

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Mara Grohs

**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, CICLAGEM DE
NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM
FUNÇÃO DE MANEJOS PÓS-COLHEITA E PLANTAS DE
COBERTURA**

Santa Maria, RS
2018

Mara Grohs

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, CICLAGEM DE NUTRIENTES E
PRODUTVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DE MANEJOS PÓS-
COLHEITA E PLANTAS DE COBERTURA**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Mara Grohs

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, CICLAGEM DE NUTRIENTES E
PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DE MANEJOS PÓS-
COLHEITA E PLANTAS DE COBERTURA**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Agronomia**.

Aprovado em 11 de maio de 2018:

Enio Marchesan, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)

Stefen Barbosa Pujol, Dr. (UFSM)

Benjamin Dias Osório Filho, Dr. (UERGS)

Paulo Regis Ferreira da Silva, Dr. (UFRGS)

DEDICO

Àquele
que me apoiou durante toda essa jornada,
Adriano Flores Corrêa

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus familiares pelo incentivo, apoio e carinho durante toda essa caminhada e pelo tempo de convívio que nos foi suprimido.

Ao meu orientador, Enio Marchesan, pelo exemplo de profissional, orientação, ensinamentos e por aceitar o desafio.

A Adriano Flores Corrêa e seus pais pelo companheirismo, acolhida, ensinamentos, amor, amizade e por toda ajuda, física e psicológica durante todos os anos da pós-graduação.

Aos meus colegas de pós-graduação Gabriel Donato, João Ângelo, Camille Flores, Daivyd Oliveira e Bruno Aramburu pelos anos de convivência, troca de experiências e pela ajuda e companheirismo nas horas mais difíceis.

Aos estagiários e ex-estagiários do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado, verdadeiros guerreiros e amigos na condução de todo o trabalho: Anelise Lencina, Isabel Werle, Vítório Pagliarin, Guilherme Haetinger, Marcos Tomazetti, Marília Ferreira e Vinicius Trivisiol bem como as futuras colegas de profissão Luana Pinheiro, Jéssica Maciel, Clarissa Moraes e Elis Puntel, pelo apoio nas etapas de campo e laboratório e por todas as risadas durante a condução dessas atividades. Obrigado por deixarem tudo mais divertido!

A equipe da Estação Regional de Pesquisa do IRGA de Cachoeira do Sul, pelo apoio incondicional nos momentos que não pude estar presente, em especial ao meu grande colega Rodrigo Silveira, por todo incentivo e pelas palavras de apoio durante esses anos.

Ao Instituto Rio-grandense do Arroz, pela liberação para que fosse possível cumprir as etapas em Santa Maria e também para o Doutorado Sanduíche, em especial a Pedro Trevisan Hamann, Maurício Fischer e Güinter Frantz.

Aos membros da banca, pelas contribuições em todas as etapas do trabalho, desde a concepção, execução, qualificação e a defesa:

Prof. Sandro José Giacomini, pela co-orientação, ensinamentos e cedência de equipamentos e laboratório durante todo o período do trabalho.

Dr. Stefen Barbosa Pujol, por todos os ensinamentos e conhecimentos transmitidos durante todo o trabalho, o qual possibilitou o conhecimento de uma nova área.

Prof. Benjamin Osório pela cedência do laboratório da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul para que etapas importantes do trabalho fossem concluídas.

Prof. Paulo Regis da Silva, além de conselheiro de vida, pelas contribuições no trabalho desde as fases iniciais.

As pessoas especiais que a viagem aos Estados Unidos me oportunizou conhecer, Jaqueline Trombetta da Silva, Dr. Tim Burcham e Joan Burcham, bem como os pesquisadores do USDA, Arlene Adviento-Borbe e Joseph Massey.

A todos que tiveram algum envolvimento direto e indireto com esse trabalho, meu Muito Obrigada!

O primeiro passo para se chegar a vitória é o reconhecimento às pessoas que te levarão até ela.

RESUMO

EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, CICLAGEM DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO EM FUNÇÃO DE MANEJOS PÓS-COLHEITA E PLANTAS DE COBERTURA

AUTOR: Mara Grohs
ORIENTADOR: Enio Marchesan

A produção do arroz irrigado passa por um momento de estagnação de produtividade e baixa rentabilidade no estado do Rio Grande do Sul. Um dos fatores que contribui para esse cenário é a baixa fertilidade dos solos de terras baixas, em parte consequência do intenso revolvimento do solo, ocasionando altos investimentos em adubação. A adoção de um sistema de semeadura direta, associado ao uso de espécies de cobertura de inverno poderia contribuir com a diversificação do uso das terras baixas, com a melhora da fertilidade dos solos e redução dos custos da atividade, aliado à sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, com o objetivo de estudar a influência de espécies de cobertura e manejos pós-colheita da palha do arroz na ciclagem de nutrientes na produtividade do arroz irrigado e na emissão de gases do efeito estufa, conduziu-se experimentos durante as safras 2015/16 e 2016/17 na área didático-experimental de terras baixas da Universidade Federal de Santa Maria. O primeiro experimento foi conduzido a fim de avaliar a influência de azevém, aveia, serradela e trigo na ciclagem de nutrientes, na produtividade do arroz e na emissão de gases do efeito estufa. No segundo experimento, avaliou-se diferentes manejos pós-colheita na palha do arroz, representados pela utilização de grade, rolo-faca com o solo alagado, rolagem da palha em solo seco e palha dessecada, associados ou não a utilização do azevém. Nesse trabalho, foi avaliada a produtividade do arroz irrigado e a emissão dos gases do efeito estufa, metano e óxido nitroso, bem como o potencial de aquecimento global parcial e sobre o rendimento de grãos. A utilização das espécies de cobertura dificulta o estabelecimento inicial do arroz, reduzindo a produtividade de grãos, na ordem de 18%, na média de dois anos, além de influenciar alguns atributos do solo, como redução na resistência mecânica a penetração e na microporosidade. A decomposição e liberação dos nutrientes da palha das espécies de cobertura estão atreladas a relação C/N e as condições climáticas do período pós-dessecação. O azevém e a aveia aumentam a emissão de metano e óxido nitroso, durante a safra do arroz irrigado. Sistemas de semeadura direta não prejudicam a produtividade do arroz irrigado, quando comparado aos sistemas tradicionais e servem como estratégia para diminuir o potencial de aquecimento global parcial em áreas com presença de azevém.

Palavras-chave: Plantio direto. Azevém. Serradela. Trigo. Aveia. Metano. Óxido nitroso.

ABSTRACT

EMISSION OF GASES OF GREENHOUSE EFFECT, NUTRIENT CYCLING AND FLOODED RICE PRODUCTIVITY IN THE FUNCTION OF POST-HARVEST MANAGEMENT AND COVER CROPS

AUTHOR: Mara Grohs
ADVISOR: Enio Marchesan

The flooded rice production goes through a period of stagnation of productivity and low profitability in the state of Rio Grande do Sul. One of the factors contributing to this scenario is the low fertility of lowland soils, in part as a consequence of the intense upwelling of the soil causing high investments in fertilization. The adoption of a no-tillage system associated with the use of winter cover crops could contribute to the diversification of lowland land use, improved soil fertility and reduced activity costs combined with environmental sustainability. In this sense, with the objective of studying the influence of cover crops and post-harvest management of rice straw on nutrient cycling, flooded rice yield and greenhouse gas emissions, experiments were conducted during the 2015/16 and 2016/17 in the didactic-experimental lowland area of the Universidade Federal de Santa Maria. The first experiment was conducted to evaluate the influence of ryegrass, oats, seradella and wheat on nutrient cycling, rice yield and greenhouse gas emissions. In the second experiment, different post-harvest management in the rice straw, represented by the use of grate, roller with flooded soil, straw roll in dry soil and dried straw were evaluated, associated or not with the use of ryegrass. In this work, the yield of flooded rice and the emission of greenhouse gases, methane and nitrous oxide, as well as the partial global warming potential and the yield of grains were evaluated. The use of cover plants makes it difficult to establish the initial rice, reducing the grain yield, in the order of 18%, in the average of two years. The decomposition and release of the nutrients from the straw of the cover plants are linked to the C/N ratio and the climatic conditions of the post-desiccation period. Ryegrass and oats increase the emission of methane and nitrous oxide during the flooded rice crop. No-tillage systems do not affect flooded rice productivity when compared to traditional systems and serve as a strategy to reduce partial global warming potential in areas with ryegrass.

Keywords: No-tillage. Ryegrass. Seradella. Wheat. Oat. Methane. Nitrous oxide.

Sumário

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO I: Espécies de cobertura de outono-inverno impactam a produtividade do arroz irrigado no Sul do Brasil	13
Introdução.....	14
Material e métodos.....	15
Resultados	19
Discussão.....	27
Conclusão	33
Referências	34
CAPÍTULO II: Emissão de gases de efeito estufa na entressafra e durante o cultivo do arroz em função do manejo da palhada do arroz e de espécies de cobertura	37
Introdução.....	38
Material e métodos.....	40
Resultados	44
Discussão.....	48
Conclusões.....	52
Referências	53
CAPÍTULO III: Espécies de cobertura no outono-inverno impactam o potencial de aquecimento global durante o cultivo de arroz irrigado no Sul do Brasil	63
Introdução.....	64
Material e métodos.....	65
Resultados e discussão	68
Conclusão	73
Referências	74
CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
ANEXO A	82
ANEXO B	83
ANEXO C	84

INTRODUÇÃO

No mundo, a atual produção de alimentos passa por uma mudança de paradigma, onde por um lado, a taxa de crescimento populacional na ordem de 1,2% ao ano requer aumentos constantes na produtividade em todas as culturas, enquanto que a sociedade cobra que este aumento esteja embasado no princípio da maximização de recursos financeiros, humanos e ambientais.

O arroz é o terceiro cereal de maior produção no mundo, sendo base alimentar de mais de 50% da população mundial. Apesar da área de cultivo vir diminuindo ano após ano, as médias de produtividade mantêm-se em crescimento constante. Apesar disso, há um espaço bastante grande entre o potencial de produção, em torno de 17 Mg ha⁻¹, e as médias mundiais registradas, próximo a 5 Mg ha⁻¹.

No Brasil, cerca de 70% de toda a produção de arroz está concentrada em dois estados do Sul do país, Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC). Ao longo dos anos, a lavoura de arroz irrigado no RS tem passado por momentos de notável avanço tecnológico, seguidos por períodos de menores acréscimos nas médias de produtividade. Na década de 1980, por exemplo, após um grande salto de produtividade resultante do lançamento de variedades como as BR-IRGA 409 e 410, a produtividade média da lavoura gaúcha estagnou em patamares inferiores a 5 toneladas/ha, por quase 30 anos, até o início dos anos 2000. Com o advento da tecnologia Clearfield[®], juntamente com ações de transferência de tecnologia, como os Projetos 10 e CFC, atingiu-se um novo patamar, aproximando-se de 8 Mg ha⁻¹.

No entanto, apesar de muitas das variedades e híbridos disponíveis no mercado apresentarem potencial genético superior a essa média, observa-se redução do potencial produtivo da lavoura arroseira, a qual pode ser atribuída, em parte, ao surgimento de novos casos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas disponíveis, fato agravado pelo manejo incorreto da tecnologia Clearfield[®], como dosagens do herbicida de forma incorreta e atraso no início da irrigação. Outro fator que constitui em um obstáculo para o avanço da produtividade é o monocultivo de arroz associado a sistemas de manejo do solo que envolvam gradagens, o que não é benéfico do ponto de vista de construção de fertilidade do solo, mesmo com aportes altos de fertilizantes minerais ano após ano. Nesse sentido, a cadeia produtiva do arroz busca alternativas que aliem aumento de produtividade, diminuição de custos e sustentabilidade ambiental.

Uma alternativa viável seria a adoção de um sistema de cultivo similar ao plantio direto utilizado em terras altas, adotando-se como premissas básicas, o mínimo revolvimento do solo, associado à rotação e sucessão de culturas com alta produção de massa seca que vise a modificação de estoques de carbono e nitrogênio e com isso, a fertilidade do solo. Além disso, um sistema de cultivo que elimine as operações de preparo do solo reduziria o custo de produção da cultura do arroz, na ordem de 6%, aumentando a rentabilidade da atividade.

Apesar de já existirem informações a respeito dos benefícios do Sistema Plantio Direto em áreas de arroz irrigado, o mesmo tem uma baixa adoção junto à cadeia orizícola, pois esbarra na dificuldade em diminuir, durante a entressafra do arroz, a grande quantidade de palha produzida por essa cultura que, além de ser um impedimento físico ao processo de semeadura, acaba por dificultar a perda da umidade do solo, o que, na maioria das vezes, causa um atraso na época de semeadura.

Todavia, a adoção de um sistema mais conservacionista no ponto de vista de manejo do solo não se faz apenas com o não revolvimento do solo, é necessário a introdução de espécies de outono-inverno durante o período da entressafra a fim de promover a ciclagem de nutrientes, o aporte de matéria orgânica ao solo e melhoria nas suas características físicas e biológicas. No entanto, a utilização de espécies de outono-inverno nessas áreas esbarra nas características desses solos, os quais apresentam topografia plana associada à baixa condutividade hidráulica, o que dificulta a drenagem do sistema e limita as opções de espécies adaptadas a esse ambiente.

Dentre as espécies, o azevém é a mais conhecida, pela sua alta produtividade de massa seca e sua adaptabilidade em relação ao excesso hídrico. Entre as leguminosas, a serradela possui características desejáveis, como alta produtividade de massa seca e resistência ao excesso hídrico e fixação de nitrogênio. Em menor escala, a aveia e o trigo podem ser uma opção viável desde que os cuidados com a drenagem sejam atendidos, pois essas espécies possuem alta produtividade de massa seca e uma fonte alternativa de renda ao produtor.

Além dos aspectos ligados às modificações na fertilidade dos solos, a mudança para um sistema sem revolvimento da área e a introdução de grandes quantidades de resíduos vegetais em um ambiente que passa boa parte do ano em estado anóxico, pode resultar em modificações de ordem física e biológica desse solo. Um fato que está sendo estudado nos últimos anos é a influência de manejos do solo orizícola sobre a emissão de gases do efeito estufa, principalmente no que se refere ao metano, o qual é apontado como o segundo gás de efeito estufa mais importante, contribuindo com 15 a 20% do aquecimento global.

Apesar do arroz irrigado não ser a fonte primária de emissão desse gás, é uma das poucas fontes emissoras que podem ter seu padrão de emissão modificado em função de fatores de manejo utilizados durante o ciclo de cultivo, sendo a introdução de resíduos vegetais uma forma de modificação.

