelas leguminosas. NEFF et al. (2002) reportaram que adições de N aceleraram, significativamente, a decomposição das frações lábeis de C orgânico no solo e, ao mesmo tempo, estabilizaram o C orgânico nas frações mais pesadas, como aquelas associadas aos minerais. Os autores mencionaram que os efeitos, resultantes da adição de N via fertilizantes, são análogos àqueles cujas adições de N ocorrem por meios naturais, seja por resíduos vegetais das culturas (ciclagem de nutrientes) e/ou por fixação biológica do N atmosférico. Nesse sentido, as maiores quantidades liberadas de N dos resíduos de crotalária (Tabela 17) proporcionaram maiores teores de C na forma de ácidos húmicos no solo nas parcelas cultivadas com essa leguminosa na entressafra, quando comparados aos teores observados no solo das parcelas cultivadas com nabo forrageiro, nos dois anos (Tabela 37).

Tabela 37. Teores de C no solo nas frações humina (C-HUM), ácidos húmicos (C-AH) e ácidos fúlvicos (C-AF) em cada cultura de entressafra em 2008 e 2009.

Culturas de entressafra						
C-HUM	C-AH	C-AF	C-HUM	C-AH	C-AF	
----- 2008 -----			----- 2009 -----			
----- g kg ⁻¹ -----						
Crotalária	7,2	6,4 AB	1,3	7,5	8,1 A	1,3
Guandu	7,1	6,7 A	1,5	7,5	7,9 AB	1,4
Nabo forrageiro	7,3	5,5 B	1,5	7,0	6,8 B	1,5
Milheto	6,7	6,6 AB	1,6	6,7	8,3 A	1,5
Média (florescimento)	7,1	6,3	1,5	7,2	7,8	1,4
Milho	6,7	5,8 AB	1,7	6,3	7,0 B	1,8
Sorgo	7,5	6,9 A	1,8	7,0	8,3 A	1,5
Girassol	6,5	5,5 B	1,7	6,4	6,6 B	1,3
Média (colheita)	6,9	6,1	1,7	6,6	7,3	1,5
F (florescimento vs. colheita)	0,43 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,36 ^{ns}	5,77*	2,89 ^{ns}	0,94 ^{ns}

ns: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P < 0,05$); **: significativo ($P < 0,01$).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey ($P = 0,05$).

Além disso, considera-se o maior período de tempo que os resíduos das culturas trituradas no florescimento permaneceram na superfície do solo sujeitos aos fatores de decomposição (Figura 3), o que proporcionou a liberação de maiores quantidades de C dos resíduos, possibilitando maior incorporação ao solo (Figura 16 e Tabela 38).

Observou-se ainda que, crotalária e guandu proporcionaram maiores teores de C orgânico na fração particulada, quando comparados ao nabo forrageiro em 2008 (Tabela 36). Nesse caso, a maior permanência da fração particulada proveniente dos resíduos das leguminosas pode ser atribuída às maiores concentrações de lignina observadas nos resíduos de crotalária e guandu, quando comparadas àquelas dos resíduos de nabo forrageiro (Tabela 3), o que conferiu maior resistência à transformação da fração particulada pelos microrganismos no solo.

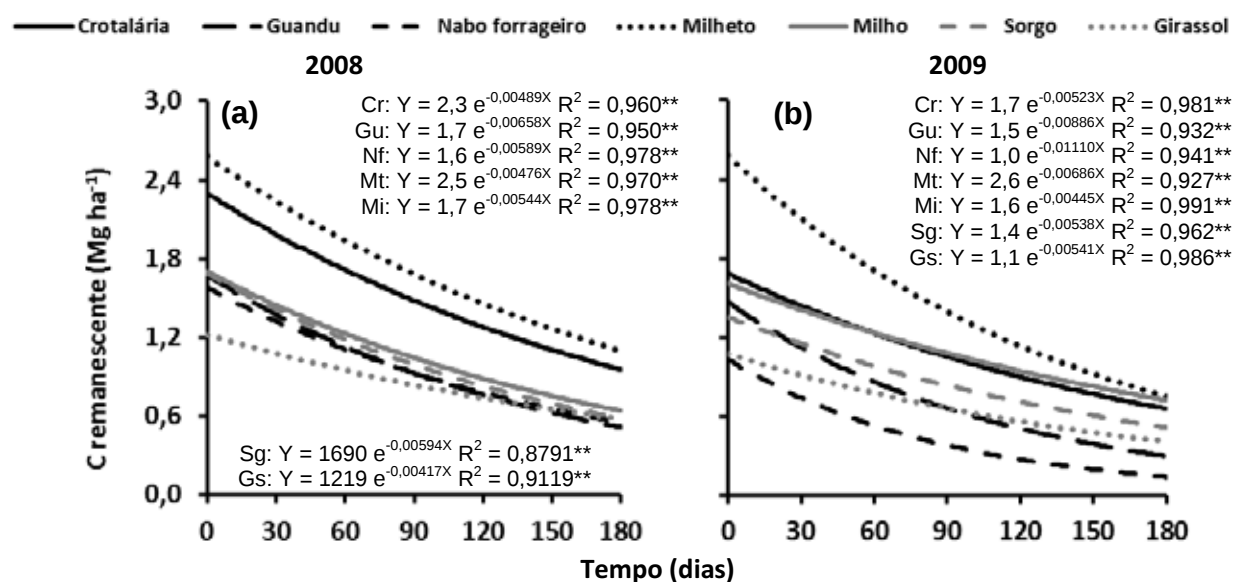


Figura 16. Quantidades de carbono nos resíduos remanescentes das culturas de entressafra sobre o solo ao longo do tempo, no período de entressafra de 2008 e 2009. Cr: crotalária; Gu: guandu; Nf: nabo forrageiro; Mt: milheto; Mi: milho; Sg: sorgo; Gs: girassol. **: significativo ($P < 0,01$).

