

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**Adriane Luiza Schu**

**DECOMPOSIÇÃO DE CAMADAS DO *MULCH* E CONTRIBUIÇÃO  
PARA O CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO**

Santa Maria, RS  
2019

**Adriane Luiza Schu**

**DECOMPOSIÇÃO DE CAMADAS DO *MULCH* E CONTRIBUIÇÃO PARA O  
CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Dr. Sandro José Giacomini

Santa Maria, RS  
2019

Schu, Adriane Luiza  
DECOMPOSIÇÃO DE CAMADAS DO MULCH E CONTRIBUIÇÃO PARA  
O CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO / Adriane Luiza Schu.2019.  
48 p.; 30 cm

Orientador: Sandro José Giacomini  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2019

1. Decomposição 2. Camadas do mulch 3. Carbono e  
Nitrogênio do solo I. Giacomini, Sandro José II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor (a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

**Adriane Luiza Schu**

**DECOMPOSIÇÃO DE CAMADAS DO *MULCH* E CONTRIBUIÇÃO PARA O  
CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

**Aprovado em 08 de março de 2019:**

---

**Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Douglas Adams Weiler, Dr. (UFSM)**

---

**Marciel Redin, Dr. (UERGS)**

Santa Maria, RS  
2019

*Aos meus pais, Pedro e Olivia  
As minhas irmãs, Andréia e Andressa  
Dedico este trabalho!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre me guiou e esteve junto de mim, me guardando e iluminando.

Aos meus pais, Pedro e Olivia, pelo amor, carinho e confiança em mim depositados, pelo incentivo e apoio neste período de minha trajetória acadêmica.

As minhas irmãs, Andréia e Andressa, pela compreensão e apoio de sempre.

Ao meu namorado Ivan, pelo carinho, amor, paciência e companheirismo ao longo desse período.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de estudo e crescimento pessoal.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado, que possibilitou a execução desse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Sandro José Giacomini, pelo apoio nos momentos difíceis, pela confiança em mim depositada e por todos ensinamentos compartilhados.

A todos professores do Departamento de Solos, pelo aprendizado.

Aos colegas de pós-graduação do LABCEN, Ana Paula, Bruno, Douglas, Getúlio, Guilherme, Heitor, Lineu, Janquiele, Pâmela, Patrick, Raquel, Rosemar e Stefen, pela convivência e pela amizade criada ao longo desse período.

Aos bolsistas, ex-bolsistas de iniciação científica e estagiários, Augusto, Eduardo, Emanuel, Giovanni, Gustavo, João Henrique, Mathias, Paulinho, Rafael, Roberta, Vinicius e demais bolsistas do LABCEN, pelo apoio, amizade e auxílio na execução desse trabalho.

A Raquel e ao Lineu, pela colaboração com a condução do experimento e tabulação dos dados.

A Elci e ao Fabiano, pelo auxílio e apoio na realização das análises isotópicas.

A banca examinadora, pela disponibilidade, contribuições e sugestões para a melhoria deste trabalho.

Aos meus amigos, Raquel, Jéssica, Nathália, Carla e Heitor, pela amizade, apoio e conselhos, sempre me motivando a seguir e não desistir de meus objetivos.

As meninas do apartamento 302, Edicarla, Juju, Marília, Bruna e Valéria, por todos conselhos e amizade.

E por fim, a todos que de alguma forma me ajudaram e incentivaram a seguir em busca de meus sonhos, meus sinceros agradecimentos!

## RESUMO

### DECOMPOSIÇÃO DE CAMADAS DO *MULCH* E CONTRIBUIÇÃO PARA O CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO

AUTORA: Adriane Luiza Schu  
ORIENTADOR: Dr. Sandro José Giacomini

Estudos recentes têm demonstrado que *mulches* formados por diferentes quantidades de resíduos culturais não diferem quanto as taxas de decomposição, evidenciando o reduzido efeito do contato entre o solo e resíduo sobre a decomposição. Esse resultado é atribuído a formação de um gradiente de decomposição no *mulch*, condicionado pela umidade dos resíduos. Dessa forma, esses resíduos culturais podem apresentar taxas de decomposição distintas em função da posição no *mulch* e assim, diferirem quanto a contribuição para o C e N do solo. Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição dos resíduos culturais de parte aérea do arroz presente em diferentes camadas do *mulch* para o acúmulo de C e N no solo. Para isso, foi conduzida uma incubação de laboratório, em condições controladas de temperatura, durante 112 dias. Os resíduos culturais de parte aérea do arroz (*Oryza sativa* L.) previamente enriquecidos ou não com  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  foram adicionados na superfície do solo contido em tubos de PVC com 5 cm de diâmetro e 12,5 cm de altura formando os seguintes tratamentos: três camadas marcadas, *mulch* integral (*Mulch*); camada superior marcada (Camada superior); camada central marcada (Camada central); camada inferior marcada (Camada inferior). Além desses foi utilizado um tratamento com somente solo, sem adição de resíduos (Solo). O solo utilizado no experimento foi um Argissolo Vermelho Distrófico típico. A avaliação da mineralização do C foi realizada através da medida do  $^{13}\text{CO}_2$  liberado durante a decomposição dos resíduos. A quantidade de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  remanescente nos resíduos e no solo foi determinada em duas datas de avaliação (28 e 112 dias após a montagem da incubação). A maior contribuição na adição de  $^{13}\text{C}$  no solo foi proveniente dos resíduos da camada inferior do *mulch*, assim como uma menor quantidade de  $^{13}\text{C}$  remanescente foi encontrada nos resíduos desta camada. Uma maior quantidade de C acumulado no solo por unidade de C mineralizada foi encontrada na camada inferior do *mulch*, indicando uma maior eficiência microbiana no uso do C dos resíduos dessa camada. A dinâmica do  $^{15}\text{N}$  nos resíduos e no solo não foi influenciada pela posição da camada de resíduos no *mulch*. Os resultados desse estudo mostram que em curto prazo a localização da camada de resíduo no *mulch* afeta sua contribuição para o C no solo.

**Palavras-chave:** Mineralização. Resíduos culturais de arroz. Isótopos estáveis.

## ABSTRACT

### DECOMPOSITION OF *MULCH* LAYERS AND CONTRIBUTION TO SOIL CARBON AND NITROGEN

AUTHOR: Adriane Luiza Schu  
ADVISOR: Dr. Sandro José Giacomini

Recent studies have shown that mulches formed by different amounts of cultural residues have similar decomposition rates, evidencing the reduced effect of contact between soil and residue on decomposition. Recent studies have shown that the rate of decomposition of mulches with different amounts of cultural residues is not influenced by the greater contact of the residues with the soil. This result is attributed to the formation of a decomposition gradient in the mulch, conditioned by the moisture of the residues. Thus, these cultural residues may have different decomposition rates depending on the position in the mulch and thus differ as to the contribution to the C and N of the soil. Thus, the objective of this study was to evaluate the contribution of rice crop residues from the rice present in different layers of the mulch to the accumulation of C and N in the soil. For this, a laboratory incubation was conducted under controlled temperature conditions for 112 days. The aerial part of the rice (*Oryza sativa* L.), previously or not enriched with  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ , was added to the soil surface contained in 5 cm diameter and 12.5 cm high PVC tubes, forming the following treatments three layers labeled, integral mulch (Mulch); top layer (top layer); middle layer (middle layer); low layer (low layer). In addition, a treatment with soil only was used, without addition of residues (Soil). The soil used in the experiment was a Typic Paleudalf. The evaluation of C mineralization was carried out by measuring the  $^{13}\text{CO}_2$  released during the decomposition of the residues. The amount of  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  remaining in the residues and in the soil was determined on two evaluation dates (28 and 112 days after assembly of the incubation). The major contribution in the addition of  $^{13}\text{C}$  in the soil was from residues of the lower layer of the mulch, as well as a smaller amount of  $^{13}\text{C}$  remaining was found in the residues of this layer. A higher amount of C accumulated in the soil per unit of mineralized C was found in the lower layer of the mulch, indicating a greater microbial efficiency in the use of the C of the residues of this layer. The dynamics of  $^{15}\text{N}$  in the residues and in the soil was not influenced by the position of the residue layer in the mulch. The results of this study show that in the short term the location of the residue layer in the mulch affects its contribution to soil C.

**Keywords:** Mineralization. Crop residues of rice. Isotopes stable.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Umidade dos resíduos do arroz de diferentes camadas do *mulch* (superior, central e inferior) durante 112 dias de experimento. As barras verticais indicam o erro padrão das médias (n = 3). .....38
- Figura 2. N-mineral no solo com resíduos culturais de arroz durante 112 dias de experimento. As barras horizontais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).....39
- Figura 3. Velocidade de mineralização do  $^{13}\text{C}$  (a) e mineralização acumulada do  $^{13}\text{C}$  (b e c) de resíduos culturais de arroz em diferentes camadas do *mulch* durante 112 dias. As barras verticais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%). .....40
- Figura 4. Mineralização do  $^{13}\text{C}$  (a, b),  $^{13}\text{C}$  remanescente nos resíduos (c, d),  $^{13}\text{C}$  no solo (e, f) de resíduos culturais de arroz em diferentes camadas do *mulch* durante 112 dias. As barras verticais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%). .....41
- Figura 5. Fator de contribuição relativo (Fcr) entre o  $^{13}\text{C}$  acumulado no solo e o  $^{13}\text{C}$  mineralizado pelos resíduos de arroz nas diferentes camadas do *mulch*. As barras verticais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).....42
- Figura 6.  $^{15}\text{N}$  remanescente (a, b) e  $^{15}\text{N}$  no solo (b, c) de resíduos culturais de arroz em diferentes camadas do *mulch* durante 112 dias de experimento. As barras verticais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).....43
- Figura 7. Distribuição de  $^{15}\text{N}$  nas diferentes camadas do *mulch* de resíduos culturais de arroz durante 112 dias de experimento. ....44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado na incubação. ....	35
Tabela 2. Composição química dos resíduos culturais de arroz. ....	36
Tabela 3. Recuperação de $^{13}\text{C}$ e $^{15}\text{N}$ dos resíduos culturais de arroz de diferentes camadas do <i>mulch</i> aos 28 e 112 dias de experimento. ....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
1.1. HIPÓTESE .....	13
1.2. OBJETIVO GERAL .....	13
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2. DECOMPOSIÇÃO DE CAMADAS DO <i>MULCH</i> E CONTRIBUIÇÃO PARA O CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO</b> .....	14
<b>2.1. Abstract</b> .....	14
<b>2.2. Introdução</b> .....	15
<b>2.3. Material e métodos</b> .....	16
2.3.1. Solo .....	16
2.3.2. Resíduos culturais marcados .....	16
2.3.3. Delineamento experimental e condições de incubação .....	17
2.3.4. Avaliações .....	18
2.3.4.1. <i>Mineralização do C</i> .....	18
2.3.4.3. <i><sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N remanescente nos resíduos e no solo</i> .....	19
2.3.5. Cálculos e análise estatística .....	19
2.3.5.1. <i>Cálculos</i> .....	19
2.3.5.2. <i>Análise estatística</i> .....	21
<b>2.4. Resultados</b> .....	21
2.4.1. Umidade dos resíduos e N mineral do solo .....	21
2.4.2. Mineralização do <sup>13</sup> C .....	21
2.4.3. <sup>13</sup> C remanescente nos resíduos e no solo .....	22
2.4.4. Fator de contribuição relativo de <sup>13</sup> C acumulado no solo vs <sup>13</sup> C mineralizado .....	23
2.4.5. <sup>15</sup> N remanescente e <sup>15</sup> N no solo .....	23
2.4.6. Recuperação de <sup>13</sup> C e <sup>15</sup> N .....	24
<b>2.5. Discussão</b> .....	24
<b>2.6. Conclusão</b> .....	28
<b>2.7. Referências</b> .....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A manutenção de resíduos culturais na superfície do solo, premissa básica do sistema plantio direto (SPD), além de proteger o solo contra a erosão hídrica, contribui para a manutenção e elevação dos estoques de carbono (C) do solo (SÁ et al., 2014, BRADFORD et al., 2016) e para a ciclagem de nutrientes (PEREIRA et al., 2017). Os resíduos culturais são também, a principal fonte de C e energia aos microrganismos heterotróficos, principais responsáveis pela decomposição dos resíduos e pela formação da matéria orgânica do solo (MOS) (AITA, 1997; COTRUFO et al., 2015; MALUF et al., 2015). A atividade dos microrganismos decompositores é afetada diretamente por uma associação de fatores bióticos e abióticos (SINGH et al., 2010). Dentre esses: características físico-químicas do solo, tais como textura, pH, aeração, temperatura e umidade; atividade e biodiversidade de organismos decompositores; características bioquímicas dos materiais orgânicos (qualidade do resíduo), tamanho dos resíduos e sua localização no solo (contato solo-resíduo) (COTRUFO et al., 2013; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; TRINSOUTROT et al., 2000).