Desta forma, o presente estudo tem por finalidade avaliar a influência de diferentes manejos da palha do arroz após a colheita, juntamente com a utilização de espécies de cobertura sobre os aspectos físicos e químicos do solo, bem como a influência na produtividade de grãos de arroz e nas emissões dos principais gases do efeito estufa e o impacto no potencial de aquecimento global.

- CAPÍTULO I -

**ESPÉCIES DE COBERTURA DE OUTONO-INVERNO IMPACTAM A
PRODUTIVIDADE DO ARROZ IRRIGADO NO SUL DO BRASIL***

*Conforme normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (ANEXO A)

RESUMO: A utilização de espécies de cobertura em áreas de terras baixas pode ser uma alternativa à melhoria dos atributos físicos e químicos do solo, podendo se refletir em aumento da produtividade do arroz irrigado, no sul do Brasil. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar a decomposição de espécies de cobertura no outono-inverno, a liberação de nutrientes decorrente desse processo e sua influência sobre o estabelecimento inicial e a produtividade do arroz irrigado em sucessão. Para tal, um experimento foi conduzido nas safras 2015/16 e 2016/17, com diferentes espécies de cobertura (azevém, serradela, aveia e trigo) e o pousio. A decomposição das espécies de cobertura e a liberação de nitrogênio, fósforo estão atreladas à relação C/N dos resíduos, havendo variações conforme a condição meteorológica. A utilização de aveia, azevém e serradela afeta o estabelecimento inicial do arroz, refletindo-se em redução da produtividade de grãos da cultura.

Palavras-chave: azevém; terras baixas; serradela; trigo; aveia; ciclagem de nutrientes.

INTRODUÇÃO

O uso intensivo dos solos de terras baixas no Rio Grande do Sul torna-se cada vez mais importante, em virtude da necessidade do melhor aproveitamento da infraestrutura e dos insumos utilizados, bem como da preservação do ambiente, em especial a conservação do solo. Para isto, são necessárias providências como a manutenção da fertilidade, manejo de daninhas, uso de sistemas de rotação e sucessão de culturas.

A alta umidade dos solos de terras baixas faz com que haja a necessidade de revolvimento do solo para correção dos rastros deixados pelo maquinário, principalmente após as operações de colheita. Além disso, o arroz irrigado produz uma grande quantidade de resíduos vegetais de alta relação C/N (Massoni et al., 2013), requerendo a incorporação desse material para acelerar sua decomposição. Esse intenso revolvimento contribui para a diminuição da matéria orgânica do solo, onde, em média, 71,1% dos solos de terras baixas apresentam baixo teor de matéria orgânica (Boeni et al., 2010).

Nesse cenário a adoção de um sistema mais conservacionista desse parâmetro, como o plantio direto, seria uma alternativa viável na melhoria dos atributos físicos e químicos do solo. Atualmente, a área com Sistema Plantio Direto no Estado do RS é de 10% (IRGA, 2017a). Esse sistema traz benefícios não somente na parte econômica, pela não necessidade do preparo do solo, a qual representa 6% do custo da lavoura de arroz irrigado (IRGA, 2017b), mas também na sustentabilidade ambiental, visto a importância da ciclagem de nutrientes oriundos da palha do arroz irrigado após a colheita (Carmona et al., 2018). Segundo Massoni (2011), 90% do potássio e do nitrogênio é perdido da palha do arroz em um período de 40 dias após a colheita. No entanto, havendo a presença de espécies de cobertura implantadas logo após a colheita, esse nutriente poderia ser aproveitado dentro do processo de ciclagem (Carmona et al., 2016). Além disso, a adoção das culturas de cobertura resulta em maior atividade microbiana do solo, associada aos maiores estoques de carbono e nitrogênio, propiciando maior produtividade de arroz irrigado comparado as áreas sem coberturas de solo e sem fertilização (Carlos, 2017).

A topografia plana dos solos de terras baixas, associada a sua baixa condutividade hidráulica, dificulta a drenagem do sistema e diminui a aeração do solo. Além disso, no outono-inverno ocorrem elevadas precipitações pluviais, agravando tal situação. Esses fatores contribuem para o estresse hídrico de plantas não adaptadas, uma vez que poucas espécies se estabelecem de forma adequada no ambiente de terras baixas. Espécies como aveia, azevém, serradela e trigo, são apontadas na literatura como opções viáveis para implantação em terras

baixas, desde que tomadas os devidos cuidados, principalmente relacionados a drenagem (Menezes et al., 2001; Ferreira et al., 2015; Correia et al., 2018).

O azevém e a serradela cultivados em terras baixas podem gerar uma elevada quantidade de biomassa, dependendo do ano (Correia et al., 2018). Dessa maneira, existem diversos destinos para os resíduos vegetais, como a produção de feno (Ferreira et al., 2015), pastejo (Carmona et al., 2018) e como espécie de cobertura, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e aumento de matéria orgânica (Carlos, 2017). Considerando a ciclagem de nutrientes, a decomposição do azevém pode fornecer 100, 14 e 77 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente, para a cultura do arroz, dependendo da época em que for semeado (Ferreira, 2012). De maneira análoga, o trigo pode contribuir com o aumento da matéria orgânica do solo a longo prazo, em função das características da sua palha (Motschenbacher et al., 2014).

Por outro lado, as leguminosas como serradela podem incorporar até 120 kg ha⁻¹ de N no solo, podendo contribuir para a cultura sucessora caso esse nutriente permaneça no solo na forma mineral (Correia et al., 2018) e a produtividade de grãos do arroz irrigado poderá ser aumentada mesmo com uma diminuição da fertilização, se houver uma adoção regular da integração lavoura pecuária, que envolva a cobertura de solo durante o outono-inverno (Carmona et al., 2016).

Apesar dos benefícios advindos da utilização de espécies de cobertura em terras baixas, há inúmeros relatos na literatura sobre as dificuldades de implantação e estabelecimento do arroz em áreas com a presença de espécies de cobertura. Os principais problemas encontrados dizem respeito à diminuição do estande inicial de plantas (Menezes et al., 2001; Ferreira et al., 2015; Correia et al., 2018), à produção de ácidos orgânicos, à imobilização do nitrogênio (Knoblauch et al., 2014) e a diminuição de produtividade do arroz (Menezes et al., 2001; Ferreira et al., 2015; Correia et al., 2018), o que dificulta a adoção dessa prática na maior parte das terras baixas.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a taxa de decomposição, a ciclagem de nutrientes de espécies de cobertura de outono-inverno em sucessão ao arroz irrigado, bem como aspectos agronômicos do arroz semeado em sucessão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras agrícolas 2015/16 e 2016/17 na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em área didático-experimental de terras baixas do Departamento de Fitotecnia, em Santa Maria, RS, Brasil. O solo no local do experimento é

classificado como Planossolo Háptico Eutrófico arênico, pertencente à Unidade de Mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2013), com as seguintes características físico-químicas na camada de 0-20 centímetros (cm): $\text{pH}_{\text{água}} (1:1) = 4,6$; fósforo (P) = $3,7 \text{ mg dm}^{-3}$; potássio (K) = $0,14 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e matéria orgânica (MO) = $10,0 \text{ g kg}^{-1}$.

No primeiro ano, o experimento foi implantado na entressafra do cultivo do arroz irrigado, no dia 01 de maio de 2015, com a semeadura das espécies de cobertura. A área que era proveniente de resteva de arroz irrigado, foi preparada com gradagens sucessivas até a completa incorporação dos restos culturais, seguido de aplainamento do terreno. Os tratamentos foram compostos da semeadura de espécies de cobertura: aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum* L.), serradela (*Ornithopus compressus* Brot.) e trigo (*Triticum aestivum*). A aveia preta e o trigo foram semeados com densidade de 100 kg ha^{-1} , a serradela com 10 kg ha^{-1} e o azevém com 25 kg ha^{-1} . O trigo foi semeado em linhas espaçadas de 0,17 m, por meio de uma semeadora de parcelas; as demais culturas foram semeadas a lanço. O tratamento testemunha foi representado pela área mantida em pousio (gradeado e aplainado no mês de março), sendo dessecado toda vez que se constatava o início da presença de plantas espontâneas. No segundo ano, as culturas foram semeadas dia 06 de maio de 2016, mantendo-se os mesmos manejos.

Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco repetições, onde cada parcela experimental apresentava 105 m^2 de área (7m x 15m). Como adubação de base das espécies foi utilizado 10 kg ha^{-1} de N, 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 40 kg ha^{-1} de K_2O , distribuídos a lanço no dia da semeadura. A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada em duas ocasiões, aos 30 e 60 dias após a emergência (DAE), utilizando como dose total 100 kg ha^{-1} de nitrogênio (N). Na cultura da serradela não se realizou aplicação de N em cobertura.

A dessecação das espécies de cobertura ocorreu no dia 10 de setembro, em ambas as safras, através da aplicação de $1.800 \text{ g i.a. ha}^{-1}$ do herbicida glifosato. Na primeira safra, no momento da dessecação a aveia e a serradela encontravam-se no pré-florescimento e o azevém e o trigo no enchimento de grãos. Na segunda safra, aveia e serradela se encontravam no florescimento, enquanto que o azevém, em pré-florescimento. O trigo não foi utilizado na segunda safra, em função do baixo desenvolvimento da cultura.

A cultura do arroz irrigado foi semeada nos dias 30/09/2015 e 07/11/2016, utilizando-se a cultivar IRGA 424RI, na densidade de 100 kg ha^{-1} , com adubação de base de 16 kg ha^{-1} de N, 68 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 108 kg ha^{-1} de K_2O , em todas as parcelas do experimento. Quando as plantas de arroz se encontravam no estágio V4 (Counce et al., 2000), foi realizada a

aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, bem como a aplicação de herbicida pós-emergente, iniciando-se a irrigação imediatamente após essas aplicações, nos dias 07/11/2015 e 01/12/2016. O restante do fertilizante nitrogenado foi dividido em mais duas aplicações durante o ciclo da cultura, nos estádios V6 e R0, na dose de 30 kg ha⁻¹ de N em cada aplicação, totalizando 166 kg ha⁻¹ de N durante o ciclo do arroz irrigado.

Em relação às espécies de cobertura, foi determinada a massa seca da parte aérea das espécies no momento da dessecação, nas duas safras. Uma área de 1,2 m² de cada cultura foi retirada das parcelas com auxílio de uma tesoura, sendo posteriormente uma parte desse material submetido à secagem em estufa de circulação forçada a 65°C, até obtenção de peso constante. A outra parte desse material foi utilizado para a montagem dos *mesh bags* ou sacos de decomposição, a fim de acompanhar a decomposição das plantas. Os *mesh bags* foram confeccionados com dimensões de 20 x 20 cm e malha de 0,5 mm, armazenando-se a quantidade de material equivalente à matéria seca produzida pelas espécies de cobertura.

As amostras contidas nos *mesh bags* foram distribuídas na superfície do solo dentro de cada parcela, no mesmo dia em que foram retiradas. As coletas dos *mesh bags* ocorreram a cada 15 dias até o início da irrigação do arroz, quando passaram a ser mensais. Em cada coleta, um *mesh bag* foi removido de cada parcela, sendo então seco até massa constante a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar, obtendo-se a massa seca remanescente. Esse material foi moído e utilizado para determinação do N, fósforo (P) e potássio (K) no tecido. Além dos *mesh bags*, amostras de solo foram retiradas a fim de quantificar a dinâmica do N, P, K no solo, em função da decomposição das espécies de cobertura. Seis subamostras de solo de 5 cm de profundidade de cada unidade experimental foram retiradas e congeladas até o momento de realização da análise.

A fim de realizar a coleta da solução do solo, após o início da irrigação, foi realizado a instalação de coletores, confeccionados conforme metodologia descrita por Bohnen et al (2005). Dois coletores por parcela foram instalados a 10 cm de profundidade, no dia do início da irrigação. As coletas foram realizadas 1, 3, 5, 14, 30, 45 e 60 dias após a irrigação, no primeiro ano, e 3, 7, 20 e 42 dias no segundo ano. Após a coleta, a solução foi filtrada e congelada a -4 °C até o momento da destilação para determinação do N mineral total (mg L⁻¹) contido na solução do solo.

As análises de N, P e K no solo e K e P no tecido foram realizadas conforme metodologia descrita por Tedesco (1995). Para C e N no tecido, foram utilizadas amostras provindas dos *mesh bags*, peneiradas a 2 mm e avaliadas através de um analisador elementar

(FlashEA 1112, Thermo Finnigan), sendo expresso em kg ha^{-1} , conforme a massa seca de cada coleta.

Em relação aos aspectos agrônômicos, foi determinada a população inicial de plantas de arroz pela contagem de plantas em um metro linear de uma fileira de semeadura, a partir de duas amostragens em cada unidade experimental, dez dias após a emergência das plantas. Por ocasião da colheita de grãos, foi realizada a colheita manual de duas áreas de $4,75 \text{ m}^2$, totalizando a colheita de $9,50 \text{ m}^2$ em cada parcela, quando os grãos encontravam-se a 22 % de umidade.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, sendo posteriormente realizada a análise de variância pelo teste F. Quando o teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott. Todas as análises estatísticas foram feitas a 5 % de probabilidade do erro. Na análise das coletas de plantas, as espécies de cobertura de outono-inverno foram consideradas o fator principal, sendo as diferenças representadas pelo intervalo de confiança a 5 % e as datas de coleta, foram analisadas como o fator B, através da utilização do software SISVAR.

Os dados meteorológicos (Figura 1) foram obtidos da Estação Automática, de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante 0,5 km do local do experimento.