O cultivo de girassol na entressafra, quando comparado aos cultivos de milho e sorgo, proporcionou os menores teores de C nas frações particulada em 2008 (Tabela 36) e dos ácidos húmicos nos dois anos (Tabela 36). Além disso, o cultivo de girassol na entressafra, quando comparado ao de sorgo, proporcionou ao solo menores teores de C orgânico na fração dos ácidos húmicos nos dois anos (Tabela 37). Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que o girassol produziu as menores quantidades de resíduos (Tabela 8) e, ainda, apresentando as menores porcentagens de cobertura do solo (Tabelas 23 e 24). Adicionalmente, o girassol apresentou as

menores quantidades acumuladas de C em seus resíduos (Figura 16), em decorrência da menor quantidade produzida. Todos esses fatores contribuíram para que menores quantidades de C, provenientes da degradação dos resíduos de girassol, fossem incorporadas ao solo (Tabela 38). Além disso, a menor cobertura do solo, proporcionada pelos resíduos de girassol favoreceu a incidência direta da radiação solar na superfície do solo, com consequente aumento da temperatura, acelerando o processo de oxidação do C orgânico do solo (KIRSCHBAUM, 1995; KÄTTERER et al., 1998; ELTZ & ROVEDDER, 2005), o que, no presente estudo, refletiu, principalmente, na fração particulada e nos ácidos húmicos. Menores coberturas do solo e menores teores de C no solo nas parcelas com cultivo de girassol na entressafra já foram observados por MARCELO et al. (2009) em anos anteriores e são recorrentes ao longo da condução do presente experimento.

Tabela 38. Estimativas das quantidades decompostas de matéria seca e de C liberado dos resíduos das culturas de entressafra no período entre a trituração e a amostragem de solo, em 2008 e 2009.

Culturas de entressafra	Período de decomposição	MS	C	Período de decomposição	MS	C
	dias	%	kg ha ⁻¹	dias	%	kg ha ⁻¹
	----- 2008 -----			----- 2009 -----		
Crotalária	123	44	1040	129	50	827
Guandu	102	48	819	87	52	789
Nabo forrageiro	142	64	895	158	84	855
Milheto	134	53	1218	144	68	1621
Milho	53	21	426	46	18	298
Sorgo	53	22	456	46	24	297
Girassol	43	19	200	46	26	237

Em 2009, o cultivo de sorgo na entressafra proporcionou maiores teores de C na fração dos ácidos húmicos do solo, quando comparado àqueles proporcionados pelo cultivo de milho (Tabela 37). Provavelmente, esse resultado pode ser atribuído à maior contribuição do sistema radicular do sorgo no aporte de C ao solo e na formação de ácidos húmicos, devido ao maior adensamento de plantas e às características recalcitrantes das raízes das culturas, quando comparadas às da parte aérea.

Não foram observados efeitos das sequências de culturas de verão e de entressafra nos teores de C na fração dos ácidos fúlvicos (Tabelas 35 e 37). Entre humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, os menores teores de C foram observados na forma de ácidos fúlvicos. Em 2008, o percentual de ácidos fúlvicos em relação às substâncias húmicas do solo foi de 10,8% e, em 2009, de 9,2%, indicando um maior grau de humificação do C no solo, devido ao predomínio de frações mais humificadas (STEVENSON, 1994; ZECH et al., 1997).

Como os resíduos das culturas de entressafra trituradas no florescimento favoreceram o processo de humificação do C no solo e, conseqüentemente, aumentaram os teores de C orgânico nas frações humina e dos ácidos húmicos, também eram esperados aumentos dos teores de C dos ácidos fúlvicos entre os anos estudados, o que não foi observado. As seguintes explicações podem relacionadas aos resultados: 1) a maior ocorrência de precipitações em 2009 no período antecedente à amostragem do solo (Figura 3) pode ter favorecido a lixiviação de parte dos ácidos fúlvicos do solo, pois, os ácidos fúlvicos são compostos por moléculas de menor peso molecular e com elevada densidade de grupamentos carboxílicos, o que confere maior solubilidade entre as substâncias húmicas (STEVENSON, 1994); 2) pode ter ocorrido transformação de ácidos fúlvicos em ácidos húmicos no solo por meio de reações de polimerização. A maior atividade microbiana no solo e a maior taxa de degradação dos resíduos vegetais em 2009 contribuíram para a liberação de produtos que se ligaram às moléculas de ácidos fúlvicos, conferindo-lhes maior peso molecular e comportamento semelhante às substâncias classificadas como ácidos húmicos (STEVENSON, 1994).