Em SPD, o contato solo-resíduo é influenciado principalmente pela quantidade de resíduos presentes na superfície do solo, sendo que para um determinado tipo de resíduo quanto maior a quantidade, menor será a proporção dos resíduos no *mulch* em contato direto com o solo. Considerando que resíduos com contato reduzido com o solo apresentam menor taxa de decomposição comparado aos que se encontram em contato com o solo (ABIVEN e RECOUS, 2007; GIACOMINI et al., 2008; STEINER et al., 1999), o aumento da quantidade de resíduos na superfície do solo deve provocar uma redução na taxa de decomposição de *mulches* mais espessos, conforme observado por Stott et al., (1990). Entretanto, estudos recentes têm demonstrado que a decomposição do *mulch* é proporcional a quantidade de resíduos adicionada, ou seja, a adição de diferentes quantidades de resíduos culturais não afeta as taxas de decomposição (DIETRICH et al., 2017; HALDE e ENTZ, 2016; WILLIAMS et al., 2018). Recentemente Dietrich et al. (2019) demonstraram que na decomposição de *mulches* mais espessos ocorre um efeito compensatório nas camadas inferiores do *mulch*. De acordo com os autores, as camadas inferiores permanecem mais úmidas do que as camadas superiores do *mulch*, estabelecendo assim, condições menos restritivas à decomposição. Dessa forma os resíduos culturais mantidos na superfície do solo podem apresentar taxas de decomposição

distintas em função da posição no *mulch* e assim, diferirem quanto a ciclagem de nutrientes e a contribuição de C e nitrogênio (N) para o solo.

Em sistemas agrícolas, os resíduos culturais são a principal fonte de C para os solos, além de ser a principal medida para manter e aumentar a MOS (JACKSON et al. 2017; SHAHBAZ et al., 2017). O acúmulo de C no solo pode ser influenciado pelo contato dos resíduos culturais com o solo (YE et al., 2017). Um maior contato solo-resíduo proporciona ambiente favorável para uma maior atividade dos microrganismos e conseqüentemente maior decomposição (IQBAL et al, 2013). Esse fator combinado com a maior proximidade dos resíduos com o solo pode resultar em condições de umidade favoráveis que podem contribuir positivamente para a maior decomposição e incremento da MOS.

A estabilização do C no solo pode se dar por diferentes mecanismos, como o tamanho e densidade das partículas, onde as interações entre os compostos orgânicos e inorgânicos está associado ao período de ciclagem deste elemento no sistema solo-atmosfera (CHRISTENSEN, 2000). Na literatura, alguns estudos com resíduos de plantas enriquecidos com  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  indicam que, em um estágio inicial de decomposição, a qualidade química dos resíduos culturais influencia o acúmulo de C e N no solo (folhas > caules > raízes) (BIRD et al. 2008; RUBINO et al. 2010), principalmente como resultado de subprodutos microbianos produzidos durante a degradação dos resíduos (COTRUFO et al. 2015). Ao promover a agregação do solo e a forte ligação química à matriz mineral do solo, os subprodutos microbianos são os principais agentes que contribuem para a estabilização da MOS no médio e longo prazo (KÖGEL-KNABNER et al. 2008). Segundo Gentile et al. (2010), os fatores mais importantes para a maior estabilização de C no solo são os aportes de C e N e a capacidade estabilizadora do solo. Dessa forma, estudar o efeito do contato do resíduo com o solo através do uso de isótopos estáveis ( $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$ ) é importante para uma melhor quantificação do C e N no solo proveniente da decomposição de resíduos culturais em diferentes camadas do *mulch* na superfície do solo.

### 1.1. HIPÓTESE

a) A dinâmica de decomposição do *mulch* de resíduos culturais no solo é afetada pela posição da camada no *mulch*.

b) Resíduos culturais com maior contato solo-resíduo apresentam maior decomposição e maior acúmulo de C e N no solo.

### 1.2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a contribuição dos resíduos culturais de parte aérea do arroz presente em diferentes camadas do *mulch* para o acúmulo de C e N no solo.

### 1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os seguintes aspectos durante a decomposição dos resíduos culturais de arroz enriquecidos com  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$ :

- Mineralização do  $^{13}\text{C}$ ;
- $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  remanescente nos resíduos;
- Acúmulo de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  no solo;
- Recuperação do  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$ .

## 2. DECOMPOSIÇÃO DE CAMADAS DO *MULCH* E CONTRIBUIÇÃO PARA O CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO<sup>1</sup>

### 2.1. Abstract

Recent studies have shown that mulches formed by different amounts of cultural residues have similar decomposition rates, evidencing the reduced effect of contact between soil and residue on decomposition. This result is attributed to the formation of a decomposition gradient in the mulch, conditioned by the moisture of the residues. Thus, these cultural residues may have different decomposition rates depending on the position in the mulch and thus differ as to the contribution to the C and N of the soil. Thus, the objective of this study was to evaluate the contribution of rice crop residues from the rice present in different layers of the mulch to the accumulation of C and N in the soil. For this, a laboratory incubation was conducted under controlled temperature conditions for 112 days. The aerial part of the rice (*Oryza sativa* L.), previously or not enriched with <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N, was added to the soil surface contained in 5 cm diameter and 12.5 cm high PVC tubes, forming the following treatments three layers labeled, integral mulch (Mulch); top layer (top layer); middle layer (middle layer); low layer (low layer). In addition, a treatment with soil only was used, without addition of residues (Soil). The soil used in the experiment was a Typic Paleudalf. The evaluation of C mineralization was carried out by measuring the <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> released during the decomposition of the residues. The amount of <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N remaining in the residues and in the soil was determined on two evaluation dates (28 and 112 days after assembly of the incubation). The major contribution in the addition of <sup>13</sup>C in the soil was from residues of the lower layer of the mulch, as well as a smaller amount of <sup>13</sup>C remaining was found in the residues of this layer. A higher amount of C accumulated in the soil per unit of mineralized C was found in the lower layer of the mulch, indicating a greater microbial efficiency in the use of the C of the residues of this layer. The dynamics of <sup>15</sup>N in the residues and in the soil was not influenced by the position of the residue layer in the mulch. The results of this study show that in the short term the location of the residue layer in the mulch affects its contribution to soil C.

---

<sup>1</sup> Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Plant and Soil.

**Keywords:** Mineralization. Crop residues of rice. Isotopes stable.

## 2.2. Introdução

A rotação de culturas e a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo são práticas de manejo conservacionistas que visam melhorar a qualidade dos sistemas de produção, pois previnem a erosão, aumentam a retenção de água, promovem a ciclagem de nutrientes e aumentam os estoques de C e N do solo (Bradford et al., 2016; Li et al., 2013; Lugato et al., 2014). Os resíduos de culturas são a principal fonte de C para a formação e manutenção da MOS nos solos agrícolas (Nevins et al., 2018). Estima-se que a cada ano sejam produzidos 3,8 bilhões de toneladas de resíduos agrícolas (Thangarajan et al., 2013), os quais têm potencial de sequestrar 0,6 a 1,2 Pg de C, somente com a devolução dos resíduos aos solos (Lal, 2009).

A formação da MOS depende, principalmente da atividade dos microrganismos decompositores, que através do processo de decomposição geram subprodutos que são estabilizados no solo (Cotrufo et al., 2013; Haddix et al. 2016, Miltner et al. 2012). A taxa de decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo é menor do que de resíduos incorporados devido, principalmente aos resíduos sofrerem maiores e frequentes flutuações no regime de umidade e temperatura, aliado a reduzida difusão de nutrientes e água até os sítios de decomposição no *mulch* (Findeling et al., 2007). Essas condições desfavoráveis à colonização e à atividade microbiana se estabelecem em função de que somente parte do *mulch* está em contato direto com o solo. Ainda, a proporção do *mulch* em contato direto com o solo reduz à medida que aumenta a quantidade de resíduos e a espessura do *mulch*. Nesse contexto, Stott et al., (1990) demonstraram uma diminuição na taxa de decomposição com o aumento da quantidade de resíduos na superfície do solo. No entanto, estudos recentes têm demonstrado que a decomposição do *mulch* é proporcional a quantidade de resíduos adicionada, ou seja, não existe diferença nas taxas de decomposição quando diferentes quantidades de resíduos culturais são adicionadas ao solo (Dietrich et al., 2017; Halde e Entz, 2016; Williams et al., 2018).

Uma das explicações para esses resultados foi estudada por Dietrich et al., (2019), que verificaram que as taxas de decomposição do *mulch* com quantidades e espessuras crescentes são resultado da existência de um efeito compensatório entre



as camadas do *mulch*, em que as maiores taxas de decomposição das camadas em contato com o solo compensam a redução nas taxas de decomposição das camadas que não estão em contato direto com o solo. Portanto, a presença desse gradiente de decomposição indica que distintas camadas do *mulch* podem contribuir diferentemente para o acúmulo de C no solo e para a liberação de N dos resíduos culturais. Nesse sentido, o emprego de isótopos estáveis pode auxiliar no entendimento de como um maior ou menor contato dos resíduos culturais com o solo afeta o aporte de C e liberação de N para o solo, possibilitando, dessa forma, a busca de estratégias de manejo que potencializem o sequestro de C nos agroecossistemas. Diante disso, o nosso objetivo foi avaliar a contribuição dos resíduos culturais de parte aérea do arroz presente em diferentes camadas do *mulch* para o acúmulo de C e N no solo.