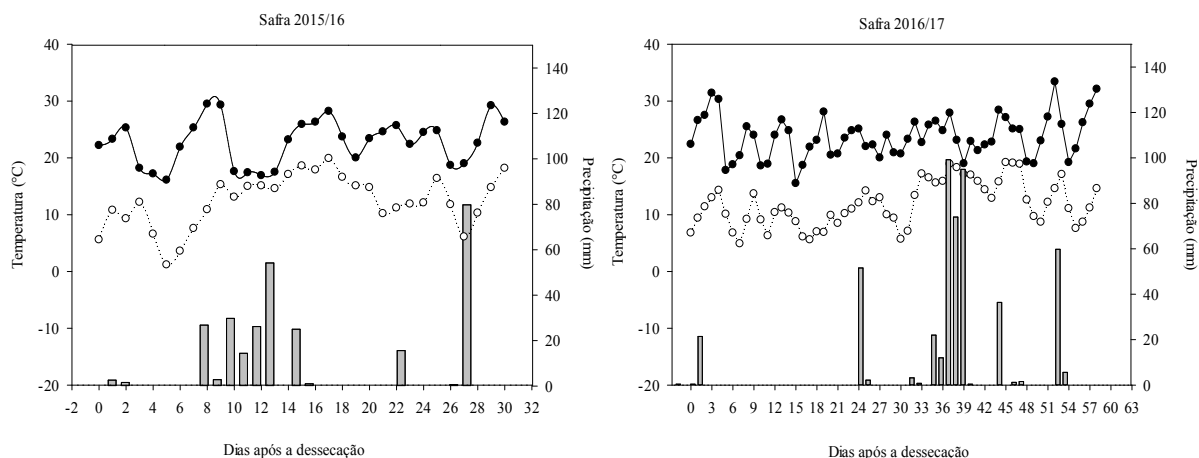


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) e temperatura mínima e máxima nas safras 2015/16 e 2016/17, registradas do dia da dessecação das espécies de cobertura até o momento da semeadura do arroz. Santa Maria, 2018.

RESULTADOS

Qualidade dos resíduos culturais das espécies de outono-inverno

As características dos resíduos culturais das espécies de cobertura estão resumidas na tabela 1. A produtividade de massa seca das espécies de cobertura, no momento da dessecação, apresentou grande variação entre as espécies, seguindo a ordem decrescente de azevém>aveia>trigo e serradela, na média dos dois anos, com exceção do trigo que foi coletado apenas no primeiro ano.

Em relação à qualidade, apesar da serradela ser uma leguminosa, na primeira safra foi a aveia a espécie com maior concentração de N no tecido, seguida da serradela. No segundo ano, no entanto, a serradela foi superior na concentração desse elemento. Esse fato se refletiu na relação C/N das culturas, onde a aveia apresentou a menor relação C/N, seguida da serradela, azevém e trigo. No segundo ano, a serradela foi a espécie com menor relação C/N, seguida da aveia e do azevém. Na média das safras, a relação C/N dessas espécies foi menor em 2015/16 em relação à 2016/17.

Aveia e serradela apresentaram os maiores teores de fósforo (P) no tecido, tendo a primeira 5,59 g kg⁻¹ e, a segunda, 6,11 g kg⁻¹ (Tabela 1). Apesar disso, a quantidade acumulada do elemento, a aveia apresentou a maior contribuição em relação a P em kg ha⁻¹, seguida do azevém, em função da maior produtividade de massa seca (MS) dessas duas culturas.

Para o potássio (K), apenas o trigo diferiu das demais culturas, com a menor concentração por quilo de tecido em relação às demais espécies de cobertura. A quantidade acumulada, a aveia foi a espécie com maior concentração desse elemento, em kg ha⁻¹.

Tabela 1. Produtividade de massa seca das espécies de cobertura de outono-inverno, determinada no momento da dessecação, bem como % de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no tecido e quantidade acumulada dos respectivos elementos e a relação carbono/nitrogênio (C/N) nas safras 2015/16 e 2016/17. Santa Maria, 2018.

Tratamentos	MS (kg ha ⁻¹)	N (%)	P (%)	K (%)	N (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹)	Relação C/N
Aveia	1.902b ⁽¹⁾	0,35a	0,56b	0,36a	60,8a	18,0a	114a	14c
Azevém	2.579a	0,17c	0,49c	0,30a	45,7b	14,0a	86b	21a
Serradela	238d	0,23b	0,61a	0,31a	5,6d	1,78b	24d	16b
Trigo	1.231c	0,19c	0,25d	0,18b	24,0c	3,31b	71c	20a
Média	1487.5	0,24	0,48	0,28	34,0	9,3	57	17
CV (%)	11.2	5,40	12,3	3,07	7,08	15,6	8,07	3,5
Aveia	1.666b	0,19b	0,54b	0,40a	31a	8,9a	74a	21,1b
Azevém	2.213a	0,16c	0,49c	0,42a	30a	8,8a	77a	28a
Serradela	321.0c	0,36a	0,63a	0,40a	5,87b	0,98b	7b	11,3c
Trigo	*	*	*	*	*	*	*	*
Média	1.400	0,24	0,56	0,38	22,3	6,2	52,6	20,1
CV (%)	8.9	4,8	13,4	4,8	8,7	12,2	9,4	4,07

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

*tratamento perdido.

Decomposição de resíduos das espécies de cobertura e N, P, K e C remanescentes

O modelo exponencial duplo adequou-se à cinética de decomposição dos resíduos culturais, apresentando um padrão semelhante no que diz respeito às espécies avaliadas, mas houveram variações entre as safras.

Em 2015/16, trinta dias após a dessecação, praticamente todas as culturas tinham menos de 50% de sua massa seca inicial, enquanto que em 2016/17 essa situação só ocorreu 60 dias após a dessecação, em todas as culturas (Figura 2).

Entre as espécies de cobertura, a serradela se destacou pela rápida decomposição no primeiro ano, perdendo em torno de 80% da massa nos primeiros 15 dias. Já o trigo ainda apresentava 64% de massa seca remanescente (MSR), 30 dias após a dessecação, comparado a 56 e 36% de azevém e aveia, respectivamente. No segundo ano, a serradela apresentou uma cinética de decomposição mais lenta, havendo MSR até a finalização das coletas, aos 90 dias após a dessecação, enquanto que, no primeiro ano, as coletas dessa planta foram finalizadas aos 60 dias.

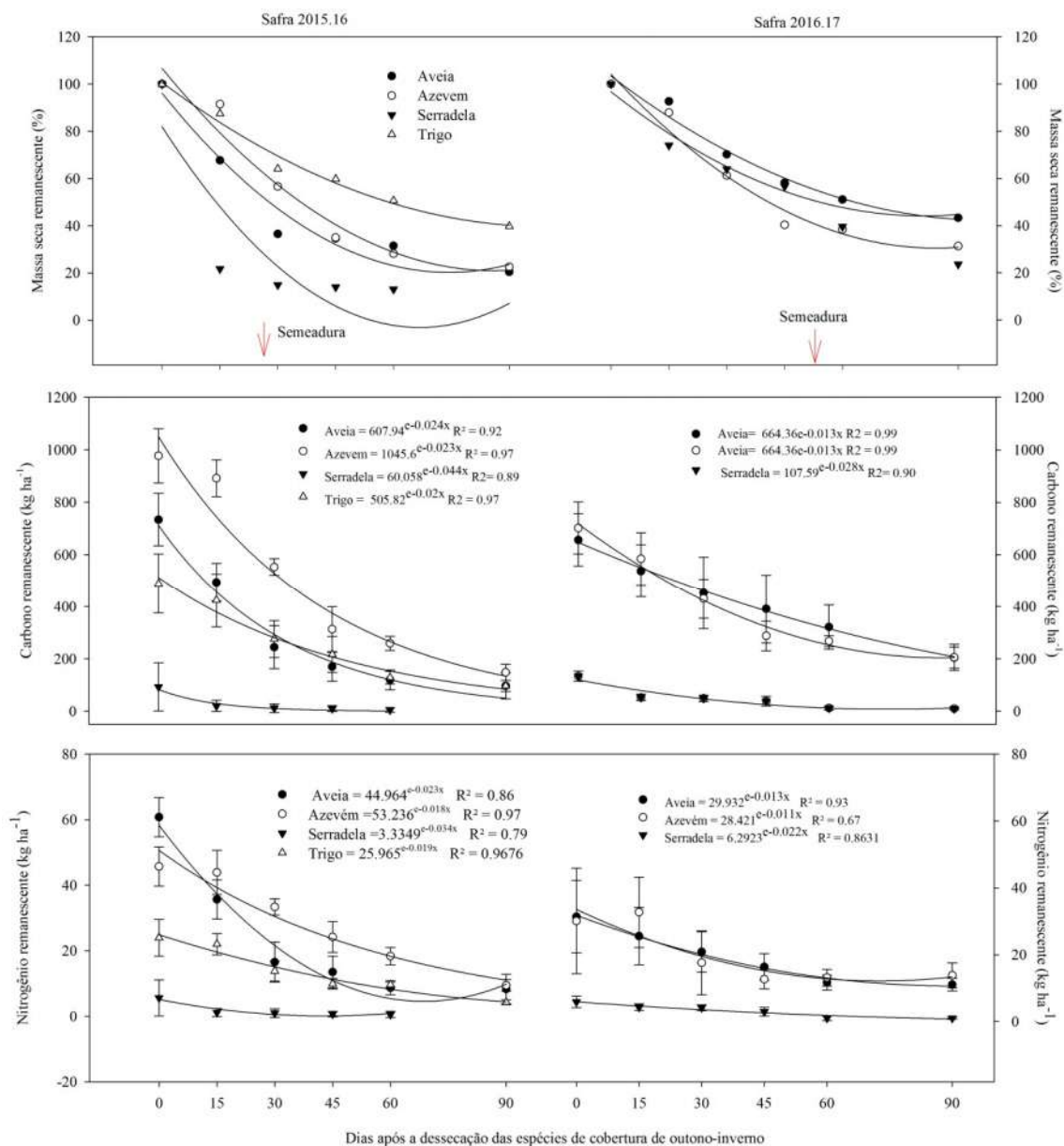


Figura 2. Massa seca remanescente (%), carbono e nitrogênio remanescentes (kg ha⁻¹) das espécies de cobertura de outono-inverno, nas safras 2015/16 e 2016/17 em dias após a dessecação. Santa Maria, 2018. As barras verticais representam o intervalo de confiança (p < 0,05).

No primeiro ano, aos 90 dias após a dessecação, o trigo apresentou a maior MSR entre as culturas, seguido do azevém. No segundo ano, a aveia foi a cultura com as maiores quantidades de resíduo cultural remanescente.

Em relação à quantidade de C remanescente no tecido, houve redução mais intensa nos primeiros 30 dias (60%) (Figura 2), sendo que ao final do período de avaliação, aos 90 dias, foi perdido, na média de todas as culturas, 88% do C total. As maiores perdas foram

observadas na serradela, que aos 30 dias apresentou redução de 87,2%, seguida da aveia, com 66,7%. Os maiores valores de C remanescente foram observados no trigo e no azevém, com 43% de C remanescente, no momento da semeadura do arroz, na primeira safra. Para o segundo ano, a redução no C remanescente nos primeiros 30 dias após a dessecação foi de 63, 39 e 31% para serradela, azevém e aveia, respectivamente, evidenciando uma decomposição mais lenta em relação à primeira safra.

A liberação do N contido nos resíduos culturais foi mais rápida que as decomposições da massa seca e do carbono (Figura 2). Aos 30 dias após a dessecação, 82% de todo o N contido na serradela já havia sido liberado, seguido de 72,8% na aveia, 42,4% no trigo e apenas 26,9 % no azevém. Apesar da serradela ter apresentado a liberação mais rápida, a aveia apresentou maior contribuição de N em kg ha^{-1} , liberando 44 kg ha^{-1} de N. O azevém, trigo e serradela liberaram no sistema 12, 10 e 4 kg ha^{-1} de N, respectivamente, até o momento da semeadura do arroz.

O padrão de liberação de N não se repetiu na safra seguinte. A liberação de 82% do N total da serradela ocorreu somente aos 60 dias após a dessecação, enquanto que aveia e azevém haviam liberado 63 e 60% do N total. Tais valores significaram 20 kg ha^{-1} para aveia e azevém e $4,9 \text{ kg ha}^{-1}$ para serradela, até o momento da semeadura do arroz.

A decomposição da massa seca influenciou as liberações do P e K do tecido, cujo comportamento foi o mesmo para o C e N (Figura 2). Em relação ao P, a aveia foi a espécie com maior contribuição no primeiro ano (18 kg ha^{-1}), enquanto que no segundo, foi acompanhada do azevém (em torno de 8 kg ha^{-1} para ambos) (Figura 2b e 2c). A cinética de liberação foi bastante elevada nos primeiros 30 dias, com valores próximos a 100% para aveia e serradela e com menor intensidade nas culturas do azevém (65%) e trigo (50%), mantendo o mesmo padrão de liberação na segunda safra.

O K seguiu o mesmo padrão dos demais elementos em relação às diferentes espécies, porém a liberação foi mais rápida (Figura 3). A liberação média foi maior que 90% do K contido no tecido para todas as culturas nos primeiros 30 dias, com exceção do azevém, que liberou 56%. Aveia e serradela apresentaram um padrão de liberação extremamente rápido, com mais de 50% do K liberado nos primeiros 15 dias. No caso do azevém, aos 30 dias apenas 53% do K contido no tecido havia sido liberado, atingindo 90% apenas 15 dias depois, 45 dias após a dessecação. Dessa maneira, percebe-se valores distintos para o azevém em relação às demais espécies.

A disponibilização do K do tecido no segundo ano foi mais lenta, atingindo 90% somente aos sessenta dias após a dessecação para azevém e serradela, enquanto que na aveia essa porcentagem foi de cerca de 80%.

N, P, K no solo

O comportamento do P no solo na primeira safra (Figura 3) seguiu o padrão de liberação desse elemento do tecido das plantas. A aveia e a serradela comportaram-se de forma bastante semelhante, com um valor mais elevado na primeira coleta, seguido de uma queda nas concentrações e posterior aumento da concentração com pequena amplitude, ao longo das coletas. Do contrário, no trigo e no azevém, que apresentaram uma liberação de P do tecido mais lenta. O mesmo aconteceu com o P no solo, aumentando gradativamente à medida que as coletas avançaram.

Apesar da aveia apresentar a concentração de P mais alta no tecido, foi no tratamento sem espécies de cobertura (pousio) os maiores picos do elemento dentro do ciclo do arroz. Após o início da irrigação, o tratamento pousio apresentou um pico de $14,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo, diferindo estatisticamente do azevém (10 mg kg^{-1}), aveia e serradela (em torno de 7 mg ka^{-1}).

No segundo ano, todos os tratamentos apresentaram um comportamento bastante semelhante, diminuindo o teor de P no solo a partir da dessecação das culturas até os 45 dias. Após houve um aumento considerável a partir dos 60 dias, coincidindo com a semeadura do arroz e o alagamento.