Reforçando a segunda explicação, observou-se aumento dos teores médios de C dos ácidos húmicos de 6,2 g kg⁻¹ em 2008 para 7,6 g kg⁻¹ em 2009 (Tabelas 35 e 37). Também foi observado aumento do percentual do C dos ácidos húmicos em relação ao C das substâncias húmicas, passando de 42% em 2008 para 47% em 2009. Na maioria dos casos, os teores de C dos ácidos húmicos chegaram a superar os teores de C da fração humina, fração considerada de maior estabilidade no solo, cujo percentual foi de 50% em relação às substâncias húmicas em 2008 e de 45% em 2009. No entanto, os teores de C na fração humina pouco se alteraram entre as duas amostragens de solo,

cujas estabilidade está relacionada ao maior grau de complexão química e afinidade com partículas minerais do solo (STEVENSON, 1994). A redução percentual observada na fração humina se deve ao aumento relativo do teor médio do C da fração dos ácidos húmicos. QUALLS (2005), ao estudar a biodegradabilidade das substâncias húmicas em solo de floresta no período de um ano, observou menor taxa de mineralização do C dos ácidos húmicos (5,5%), quando comparada às taxas de mineralização do C dos ácidos fúlvicos (16,2%) e do C da fração humina (44,1%). No presente estudo, o aumento dos teores de C observados na fração dos ácidos húmicos, provavelmente, foi devido à sua menor taxa de mineralização.

YAGI et al. (2003), em Latossolo Vermelho, textura média, também observaram que 20% do C das substâncias húmicas estava na forma de ácidos fúlvicos. Esses autores chamaram atenção para as rápidas transformações que ocorrem entre as frações húmicas menos polimerizadas do solo, as quais são intensamente influenciadas pelas variações climáticas, estágio de evolução da humificação e reflexos sobre a biomassa microbiana do solo. Em Latossolo Vermelho cultivado com milho em SSD, SOUZA & MELO (2003) observaram que 10% das substâncias húmicas estavam na forma de ácidos fúlvicos e relacionaram o observado ao estágio mais avançado de humificação do C do solo em regiões tropicais, semelhantemente ao observado no presente estudo.

A análise dos teores de C do solo nas frações particulada, associada aos minerais, humina e ácidos húmicos possibilitou detectar alterações proporcionadas pelos sistemas de culturas, pois, as diferenças dos sistemas com monoculturas (soja ou milho) foram observadas nessas frações de C (Tabelas 34 e 35), o que não foi possível observar por meio da análise do teor total de C orgânico do solo. Isso indica uma maior sensibilidade das frações do C avaliadas no presente estudo em detectar efeitos de práticas de manejo do solo, corroborando resultados observados em outras pesquisas (BAYER et al., 2001; FREIXO et al., 2002; HAYNES, 2005; FIGUEIREDO et al., 2010; SANTOS et al., 2011).

4.6. Produtividade de soja e milho

Não foram observadas diferenças nas produtividades de milho ou de soja, quando se comparou a produção de grãos das sequências com monocultura no verão com aquelas da sequência com rotação soja-milho nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010 (Tabela 39). No entanto, as produtividades de milho e de soja no verão foram influenciadas pelas culturas de entressafra nos dois anos agrícolas (Tabela 40).

Tabela 39. Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados das produtividades de milho e soja em função das culturas de entressafra e da rotação no verão, nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010.

Fontes de variação	----- Milho -----		----- Soja -----	
	2008/2009	2009/2010	2008/2009	2009/2010
Entressafra (E)	3,99*	4,71*	10,71**	3,51*
Rotação no verão (V)	-	6,72 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-
Interação E x V	-	1,29 ^{ns}	1,82 ^{ns}	-
CV _E (%)	7,6	1,4	11,1	6,1
CV _V (%)	-	3,6	19,6	-

ns: não significativo (P > 0,05); *: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Tabela 40. Produtividades de milho e de soja cultivadas no verão dos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010 em função das culturas de entressafra.

Culturas de entressafra	----- Milho ¹ -----		----- Soja ² -----	
	2008/2009	2009/2010	2008/2009	2009/2010
	----- Mg ha ⁻¹ -----			
Crotalária	8,4 A	7,2 B	3,1 A	4,1 A
Guandu	7,1 B	7,1 B	2,2 B	3,4 B
Nabo forrageiro	7,2 AB	7,4 AB	3,2 A	3,7 AB
Milheto	7,8 AB	7,6 A	3,0 A	3,5 B
Média (florescimento)	7,6	7,3	2,8	3,7
Milho	7,1	7,0	2,6 A	3,4
Sorgo	6,9	6,9	2,2 B	3,7
Girassol	6,5	7,0	2,9 A	3,6
Média (colheita)	6,8	7,0	2,6	3,6
F (florescimento vs. colheita)	25,23**	21,74**	3,87 ^{ns}	1,89 ^{ns}

¹: Sequência MM no ano agrícola 2008/2009 e média das sequências MM e SM em 2009/2010.