### 2.3. Material e métodos

#### 2.3.1. Solo

O solo foi coletado na camada 0-10 cm de uma área maneja sob plantio direto a 10 anos na área experimental do Departamento de Solos da UFSM (29° 43' 11"S, 53° 42' 17" W, com 95 m de altitude). O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 2013) e apresentava as seguintes características físicas: 660 g kg<sup>-1</sup> de areia, 240 g kg<sup>-1</sup> silte e 100 g kg<sup>-1</sup> argila (Tabela 1). Após a coleta, o solo foi levado ao laboratório onde foi peneirado (2 mm Ø). Os resíduos culturais visíveis foram manualmente retirados e posteriormente o solo foi homogeneizado e armazenado úmido em sacos plásticos escuros, à temperatura ambiente, durante 7 dias até a incubação.

#### 2.3.2. Resíduos culturais marcados

Os resíduos culturais de arroz (*Oryza sativa* L.) utilizados no estudo foram enriquecidos com <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N em casa de vegetação. O enriquecimento das plantas foi realizado através da aplicação de pulsos de <sup>13</sup>C-CO<sub>2</sub> e pela adição de (N<sup>15</sup>H<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> durante o desenvolvimento das plantas. A marcação das plantas iniciou aos 14 dias após a germinação e foi realizada até o enchimento de grãos, usando câmaras de

marcação portáteis como descrito por Tahir et al., (2018). Além dessas plantas marcadas, foram cultivadas plantas de arroz nas mesmas condições, porém sem o uso de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$ .

A coleta da parte aérea das plantas de arroz ocorreu na maturação fisiológica. As plantas foram separadas em colmos, folhas e grãos que foram secos em estufa a temperatura de  $45^{\circ}\text{C}$  até peso constante. Os resíduos secos foram manualmente picados em pedaços de aproximadamente 1 cm de comprimento e posteriormente armazenados em sacos plásticos até o momento da montagem da incubação. Uma subamostra foi seca em estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  para determinar a matéria seca (MS). Uma segunda subamostra foi moída em moinho estacionário do tipo Willey para análise dos teores de fração solúvel (FS), celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG), usando o método de Van Soest (1963), conforme descrito por Redin et al., (2014). Uma terceira subamostra foi finamente moída em moinho de bolas para análise dos teores de C e N total em analisador elementar (Flash EA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Italy) e da abundância isotópica de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  em espectrômetro de massas de razão isotópica (Delta V Advantage, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) acoplado a um analisador elementar (Flash 2000 IRMS, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany) do Laboratório de Análise Elementar e Isótopos Estáveis do Departamento de Solos da UFSM. Os resultados das características químicas iniciais do resíduo são apresentados na Tabela 2.

### 2.3.3. Delineamento experimental e condições de incubação

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. Os resíduos compostos de folhas e colmos (1:1) de arroz foram dispostos na superfície do solo em tubos de PVC em quantidade equivalente a  $9 \text{ Mg ha}^{-1}$ , divididos em três camadas de  $3 \text{ Mg ha}^{-1}$  e separados entre si por uma tela de malha de 3 mm. Os tratamentos corresponderam as camadas do *mulch* formadas com os resíduos de arroz enriquecidos com  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$ : três camadas de resíduos marcadas, *mulch* integral (*Mulch*); camada superior marcada (*Camada superior*); camada central marcada (*Camada central*); camada inferior marcada (*Camada inferior*). Além desses foi utilizado um tratamento com somente solo, sem adição de resíduos (*Solo*). Nos tratamentos formados por apenas uma camada com resíduos marcados com  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  as outras duas camadas foram formadas com resíduos de arroz não marcados.

As unidades experimentais de cada tratamento foram montadas em tubos de PVC (Policloreto de vinila) com 5 cm de diâmetro e 12,5 cm de altura. A parte inferior de cada unidade experimental foi fechada com tecido tipo *voil* para evitar a perda de solo e permitir a drenagem da água em excesso durante a incubação. Em cada tubo de PVC foram adicionados 216 g de solo seco, que após levemente compactado permaneceu com uma densidade média de  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ . Para cada tratamento foram montadas 12 unidades experimentais, divididas em quatro conjuntos.

A avaliação da mineralização do C foi realizada em 15 tubos de PVCs (cinco tratamentos x três repetições) dispostos individualmente em frascos de vidro com tampa de pressão com capacidade de 2 L. Cada um desses conjuntos foi rotacionado durante o período de incubação para a captação do  $\text{CO}_2$  emitido.

Ao longo do experimento foram realizadas quatro irrigações, com aplicação média de 20 mm de água, a uma taxa de  $10 \text{ mm h}^{-1}$ . Ao final de cada irrigação os tubos de PVC eram colocados em bandejas com solo seco para que o excesso de água fosse drenado naturalmente, a fim de evitar acúmulo de água nos tubos. Os frascos para captação do  $\text{CO}_2$  liberado juntamente com os outros conjuntos foram acondicionados em incubadora (DBO) na ausência de luz e à temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . O teor de umidade foi controlado por meio da pesagem das unidades experimentais. O conteúdo de água do resíduo foi monitorado através de três unidades experimentais que eram acondicionadas em incubadora (DBO) a  $25^\circ\text{C}$ , mas fora dos frascos de vidro, onde periodicamente as camadas de resíduo eram cuidadosamente retiradas de dentro dos tubos e pesadas.

#### 2.3.4. Avaliações

##### 2.3.4.1. Mineralização do C

A mineralização do C dos resíduos culturais foi avaliada através da quantificação da liberação de  $\text{CO}_2$  (Stotzky, 1965), aos 2, 4, 9, 11, 16, 22, 28, 31, 39, 49, 60, 72, 79, 87, 101 e 112 dias após o início da incubação, sendo cada avaliação realizada em frascos com tubos diferentes. O  $\text{CO}_2$  liberado em cada tratamento foi captado em 10 mL de solução de NaOH 1 M, colocada em um recipiente de vidro de 37 mL, suspenso internamente na parte inferior do frasco. O excesso de NaOH em cada intervalo de coleta foi titulado com HCl 1 M, após a adição de 2 mL de  $\text{BaCl}_2$  2

M. A cada avaliação, as unidades experimentais foram aeradas, deixando os frascos de vidro abertos por 10 minutos antes da adição da nova solução de NaOH. Em cada avaliação o precipitado de BaCO<sub>3</sub> formado foi separado por filtração a vácuo com filtro de fibra de vidro com porosidade de 1,2 µm. O BaCO<sub>3</sub> retido no filtro foi seco em estufa à 65°C e posteriormente foi pesado em uma cápsula de estanho com um catalisador (PbO<sub>2</sub>) para a análise da abundância isotópica de <sup>13</sup>C.

#### 2.3.4.2. N mineral

A avaliação da quantidade de N-mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) do solo foi realizada aos 28 e 112 dias após a montagem da incubação. O solo dos PVCs foi dividido em camadas (0-2,5; 2,5-5 e 5-10 cm), homogeneizado e realizada a extração do N-mineral com KCl 1 M. Para a extração foram utilizados 20 g de solo e adicionados 80 ml de KCl (1:4, s/s), que foram agitados por 30 minutos em agitador mecânico horizontal. Após decantação por 30 minutos, o sobrenadante da solução foi filtrado em filtro de papel (Unifil C42, retenção de partícula de tamanho de 1-2 µm). A análise do N-mineral foi realizada por destilação em destilador – Kjeldhal, conforme Tedesco et al., (1995).

#### 2.3.4.3. <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N remanescente nos resíduos e no solo

As avaliações da quantidade de <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N remanescentes nos resíduos e no solo foram realizadas aos 28 e 112 dias após a montagem da incubação. Em cada data de avaliação, o resíduo de cada camada do *mulch* foi coletado e seco em estufa a 65°C para quantificação da matéria seca remanescente (MSR). Em seguida o solo foi removido dos tubos de PVC e dividido em camadas (0-2,5; 2,5-5 e 5-10 cm), homogeneizado e seco ao ar. As amostras secas de resíduos e do solo foram finamente moídas em moinho de bolas para a análise de C e N total e da abundância isotópica de <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N.

#### 2.3.5. Cálculos e análise estatística

##### 2.3.5.1. Cálculos

A quantidade de C dos resíduos recuperada no CO<sub>2</sub>, solo e nos resíduos remanescentes foi calculada pela seguinte equação:

$$^{13}\text{C} (\text{CO}_2, \text{ solo e resíduos}) = C_{\text{resíduo}} \times \frac{^{13}\text{C}}{^{13}\text{C}_{\text{resíduo}}} \quad (1)$$

onde, <sup>13</sup>C é a quantidade de C dos resíduos recuperada no CO<sub>2</sub>, solo ou resíduos remanescentes (g m<sup>-2</sup>), *C<sub>resíduo</sub>* é a quantidade de C adicionada com os resíduos (g m<sup>-2</sup>); <sup>13</sup>C é a quantidade de <sup>13</sup>C no CO<sub>2</sub>, solo ou resíduos remanescentes (g m<sup>-2</sup>) e <sup>13</sup>*C<sub>resíduo</sub>* é a quantidade de <sup>13</sup>C adicionada com os resíduos enriquecidos (g m<sup>-2</sup>).

Cálculos semelhantes foram realizados para a estimativa do <sup>15</sup>N remanescente nos resíduos e no solo. O <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N no solo foram calculados pela soma das três camadas de solo, 0-2,5; 2,5-5 e 5-10 cm de profundidade. As quantidades C e N dos resíduos que foram recuperadas no CO<sub>2</sub>, solo e resíduos remanescentes foi expressa em porcentagem da quantidade de <sup>13</sup>C e <sup>15</sup>N adicionada no início da incubação. A quantidade total de C e N dos resíduos recuperada aos 28 e 112 dias foi calculada somando as porcentagens de recuperação no CO<sub>2</sub>, solo e resíduos remanescentes.

O fator de contribuição relativo (*F<sub>cr</sub>*) que representa a quantidade de <sup>13</sup>C acumulado no solo por unidade de <sup>13</sup>C mineralizada foi calculado aos 28 e 112 dias com base na equação abaixo:

$$F_{cr} = \frac{C_s}{C_{ml}} \quad (2)$$

onde, *C<sub>s</sub>* é a quantidade de <sup>13</sup>C no solo proveniente do *mulch* completo (3 camadas), camada superior, central ou inferior do *mulch* e *C<sub>ml</sub>* é a quantidade de <sup>13</sup>C mineralizada dos resíduos culturais nas diferentes camadas que formam o *mulch*.

O N-mineral foi calculado para duas camadas do solo, 0-2,5 cm e 2,5-10 cm de profundidade (média ponderada das camadas 2,5-5 e 5-10 cm). Os resultados obtidos foram apresentados como a média dos tratamentos com resíduos e comparados com o tratamento controle (solo). Uma vez que os resíduos foram adicionados na mesma quantidade e com teor de N muito semelhante entre as camadas do *mulch* (dados não mostrados).