Em relação ao K, houve um atraso entre a sua liberação do tecido e a disponibilidade no solo (Figura 3). Na serradela, por exemplo, aos 15 dias após a dessecação 90% do K já havia sido liberado do tecido, porém isso foi se refletir no solo somente 30 dias após a dessecação. Todos os tratamentos, inclusive o pousio, apresentaram um padrão de liberação até os 45 dias, quando diminuíram as quantidades, coincidindo com o início da irrigação. No segundo ano, a serradela seguiu o mesmo comportamento, apesar de menor escala, acompanhada do azevém. Pousio e aveia destacaram-se com um aumento dos valores de K entre 30 e 60 dias, a partir do qual todos os tratamentos tiveram reduções desse nutriente com o alagamento.

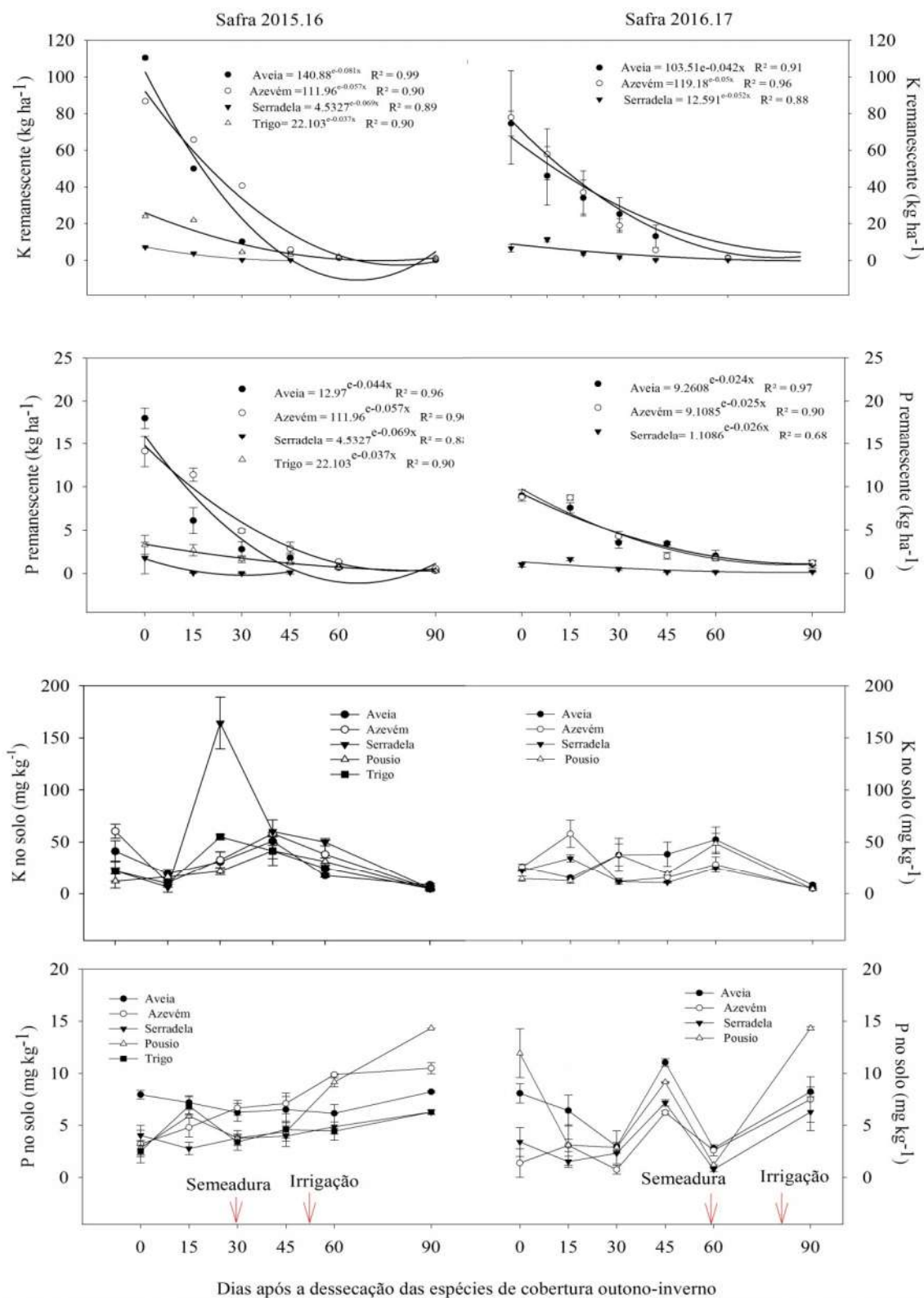


Figura 3. Potássio (K) e fósforo (P) remanescente na palha nas espécies de cobertura de outono-inverno, e teores de K e P no solo, em dias após a dessecação, nas safras 2015/16 e 2016/17 Santa Maria, 2018. As barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0.05$).

Em relação ao N do solo, foram avaliados o teor de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) e o N total na solução do solo, após o alagamento (Figura 4). O teor de NH_4^+ no solo, nas duas safras, apresentou um comportamento bastante semelhante em relação aos valores, mas diferindo em relação à resposta das espécies de cobertura.

Na safra 2015/16, houve maior disponibilidade de NH_4^+ nos tratamentos da aveia e do trigo, nos primeiros 15 dias, diminuindo em seguida. A partir do início da irrigação da área, houve uma diminuição do teor de NH_4^+ em todos os tratamentos, havendo, no entanto, um pico aos 60 dias após a dessecação, o azevém destacou-se com maior presença desse elemento.

Já na safra 2016/17, as parcelas onde foi cultivado o azevém apresentou os maiores teores de NH_4^+ , logo nos primeiros dias após a dessecação, refletindo a rápida liberação de N do tecido nessa safra. No entanto, a partir de 30 dias o pousio apresentou maior disponibilidade de N na forma de NH_4^+ . Após essa coleta, não foram verificadas diferenças entre os tratamentos durante o ciclo.

Em relação ao NO_3^- , houve um significativo aumento logo após a dessecação, em todos os tratamentos e nas duas safras. As gramíneas apresentaram a maior contribuição, destacando-se o trigo e a aveia. O azevém apresentou um dos menores valores, logo após o início da irrigação. Diferentemente do NH_4^+ , que teve um pico e diminuiu gradativamente, no segundo ano o NO_3^- apresentou aumentos significativos, estabilizando quando houve a inundação da área (88 dias após a dessecação), quando passou a não ser mais quantificado.

Seguindo o padrão do NH_4^+ , havia maior quantidade de N mineral total disponível na solução do solo nas parcelas onde foram cultivadas gramíneas em relação ao pousio e serradela, no primeiro ano (Figura 4). No segundo ano, o comportamento inverteu-se, seguindo o padrão do quantificado em NH_4^+ no solo, havendo maior disponibilidade no tratamento pousio, seguido de serradela, respeitando uma ordem de MSR. Chama atenção a diferença da escala de disponibilidade entre os dois anos, onde na safra 2016/17, na primeira coleta, havia quase quatro vezes mais N mineral total do que no primeiro ano.

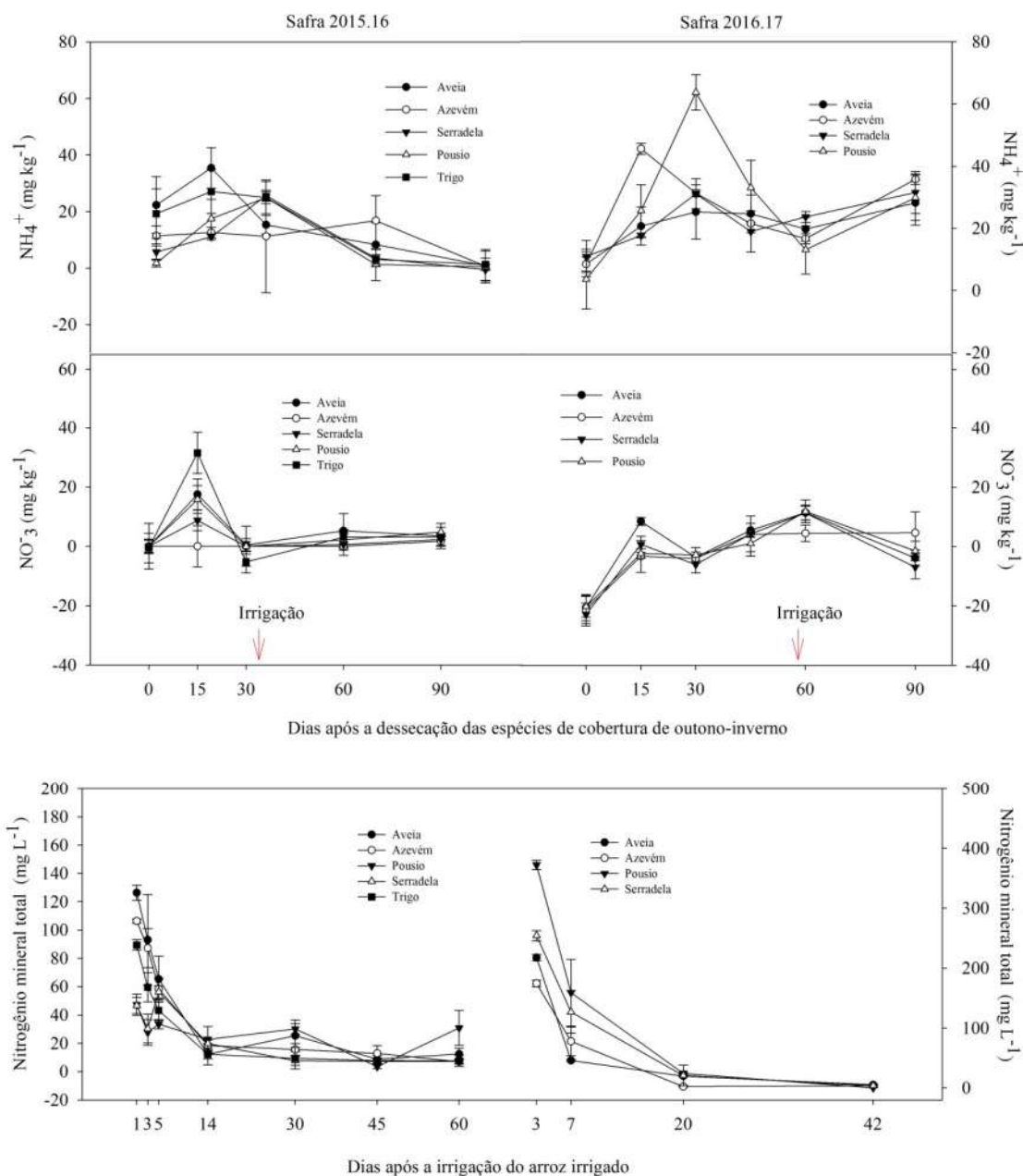


Figura 4. Teor de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) nas safras 2015/16 e 2016/17 em função das espécies de cobertura de outono-inverno, em dias após a dessecação e nitrogênio mineral total na solução do solo, em dias após o início da irrigação. Santa Maria, 2018. As barras verticais representam o intervalo de confiança ($p < 0,05$).

Aspectos agrônômicos do arroz irrigado

A presença de azevém, aveia e serradela afetou o estabelecimento inicial da cultura do arroz, nos dois anos do estudo, com redução de até 40% no número de plantas em relação ao

pousio (Figura 5). Apenas no tratamento sem espécies de cobertura e no trigo, não houve diferenças quanto ao estande inicial. Isso se refletiu diretamente sobre a produtividade do arroz irrigado, que apresentou uma redução de 20% e 16% para a safra 2015/16 e 2016/17, respectivamente, entre o pousio e o azevém.

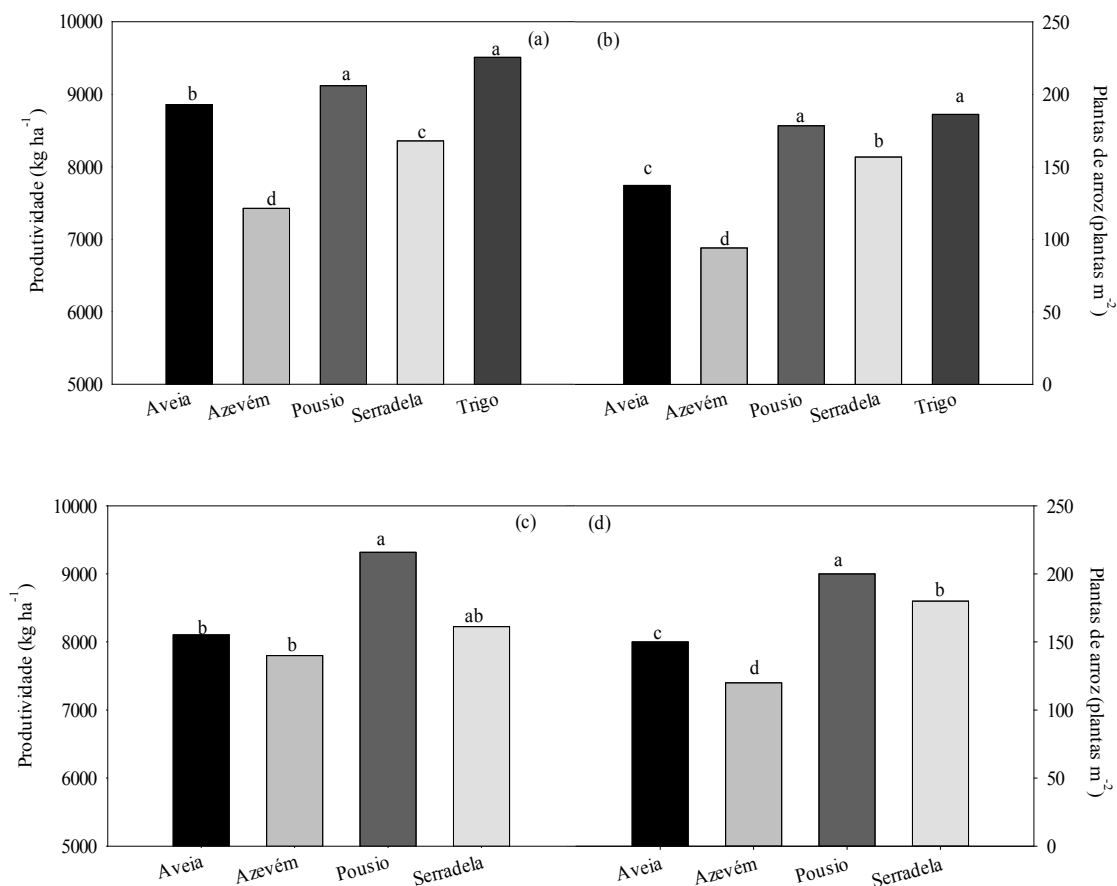


Figura 5. Produtividade de grãos de arroz (kg ha⁻¹) e estande inicial, nas safras 2015/16 (a,b) e safra 2016/17 (c,d) sob efeito de diferentes espécies de cobertura do solo no outono-inverno. Santa Maria, 2018.