²: Média das sequências SS e SM no ano agrícola em 2008/2009 e sequência SS em 2009/2010.

ns: não significativo (P > 0,05); **: significativo (P < 0,01).

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Nos dois anos agrícolas, as maiores produtividades de grãos de milho foram observadas em sucessão às culturas manejadas no florescimento (Tabela 40). No ano agrícola 2008/2009, entre as culturas trituradas no florescimento, a crotalária proporcionou maior produtividade de milho, quando comparada ao guandu, e no ano agrícola 2009/2010, o milheto proporcionou maior produtividade de milho, quando comparado ao guandu e à crotalária. Esses resultados podem ser atribuídos às maiores quantidades de nutrientes acumuladas na MS (Tabelas 10 a 14) e liberadas durante a decomposição dos resíduos das culturas de entressafra (Tabelas 17 a 22).

O efeito do cultivo de crotalária na entressafra na maior produtividade de milho, quando comparado ao efeito proporcionado pelo guandu no ano agrícola 2008/2009, pode ser atribuído ao maior desempenho da crotalária quanto à produção de MS e com maiores quantidades de nutrientes acumulados nos resíduos na entressafra de 2008 (Figuras 8 e 9). O mesmo pode ser afirmado para o milheto, cultura a qual apresentou desempenho superior à crotalária nos dois anos avaliados, justificando as maiores produtividades de milho após o cultivo de milheto na entressafra. Contribuindo para essas explicações, são vários os relatos de aumentos na produtividade de milho em sucessão a milheto e crotalária na região do Cerrado (COLLIER et al., 2006; SILVA et al., 2006a; SOUSA NETO et al., 2008). Esses autores relacionaram as maiores produtividades de milho às maiores quantidades de N liberadas pelos resíduos das culturas antecessoras.

No ano agrícola 2008/2009, tanto em monocultura como em rotação com milho no verão, a soja apresentou menores produtividades de grãos após cultivo de guandu, entre as culturas de entressafra trituradas no florescimento, e após cultivo de sorgo, entre as culturas de entressafra conduzidas até a colheita dos grãos (Tabela 40). No ano agrícola 2009/2010, maiores produtividades de soja foram observadas após cultivo de crotalária, superiores às aquelas observadas após cultivos de guandu e milheto.

TANAKA et al. (1992), em condições de solo e clima semelhantes às do presente estudo, obtiveram incrementos na produtividade de soja após cultivo e incorporação de resíduos de crotalária ao solo. Os autores relacionaram o resultado aos fatores biológicos do solo, como a provável redução da população de nematoides

fitopatogênicos, em decorrência do cultivo anterior de crotalária, o que favoreceu o desenvolvimento e a produtividade cultura da soja em sucessão.

Em avaliação no ano agrícola 2006/2007 do presente experimento, MARCELO (2007) observou maiores teores de Zn nas folhas de soja por ocasião do florescimento e relacionou esse resultado à provável associação simbiótica da soja com micorrizas arbusculares nas raízes das plantas, corroborando JAMAL et al. (2002). Portanto, em decorrência da crotalária apresentar elevada dependência micorrízica (MIRANDA et al., 1989), os fungos remanescentes no solo após cultivo de crotalária podem ter se associado à soja semeada em sucessão, resultando em efeitos benéficos na absorção de nutrientes com menor disponibilidade no solo, como por exemplo, o P e o Zn, aumentando a produtividade de grãos.

No presente estudo, o nabo forrageiro demonstrou elevada capacidade em absorver e liberar os nutrientes ao solo rapidamente. Portanto, a rápida ciclagem dos nutrientes proporcionada pelo nabo forrageiro pode ter influenciado positivamente a soja, superando os efeitos proporcionados pelo cultivo guandu na entressafra. Além disso, em razão do sistema radicular vigoroso, o nabo forrageiro geralmente é utilizado com o objetivo de melhorar os atributos físicos do solo, como por exemplo, o aumento da porosidade e a redução da densidade do solo (CARNEIRO et al., 2009). Deste modo, acredita-se que esses efeitos tenham contribuído para as maiores produtividades de soja após cultivo de nabo forrageiro.

Observa-se que os efeitos das culturas de entressafra na produtividade de soja nos diferentes anos agrícolas foram variáveis e dependeram das condições climáticas de cada ano agrícola e do desenvolvimento das culturas de entressafra. Nesse sentido, as maiores produtividades de soja no ano agrícola 2009/2010 estão relacionadas à melhor distribuição e ocorrência de chuvas durante o ciclo da cultura, quando comparado àquelas observadas durante o ciclo da cultura no ano agrícola 2008/2009 (Figura 3). Visando a isolar a diferença entre anos agrícolas, os efeitos das culturas de entressafra sobre as produtividades de milho e soja foram analisadas considerando-se a produção total pelas culturas de verão desde a implantação do experimento, ou seja, no período de 2003 a 2010.

Na cultura do milho, as maiores produções de grãos foram proporcionadas pelas culturas manejadas no florescimento, quando comparadas àquelas conduzidas até a colheita dos grãos, tanto em monocultura no verão, quanto em rotação com a soja (Tabela 41).