### 2.3.5.2. Análise estatística

Os resultados de taxa de mineralização do  $^{13}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  mineralizado,  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  remanescentes nas camadas de resíduo do *mulch*,  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  no solo, N-mineral do solo e umidade das camadas do *mulch* foram submetidos à análise de variância. As médias de todos tratamentos foram comparadas entre si utilizando o teste de Tukey, a 5% de probabilidade do erro. Os dados foram analisados utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). O tratamento *mulch* foi utilizado somente para efeito comparativo, não foi submetido à análise estatística.

## 2.4. Resultados

### 2.4.1. Umidade dos resíduos e N mineral do solo

A umidade dos resíduos das três camadas do *mulch* decresceu após o início da incubação e após cada irrigação (Figura 1). Em cada intervalo de tempo entre irrigações os menores valores de umidade foram observados nos resíduos da camada superior. De maneira geral, a variação média da umidade dos resíduos de cada camada nos três intervalos de irrigação foi de 12,4 a 76,4% na camada superior; 29 a 81% na camada central e de 44,3 a 78,8% na camada inferior. A umidade do solo não variou entre os tratamentos e também foi influenciada pelas irrigações, com valores variando de 8 a 20% ao longo do período de avaliação (dados não mostrados).

O N-mineral do solo nas camadas 0-2,5 e 2,5-10 cm do tratamento controle não diferiu dos tratamentos com resíduos aos 28 dias (Figura 2). No entanto, aos 112 dias, nas duas camadas consideradas, a quantidade de N-mineral no solo do tratamento controle foi maior do que nos tratamentos que receberam resíduos.

### 2.4.2. Mineralização do $^{13}\text{C}$

A cinética de mineralização do  $^{13}\text{C}$  não diferiu entre os tratamentos ao final do experimento, porém foi afetada ao longo deste pelas irrigações (Figura 3a). As maiores taxas de mineralização em cada tratamento foram observadas após a realização da primeira irrigação, aos 11 dias e não diferiram entre tratamentos (média de 1,12 % do  $^{13}\text{C}$  adicionado  $\text{dia}^{-1}$ ). Após esse período, as taxas decresceram com o

passar do tempo e sofreram menor influência das irrigações. Em um terço das avaliações, as taxas de mineralização da camada inferior do *mulch* foram maiores do que nas demais camadas.

A mineralização cumulativa (expressa em % do  $^{13}\text{C}$  adicionado), a qual foi calculada a partir das taxas de mineralização, foi maior na camada inferior do que na camada superior do *mulch* (Figura 3b). Ao final dos 112 dias, a quantidade de  $^{13}\text{C}$  mineralizada na camada inferior foi de 40% do  $^{13}\text{C}$  adicionado, enquanto que para a camada superior a mineralização chegou a 30% do  $^{13}\text{C}$  adicionado. A camada central apresentou ao final da incubação mineralização de 31,7% do  $^{13}\text{C}$  adicionado, sendo estatisticamente igual a camada inferior e superior. Comportamento semelhante foi observado para os valores absolutos de mineralização cumulativa de  $^{13}\text{C}$  (Figura 3c e 4a). Ao final do experimento, a camada inferior apresentou maior mineralização do que a camada superior (50,1 vs 37,4 g m<sup>-2</sup>), mas ambas foram estatisticamente igual a camada central do *mulch* (39,6 g m<sup>-2</sup>).

#### 2.4.3. $^{13}\text{C}$ remanescente nos resíduos e no solo

A decomposição dos resíduos foi influenciada pela posição da camada no *mulch* (Figura 4c e 4d). Aos 28 dias, embora a diferença entre os tratamentos não tenha sido significativa, a quantidade de  $^{13}\text{C}$  remanescente decresceu na seguinte ordem: superior 82,4 > central 79,2 > inferior 70,6% do  $^{13}\text{C}$  adicionado. Ao final do experimento, a quantidade de  $^{13}\text{C}$  remanescente na camada inferior foi de apenas 38,2% do  $^{13}\text{C}$  adicionado, enquanto que as camadas central e superior apresentaram, em média 62% do  $^{13}\text{C}$  adicionado. Em quantidades absolutas, o  $^{13}\text{C}$  remanescente dos resíduos apresentou comportamento semelhante aos resultados obtidos em percentagem do  $^{13}\text{C}$  adicionado. A quantidade de  $^{13}\text{C}$  no *mulch* integral foi muito próxima à soma do  $^{13}\text{C}$  remanescente nas três camadas do *mulch* (203,3 vs 202,4 g m<sup>-2</sup>). Ao final do experimento foi observado que 47,8 g m<sup>-2</sup> do  $^{13}\text{C}$  remanescente estava presente na camada inferior, visto que esta camada apresentou maior decomposição, seguida das camadas central e superior, com 75,3 e 79,2 g m<sup>-2</sup> de  $^{13}\text{C}$ , respectivamente.

O acúmulo de  $^{13}\text{C}$  no solo foi influenciado pelo maior contato dos resíduos com o solo (Figura 4e e 4f). Aos 112 dias uma maior proporção de  $^{13}\text{C}$  medida na camada 0-10 cm (calculado pela soma de 0-2,5 + 2,5-5 + 5-10 cm) foi encontrada no solo da

camada inferior do *mulch*, com aproximadamente 9,4% do  $^{13}\text{C}$  adicionado. As camadas central e superior tiveram uma menor contribuição no aporte de C para o solo, com 4 e 3% do  $^{13}\text{C}$  adicionado, respectivamente. Em quantidades absolutas, a camada inferior contribuiu com  $11,8 \text{ g m}^{-2}$  e as camadas central e superior aportaram  $5,1$  e  $3,8 \text{ g m}^{-2}$  de  $^{13}\text{C}$  no solo, respectivamente.

#### 2.4.4. Fator de contribuição relativo de $^{13}\text{C}$ acumulado no solo vs $^{13}\text{C}$ mineralizado

O Fcr se refere a quantidade de  $^{13}\text{C}$  acumulado no solo por unidade de  $^{13}\text{C}$  mineralizada. Os resultados encontrados demonstram que para as duas datas analisadas têm-se maior contribuição das camadas com resíduos mais próximas do solo (Figura 5). Aos 28 dias de avaliação, o valor de Fcr chegou a 0,14 na camada inferior do *mulch*, aumentando ao longo do experimento. Ao final do estudo, o fator de contribuição atingiu 0,24 para a camada inferior, diferente da camada superior, que apresentou Fcr de 0,10. A camada central apresentou um valor de Fcr intermediário (0,13), sendo estatisticamente igual a camada inferior e superior. O *mulch* integral apresentou Fcr de 0,16 aos 112 dias de incubação.

#### 2.4.5. $^{15}\text{N}$ remanescente e $^{15}\text{N}$ no solo

O  $^{15}\text{N}$  remanescente nos resíduos aos 28 e 112 dias não foi influenciado pela posição da camada no *mulch* (Figura 6a e 6b). A quantidade média de  $^{15}\text{N}$  aos 28 e 112 dias, foi de 80,3 e 71,5% do  $^{15}\text{N}$  adicionado (Figura 6b) e de  $2,1$  e  $1,9 \text{ g m}^{-2}$  (Figura 6a), respectivamente. Parte do  $^{15}\text{N}$  das camadas marcadas foi encontrado nas camadas de resíduo não marcadas, indicando a ocorrência de transferência de  $^{15}\text{N}$ , tanto de forma ascendente como descendente (Figura 7 - Material complementar). Quando comparamos a quantidade de  $^{15}\text{N}$  no *mulch* integral com a soma das camadas pode-se observar semelhança entre os resultados ( $5,5$  vs  $5,7 \text{ g m}^{-2}$ , respectivamente).

O acúmulo de  $^{15}\text{N}$  no solo foi influenciado pelas diferentes posições do resíduo no *mulch* apenas aos 28 dias do início da incubação (Figura 6c e 6d). Nesse período, encontrou-se maior contribuição da camada inferior, com 14,5% do  $^{15}\text{N}$  adicionado ( $1,1 \text{ g m}^{-2}$ ), e menor contribuição da camada central, com aproximadamente 10% do  $^{15}\text{N}$  adicionado ( $0,8 \text{ g m}^{-2}$ ). A camada superior, com 10,1% ( $0,8 \text{ g m}^{-2}$ ) foi estatisticamente igual a camada central e inferior. Aos 112 dias, a quantidade média



de  $^{15}\text{N}$  no solo foi de 21% do  $^{15}\text{N}$  adicionado ( $1,7 \text{ g m}^{-2}$ ) com os resíduos nas diferentes camadas que formavam o *mulch*.

#### 2.4.6. Recuperação de $^{13}\text{C}$ e $^{15}\text{N}$

A recuperação de  $^{13}\text{C}$  não foi influenciada pela posição da camada de resíduos no *mulch*. Aos 28 dias de experimento, a recuperação do  $^{13}\text{C}$  encontrada variou de  $90,6 \pm 12,1$  a  $97,6 \pm 6,5\%$  do  $^{13}\text{C}$  adicionado (Tabela 3). Da mesma forma, aos 112 dias de experimento, a recuperação de  $^{13}\text{C}$  variou de  $87,7 \pm 4,9$  a  $96,3 \pm 11,8\%$  do  $^{13}\text{C}$  adicionado. A soma de  $^{13}\text{C-CO}_2$ ,  $^{13}\text{C}$  resíduo e  $^{13}\text{C}$  solo (Figura 4b, 4d e 4f) mostrou que ocorreu um aumento nas quantidades de  $^{13}\text{C-CO}_2$  e  $^{13}\text{C}$  no solo e redução do  $^{13}\text{C}$  no resíduo ao longo do tempo. Verificou-se um maior acúmulo de  $^{13}\text{C}$  no solo e aumento do  $^{13}\text{C-CO}_2$  liberado na camada inferior ao final do período de avaliações. Por outro lado, na camada superior encontrou-se maiores quantidades de  $^{13}\text{C}$  remanescente nos resíduos e menor acúmulo de  $^{13}\text{C}$  no solo, além de menor liberação de  $^{13}\text{C-CO}_2$ .

A recuperação de  $^{15}\text{N}$  não foi influenciada pela posição da camada de resíduo no *mulch* (Tabela 3). Entretanto, apresentou um comportamento bastante distinto da recuperação de  $^{13}\text{C}$ . Aos 28 dias de experimento, a recuperação de  $^{15}\text{N}$  variou de  $83,9 \pm 2,0$  a  $99,9 \pm 5,9\%$  do  $^{15}\text{N}$  adicionado. Aos 112 dias, a recuperação variou de  $88,2 \pm 10,1$  a  $98,3 \pm 1,9\%$  do  $^{15}\text{N}$  adicionado. Pela soma do  $^{15}\text{N}$  remanescente e  $^{15}\text{N}$  no solo (Figura 6a e 6b), pode-se observar uma grande proporção do  $^{15}\text{N}$  presente no resíduo, cerca de 71% na média de todos tratamentos ao final do experimento. Uma pequena parcela de  $^{15}\text{N}$  foi aportada para o solo aos 112 dias, em média 21% do  $^{15}\text{N}$  adicionado (Figura 5c e 5d).