DISCUSSÃO

Entre os principais atributos requeridos para as espécies de cobertura de solo no inverno, destacam-se: elevados rendimentos de matéria seca e taxa de crescimento, resistência às baixas temperaturas, não se transformar em planta invasora, ser de fácil manejo, ter sistema radicular vigoroso e profundo, elevada capacidade cicladora de nutrientes e ser de fácil

produção de sementes (Reddy et al., 2001). No presente trabalho, a serradela apresentou um baixo desenvolvimento, quando comparado a outros trabalhos em condições semelhantes (Correia, 2013). Isso está atrelado ao seu desenvolvimento mais lento, o que acaba prolongando seu ciclo e comprometendo seu desenvolvimento. Menezes (1994) cita que uma possível causa para a baixa produção de massa seca da serradela é a época tardia de emergência das plantas, pois, de acordo com esses autores, esta espécie apresenta potencial significativo para ser explorado em área de várzea, mas preconiza que a semeadura seja realizada até o mês de abril, podendo então atingir desenvolvimento semelhante a outras gramíneas (Menezes et al., 2001; Correia, 2013; Correia et al., 2018). Além da serradela, o trigo apresentou um baixo desenvolvimento, em função da sensibilidade às condições de excesso hídrico da área.

O modelo exponencial duplo adequou-se à dinâmica de liberação de C e N dos resíduos culturais, caracterizada por duas fases distintas com um compartimento lábil e outro recalcitrante (celulose e lignina) apresentam diferentes graus de degradação. A rápida liberação de C e N dos resíduos culturais nos primeiros dias de avaliação pode ser atribuída à decomposição e à lixiviação de compostos solúveis dos resíduos. Em um segundo momento, quando compostos recalcitrantes se acumulam nos resíduos culturais, as taxas de decomposição e liberação de N se reduzem (Giacomini et al 2003; Massoni et al 2013; Schimidt et al., 2015).

Entre as duas safras, houve uma diferença bastante acentuada entre as taxas de decomposição e parte dessas diferenças podem ser explicadas pelos elementos meteorológicos do período após a dessecação. Em 2015/16, houve um acumulado de 281 mm nos primeiros dias após a dessecação, o que contribuiu para o maior contato dos resíduos das culturas com o solo, potencializando a ação dos microrganismos decompositores. Diferentemente da primeira safra, em 2016/17, nos primeiros 30 dias houve uma precipitação acumulada de 77 mm, sendo que até os primeiros 26 dias havia apenas um acumulado de 26 mm, somado a temperaturas mais baixas nesse primeiro mês. Apesar disso, o mês seguinte foi marcado por elevadas precipitações, acumulando 489 mm até a semeadura do arroz.

Há três fatores principais que regulam a taxa de decomposição da palha das culturas: (1) relação C/N e concentração de lignina; (2) fatores edáficos (propriedades do solo, teor de umidade, temperatura); e (3) sistema de manejo (Singh et al 2001). Dos fatores edáficos, a temperatura e a umidade são os fatores-chaves que regulam a decomposição da palha e essa é tanto maior quanto maior a umidade do solo, com temperatura ótima de 25°C (Koga et al

2015; Nakajima et al 2016; Tang et al 2016). Provavelmente, as diferenças entre as safras estão intimamente ligadas às condições meteorológicas do período logo após a dessecação.

Em relação à diferença entre as espécies de cobertura, a maior liberação do C da parte aérea da serradela possivelmente se deve a alta qualidade dos resíduos, considerada um grande controlador da decomposição. Resíduos com baixa relação C/N decompõem-se mais rapidamente no solo em relação àqueles de alta C/N (Lynch et al 2016). Isso explica também a maior decomposição na cultura da aveia que, na primeira safra, apresentou relação C/N menor, não diferindo da serradela. A aveia, como uma gramínea, possui uma alta relação C/N (em torno de 40), porém os valores encontrados no presente trabalho (14,3 e 21,1) revelam uma C/N bastante inferior ao citado na literatura. Essas diferenças ocorrem em função, basicamente, do estágio fenológico em que é realizada essa avaliação, onde as culturas geralmente possuem uma relação C/N mais baixa antes do florescimento, aumentando à medida que evoluem para a maturação fisiológica (Foloni et al., 2016).

Outro fator que pode ter influenciado os resultados obtidos no presente trabalho, é a proporção folha-talo das plantas que também pode controlar indiretamente a liberação do C dos resíduos culturais. De maneira geral, folhas possuem maior proporção de compostos facilmente decomponíveis e taxas de decomposição superiores em relação aos talos, em função do maior teor de N e menor de lignina (Weiler, 2012).

Na primeira safra, grandes quantidades de N foram liberadas nos primeiros 30 dias após a dessecação, em um padrão semelhante à liberação do C, sendo essa liberação controlada pela concentração de N ou relação C/N dos resíduos culturais (Weiler, 2012). Maiores taxas de decomposição geralmente implicam em maiores quantidades de N liberadas dos resíduos culturais.

Chama atenção a baixa liberação do N no azevém (26,9%), que pode ser atribuída ao fato de ter sido a cultura coletada após o estágio de florescimento pleno, quando já se observava senescência das folhas no campo. Com isso, é provável que tenha aumentado a relação C/N, a proporção hastes/folhas e a concentração de componentes nitrogenados mais recalcitrantes à decomposição microbiana (Giacomini et al., 2003). No segundo ano, em que o azevém foi dessecado antes do florescimento, a liberação de N foi semelhante à da aveia, mesmo com uma quantidade maior de MSR, indicando que para uma taxa de decomposição mais acelerada uma estratégia seria a dessecação das espécies de cobertura em fases anteriores ao florescimento. Isso foi demonstrado por Ferreira et al. (2015), que encontraram uma diferença entre 23 a 80% de liberação do N quando compararam o azevém dessecado 60 dias antes (80%) e o azevém dessecado próximo à semeadura (23%).

Em relação ao P, a maior parte encontra-se no interior do vacúolo das células na forma mineral, com elevada capacidade de se solubilizar em água (Taiz e Zeiger, 2009). Para que haja a liberação de P dos resíduos culturais, há necessidade que os vacúolos dessas células sejam rompidos. Considerando os volumes expressivos de chuva nos primeiros dias após a dessecação, na primeira safra, é provável que tanto o P solúvel quanto o K tenham sido liberados para o solo rapidamente, restando nos resíduos culturais apenas as formas de P menos solúveis: ácidos nucléicos, fosfolipídeos e fosfoproteínas (Giacomini et al., 2003), os quais são dependentes de população microbiana para a disponibilização.

Ferreira et al. (2015) citam que foram necessários 60 dias para que 40% do P contido no azevém fosse liberado. Um dos fatos que esses autores atribuem é a manutenção das plantas em pé, dificultando o contato dos resíduos com o solo e, portanto, com microrganismos. Além disso, citam que a utilização de implementos que aumente esse contato, poderia contribuir na disponibilização de nutrientes mais rapidamente. De fato, na segunda safra houve uma disponibilização mais lenta do P do tecido, em todos os tratamentos, podendo estar ligado à baixa precipitação pluvial do período, o qual manteve as plantas em pé, dificultando o contato com os microrganismos do solo.

Já para o K, a rápida liberação ocorrida nos primeiros 15 dias após a dessecação é devida ao fato de que esse elemento não está associado a nenhum componente estrutural do tecido vegetal. Diversos autores já relataram liberação maior que 90% do K nas primeiras semanas após a dessecação (Giacomini et al 2003; Weiler, 2012; Massoni et al 2013; Ferreira et al 2017), independente se gramínea ou leguminosa. Esse fato evidencia a importância da dessecação das espécies de cobertura próxima à semeadura do arroz, pois, diferentemente do P, a liberação do K do tecido das plantas influencia a disponibilidade desse elemento no solo (Ferreira et al., 2015). Por outro lado, a dessecação muito próxima a implantação do arroz poderá dificultar a operacionalidade do processo de semeadura. A situação ideal seria uma planta com rápida decomposição, caso das leguminosas, como a serradela.

Isso está intimamente ligada ao fato de que o processo de decomposição de material orgânico envolve a conversão da forma orgânica de um elemento para sua forma mineral solúvel, a qual torna-se assimilável para plantas ou outros organismos do solo (Moreira e Siqueira, 2006). Quando um organismo ataca os compostos orgânicos, o objetivo é retirar carbono e energia dos compostos, a fim de suportar o seu crescimento. Para que esse processo ocorra, há necessidade de uma série de nutrientes, entre eles o N. Quando se tem disponível resíduos culturais com alta concentração de N (leguminosas, por exemplo), essa demanda será facilmente preenchida e o N excedente será liberado na forma mineral. Do contrário, quando

há resíduos pobres de nitrogênio (gramíneas, por exemplo), os microrganismos terão que buscar N mineral do solo, na forma de NO_3^- e NH_4^+ (Hirsch e Mauchline, 2015).

Exemplifica-se isso através dos resultados obtidos na safra 2015/16, na cultura do azevém, onde foram registrados os menores teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo, indicando que, em função da baixa concentração de N no tecido, e da maior produção de matéria seca, houve a necessidade de retirada do N mineral do solo, por parte dos microrganismos, caracterizando o processo de imobilização. Esse N só foi disponibilizado quase 60 dias após a dessecação, quando houve um aumento do N na forma amoniacal por ocasião da estabilização da decomposição do azevém, em virtude do ambiente anaeróbico ocasionado pela irrigação.

Do contrário, quando não há adição de palha, a população microbiana pode mineralizar o N contido na matéria orgânica do solo no processo denominado de mineralização basal. A baixa disponibilidade de C limita a atividade da população microbiana de heterotróficos, resultando em mineralização líquida de N, o que pode aumentar os teores de N mineral, como registrado no segundo ano do experimento, no tratamento do pousio (Moreira e Siqueira, 2006).

Da mesma forma que ocorrem perdas de N por vários processos, como lixiviação e volatilização, o P presente no solo ou proveniente da decomposição de resíduos culturais está sujeito a perdas. As perdas consideradas para esse nutriente são devidas à ligação com outros elementos como cálcio e compostos, como óxidos de ferro e alumínio; dessa maneira, embora a decomposição da planta eleve os teores de P pela sua liberação a partir da mineralização de resíduos orgânicos (Moreira e Siqueira, 2006), cerca de 90% do P liberado pode ser adsorvido na primeira hora de contato com o solo (Novais et al., 2007).

Apesar dos aumentos no P do solo terem seguido uma certa tendência em relação à taxa de decomposição das culturas, variações foram registradas, possivelmente associadas ao regime hídrico dos períodos avaliados. Isso foi observado principalmente na segunda safra, onde foi registrado um pico expressivo de liberação de P, o qual coincidiu com as elevadas precipitações próximas à quarta coleta (45 dias).

Quando o solo passa por períodos de anaerobiose e posterior aerobiose, pode haver o aumento do P disponível. Porém, com a reoxidação ocorre o processo de readsorção do P na superfície dos óxidos de ferro oxidados, resultando assim em valores muito próximos ou inferiores ao inicial (Hernández e Meurer, 2000). Massoni et al. (2013), avaliando a disponibilidade de P no solo, constataram que em ambiente de terras baixas as frequentes alterações de umidade, temperatura e teores de ferro oxidado alteram o comportamento do P no solo.

Diferentemente do P, o comportamento do K tem certa relação com a disponibilização do K do tecido das plantas (Ferreira et al. 2013; Massoni et al. 2013). O K é o cátion mais abundante no citoplasma celular e está presente em altas concentrações também nos cloroplastos. Esse nutriente exerce funções regulatórias no equilíbrio elétrico-osmótico celular e de ativação de enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese das plantas (Taiz e Zeiger, 2009). Apesar da alta absorção de K pela planta, a quantidade removida pelos grãos é pequena (aproximadamente 20%), por ser um nutriente não constitutivo de tecidos estruturais e com grande mobilidade na planta. Essa característica faz com que o K retorne ao solo com a deposição da palha, de forma relativamente rápida.

Porém, sua disponibilidade também pode ser afetada pelas características meteorológicas. Na primeira safra, houve uma diminuição do teor de K, 15 dias após a dessecação, onde já havia intensa liberação do K do tecido. Isso pode estar atribuído a um atraso entre a liberação do K do tecido e a detecção no solo, ou às características ambientais do período, onde houve intensas precipitações nas duas primeiras semanas, podendo esse K ter sido perdido por lixiviação. Apesar desse resultado, a tendência nas duas safras foi um sincronismo entre a decomposição e consequente liberação do elemento, com sua determinação no solo, conforme já encontrado por outros autores (Ferreira et al. 2015).

A presença de espécies de cobertura influenciou o estabelecimento inicial e a produtividade de grãos do arroz irrigado. O efeito sobre o estabelecimento das plantas parece estar ligado à presença de palha de uma forma adensada, pois as maiores reduções de estande ocorreram no azevém, seguidas da aveia e serradela. O trigo, que foi semeado em linha, não apresentou diferenças em relação ao pousio, onde foram registradas as maiores médias de produtividade.

O prejuízo no estabelecimento inicial aparentemente não está vinculado a maior umidade do solo em função da presença de palha, mas a dificuldade de posicionamento das sementes dentro do perfil de solo, pois o adensamento do sistema radicular, principalmente no azevém e na aveia, dificultam a regulação da profundidade de semeadura e também o fechamento do sulco. Além disso, no azevém, onde houve a maior redução em produtividade, pode ter havido a contribuição da produção de ácidos orgânicos, nos primeiros dias após a irrigação, principalmente o ácido acético (Bohnen et al., 2005), que pode causar redução no crescimento de plântulas e no desenvolvimento radicular, além de contribuir para a imobilização do N no solo, causando deficiência às plantas.

CONCLUSÕES

1. A decomposição de espécies de cobertura é influenciada pela relação C/N dos resíduos culturais, bem como as condições meteorológicas subsequentes à dessecação;
2. A liberação do nitrogênio, fósforo dos resíduos segue o comportamento da decomposição dos resíduos, enquanto que o potássio apresenta uma taxa de liberação mais acelerada entre os nutrientes;
3. A produtividade de grãos do arroz irrigado semeado em sucessão às espécies de cobertura diminui quando as espécies de cobertura afetam o estabelecimento inicial das plantas de arroz.