Tabela 41. Produções acumuladas de milho e soja cultivados no verão desde a implantação do experimento, no período entre os anos de 2003 e 2010.

Culturas de entressafra	----- Milho -----		----- Soja -----	
	Monocultura (MM ²)	Rotação ¹ (SM ²)	Monocultura (SS ²)	Rotação ¹ (SM ²)
	----- Mg ha ⁻¹ -----			
Crotalária	50,8	30,2	23,8 A	9,9 A
Guandu	49,4	28,6	20,5 B	8,2 B
Nabo forrageiro	50,1	30,4	22,8 A	9,7 A
Milheto	50,9	30,6	21,8 AB	9,5 A
Média (florescimento)	50,3	29,9	22,2	9,4
Milho	47,6	29,0	21,4 A	8,8 A
Sorgo	46,0	27,8	19,1 B	7,7 B
Girassol	46,3	29,0	20,8 AB	9,1 A
Média (colheita)	46,6	28,6	20,4	8,5
F (florescimento vs. colheita)	31,58**	7,51*	17,7**	26,99**

*: significativo (P < 0,05); **: significativo (P < 0,01).

¹: Média de quatro anos agrícolas para o milho e média de três anos agrícolas para a soja.

²: SM: rotação soja-milho; MM: monocultura de milho; SS: monocultura de soja.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e dentro de cada grupo de médias, não diferem pelo teste de Tukey (P = 0,05).

Na sequência com monocultura de milho no verão, a produção total de grãos de milho após o período de entressafra com cultivo de crotalária, guandu, nabo forrageiro e crotalária foi de 50,3 Mg ha⁻¹ (Tabela 41). Já para o milho cultivado após milho, sorgo ou girassol na entressafra, a produção média foi de 46,6 Mg ha⁻¹. Deste modo, em sete anos agrícolas de avaliação da produtividade após o cultivo de culturas de entressafra, a diferença no manejo das culturas na entressafra, ou seja, de trituração no florescimento ou condução até a colheita dos grãos, resultou numa diferença de 3,7 Mg ha⁻¹. Na sequência SM, com cultivo de milho em quatro anos agrícolas, a diferença de produção de grãos foi de 1,3 Mg ha⁻¹.

Esses resultados confirmam as observações feitas quanto às produtividades de milho observadas nos anos agrícolas 2008/2009 e 2009/2010 e podem ser atribuídos às

maiores quantidades dos nutrientes liberados por meio da decomposição dos resíduos das culturas manejadas no florescimento na entressafra, principalmente N, quando comparadas às quantidades dos nutrientes contidos nos resíduos das culturas conduzidas até a colheita dos grãos.

Mesmo que as adubações tenham sido planejadas e efetuadas sem limitação de nutrientes à cultura do milho, e, sempre objetivando elevadas produtividades esperadas, é possível que a liberação gradual dos nutrientes dos resíduos, durante o desenvolvimento da cultura, tenha favorecido a absorção dos nutrientes pelo milho, uma vez que as adubações foram realizadas de uma única vez, aumentando a possibilidade de perdas e, portanto, de redução no aproveitamento pela cultura.

Efeito semelhante foi observado na produção total de grãos de soja ao longo dos anos de avaliação do presente experimento nas sequências SS e SM. Em média, as culturas manejadas no florescimento proporcionaram maiores produções de grãos de soja, quando comparadas às culturas conduzidas até a colheita dos grãos (Tabela 41). Na sequência SS, entre as culturas manejadas no florescimento, observaram-se menores produções de grãos na soja cultivada após guandu, quando comparadas àquelas da soja cultivada após crotalária e nabo forrageiro. E entre as culturas conduzidas até a colheita na entressafra, o cultivo de sorgo proporcionou menores produções de grãos de soja, quando comparado ao cultivo de milho na entressafra. E na sequência SM, as menores produções de grãos de soja foram proporcionadas pelo cultivo de guandu na entressafra, entre as culturas triturdadas no florescimento, e pelo cultivo de sorgo, entre as culturas conduzidas até a colheita dos grãos.

Na sequência SS, em sete anos agrícolas, observou-se uma diferença de $4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, quando se comparou a produção de grãos da soja cultivada após crotalária ($23,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) com a produção da soja cultivada após sorgo ($19,1 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Tabela 41). É importante observar que essa diferença entre os cultivos de crotalária e de sorgo na entressafra sobre a produção de grãos de soja foi superior à produtividade média de soja obtida no presente experimento, de $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Portanto, cultivando-se sorgo na entressafra por um período de quatro anos agrícolas, haverá uma redução de produção

de grãos equivalente à produção de um ano agrícola, se comparada à produção de soja cultivada após crotalária na entressafra.