## 2.5. Discussão

Os resultados encontrados em nosso estudo durante os 112 dias de incubação confirmam parcialmente nossa primeira hipótese, a qual indicava que resíduos culturais com maior contato com o solo apresentam maior decomposição e maior acúmulo de C e N no solo. Entretanto isso somente foi confirmado para a dinâmica do C.

A mineralização do  $^{13}\text{C}$ , independentemente da posição da camada de resíduo no *mulch*, ocorreu em duas fases distintas, uma inicial e mais rápida até os primeiros 20 dias, seguida de outra mais lenta até o final da incubação. A rápida decomposição dos resíduos nesta fase inicial ocorreu devido à rápida mineralização da fração solúvel presente nos resíduos, como os açúcares (Cotrufo et al., 2013; Redin, 2010). Após a exaustão dessa fração mais lábil ocorreu um decréscimo e uma estabilização na taxa de decomposição devido a permanência nos resíduos de compostos mais resistentes ao ataque microbiano (Abiven et al., 2005; Aita e Giacomini, 2003; Redin et al., 2014), os quais normalmente são decompostos por grupos de microrganismos específicos.

A mineralização do  $^{13}\text{C}$  das diferentes camadas do *mulch* foi maior nas camadas com maior contato com o solo (inferior). Uma maior mineralização de  $^{13}\text{C}$  dessas camadas do *mulch* pode estar diretamente ligada a umidade de cada camada de resíduo. Nós pudemos observar que as camadas central e inferior permaneceram por mais tempo com uma maior umidade durante as avaliações, esta condição de maior umidade pode ter favorecido a maior mineralização de  $^{13}\text{C}$  nestas camadas de resíduos. Da mesma forma, em todas as datas onde ocorreu umedecimento do *mulch* por irrigação se observou incremento nas taxas de mineralização do  $^{13}\text{C}$ , o que pode ser explicado pelos níveis adequados de umidade do solo onde têm-se um estímulo à atividade biológica e o processo de decomposição ocorre de forma satisfatória (Iqbal et al., 2015).

Assim, o maior contato dos resíduos da camada inferior do *mulch* com o solo, somado a condição de umidade favorável, justifica uma maior decomposição dessa camada (Garnier et al., 2008). Confirmando a nossa primeira hipótese, onde a decomposição é influenciada pela posição das camadas de resíduos no *mulch*. Além disso, outros autores observaram que o contato solo-resíduo influencia no processo de decomposição, pela camada inferior apresentar maior contato com os microrganismos do solo e com isso ocorrer a formação de ambiente favorável ao desenvolvimento de populações microbianas, que regulam a troca de nutrientes entre os microrganismos e o substrato (Iqbal et al., 2013; Halde e Hentz, 2016).

Nesse sentido, Dietrich et al., (2019), Iqbal et al., (2015) e Lee et al., (2014) apontam que a umidade pode ser um fator condicionador para a maior decomposição entre as camadas do *mulch*. Em nosso estudo, observou-se que na maior parte do período de incubação, as camadas mais próximas do solo (central e inferior) se mantiveram mais úmidas, o que pode ter levado a maior decomposição e maior

acúmulo de C no solo em relação à camada superior, que geralmente se manteve mais seca, o que acabou limitando o acesso dos microrganismos e conseqüentemente a decomposição (Christensen, 1986; Dimes, 1996). O menor contato dos resíduos com o solo e a redução da umidade da camada superior combinados à baixa quantidade de N mineral e N nos resíduos observados em nosso estudo, podem ter restringido a decomposição. O que foi relatado também por Abiven e Recous, (2007), que afirmam que resíduos mais distantes do solo tendem a ter menor decomposição.

Durante a incubação, o acúmulo de  $^{13}\text{C}$  no solo aumentou com o avanço da decomposição dos resíduos culturais. Aos 112 dias de experimento, pode-se observar maior quantidade de C novo no solo proveniente da maior decomposição da camada inferior do *mulch*, confirmando nossa segunda hipótese, que afirma que a camada de resíduos com maior contato com o solo seria responsável por maior acúmulo de C no solo. Este fator pode ter proporcionado uma maior atividade dos microrganismos, conseqüentemente maior decomposição e acúmulo de C no solo. Outros estudos, por exemplo, Mitchell et al., (2018), relatam que populações microbianas mais ativas, combinadas com a maior proximidade das partículas de solo, resultam em maiores chances do C derivado dos resíduos ser aportado para a MOS.

Os resultados encontrados para o Fcr demonstram que para as duas datas analisadas, têm-se uma maior contribuição das camadas com resíduos mais próximas do solo. Este resultado sugere que a eficiência do uso de C (EUC) da população microbiana em nosso experimento pode ter sido maior quanto mais próximos do solo estavam os resíduos. Outro fator que pode ter contribuído para um maior Fcr na camada inferior é o maior contato dos resíduos dessa camada com o solo do que aqueles das camadas superiores. Esse maior contato pode ter favorecido a estabilização de compostos solúveis e dos subprodutos do metabolismo microbiano, gerados durante a decomposição dos resíduos. Cotrufo et al., (2013) e Whalen et al., (2014) demonstraram que os subprodutos do metabolismo microbiano são os principais precursores da formação da MOS.

Entretanto, os resultados foram diferentes para a dinâmica de liberação de N do resíduo e para o acúmulo de N no solo. Os resultados obtidos em nosso estudo não foram influenciados pela posição das camadas de resíduos no *mulch*, como encontrado na dinâmica do C. Contudo, foi observado que o maior contato do resíduo com o solo afetou o acúmulo de N no solo somente aos 28 dias, não havendo diferença na contribuição das diferentes camadas ao final do experimento. Conforme

exposto anteriormente, os resíduos apresentavam ao final dos 112 dias de avaliação uma taxa de liberação de N muito baixa. Essa baixa liberação de N dos resíduos pode estar diretamente relacionada à composição química deste resíduo, onde a proporção de compostos mais recalcitrantes permaneceu após uma fase inicial, onde possivelmente ocorreu a liberação dos compostos solúveis de fácil degradação (Abiven et al., 2005; Aita e Giacomini, 2003; Redin et al., 2014). Nesse sentido, a relação C/N de 63,2 do resíduo de arroz, considerada elevada (Kliemann et al., 2006), deve ter contribuído para os resultados obtidos em nosso estudo. A relação C/N do substrato é considerada fator preponderante no suprimento de N no solo e que influencia diretamente no processo de decomposição (Kumar et al., 2018). A quantidade de N-mineral do solo foi maior no tratamento controle em relação à média dos tratamentos com resíduo. Esse resultado sugere que tenha ocorrido imobilização do N pelos microrganismos. Redin et al., (2014), avaliando a decomposição de 25 espécies de resíduos culturais (folhas, talos e mistura talo+folha) observou que a imobilização líquida do N é frequentemente esperada quando a relação C/N dos resíduos é maior que 34. Assim, pode-se afirmar que a adição desses resíduos na superfície do solo estimularia uma maior demanda microbiana de N, provocando uma imobilização líquida durante a decomposição (Williams et al., 2018).

A transferência do  $^{15}\text{N}$  entre as camadas de resíduos do *mulch* foi observada de maneira considerável em nosso estudo. Observou-se que o N liberado dos resíduos foi transcolado tanto de forma ascendente quanto de forma descendente. Estudos atribuem esse comportamento à colonização dos resíduos por fungos, que através das hifas promovem essa distribuição do N entre as camadas dos resíduos depositadas na superfície do solo (Frey et al., 2000; Wells et al., 2017). Outro fator que pode estar atrelado a esse resultado é o umedecimento dos resíduos, através das irrigações, onde há uma homogeneização da umidade do *mulch*, possibilitando aos microrganismos acessarem essas zonas de umidade em busca de N (Findeling et al., 2003; Iqbal et al., 2015).

Ao final do experimento, a recuperação do  $^{13}\text{C}$  apresentou pouca variação, não sendo influenciado pela posição da camada de resíduos no *mulch*. Em estudo realizado a campo, Tahir et al., (2016) obteve aos 180 dias uma recuperação média de 84% do  $^{13}\text{C}$  adicionado pelos resíduos de culturas de inverno mantidas na superfície do solo. Valores semelhantes foram também verificados por Gale e Cambardella (2000), com recuperação de 94% do  $^{14}\text{C}$  adicionado em um experimento

de laboratório com duração de 360 dias. A recuperação do  $^{15}\text{N}$  em nosso estudo, também apresentou pouca variação, não sofrendo influência do contato dos resíduos com o solo. Valores próximos foram encontrados por Luce et al., (2014), que verificaram após 112 dias da incorporação de resíduos de trigo (*Triticum aestivum* L.) e feijão-fava (*Vicia faba* L.) em solo arenoso, valores de recuperação entre 85 e 92% do  $^{15}\text{N}$  adicionado. Dessa forma, os resultados encontrados nesse estudo para a recuperação de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  podem ser considerados satisfatórios.

## 2.6. Conclusão

O uso de resíduos culturais enriquecidos com  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  permitiu avaliar a dinâmica do C e do N durante a decomposição dos resíduos culturais de arroz em diferentes camadas que formam o *mulch* na superfície do solo. A dinâmica do N dos resíduos e no solo não foi influenciada pela posição dos resíduos no *mulch*. Por outro lado, a decomposição e o acúmulo de C no solo dos resíduos culturais de arroz são influenciados pelo contato solo-resíduo, sendo que os resíduos culturais da camada inferior do *mulch* apresentam maior decomposição e contribuição para o C no solo. A maior degradação da camada inferior ocorre em função das melhores condições de umidade do resíduo à atividade microbiana. Nessas condições, a quantidade de C acumulado no solo por unidade de C mineralizado foi maior do que nas camadas central e superior, indicando que a maior contribuição da camada inferior para o C do solo não está somente relacionada a sua maior decomposição, mas possivelmente a um aumento da eficiência microbiana no uso do C dos resíduos nessa camada do *mulch*.

## 2.7. Referências

Abiven S, Recous S, Reyes V, Oliver R (2005) Mineralisation of C and N from root, stem and leaf residues in soil and role of their biochemical quality. *Biology and Fertility of Soils* 42:119-128. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0006-0>

Abiven S, Recous, S (2007) Mineralisation of crop residues on the soil surface or incorporated in the soil under controlled conditions. *Biology and Fertility of Soils* 43: 849-852. <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0165-2>

Aita C, Giacomini SJ (2003) Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27:601-612. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-6832003000400004>

Bradford MA, Björn B, Maynard DS, Wieder WR, Wood SA (2016) Understanding the dominant controls on litter decomposition. *Journal of Ecology* 104:229-238. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12507>

Christensen BT (1986) Barley straw decomposition under field conditions: effect of placement and initial nitrogen content on weight loss and nitrogen dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 18:523-529. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(86\)90010-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90010-6)

Cotrufo MF, Wallenstein MD, Boot CM, Deneff K, Paul E (2013) The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter. *Global Change Biology* 19:988-995. <https://doi.org/10.1111/gcb.12113>

Dietrich G, Recous S, Pinheiro PL, Weiler DA, Schu AL, Rambo MRL, Giacomini SJ (2019) Gradient of decomposition in sugarcane mulches of various thicknesses. *Soil and Tillage Research*, 192:66-75. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.022>

Dietrich G, Sauvadet M, Recous S, Redin M, Pfeifer IC, Garlet CM, Bazzo H (2017) Sugarcane mulch C and N dynamics during decomposition under different rates of

trash removal. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 243:123-131. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.013>

Dimes JP (1996) Simulation of mineral N supply to no-till crops in the semi-arid tropics. PhD Thesis. Faculty of Environmental Science, Griffith University, Australia.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3, 353.

Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* 35:1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

Findeling A, Garnier P, Coppens F, Lafolie F, Recous S (2007) Modelling water, carbon and nitrogen dynamics in soil covered with decomposing mulch. *European Journal of Soil Science* 58:196–206. <https://doi.org/10.1111/j.1365-389.2006.00826.x>

Findeling A, Ruy S, Scopel E (2003) Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *Journal of Hydrology* 275:49-66. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00021-0)

Frey SD, Elliott ET, Paustian K, Peterson GA (2000) Fungal translocation as a mechanism for soil nitrogen inputs to surface residue decomposition in a no-tillage agroecosystem. *Soil Biology & Biochemistry*, 32:689-698. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00205-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00205-9)

Gale WJ, Cambardella, CA (2000) Carbon dynamics of surface residue- and root-derived organic matter under simulated no till. *Soil Science Society of America Journal* 64:190-195.

Garnier P, Cambier C, Bousso M, Masse D, Chenu C, Recous S (2008) Modeling the influence of soil-plant residue contact on carbon mineralization: Comparison of a compartmental approach and a 3D spatial approach. *Soil Biology and Biochemistry* 40:2754-2761. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.07.032>

Haddix ML, Paul EA, Cotrufo MF (2016) Dual, differential isotope labeling shows the preferential movement of labile plant constituents into mineral bonded soil organic matter. *Global Change Biology* 22:2301-2312. <https://doi.org/10.1111/gcb.13237>

Halde C, Entz MH (2016) Plant species and *mulch* application rate affected decomposition of cover crop mulches used in organic rotational no-till systems. *Canadian Journal of Plant Science* 96:59-71. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0095>

Iqbal A, Aslam S, Alavoine G, Benoit P, Garnier P, Recous S (2015) Rain regime and soil type affect the C and N dynamics in soil columns that are covered with mixed-species mulches. *Plant and Soil* 393:319–334. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2501-x>

Iqbal A, Garnier P, Lashermes G, Recous S (2013) A new equation to simulate the contact between soil and maize residues of different sizes during their decomposition. *Biology and Fertility of Soils* 50:645-655. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0876-5>

Kliemann HJ, Braz JPB, Silveira PM (2006) Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférico. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 36:21-28.

Kumar M, Kundu DK, Ghorai AK, Mitra S, Singh SR (2018) Carbon and nitrogen mineralization kinetics as influenced by diversified cropping systems and residue incorporation in Inceptisols of eastern Indo-Gangetic. Plain. *Soil and Tillage Research* 178:108-117. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.025>

Lal R (2009) Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science* 60:158-169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-389.2008.01114.x>

Lee H, Fitzgerald J, Hewins DB, McCulley RL, Archer SR, Rahn T, Throop HL (2014) Soil moisture and soil-litter mixing effects on surface litter decomposition: A controlled environment assessment. *Soil Biology and Biochemistry* 72:123-132. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.027>



Li LJ, Han XZ, You MY, Yuan YR, Ding XL, Qiao YF (2013) Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: effects of residue type and placement in soils. *European Journal of Soil Biology* 54:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.11.002>

Luce MS, Whalen JK, Ziadi N, Zebarth BJ, Chantigny MH (2014) Labile organic nitrogen transformations in clay and sandy-loam soils amended with <sup>15</sup>N-labelled faba bean and wheat residues. *Soil Biology and Biochemistry* 68:208-218. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.033>

Lugato E, Bampa F, Panagos P, Montanarella L, Jones A (2014) Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Global Change Biology* 20:3557-3567. <https://doi.org/10.1111/gcb.12551>

Miltner A, Bombach P, Schmidt-Brucken B, Kastner M (2012) SOM genesis: microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry* 111:41-55. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9658-z>

Mitchell E, Scheer C, Rowlings D, Conant RT, Cotrufo MF, Grace P (2018) Amount and incorporation of plant residue inputs modify residue stabilisation dynamics in soil organic matter fractions. *Agriculture Ecosystems and Environment* 256:82-91. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.006>

Nevins CJ, Nakatsu C, Armstrong S (2018) Characterization of microbial community response to cover crop residue decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* 127:39-49. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.09.015>

Redin M (2010) Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e de plantas de cobertura do solo- Santa Maria (2010) Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.

Redin M, Recous S, Aita C, Dietrich G, Skolaude AC, Ludke WH, Schmatz R, Giacomini SJ (2014) How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry* 78:65- 75. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.014>

Stott DE, Stroo HF, Elliott LF, Papendick RI, Unger PW (1990) Wheat residue loss from fields under no till management. *Soil Science Society of America Journal* 54:92-98.

Stotzky G (1965) Microbial respiration. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy 2:1550-1570.

Tahir MM, Recous S, Aita C, Pfeifer IC, Chaves B, Giacomini SJ (2018) Field <sup>13</sup>C pulse labeling of pea, wheat, and vetch plants for subsequent root and shoot decomposition studies. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 42:e0160449. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20160449>

Tahir MM, Recous S, Aita C, Schmatz R, Pilecco GE, Giacomini SJ (2016) In situ roots decompose faster than shoots left on the soil surface under subtropical no-till conditions, *Biology and Fertility of Soils* 52:853-865. <https://doi.org/10.1007/s00374-016-1125-5>

Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohen H, Volkweiss SJ (1995) *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 174 (Boletim Técnico, 5).

Thangarajan R, Bolan NS, Tian G, Naidu R, Kunhikrishnan A (2013) Role of organic amendment application on greenhouse gas emission from soil. *Science of the Total Environment* 465:72-96. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.031>

Van Soest PJ (1963) Use of detergents in the analysis of fibrous feeds I: preparation of fiber residues of low nitrogen content. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists* 46:825-835.

Wells MS, Reberg-Horton SC, Mirsky SB, Maul JE, Hu S (2017) In situ validation of fungal N translocation to cereal rye mulches under no-till soybean production. *Plant and Soil* 410:153–165. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2989-8>

Whalen JK, Gul S, Poirier V, Yanni SF, Simpson MJ, Clemente JS, Feng X, Grayston SJ, Barker J, Gregorich EG, Angers DA (2014) Transforming plant carbon into soil carbon: process-level controls on carbon sequestration. *Canadian Journal of Plant Science* 94:1065-1073. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-145>

Williams A, Wells MS, Dickey DA, Hu S, Maul J, Raskin DT, Reberg-Horton SC, Mirsky SB (2018) Establishing the relationship of soil nitrogen immobilization to cereal rye residues in a mulched system. *Plant and Soil* 426:95-107. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3566-0>

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado na incubação.

Solo	Textura	Argila	Silte	Areia	C	N	Nmin	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	pH
		-----g kg <sup>-1</sup> -----					mg kg <sup>-1</sup>	‰		
Argissolo Vermelho	Franco arenoso	100	240	660	7,8	0,75	38,44	-23,2	7,06	5,0

C: carbono total no solo; N: nitrogênio total no solo; Nmin: N mineral inicial.  $\delta^{13}\text{C}$ : deltas de C no solo;  $\delta^{15}\text{N}$ : deltas de N no solo; pH em H<sub>2</sub>O.

Tabela 2. Composição química dos resíduos culturais de arroz.

Resíduos	C	N	FS	CEL	HEM	LIG	C/N	<sup>13</sup> C	<sup>15</sup> N
	-----g kg <sup>-1</sup> -----							‰	
Arroz (folha+talo)	373,1	5,9	2,82	3,69	3,09	0,36	63,2	327,4	14656,5

C: carbono; N: nitrogênio; FS: fração solúvel; Cel: celulose; Hem: hemicelulose; Lig: lignina; <sup>13</sup>C: deltas de C no resíduo; <sup>15</sup>N: deltas de N no resíduo.

Tabela 3. Recuperação de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  dos resíduos culturais de arroz de diferentes camadas do *mulch* aos 28 e 112 dias de experimento.

Tempo	<i>Mulch</i>	Camada superior	Camada central	Camada inferior
% do $^{13}\text{C}$ adicionado				
28	94,5 ± 6,9	97,6 ± 6,5	94,2 ± 13,8	90,6 ± 12,1
112	94,8 ± 6,1	96,3 ± 11,8	95,9 ± 2,4	87,7 ± 4,9
Média	94,6 ± 0,3	97,0 ± 0,9	95,1 ± 1,2	89,1 ± 2,1
% do $^{15}\text{N}$ adicionado				
28	94,4 ± 5,8	90,7 ± 11,4	83,9 ± 2,0	99,9 ± 5,9
112	95,8 ± 5,2	88,2 ± 10,1	98,3 ± 1,9	90,5 ± 0,2
Média	95,1 ± 1,0	89,4 ± 1,7	91,1 ± 10,2	95,2 ± 6,7

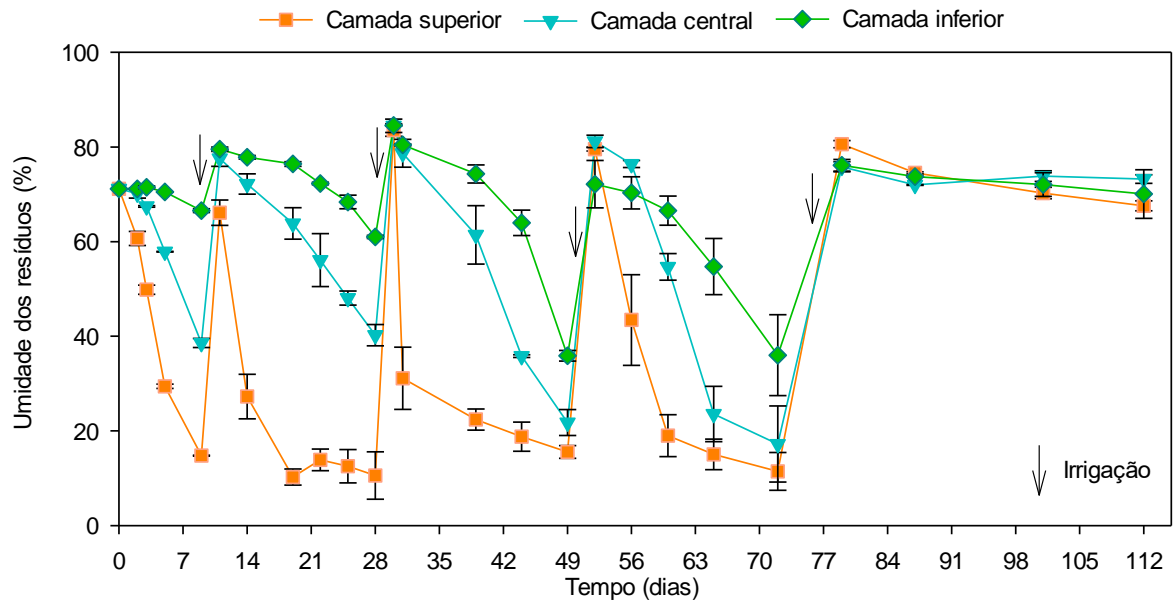


Figura 1. Umidade dos resíduos do arroz de diferentes camadas do *mulch* (superior, central e inferior) durante 112 dias de experimento. As barras verticais indicam o erro padrão das médias ( $n = 3$ ).