REFERÊNCIAS

Boeni M, Anghinoni I, Genro, SAGJ, Filho BDO. A Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul, Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental. Seção de Agronomia, 2010. 40 p. (Boletim Técnico, 8) http://www3.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1290184277Evolucao_da_fertilidade.pdf

Bohnen HS, Silva LS, Macedo VRM, Marcolin E. Ácidos orgânicos na solução de um gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.3, 2005. 475-480. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000300018>.

Carlos FS. Índices de qualidade do solo em sistemas de produção de arroz irrigado. 2017. 168 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017.

Carmona FC, Anghinoni I, Mezzari CP, Martins AP, Carvalho PCF. Effectiveness of Current Fertilizer Recommendations for Irrigated Rice in Integrated Crop-Livestock Systems. Revista Brasileira da Ciência do Solo, v.40, 2016. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v40/1806-9657-rbcs-40-e0140798.pdf>

Carmona FC, Denardin LGO, Martins AP, Anghinoni I, Carvalho PCFC. Sistemas Integrados de produção agropecuária em terras baixas: a integração lavoura-pecuária como o caminho da intensificação sustentável da lavoura arroseira. Porto Alegre: edição dos autores, 2018. 160p. Correia SL. Desempenho agrônômico de arroz irrigado em sucessão a coberturas de solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 2013. 94 f. (Dissertação de mestrado).

Correia SL, Silva PRF, Boeni M, Bredemeier C, Anghinoni I, Menegati GB, Maass MB, Miozzo LC. Performance of Flooded Rice Grown in Succession to Winter Cover Crops. Revista Brasileira da Ciência do Solo, v.42, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160461>

Counce PA, Keisling TC, Mitchell AJ. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. Crop Science, v.40, p.436-443, 2000. doi: 10.2135/cropsci2

Ferreira RB, Marchesan E, Coelho, LL, Oliveira ML, Teló G, Filho AC, Sartori GMS. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. Ciência Rural, v.45, n.12, p.2143-2149, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131473>. Acesso em: 20 jul 2017.

Foloni JSS, Catuchi TA, Barbosa AM, Calonego JC, Tiritan CS. Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. Revista Agro@ambiente, On-line, v. 10, n. 1, p. 1- 9. 2016

Giacomini SJ, Liberação de fósforo e potássio durante decomposição de resíduos culturais em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, p.1097-1104, 2003.

Hernandez J, Meurer EJ. Disponibilidade de fósforo em seis solos do Uruguai afetada pela variação temporal das condições de oxirredução. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.19-26, 2000.

Instituto Rio-Grandense do Arroz - IRGA. Safras: Série histórica de Produção x Produtividade: BR x RS. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>. Acesso em: 01 fev 2017.

Lynch MJ, Mulvaney MJ, Hodges SC, Thompson TL, Thomason WE. Decomposition, nitrogen and carbon mineralization from food and cover crop residues in the central plateau of Haiti. SpringerPlus, v. 5, n.973, 2016. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4932013/pdf/40064_2016_Article_2651.pdf

Koga N, Hayashi K, Shimoda S. Differences in CO₂ and N₂O emission rates following crop residue incorporation with or without field burning: A case study of adzuki bean residue and wheat straw. Soil Science and Plant Nutrition, v.62, n.1, p.52-56, 2016.

Knoblauch R, Ernani PR, Deschamps FC, Gatiboni FC, Walker TW, Lourenço KS, Martins AA, Pegoraro A. Rice straw incorporated just before soil flooding increases acetic acid formation and decreases available nitrogen Revista Brasileira da Ciência do Solo, v.38, p.177-184, 2014.

Massoni P. Dinâmica do banco de sementes de arroz vermelho e ciclagem de nutrientes em função do manejo pós colheita da palha do arroz. 2011. 116 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

Massoni PFS, Marchesan E, Grohs M, Silva LS, Roso R. Nutrientes do solo influenciados por diferentes manejos da palha após a colheita do arroz irrigado. Revista Ciência Agronômica, v. 44, n.2, p. 205-214, 2013.

Motschenbacher J, Brye K, Anders M, Gbur E, Slaton N, Evans-white M. Long-Term Crop Rotation, Tillage, and Fertility Effects on Soil Carbon and Nitrogen in Dry-Seeded, Delayed-Flood Rice Production Systems. In: CO₂ Sequestration and Valorization. Capítulo 5, p. 129-156, 2014.

Moreira FMS, Siqueira JO. Microbiologia e bioquímica do solo. 2ª ed. Lavras, UFLA, 2006. 729p.

Menezes VG, Mariot CHP, Lopes MCB, Silva PRF, Teichmann LL. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n. 9, p. 1107-1115, 2001.

Menezes VG, Andreis A, Souza PR, Carrão VH. Serradela nativa: Uma alternativa de inverno para as várzeas do sul do Brasil. Lavoura Arrozeira, 47:19-22,1994.

Nakajima M, Cheng W, Tang S, Hori Y, Yaginuma E, Hattori S, Hanayama S, Tawaraya K, Xu X. Modeling aerobic decomposition of rice straw during the off-rice season in an Andisol paddy soil in a cold temperate region of Japan: Effects of soil temperature and moisture. Soil Science And Plant Nutrition, v. 62, n.1, p. 1-9, 2015.

Nascente AS, Yuncong L, Crusciol CAC. Soil Aggregation, Organic Carbon Concentration, and Soil Bulk Density As Affected by Cover Crop Species in a No-Tillage System. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, n.3, p. 871-879, 2015. <https://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcbs20140388>

Novais RF. Fertilidade do solo. 1ª ed., Viçosa MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

Pedrotti A, Pauletto EA, Crestana S, Ferreira MM, Dias Junior MS, Gomes AS, Turatti, AL. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p.521-529, 2001. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000300001>.

Redin, M. Produção de biomassa, composição química e decomposição de resíduos culturais da parte aérea e resíduos no solo. 2014. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

Schmidt A, John K, Arida G, Auge H, Brand R, Horgan FG, Hotes SF, Maquez L, Radermacher N, Settele J, Wolters J, Schädler M. Effects of Residue Management on Decomposition in irrigated rice fields are not related to changes in the decomposer community. *PLoS One*, v.10, n.7, p. 1-19, 2015.

Singh SN. Exploring correlation between redox and other edaphic factors in field and laboratory conditions in relation to methane efflux. *Environment international*, v.27, p.265-274, 2001.

Tang S, Cheng W, Hu R, Guigue J, Kimani SM, Tawaraya K, Xu X. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off-rice season on rice straw decomposition and subsequent CH₄ production during the growth season in a paddy soil. *Biology Fertilily Soils*, v. 52, 2016.

Tedesco MJ. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2ª ed. Porto Alegre: Departamento de solos Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

Weiler, A. Decomposição de resíduos culturais de espécies de cobertura de solo e emissões de óxido nitroso. 2012. 73 f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo)- Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

- CAPÍTULO II-

EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA ENTRESSAFRA E DURANTE O CULTIVO DO ARROZ EM FUNÇÃO DO MANEJO DA PALHADA DO ARROZ E DE AZEVÉM*

*Normas conforme a revista Field Crop Research

Resumo – Um dos desafios do manejo de áreas de arroz irrigado é o manejo sustentável das áreas na pós-colheita, o que envolve a palhada do arroz e uso de espécies de cobertura na entressafra. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a emissão dos gases do efeito estufa, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), em função de manejos na palha do arroz após a colheita, bem como a associação desses manejos a espécies de cobertura de inverno. Um experimento a campo foi conduzido, utilizando o delineamento de blocos ao acaso, em esquema bifatorial. O experimento foi conduzido durante a entressafra do ano de 2016 e a safra agrícola 2016/17 onde foram realizados diferentes manejos da palha remanescente do arroz (manutenção da palha na superfície (plantio direto); incorporação da palha no solo seco com grade; incorporação da palha no solo alagado com rolo-faca; manutenção da palha na superfície (plantio direto) com posterior rolagem com o rolo compactador), sendo esse o fator A, associados ou não à semeadura do azevém (fator D). Os resultados demonstram que a manutenção da lâmina de água para a incorporação da palha remanescente do arroz potencializa as emissões de CH₄, tanto na entressafra quanto na safra do arroz. Associado à semeadura do azevém, esse manejo é o que mais contribui para o potencial de aquecimento global parcial do sistema. A maior parte do N₂O é emitido na entressafra em todos os manejos, em especial onde a palha é mantida sobre a superfície do solo, sendo observado incremento nas emissões desse gás quando associados à semeadura do azevém. Porém, o potencial de aquecimento global é influenciado majoritariamente pelas emissões de CH₄, sendo que o plantio direto é o que tem maior potencial mitigatório sobre as emissões dos gases do efeito estufa.

Palavras-chave: metano; óxido nitroso; plantio direto.

INTRODUÇÃO

A época de semeadura é o principal fator determinante para a produtividade da cultura do arroz. Isso porque a fase de enchimento de grão das plantas deve coincidir com o período do ano de máxima radiação solar (CRUZ et al., 2010). O principal fator condicionante do atraso na época de semeadura tem origem, fundamentalmente, na falta de manejo adequado na pós-colheita da área do arroz e do preparo das áreas durante o período da entressafra.

O arroz tem um índice de colheita de 0,50 (BIRD et al., 2001). Isso significa dizer que a produção de 10 toneladas de grão ha^{-1} acarretará na produção de 10 toneladas de palha ha^{-1} , a qual é de baixa qualidade, com alto teor de lignina e alta relação C/N (MASSONI, 2011; REDIN, 2014). Além disso, a colheita ocorre no período do ano em que as temperaturas começam a baixar e o período luminoso é menor, causando a redução da velocidade de decomposição do material vegetal pelos microrganismos (LOBO JÚNIOR et al., 2004).

Ao estudar o efeito de diferentes manejos pós-colheita da palha do arroz, Massoni (2011) concluiu que durante a entressafra do arroz, independentemente do manejo utilizado, há redução de apenas metade da matéria seca remanescente da resteva, independente se a palha é deixada sobre a superfície do solo ou incorporada com grade. Nesse sentido, manter a resteva de arroz sobre a superfície do solo poderia ser uma opção alternativa aos manejos que envolvem revolvimento do solo, reduzindo gastos e evitando atrasos na semeadura da nova safra.

A maioria dos solos cultivados com arroz irrigado, no Sul do Brasil, apresenta baixa fertilidade natural (Boeni et al., 2010), a qual é agravada pelo intenso revolvimento a fim de incorporar os restos culturais (OLK et al., 2009). Nesse sentido, sistemas de cultivo sem mobilização do solo trariam benefícios a esse tipo de solo, como aumento do conteúdo de carbono orgânico, atividade enzimática e acúmulo de nutrientes (BAYER et al., 2012; HUANG et al., 2012; MOTSCHENBACHER et al., 2014), sendo considerado fator indispensável na sustentabilidade de rotação e/ou sucessão de cultivos que envolva o arroz irrigado (VERNETTI JUNIOR et al., 2009).

Segundo Ferreira et al. (2015), o sistema de semeadura direta em áreas de terras baixas pode ser implementado através do uso de espécies de cobertura de solo após a colheita do arroz irrigado. Essa prática pode incrementar a renda do produtor rural, pela utilização de uma cultura forrageira para produção de feno ou para pastejo. Além disso, esse sistema pode

impactar positivamente na sustentabilidade da cadeia de produção, em razão da ciclagem de nutrientes oriundos da decomposição da palha remanescente do arroz irrigado pela cultura sucessora, o que possibilitaria otimizar o uso desses nutrientes e minimizar as perdas para o ambiente.

Porém, a entrada de maior quantidade de material vegetal em um ambiente que passa boa parte do ano em estado anóxico traz outra preocupação: a influência desse manejo sobre a emissão de gases do efeito estufa, principalmente no que se refere ao metano (CH_4). Isso porque o aporte de resíduos vegetais previamente ao cultivo do arroz irrigado altera as condições de oxirredução do solo e pode ter efeitos distintos sobre as emissões dos gases do efeito estufa (ZSCHORNACK et al., 2011; KIM et al., 2013).

A adição de material orgânico, além de favorecer processos de redução no solo, também intensifica as emissões de CH_4 pela disponibilização de carbono lábil para microrganismos metanogênicos (KIM et al., 2012). Ao investigarem os diferentes manejos pós-colheita da palha do arroz, Bayer et al. (2014) e Souza (2013) encontraram o maior potencial de aquecimento global total nos manejos que incorporam o material vegetal em algum momento da entressafra em comparação ao manejo onde a palha permanece na superfície do solo, sugerindo que o sistema de semeadura direta é uma forma de mitigar as emissões dos gases do efeito estufa. No entanto, grande parte dos trabalhos realizados não leva em consideração as emissões durante o período da entressafra, onde o óxido nitroso (N_2O) passa a ser emitido em maior quantidade (Souza, 2013). Esse gás também tem capacidade de absorver a radiação infravermelha, e seu potencial de promoção do aquecimento atmosférico chega a ser 12 vezes maior do que o CH_4 (SOLOMON et al., 2007).

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência de manejos pós-colheita do arroz irrigado associado à inserção de uma espécie de cobertura de solo no outono-inverno sobre a emissão dos gases do efeito estufa, CH_4 e N_2O , quantificado através do potencial de aquecimento global.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do local e práticas de manejo

O experimento foi realizado em condições de campo, em área didático experimental de terras baixas da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (29°43'08.8"S 53°43'18.6"W), Rio Grande do Sul, Brasil. O mesmo teve início na entressafra do ano 2016 e foi finalizado na safra 2016/17. O solo da área experimental é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico arênico (EMBRAPA, 2013), com as seguintes características físico-químicas na camada de 0-20 cm: $\text{pH}_{\text{água}} (1:1) = 4,6$; fósforo (P) = $3,7 \text{ mg dm}^{-3}$; potássio (K) = $0,14 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e matéria orgânica (MO) = $10,0 \text{ g kg}^{-1}$.

A área era proveniente de resteva de arroz irrigado, semeado com a cultivar IRGA 424 RI na safra 2015/16, com 9.500 kg ha^{-1} de matéria seca da palha remanescente da colheita. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema bifatorial, com quatro repetições.

O fator A foi constituído por manejos da palha do arroz após a colheita: manutenção da palha na superfície (plantio direto) (A1); incorporação da palha no solo seco com grade (A2); incorporação da palha no solo alagado com rolo-faca (A3); manutenção da palha na superfície (plantio direto) com posterior rolagem com o rolo compactador (A4). O fator D foi constituído pela semeadura (D1) ou não do azevém (*Lolium multiflorum* L.) (D2), após a aplicação do fator A.