O efeito negativo do cultivo de sorgo na produção de soja ocorreu tanto na sequência SM quanto na sequência SS (Tabela 41). Esse resultado pode ser atribuído aos efeitos alelopáticos negativos proporcionados pelos compostos liberados durante a decomposição dos resíduos de sorgo, como tanino e alguns ácidos graxos (OLIBONE et al., 2006), interferindo negativamente na germinação e no crescimento da cultura seguinte. Embora a cultura do sorgo apresente características desejáveis para sua utilização na entressafra, como tolerar condições desfavoráveis de umidade, produzir elevadas quantidades de MS com relação C:N relativamente alta e proporcionar elevadas porcentagens de cobertura do solo, seus resíduos podem interferir negativamente no desenvolvimento das espécies em sucessão, principalmente na soja. Portanto, o sorgo não é uma cultura indicada para ser cultivada anteriormente à cultura da soja. NUNES et al. (2006) alertaram para a importância dessas considerações ao se planejar o esquema de rotação de culturas.

5. CONCLUSÕES

A hipótese do presente trabalho foi confirmada, ou seja, as taxas de decomposição e de liberação de nutrientes dos resíduos vegetais das culturas de entressafra foram diferentes e influenciaram os atributos químicos do solo, os quais refletiram na produtividade das culturas em sucessão. Portanto:

- Os resíduos de crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto liberaram maiores quantidades de nutrientes durante a decomposição, quando comparados aos resíduos de milho, sorgo e girassol.

- Monocultura de soja no verão proporcionou ao solo maiores teores de C orgânico na fração particulada, e monocultura de milho no verão, os maiores teores de C orgânico no solo nas frações associada aos minerais e nos ácidos húmicos.

- Resíduos de crotalária, guandu, nabo forrageiro e milheto proporcionaram ao solo maiores teores de C nas frações humina e associada aos minerais. Os resíduos de crotalária e de guandu proporcionaram maiores teores de C orgânico na fração particulada.

- As maiores produções de grãos de milho e de soja durante a condução do experimento foram obtidas após cultivo de crotalária, nabo forrageiro e milheto, culturas de entressafra que foram manejadas no florescimento.

6. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I - Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.739-749, 2004.

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.

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

AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II - Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1085-1096, 2003.

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. Leguminosas e oleaginosas, p.189-204.

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1003-1011, 2003.

ANGERS, D. A.; BISSONNETTE, N.; LEGERE, A.; SAMSON, N. Microbial and biochemical-changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.73, n.1, p.39-50, 1993.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico. 1983. 48 p. (Boletim Técnico)

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C. N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, n.5, p.1473-1478, 2001.

BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.133, n.1-2, p.13-22, 2000.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A. C.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007.

BONGIOVANNI, M. D.; LOMBARDINI, J. C. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. **Geoderma**, Amsterdam, v.136, n.3-4, p.660-665, 2006.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.3, p.417-428, 2003.

BORGES, C. D. **Alterações microbianas do solo sob sistema de semeadura direta e rotação de culturas**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, R. P.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.143-153, 2003.

BRANDT, E. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MARCHETTI, M. E. Desempenho agrônomo de soja em função da sucessão de culturas em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.5, p.869-874, 2006.

BRAZ, A. J. B. P.; SILVEIRA, P. M.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. Acumulação de nutrientes em folhas de milheto e dos capins braquiária e mombaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.34, n.2, p.83-87, 2004.

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

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n.3, p.777-783, 1992.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B.; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. Cereais, p.43-72.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; ALCÂNTARA, F. A.; RESCK, I. S.; LEMOS, S. S. Characterization by solid-state CPMAS ^{13}C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.102, n.1, p.144-150, 2009.

CARVALHO, M. A. C.; ATHAYDE, M. L. F.; SORATTO, R. P.; ALVES, M. C.; ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1141-1148, 2004.

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.

CENTURION, J. F. **Caracterização e classificação dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal**. 1998. 84 f. Tese de Livre Docência - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e

milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.49-54, 2002.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; PAVINATO, P. S.; TRENTIN, E. E.; GIROTTI, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1287-1295, 2005.

COLLIER, L. S.; CASTRO, D. V.; DIAS NETO, J. J.; BRITO, D. R.; RIBEIRO, P. A. A. Manejo da adubação nitrogenada para o milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, TO. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1100-1105, 2006.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. Nutrição e produtividade do amendoim em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.11, p.1553-1560, 2007.

DALLAL, R. C. Soil organic phosphorus. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v.29, n.1, p.83-117, 1977.

DIJKSTRA, F. A.; HOBBI, S. E.; KNOPS, J. M. H.; REICH, P. B. Nitrogen deposition and plant species interact to influence soil carbon stabilization. **Ecology Letters**, Montpellier, v.7, n.12, p.1192-1198, 2004.

ELTZ, F. L. F.; ROVEDDER, A. P. M. Revegetação e temperatura do solo em áreas degradadas no Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.2, p.193-200, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa em Solos. 2006. 306 p.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em <febrapdp.org.br>. Acesso em 2 de maio de 2011.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.907-916, 2010.

FRANCHINI, J. C.; GONZALEZ-VILA, F. J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.231, n.1, p.55-63, 2001.

FRANCISCO, E. A. B.; CÂMARA, G. M. S.; SEGATELLI, C. R. Estado nutricional e produção do capim-pé-de-galinha e da soja cultivada em sucessão em sistema antecipado de adubação. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.259-266, 2007.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.425-434, 2002.

GALANTINI, J.; ROSELL, R. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.87, n.1, p.72-79, 2006.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II - Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.751-762, 2004.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.325-334, 2003.