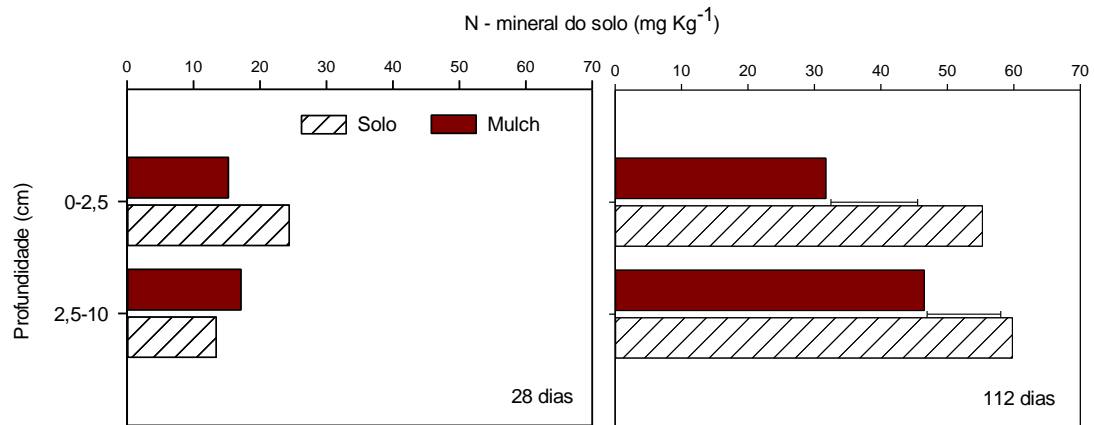


Figura 2. N-mineral no solo com resíduos culturais de arroz durante 112 dias de experimento. As barras horizontais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).



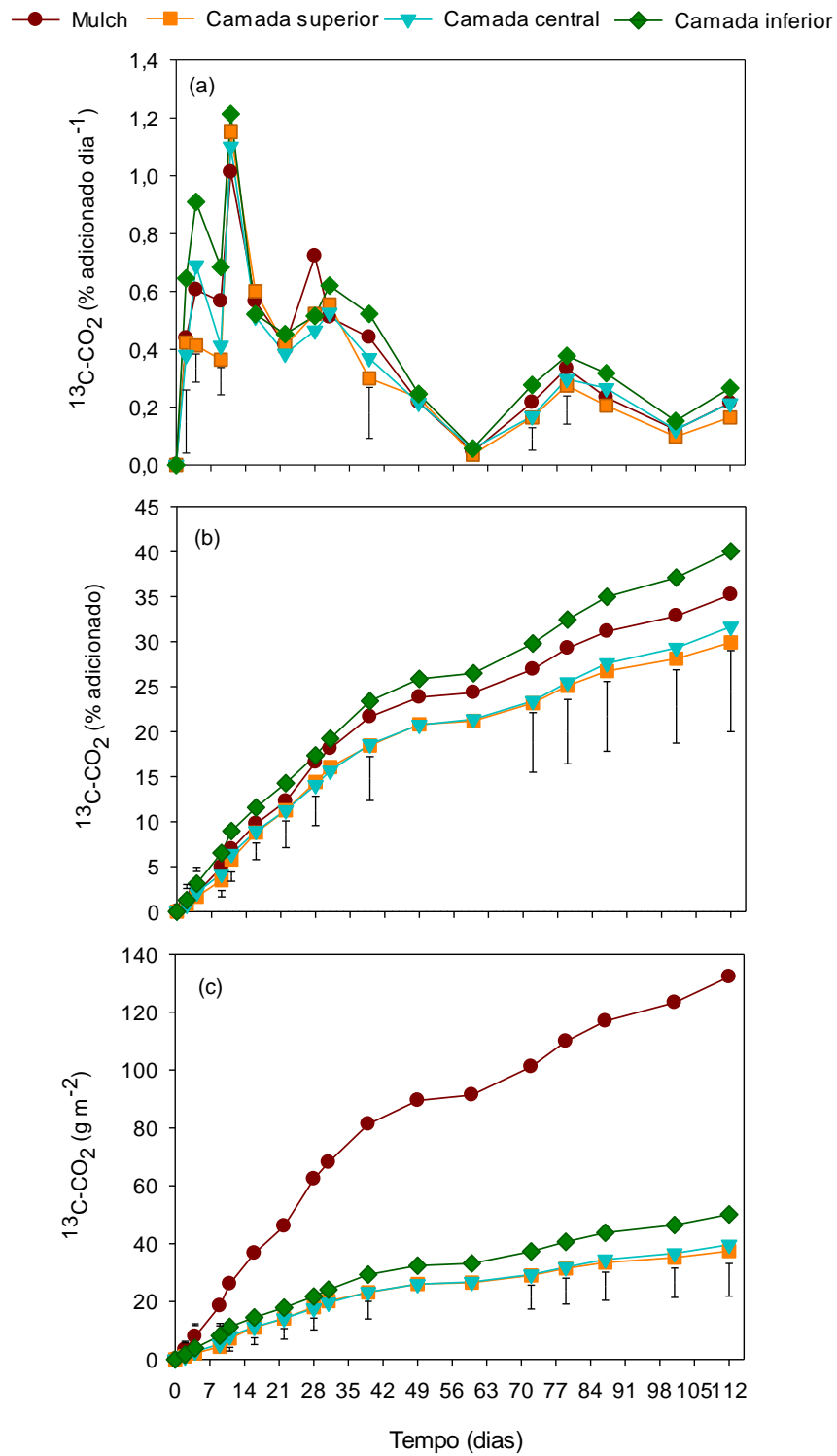


Figura 3. Velocidade de mineralização do  $^{13}\text{C}$  (a) e mineralização acumulada do  $^{13}\text{C}$  (b e c) de resíduos culturais de arroz em diferentes camadas do *mulch* durante 112 dias. As barras verticais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).

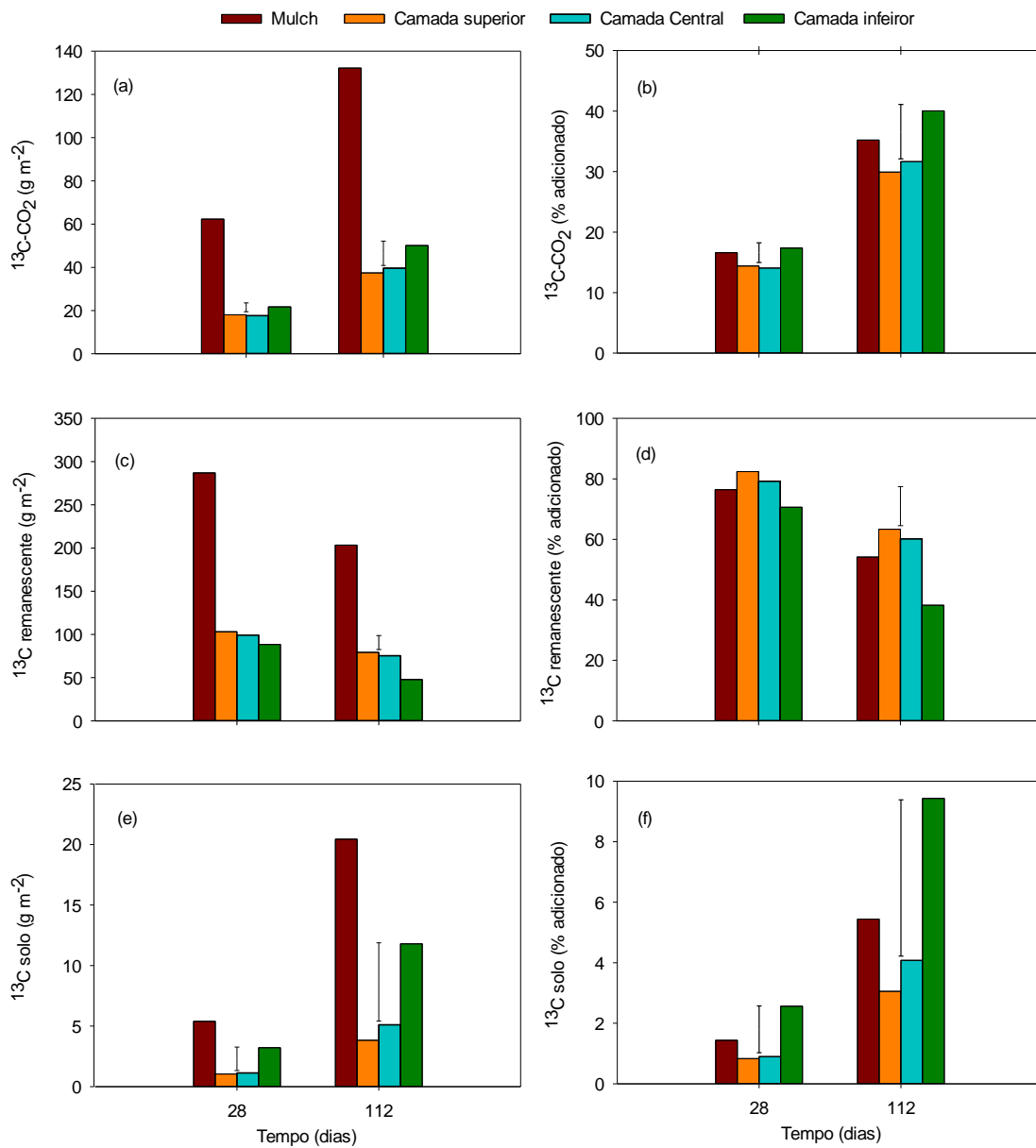


Figura 4. Mineralização do  $^{13}\text{C}$  (a, b),  $^{13}\text{C}$  remanescente nos resíduos (c, d),  $^{13}\text{C}$  no solo (e, f) de resíduos culturais de arroz em diferentes camadas do *mulch* durante 112 dias. As barras verticais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).