Para a implantação do experimento, a área foi dividida em oito faixas principais, cada uma com dimensões de 15 m de largura por 35 m de comprimento, onde se realizou os manejos relativos à palha de arroz.

A palha do arroz foi dessecada em todos os tratamentos utilizando o herbicida glifosato, 15 dias após a colheita do arroz, na dose de $1.800 \text{ g i.a ha}^{-1}$. Para realização do manejo com o rolo-faca, a área foi dividida com taipas, possibilitando o seu alagamento. Três dias após o alagamento, realizou-se a rolagem da palha com o rolo-faca, sendo a água drenada da área uma semana após a realização desse manejo, totalizando 10 dias de alagamento.

O manejo com incorporação da palha com grade em solo seco foi realizado em dois momentos: uma semana após a colheita (22/03/2016) e finalizado no dia 05/05/2016.

No manejo que não previa a incorporação da palha no solo, foi realizado a rolagem da palha do arroz com o rolo compactador duas semanas após a dessecação da mesma, sendo

necessária duas passadas em sentidos opostos, para que a palha permanecesse em contato com o solo. Essa operação foi realizada com o solo seco.

Posteriormente, nos tratamentos que associaram o manejo da palha do arroz com a planta de cobertura, foi realizada a semeadura à lanço do azevém, na densidade de 15 kg ha^{-1} , no dia 05/05/2016. A versão dos manejos que não havia planta de cobertura foi mantida dessecada durante a entressafra. No cultivo do azevém foi realizada adubação de base com 2, 8,5 e $13,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente. Além dessa adubação, ao longo do ciclo do azevém foram realizadas duas aplicações de N em cobertura, aos 47 e 86 dias após emergência (DAE), na dose de $22,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na forma de ureia, totalizando 50 kg ha^{-1} de N durante a entressafra. A dessecação das parcelas que continham o azevém, foi realizada 58 dias antes da semeadura do arroz da safra 2016/17, pela utilização de 1.800 g ha^{-1} i.a. do herbicida glifosato.

A semeadura do arroz foi realizada no dia 07/11/2016, utilizando a cultivar IRGA 424 RI na densidade de 100 kg ha^{-1} , e adubação de base de 16 kg ha^{-1} de N, 68 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 108 kg ha^{-1} de K_2O . Quando as plantas de arroz se encontravam no estágio V4 (COUNCE et al., 2000) foi realizada a aplicação de 90 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, bem como a aplicação de herbicida pós-emergente, iniciando-se a irrigação imediatamente após as aplicações, no dia 01/12/2016. Foram realizadas mais duas aplicações de fertilizante nitrogenado durante o ciclo da cultura, nos estádios V6 e R0 (COUNCE et al., 2000), na dose de 30 kg ha^{-1} de N em cada aplicação, totalizando 166 kg ha^{-1} de N durante o ciclo do arroz irrigado. Quando as plantas de arroz se encontravam no estágio R7, procedeu-se a drenagem da área do experimento.

Quantificação dos gases do efeito estufa

Durante toda a entressafra do ano de 2016 e a safra 2016/17, foram realizadas coletas semanais para quantificação dos gases do efeito estufa (GEE), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). As coletas da entressafra iniciaram uma semana após a colheita do arroz (22/03/2016) e foram encerradas no momento da semeadura da nova safra do arroz irrigado, dia 07/11/2016. Já as coletas relativas à safra 2016/17 iniciaram-se no dia 14/11/2016, encerrando-se no dia da colheita do arroz irrigado, 23/03/2017.

As avaliações foram realizadas com auxílio de um sistema composto por uma base e uma câmara, conforme método da câmara estática fechada (MOSIER, 1989). A base quadrada

em aço galvanizado ficou permanentemente no campo, inserida no solo a 0,12 m de profundidade, deixando exposta uma calha para encaixe da câmara, no momento das amostragens. As câmaras quadradas, também em aço galvanizado, apresentavam 0,20 m de altura e 0,40 x 0,40 m de base.

Para as avaliações realizadas durante o período de cultivo do arroz foram utilizados extensores para adequar a altura da câmara às plantas de arroz (SOUZA, 2013). Durante o período de avaliações na safra de arroz, as bases foram alocadas de modo que três linhas de semeadura do arroz passassem no interior de cada base.

Cada câmara possuía um ventilador tipo “cooler” no seu interior, o qual foi conectado e ligado a uma bateria de 12V durante 30s para homogeneização da atmosfera interna imediatamente antes de cada coleta de ar. No momento das amostragens, cada câmara foi encaixada à calha da base metálica e, em seguida, foi adicionada água na calha para selar a câmara, buscando impedir trocas gasosas entre o interior da câmara e o ambiente externo durante as coletas.

Na parte superior da câmara existia uma válvula de três vias, pela qual foram coletadas as amostras de ar. As amostras de ar do interior das câmaras foram coletadas com seringas de polipropileno, em quatro intervalos de tempo após a colocação da câmara sobre a base: 0, 15, 30 e 45 minutos do início das avaliações, sendo esses intervalos utilizados durante a entressafra. Quando as avaliações foram realizadas na safra do arroz, após o início da irrigação, as coletas passaram a seguir os intervalos de 0, 8, 16 e 24 minutos após a colocação da câmara sobre a base.

Após cada coleta, as amostras foram transferidas das seringas para tubos de vidro, denominados exteiners, sendo posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio (LABCEN), para determinação das concentrações de CH₄ e N₂O por cromatografia gasosa (Shimadzu GC – 2014 modelo Greenhouse), equipado com um detector com captura de elétrons ECD (Electron Capture Detection).

Cálculos

Os fluxos dos gases foram calculados de acordo com expressão: $f = \Delta Q / \Delta t \times PV / RT \times M / A$; em que f é o fluxo de N_2O ou CH_4 ($g\ ha^{-1}$ por dia); $\Delta Q / \Delta t$ é a variação na concentração do gás ($mol\ h^{-1}$) na câmara, no momento da coleta; P é a pressão atmosférica (atm) no interior da câmara, que foi assumida como 1 atm; V é o volume da câmara (L); R é a constante dos gases ideais ($0,08205\ atm\ L\ mol^{-1}\ K^{-1}$); T é a temperatura dentro da câmara no momento da coleta (K); M é a massa molar do gás ($\mu g\ mol^{-1}$); e A é a área da base da câmara (m^2). As emissões acumuladas de CH_4 e de N_2O foram calculadas a partir da integral da área sob a curva, estabelecida pela interpolação dos valores diários de emissão (BAYER et al., 2014).

Com base na emissão acumulada de CH_4 e N_2O e levando-se em conta o potencial de aquecimento global de cada gás em relação ao CO_2 – 25 vezes para o CH_4 e 298 vezes para o N_2O , num horizonte de 100 anos (SOLOMON et al., 2007) –, foram calculadas as emissões em quantidades de CO_2 equivalente (CO_2eq).

A soma desses equivalentes foi denominada de Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp), calculado pela expressão: $PAGp = (CH_4 \times 25) + (N_2O \times 298)$, onde o PAGp é o potencial de aquecimento global parcial ($kg\ CO_2eq\ ha^{-1}$) e CH_4 e N_2O são as emissões no período avaliado ($kg\ ha^{-1}$). Foi calculada também a relação entre o PAGp e o rendimento de grãos ($rend - kg\ ha^{-1}$), conforme a expressão: $PAGpRend = PAGp / rend$.

O rendimento de grãos foi determinado através da colheita manual de grãos em uma área de $9,50\ m^2$ em cada parcela, quando os mesmos encontravam-se a 22 % de umidade. Posteriormente, o material foi submetido à trilha, pesagem e determinação de umidade, para obtenção da produtividade de grãos em $kg\ ha^{-1}$.

Dados meteorológicos

Esses dados meteorológicos foram obtidos da Estação Automática de Meteorologia, do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante 0,5 km do local do experimento (Fig.1).

Análises estatísticas

Os fluxos diários de CH₄ e N₂O foram calculados por interpolação linear e a emissão acumulada de cada um dos gases foi calculada somando-se as quantidades emitidas em cada intervalo de coleta. Para isso, foi calculada a média dos fluxos de cada gás entre duas coletas consecutivas, multiplicando-se o valor resultante pelo intervalo de tempo decorrido entre as referidas coletas, somando-se o valor acumulado da coleta anterior. Os dados referentes à emissão acumulada foram submetidos ao teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade para a comparação de médias, sem transformação dos dados, utilizando-se dos procedimentos disponíveis no programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2014).

RESULTADOS

Entressafra do arroz

Em relação ao CH₄ emitido na entressafra (Fig.2), apenas no manejo que utilizou o rolo-faca com o solo alagado, é que houve uma emissão expressiva no período da entressafra. O maior fluxo diário registrado nesse manejo foi de 40.000 g ha⁻¹ dia⁻¹, o qual é difícil de ser encontrado até mesmo durante a safra de arroz, período onde há maior emissão acumulada desse gás (SOUZA, 2013; BAYER et al., 2014). Para os demais tratamentos, ocorreram emissões de CH₄ até 20 dias após o início das quantificações, chegando a fluxos de 1.196 g ha⁻¹ dia⁻¹, no tratamento da grade, enquanto que os manejos que mantiveram a palha em superfície, atingiram valores máximos de 489,9 g ha⁻¹ dia⁻¹.

Em relação aos fluxos de N₂O, houve variação de -1,9 a 47,9 g ha⁻¹ dia⁻¹ durante o período da entressafra (Fig.3). Diferentemente do CH₄, a emissão de N₂O apresentou três picos expressivos durante a entressafra: logo após a adição de resíduos da palha de arroz, após a adubação nitrogenada na cultura do azevém e a partir da dessecação do azevém.

A partir da incorporação da palha do arroz, houve uma rápida emissão de N₂O quando houve a incorporação com grade dessa palha com o solo seco, apresentando um fluxo de 46,9 g ha⁻¹ dia⁻¹, enquanto que no manejo que utilizou o rolo-faca, houve a menor emissão, 16 g ha⁻¹ dia⁻¹.

Em função da necessidade de uma segunda intervenção no manejo com a grade, para a finalização do preparo na área, a partir de 44 dias após o início das avaliações foi registrado

novamente um fluxo de emissão de N_2O nesse tratamento, o qual se manteve por duas semanas nessa condição, porém, com valores bem abaixo do primeiro fluxo, $3,79 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Emissões expressivas nesses manejos voltaram a ser registradas a partir de 142 dias após a colheita do arroz, possivelmente influenciados pela liberação do N da palha associado com as constantes precipitações registradas nesse período. Por ocasião dessa avaliação, a versão dos manejos do rolo compactador e do pousio que estavam associados à semeadura do azevém, também apresentaram uma elevação das emissões de N_2O , influenciadas pela aplicação da adubação nitrogenada em cobertura.

Nota-se os maiores valores de N_2O , aos 149 dias após a colheita do arroz, quando houve a associação do pousio com a semeadura do azevém ($20,10 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), comportando-se de forma contrária ao registrado nos demais manejos com azevém, isso é, quando a grade e o rolo-faca foram associados ao azevém, mesmo com a aplicação de N em cobertura, emitiram menor quantidade de N_2O do que as suas versões sem a presença dessa planta de cobertura. Para o rolo compactador, a presença de azevém não influenciou as emissões de N_2O .

Quando houve a dessecação do azevém, o pousio e o rolo-faca apresentaram diferenças em relação às emissões de N_2O logo após a dessecação, sendo essa com maior expressão no manejo que manteve a palha na superfície, registrando um pico de $47,17 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, comparado a $31,44 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no rolo-faca. Esse resultado está intimamente ligado a questões de umidade do solo, que geralmente é maior quando se mantém palha na superfície.

Em contrapartida, quando o azevém foi associado com a grade ou o rolo compactador, houve uma emissão de N_2O quase cinco vezes menor comparado à manutenção da palha na superfície.

Safra do arroz

Após a semeadura do arroz, houve uma mudança no padrão de emissão do N_2O na primeira avaliação, sendo mais expressivo na versão dos manejos que não havia azevém (Fig. 4). Provavelmente, esse resultado é reflexo do revolvimento do solo na linha de semeadura, bem como a movimentação das câmaras na área, para a passagem das máquinas. Após essa primeira avaliação, os tratamentos que apresentavam azevém e palha de arroz na superfície, voltaram a emitir a maior quantidade de N_2O , com destaque para o rolo compactador, com emissão de $61,47 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, maior valor registrado durante o período de avaliação. Após

esses primeiros picos de emissão, os fluxos de N_2O de todos os manejos mantiveram-se próximos à zero até o início da irrigação.

Nas emissões de CH_4 durante a safra de arroz irrigado, todos os manejos apresentaram um comportamento bastante similar, porém com amplitudes diferentes (Fig. 5). Os fluxos médios de CH_4 durante a safra foram de 1,34; 1,50; 1,66; 2,02; 2,26; 2,71; 3,29 e 3,45 $kg\ ha^{-1}\ dia^{-1}$ nos tratamentos pousio, rolo compactador, grade, rolo-faca, pousio + azevém, rolo compactador + azevém, grade + azevém, rolo-faca + azevém, respectivamente.

Em todas as avaliações realizadas durante a safra do arroz irrigado, as maiores emissões foram registradas nos manejos que apresentavam a associação com o azevém, chegando ao fluxo diário máximo de 7.135 $g\ ha^{-1}\ dia^{-1}$ no manejo com a grade associado ao azevém, 49% a mais de emissão de CH_4 comparado ao manejo que utilizou apenas a grade (3.668 $g\ ha^{-1}\ dia^{-1}$), na mesma avaliação, aos 56 dias após a semeadura do arroz.

Os menores fluxos de CH_4 foram observados anteriormente ao início da irrigação e no final do ciclo do arroz, posterior à drenagem das parcelas. Já os maiores fluxos de CH_4 foram observados com solo alagado, a partir da segunda aplicação da adubação nitrogenada em cobertura, realizada aos 43 dias após a semeadura do arroz, mantendo-se elevados até o início do período reprodutivo, em R0 (71 dias após a semeadura do arroz), quando tenderam a cair. No período de cultivo do arroz, os fluxos de CH_4 variaram de -17,43 a 7.135 $g\ ha^{-1}\ dia^{-1}$.