GUIMARÃES, G. L.; BUZETTI, S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Efeitos de culturas de verão e opções de inverno na cultura do milho na implantação do plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.28, n.4, p.471-477, 2006.

HAGEDORN, F.; SPINNLER, D.; SIEGWOLF, R. Increased N deposition retards mineralization of old soil organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.35, n.12, p.1683-1692, 2003.

HAYNES, R. J. Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview. In: DONALD, L. S. (Ed.). **Advances in Agronomy**: Academic Press, v.85, 2005. Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview, p.221-268.

HECKLER, J. C. Sorgo e girassol no outono-inverno, em sistema plantio direto, no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.3, p.517-520, 2002.

JAMAL, A.; AYUB, N.; USMAN, M.; KHAN, A. G. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance zinc and nickel uptake from contaminated soil by soybean and lentil. **International Journal of Phytoremediation**, Amherst, v.4, n.3, p.205-221, 2002.

JUNG, W. K.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; KREMER, R. J. Contrasting grain crop and grassland management effects on soil quality properties for a north-central Missouri claypan soil landscape. **Soil Science and Plant Nutrition**, Oxford, v.54, n.6, p.960-971, 2008.

KÄTTERER, T.; REICHSTEIN, M.; ANDRÉN, O.; LOMANDER, A. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.27, n.3, p.258-262, 1998.

KIRSCHBAUM, M. U. F. The temperature-dependence of soil organic-matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic-C storage. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.27, n.6, p.753-760, 1995.

KÖPPEN, W. **Das Geographische System der Klimatologie: Handbuch der Klimatologie**. Berlim: Gebruder Borntrager. 1936. 44 p.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.32, n.11-12, p.1485-1498, 2000.

LEIRÓS, M. C.; TRASAR-CEPEDA, C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.31, n.3, p.327-335, 1999.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA. 2004. 110 p.

LOVELAND, P.; WEBB, J. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.70, n.1, p.1-18, 2003.

LYON, D. J. Sunflower residue weight and ground cover loss during summer fallow. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.53, n.1, p.71-73, 1998.

MANCIN, C. R.; SOUZA, L. C. F.; NOVELINO, J. O.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Desempenho agrônômico da soja sob diferentes rotações e sucessões de culturas em sistema plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.31, n.1, p.71-77, 2009.

MANSOER, Z.; REEVES, D. W.; WOOD, C. W. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1, p.246-253, 1997.

MARCELO, A. V. **Atributos químicos do solo, estado nutricional e produtividade de soja, milho e arroz após culturas de inverno em semeadura direta**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; MARTINS, M. D. R.; JORGE, R. F. Crop sequences in no-tillage system: Effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.2, p.417-428, 2009.

MARTENS, D. A. Management and crop residue influence soil aggregate stability. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, n.3, p.723-727, 2000a.

MARTENS, D. A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.32, n.3, p.361-369, 2000b.

MCCALLISTER, D. L.; CHIEN, W. L. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v.31, n.3-4, p.465-479, 2000.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R. A.; LEITE, S. A. S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.449-455, 1994.

MENDONÇA, E. D.; ROWELL, D. L.; MARTINS, A. G.; DA SILVA, A. P. Effect of pH on the development of acidic sites in clayey and sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.132, n.1-2, p.131-142, 2006.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2001. 849 p.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas, p.1-18.

MIRANDA, J. C. C.; HARRIS, P. J.; WILD, A. Effects of soil and plant phosphorus concentrations on vesicular-arbuscular mycorrhiza in sorghum plants. **New Phytology**, Ames, v.112, n.3, p.405-410, 1989.

MULVANEY, M. J.; WOOD, C. W.; BALKCOM, K. S.; SHANNON, D. A.; KEMBEL, J. M. Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. **Agronomy Journal**, Madison, v.102, n.5, p.1425-1433, 2010.

NEEDELMAN, B. A.; WANDER, M. M.; BOLLERO, G. A.; BOAST, C. W.; SIMS, G. K.; BULLOCK, D. G. Interaction of tillage and soil texture: Biologically active soil organic matter in Illinois. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, n.5, p.1326-1334, 1999.

NEFF, J. C.; TOWNSEND, A. R.; GLEIXNER, G.; LEHMAN, S. J.; TURNBULL, J.; BOWMAN, W. D. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. **Nature**, London, v.419, n.6910, p.915-917, 2002.

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

NUNES, U. R.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.943-948, 2006.

OLIBONE, D.; CALONEGO, J. C.; PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Crescimento inicial da soja sob efeito de resíduos de sorgo. **Planta Daninha**, Viçosa, v.24, n.2, p.255-261, 2006.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1079-1087, 2002.

PAJARES, S.; GALLARDO, J. F.; MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B.; MARINARI, S.; ETCHEVERS, J. D. Biochemical indicators of carbon dynamic in an Acrisol cultivated

under different management practices in the central Mexican highlands. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.105, n.1, p.156-163, 2009.

PALMA, R. M.; ARRIGO, N. M.; SAUBIDET, M. I. Chemical and biochemical properties as potential indicators of disturbances. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v.32, n.5, p.381-384, 2000.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.3, p.911-920, 2008.