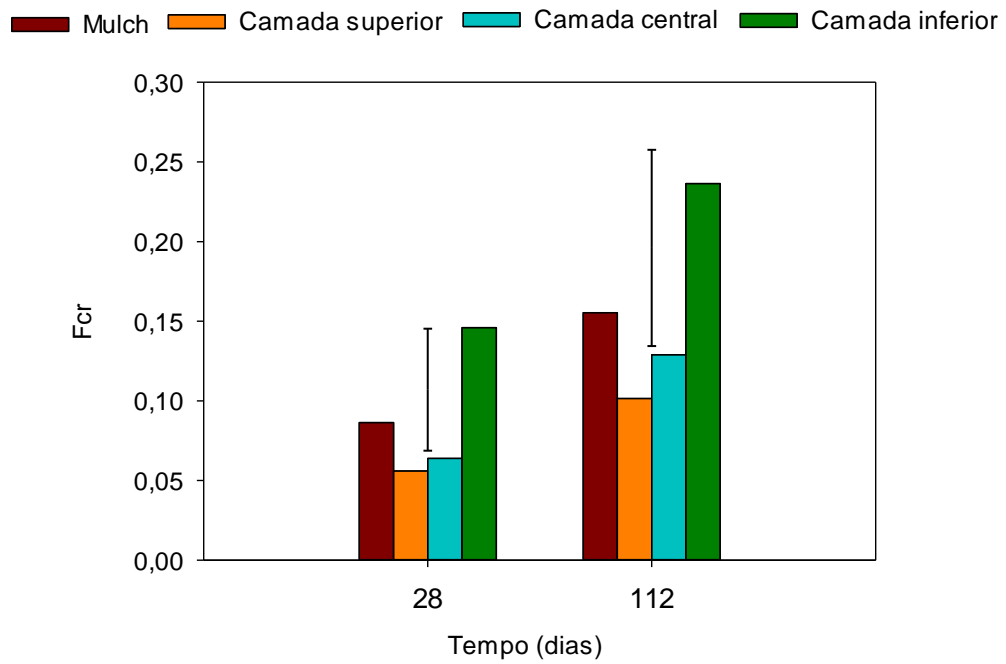


Figura 5. Fator de contribuição relativo (Fcr) entre o  $^{13}\text{C}$  acumulado no solo e o  $^{13}\text{C}$  mineralizado pelos resíduos de arroz nas diferentes camadas do *mulch*. As barras verticais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).

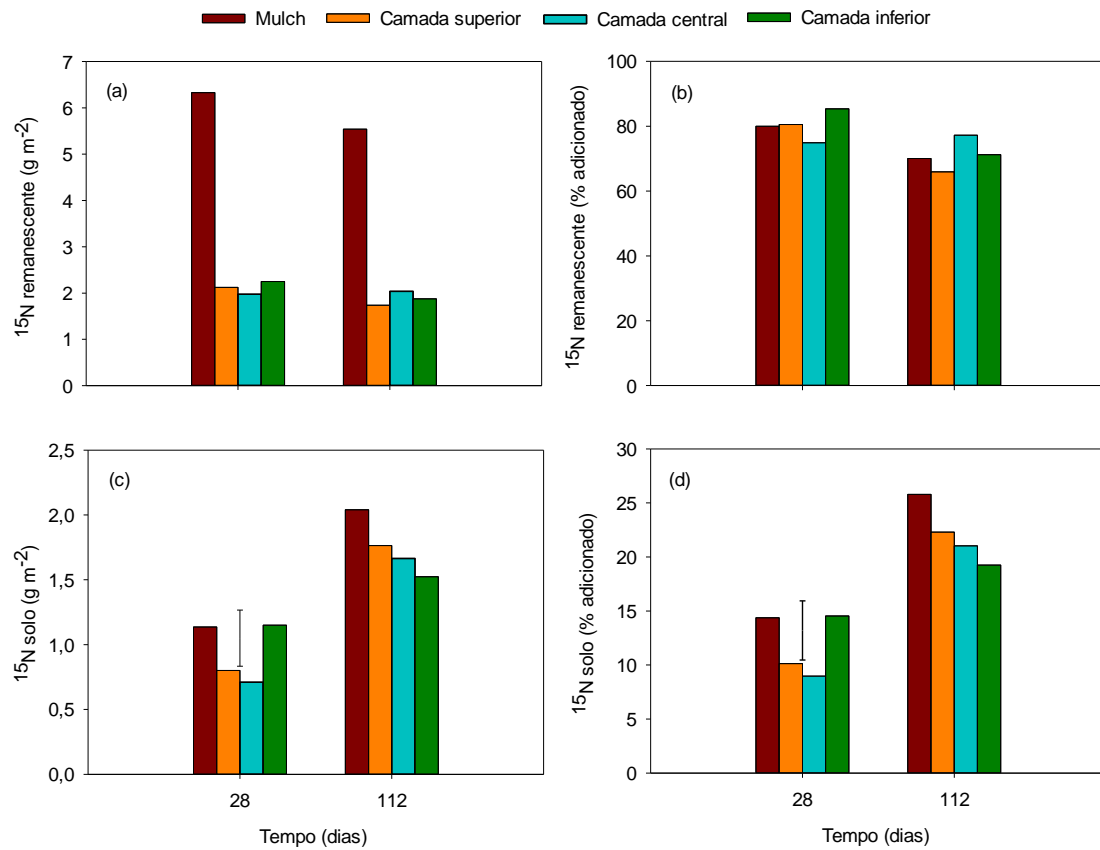


Figura 6.  $^{15}\text{N}$  remanescente (a, b) e  $^{15}\text{N}$  no solo (b, c) de resíduos culturais de arroz em diferentes camadas do *mulch* durante 112 dias de experimento. As barras verticais indicam a diferença média significativa entre as médias de cada tratamento (Tukey a 5%).

## Material complementar

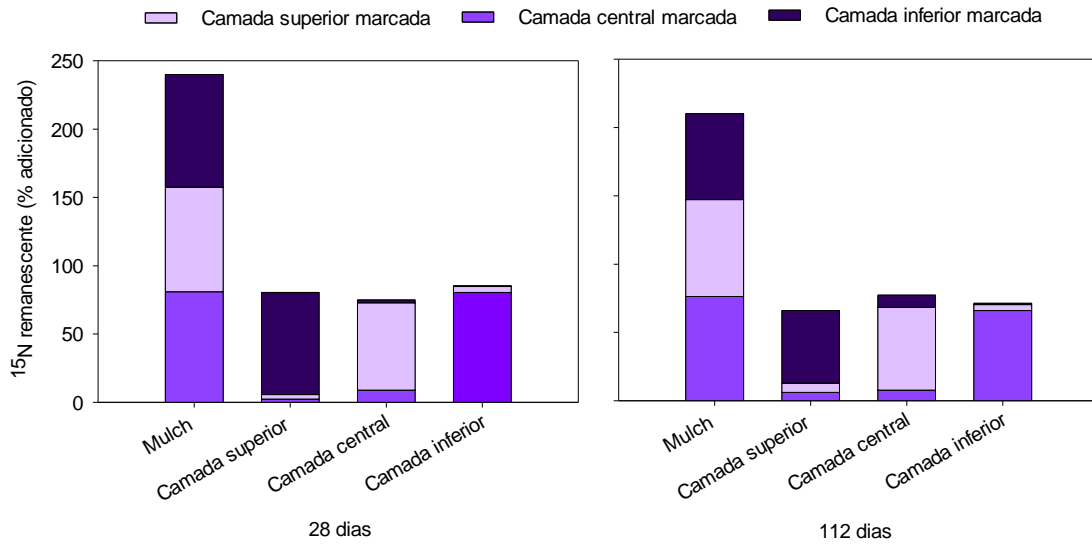


Figura 7. Distribuição de  $^{15}\text{N}$  nas diferentes camadas do *mulch* de resíduos culturais de arroz durante 112 dias de experimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIVEN, S., RECOUS, S. Mineralisation of crop residues on the soil surface or incorporated in the soil under controlled conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 43, p. 849-852, 2007.
- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. UFSM/Departamento de Solos, Santa Maria, p. 76-111, 1997.
- BIRD, J. A.; KLEBER, M.; TORN, M. S.  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  stabilization dynamics in soil organic matter fractions during needle and fine root decomposition. **Organic Geochemistry**. v. 39, p. 465-477, 2008.
- BRADFORD, M. A. Understanding the dominant controls on litter decomposition. **Journal of Ecology**, v. 104, p. 229-238, 2016.
- CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: Structure, function and turnover. In: **Plant Production**. Tjele, Dinamarca, n. 30, p. 95, 2000.
- COTRUFO, M. F. et al. Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. **Nature Geoscience**, v. 8, n. 10, p. 776, 2015.
- COTRUFO, M. F., et al. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter. **Global Change Biology**. v. 19, p. 988-995, 2013.
- DIETRICH, G. et al. Sugarcane mulch C and N dynamics during decomposition under different rates of trash removal. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 243, p. 123-131, 2017.
- DIETRICH, G., et al. Gradient of decomposition in sugarcane mulches of various thicknesses. **Soil and Tillage Research**. v. 192, p. 66-75, 2019.
- GENTILE, R., et al. Residue quality and N fertilizer do not influence aggregate stabilization of C and N in two tropical soils with contrasting texture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 88, p. 121-131, 2010.
- GIACOMINI, S. J.; et al. Carbon mineralization of straw and pig manure with and without incorporation of soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2661-2668, 2008.
- HALDE, C., ENTZ, M. H. Plant species and mulch application rate affected decomposition of cover crop mulches used in organic rotational no-till systems. **Canadian Journal of Plant Science**. v. 96, p. 59-71, 2016.

IQBAL, A. et al. A new equation to simulate the contact between soil and maize residues of different sizes during their decomposition. **Biology and Fertility of Soils**. v.50, p. 645-655, 2013.

JACKSON, R. B., et al. The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. v. 48, p. 419-445, 2017.

KÖGEL-KNABNER, I., et al. Organo-mineral associations in temperate soils: integrating biology, mineralogy, and organic matter chemistry. **Journal of Plant Nutrient and Soil Science**, v. 171, p. 61-82, 2008.

MALUF, H. J. G. M., et al. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. **Revista Brasileira em Ciência do Solo**. v. 39, p.1681-1689, 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006.

PEREIRA, A. P. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, p. 799-807, 2017.

RUBINO, M. et al. Carbon input belowground is the major C flux contributing to leaf litter mass loss: evidences from a <sup>13</sup>C labelled-leaf litter experiment. **Soil Biology and Biochemistry**. v.42, p. 1009-1016, 2010.

SÁ, J. C. M. et al. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**. v. 136, p. 38–50, 2014.

SHAHBAZ, M.; KUZYAKOV, Y.; HEITKAMP, F. Decrease of soil organic matter stabilization with increasing inputs: Mechanisms and controls. **Geoderma**. v. 304, p. 76-82, 2017.

SINGH, B. K. et al. Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. **Nature Reviews Microbiology**. v. 8, p. 779-790, 2010.

STEINER, J. L., et al. Crop residue decomposition in no-tillage small-grain fields. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1817-1824, 1999.

STOTT, D. E., et al. Wheat residue loss from fields under no-till management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 92-98, 1990.

TRINSOUTROT, I. et al. C and N fluxes of decomposing <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N *Brassica napus* L. effects of residue composition and N content. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1717-1730, 2000.

WILLIAMS, A. et al. Establishing the relationship of soil nitrogen immobilization to cereal rye residues in a mulched system. **Plant and Soil**. v. 426, p. 95-107, 2018.

YE, C. et al. Physical access for residue-mineral interactions controls organic carbon retention in an Oxisol soil. **Scientific Reports**, v. 7, p. 6317, 2017.