PIRES, F. R.; ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, G. P.; MORAES, L. L.; RUDOVALHO, M. C.; BOER, C. A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Ceres**, Viçosa, v.55, n.2, p.94-101, 2008.

QUALLS, R. G. Biodegradability of humic substances and other fractions of decomposing leaf litter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, n.5, p.1705-1712, 2004.

QUALLS, R. G. Biodegradability of fractions of dissolved organic carbon leached from decomposing leaf litter. **Environmental Science & Technology**, Washington, v.39, n.6, p.1616-1622, 2005.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico. 2001. 285 p.

REIS, V. M.; OLIVEIRA, A. L. M.; BALDANI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M. (Ed.).

Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa, p.154-174.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica de Matéria Orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Metrópole, 2008. Dinâmica de Matéria Orgânica no Cerrado, p.359-418.

ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCÍA, J. R.; ALGUACIL, M. M.; CARAVACA, F. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.93, n.2, p.273-282, 2007.

SALMI, G. P.; SALMI, A. P.; ABOUD, A. C. S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aléias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.673-678, 2006.

SANTOS, N. Z. D.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; PIVA, J. T. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.111, n.2, p.208-218, 2011.

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, 2006a.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M. E. C.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio (^{15}N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.739-746, 2006b.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; STRIEDER, M. L.; SILVA, A. A. Estratégias de manejo de coberturas de solo no inverno para cultivo do milho em sucessão no sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.1011-1020, 2006c.

SISTI, C. P. J.; DOS SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.76, n.1, p.39-58, 2004.

SKOPP, J.; JAWSON, M. D.; DORAN, J. W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, n.6, p.1619-1625, 1990.

SLONEKER, L. L.; MOLDENHAUER, W. C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.32, n.5, p.231-236, 1977.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.4, p.327-334, 2004.

SOEST, P. J. V. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. **Journal Association of Analytical Chemistry**, v.46, n.5, p.825-829, 1963.

SOUSA NETO, E. L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.2, p.255-260, 2008.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1113-1122, 2003.

SPEDDING, T. A.; HAMEL, C.; MEHUYS, G. R.; MADRAMOOTOO, C. A. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.36, n.3, p.499-512, 2004.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons. 1994. 512 p.

STOTT, D. E.; STROO, H. F.; ELLIOTT, L. F.; PAPENDICK, R. I.; UNGER, P. W. Wheat residue loss from fields under no-till management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, n.1, p.92-98, 1990.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LEOPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis: Chemical methods**. Madison: Soil Science Society of American/American Society of Agronomy, v.3, 1996. Organic matter characterization, p.1011-1020. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

TAKEDA, M.; NAKAMOTO, T.; MIYAZAWA, K.; MURAYAMA, T.; OKADA, H. Phosphorus availability and soil biological activity in an Andosol under compost application and winter cover cropping. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.42, n.2, p.86-95, 2009.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; DIAS, O. S.; CAMPIDELLI, C.; BULISANI, E. A. Cultivo de soja após incorporação de adubo verde e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.11, p.1477-1483, 1992.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS. 1995. 174 p.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; FURTINI NETO, A. E.; ANDRADE, M. J. B.; MARQUES, E. L. S. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milho, feijão-de-porco e guandu-anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.1, p.93-99, 2005.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; SILVA, C. A.; ANDRADE, M. J. B.; PEREIRA, H. S. Liberação de macronutrientes das palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.497-505, 2010.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Madison, v.33, n.2, p.141-163, 1982.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de milho e milho na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II - Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.1-10, 2004.

VASCONCELLOS, C. A.; MARRIEL, I. E.; SANTOS, F. G.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, C. A. Resíduos de milho e a mineralização do nitrogênio em Latossolo Vermelho fase cerrado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.373-379, 2001.

VASCONCELLOS, C. A.; VIANA, M. C. M.; FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutriente em milho cultivado no período inverno-primavera. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.12, p.1835-1845, 1998.

VIEIRA, F. C.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Building up organic matter in a subtropical Paleudult under legume cover-crop-based rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.73, n.5, p.1699-1706, 2007a.

VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z. L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.96, n.1-2, p.195-204, 2007b.

WIEDER, R. K.; LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, Washington, v.63, n.6, p.1636-1642, 1982.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.11, p.1191-1197, 1997.

YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; BARBOSA, J. C. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.3, p.549-557, 2003.

YANG, X. M.; KAY, B. D. Rotation and tillage effects on soil organic carbon sequestration in a typic Hapludalf in Southern Ontario. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.59, n.3-4, p.107-114, 2001.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Science and Plant Analysis**, London, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

ZAGAL, E.; MUÑOZ, C.; QUIROZ, M.; CÓRDOVA, C. Sensitivity of early indicators for evaluating quality changes in soil organic matter. **Geoderma**, Amsterdam, v.151, n.3-4, p.191-198, 2009.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.1-4, p.117-161, 1997.

ZOBIOLE, L. H. S.; DE CASTRO, C.; DE OLIVEIRA, F. A.; DE OLIVEIRA JUNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, p.425-433, 2010.