Emissões acumuladas, potencial de aquecimento global parcial (PAGp), PAG sobre o rendimento

O rolo-faca foi o manejo que mais contribuiu para as emissões de CH_4 , sendo potencializado quando houve a associação com o azevém (Fig. 6a). Quando utilizado apenas o rolo-faca, 58% das emissões de CH_4 ocorreram no período da entressafra. Porém, quando se realizou a associação com a planta de cobertura, a maior parte das emissões ocorreram no período do cultivo do arroz, em torno de 54%. Comparando a presença ou não do azevém, especificamente no manejo com rolo-faca, houve um acréscimo de 25% nas emissões totais do CH_4 durante todo o período avaliado.

Com exceção do tratamento do rolo-faca, a grande maioria dos tratamentos concentrou as emissões de CH_4 no período da safra de arroz (entre 88 e 99% das emissões) e todos tiveram suas emissões potencializadas com a associação ao azevém. Os manejos que incorporaram a palha do arroz na entressafra, grade e rolo-faca, obtiveram maior influência do

azevém sobre as emissões de CH_4 , com acréscimos de 161 e 150 kg ha^{-1} nos seus fluxos, respectivamente.

Em relação ao N_2O , a maioria das emissões foi registrada no período da entressafra, com destaque para a grade e pousio, ambos associados ao azevém (86 e 70%, respectivamente) (Fig. 6b). A exceção para essa constatação foi o pousio e o rolo compactador + azevém, que apresentaram mais da metade das emissões no período do cultivo do arroz. Vale ressaltar que as maiores emissões do N_2O nesses tratamentos ocorreram ainda no período sem irrigação, porém após a semeadura do arroz irrigado.

As maiores emissões de N_2O no experimento foram registradas no manejo do pousio associado ao azevém (2.725 $\text{g}^{-1} \text{ha}^{-1}$) e as menores no manejo que utilizou o rolo compactador (954 $\text{g}^{-1} \text{ha}^{-1}$). A presença do azevém também potencializou as emissões desse GEE, porém, diferentemente do que foi registrado para o CH_4 , foram nos manejos que mantiveram a palha sobre a superfície, pousio e rolo compactador, os maiores valores de emissão, 815 e 849 g ha^{-1} , respectivamente, quando esses manejos foram associados com o azevém. A grade foi o manejo que sofreu a menor influência da semeadura do azevém, com acréscimo de 156 g ha^{-1} de N_2O quando utilizado essa planta de cobertura.

Em função desses resultados, o PAGp foi mais influenciado, em todos os manejos, pela emissão do CH_4 (Tabela 01). A contribuição desse gás variou de 85%, no manejo do pousio a 97 % no manejo com o rolo-faca, demonstrando ser o CH_4 o gás com maior influência no sistema de cultivo do arroz, mesmo quando inserido os oito meses de entressafra que permanecem em condições de aerobiose.

Em relação aos manejos, o rolo-faca associado ao azevém apresentou o maior PAGp, seguido do rolo-faca sem azevém. A inserção do azevém como planta de cobertura demonstrou contribuir para o aumento do PAGp, independentemente do manejo pós-colheita adotado. Com exceção do rolo-faca, todos os demais manejos, incorporados ou em superfície, contribuem para a diminuição do PAGp, quando realizados logo após a colheita do arroz irrigado, sem o azevém.

O azevém influenciou a produtividade de grãos do arroz (Tabela 1), diminuindo o rendimento, em média, 7,8%. Quando não houve a utilização da planta de cobertura, a produtividade do arroz não variou entre os manejos da palha do arroz, ficando na média de 9.232 kg ha^{-1} . Porém, na área onde havia a presença do azevém, houve influência dos manejos da palha do arroz, sendo o manejo com a grade, o de menor produtividade e o rolo compactador, o de maior produtividade, 7800 e 9084 kg ha^{-1} , respectivamente.

Como a produtividade de grãos influencia o PAGp, os manejos da palha do arroz onde havia a presença do azevém apresentou um PAGp/rend de 1,2. Isso significa dizer que, para a produção de 1 Mg de arroz irrigado, serão emitidos 1,2 Mg de CO₂ eq ha⁻¹, enquanto que, na área sem espécies de cobertura essa relação ficou em 0,68, ou seja, 60% a menos que a versão com a planta de cobertura.

Em relação à comparação dos manejos pós-colheita com a presença do azevém, naqueles que mantiveram a palha do arroz sobre a superfície do solo (plantio direto) foi registrado o menor PAGp/rendimento (0,74 e 0,78 para pousio e compactador, respectivamente), seguido da grade (1,09), sendo o maior registrado no manejo que se utilizou o rolo-faca, 1,86.

DISCUSSÃO

Entressafra

O aporte de grandes quantidades de resíduos vegetais em ambientes com condições anaeróbicas aumenta a produção e a emissão de CH₄, pois além de estimular a atividade de microrganismos metanogênicos pela adição de carbono lábil. Além disso, os resíduos favorecem a diminuição do potencial redox do solo ao acelerar a redução de íons inorgânicos oxidados (NO₃⁻, Mn⁺⁴, Fe⁺³ e SO₄⁻²), pois há um rápido consumo de oxigênio (O₂) durante a decomposição desses resíduos (DALAL et al., 2008; KIM et al., 2012; GAIHRE et al., 2013) e pela inundação da área.

A elevada emissão de CH₄ encontrada no manejo com o solo alagado (rolo-faca), 40 vezes superior ao já relatado anteriormente na literatura (FITZGERALD et al., 2000; SOUZA, 2013) é reflexo direto da forma como foi realizado, o qual utiliza uma lâmina de água para que o equipamento incorpore todo material vegetal proveniente da lavoura de arroz, mantendo-o a uma profundidade de ± 2 cm. Com o alagamento da área, o ambiente volta a tornar-se anóxico, condição essencial para a emissão de CH₄. Além disso, em função da grande quantidade de sólidos em suspensão que permanecem após a mobilização do solo, há a necessidade de manutenção da lâmina de água até que haja a decantação desse material, o qual prolongou o tempo de anaerobiose, totalizando 10 dias de alagamento. Fitzgerald et al. (2000), comparando manejos pós-colheita nos Estados Unidos, relataram um aumento de

quase 20 vezes na emissão acumulada de CH_4 quando se inunda a área para realizar a incorporação da palha.

A utilização da grade após a colheita do arroz favoreceu a emissão inicial de CH_4 , provavelmente em função de causar o rompimento da estrutura do solo, causando a liberação desse gás eventualmente contido no espaço poroso (PIVA, 2010). Soma-se a isso, as constantes precipitações ocorridas nesse período, as quais acumularam 189 mm nos primeiros 20 dias de avaliação. O somatório de altas temperaturas, associada a precipitações regulares e adição de resíduos culturais, pode resultar em maiores emissões de CH_4 durante a entressafra (SOUZA, 2013).

As emissões do N_2O confirmam os relatos da literatura, onde a maior variação nos fluxos ocorreu durante a entressafra do arroz. Inicialmente, a incorporação da palha com o solo seco (grade) apresentou a maior influência sobre a emissão desse gás, provavelmente pela taxa de decomposição nos primeiros dias de avaliação, em função da desestruturação da palha juntamente com sua incorporação, aumentando a superfície de contato para o ataque microbiano (MASSONI, 2011), somado ao rompimento do solo, que causa a liberação do gás contido no espaço poroso.

Os relatos da literatura sugerem que, independentemente do manejo pós-colheita adotado, quando há entrada da palha do arroz após a operação da colheita, há um aumento no N mineral do solo, seguido de uma diminuição gradativa, caracterizando a diminuição da mineralização desse material, juntamente com as características ambientais do período da entressafra do arroz, temperatura baixa e alta umidade (BIRD et al., 2001; MASSONI et al., 2013).

Havendo N disponível no solo, esse passa a sofrer transformações, as quais dependem das condições ambientais, podendo ser nitrificado ou desnitrificado (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; VAN GROENIGEN et al., 2015). Como exposto anteriormente, as elevadas precipitações ocorridas nas primeiras semanas após a instalação do experimento contribuíram para a manutenção de um ambiente com baixa disponibilidade de oxigênio, favorecendo o processo de desnitrificação e a liberação do N na forma de N_2O .

Segundo Souza (2013), a emissão de N_2O passa a ser predominante quando o solo atinge 60% da capacidade de campo, o que diminui a disponibilidade de O_2 , podendo haver a formação de micro sítios anaeróbicos (hotspots), que favorecem o processo de desnitrificação (BAGGS et al., 2003; VAN GROENIGEN et al., 2015). Analisando-se os dados de precipitação, apresentados juntamente com os de N_2O (Fig. 3), percebe-se a ausência de precipitações elevadas durante um período de 50 dias, entre os meses de maio e julho,

totalizou 27,8 mm. Isso influenciou diretamente as baixas emissões de N_2O durante o período da entressafra.

A partir da intensificação das precipitações, houve registros de picos de N_2O no manejo do pousio e no rolo-faca (108 dias após a colheita). Esse resultado é reflexo da decomposição da palha nesses dois manejos, os quais disponibilizam o N contido na palha para o solo, o qual pode ser absorvido na presença de espécies de cobertura, ou ser perdido, por lixiviação ou desnitrificação, dependendo das condições ambientais (BIRD et al., 2001).

Quando há entrada de material orgânico no solo, como ocorreu no manejo com a grade e o rolo-faca, os microrganismos atuam no sentido de retirar o carbono e a energia para que possam ser convertidos em tecido celular. Para tal processo, os microrganismos necessitam de nutrientes, principalmente N, para a síntese de proteínas, ácidos nucléicos e outros compostos celulares. Quando há disponibilidade de resíduos culturais com maior teor de N, como por exemplo, aqueles com baixa relação C/N, as necessidades microbianas desse nutriente serão facilmente atendidas e o N em excesso é liberado na forma mineral, caracterizando o processo de mineralização (HIRSCH; MAUCLINE, 2015).

Do contrário, resíduos pobres em N, com alta relação C/N, os microrganismos necessitarão buscar N adicional no solo para poder sintetizar compostos nitrogenados orgânicos a partir do carbono e da energia extraídos dos resíduos culturais. Portanto, os microrganismos assimilam o N mineral do solo nas formas de nitrato (NO_3^-) e, principalmente, de amônio (NH_4^+), para incorporá-los a compostos nitrogenados orgânicos na célula, acarretando a imobilização do N do solo (SINGH et al., 2001). É provável que essa menor emissão do N_2O nos tratamentos com incorporação da palha do arroz, esteja ligada ao efeito de imobilização.

Safra do arroz

A emissão de CH_4 foi influenciada pela presença de resíduos vegetais, principalmente quando o azevém esteve associado aos manejos que incorporaram a palha do arroz na entressafra. Isso ocorre em função do estímulo à atividade de microrganismos metanogênicos pela adição de carbono lábil e, também, pela diminuição do potencial redox do solo ao acelerar a redução de íons inorgânicos oxidados (NO_3^- , Mn^{+4} , Fe^{+3} e SO_4^-), pois há um rápido consumo de oxigênio (O_2) durante a decomposição das espécies de cobertura (DALAL et al., 2008; KIM et al., 2012; GAIHRE et al., 2013).

A influência registrada sobre o CH₄ quando foi realizada a adubação nitrogenada tem sido relatada na literatura especializada, mas as conclusões são controversas: Pittelkow et al. (2013), estudando doses de N em arroz irrigado, concluíram que as emissões anuais de CH₄ tenderam a aumentar com a adição de N durante a estação de cultivo. Isso porque há um aumento na biomassa de plantas de arroz, o que facilita o transporte desse gás através das próprias plantas, via aerênquima (SILVA et al., 2014). Em contrapartida, estudos evidenciaram que concentrações elevadas de amônio (NH₄⁺) no solo podem estimular a atividade metanotrófica e a oxidação de CH₄ em solos de arroz, reduzindo assim as emissões globais de CH₄ (YAO et al., 2011). De forma geral, Banger et al. (2012) realizaram um estudo em um banco de dados de 33 artigos relacionando a influência da adubação nitrogenada em arroz sobre as emissões de CH₄ e concluíram que os fertilizantes nitrogenados aumentam as emissões de CH₄, principalmente quando se utilizam doses maiores que 140 kg ha⁻¹ de N, caso do presente estudo, que utilizou um total de 166 kg ha⁻¹, durante todo o cultivo.

Em relação à dinâmica de emissão de N₂O na safra do arroz, foi registrado um pequeno aumento nas emissões a partir dos 71 dias após a semeadura (Fig. 5), indicando que parte do fertilizante nitrogenado aplicado foi transformado a N₂O, mesmo a lâmina de irrigação tendo sido mantida durante todo o ciclo. Isso pode ocorrer em virtude da proximidade entre a superfície do solo e rizosfera (ambas oxidadas) e a região anaeróbica, onde há a maior facilidade de perdas pela nitrificação-desnitrificação (BORIN, 2014), transformando o NH₄⁺ a NO₃⁻ que, por sua vez, atua como acceptor final de elétrons.

Os maiores picos de emissão de N₂O durante o ciclo do arroz irrigado estão associados a maior presença de NO₃⁻ na solução do solo (ZHAO et al., 2011) e à possibilidade de que as plantas de arroz possuam um mecanismo na rizosfera que controla a proporção de absorção de NH₄⁺ e NO₃⁻ a fim de evitar a toxidez por NH₄⁺. Porém, se a absorção pelas raízes for insuficiente, ou seja, se houver NO₃⁻ disponível para os microrganismos desnitrificadores, haverá perdas desse N através do N₂O ou N₂ em função do ambiente estar anóxico.

Emissão acumulada e PAGp e PAG/rendimento

De uma forma geral, as emissões acumuladas encontradas no presente trabalho, corroboram com constatações anteriormente citadas na literatura, em que a maior parte das emissões de CH₄ concentra-se na safra, enquanto o N₂O, na entressafra, bem como essa maior influência da emissão do CH₄ sobre a constituição do potencial de aquecimento global parcial (ZSCHORNACK et al., 2011; KIM et al., 2013; ZSCHORNACK et al., 2016).

Os manejos que visam o sistema de cultivo convencional, onde o preparo da área passa pela incorporação da palha no solo, são referenciados como práticas de maior emissão do CH₄ (BIRD et al., 2002; ZSCHORNACK et al., 2011; SOUZA, 2013; BAYER et al., 2014; TIAN et al., 2015), bem como quando associados à presença de espécies de cobertura (KIM et al., 2012; KIM et al., 2013; ZSCHORNACK et al., 2016), sendo que os manejos que convergem ao sistema de semeadura direta, são indicados como mitigadores do potencial de aquecimento global das áreas onde se cultiva o arroz irrigado (BAYER et al., 2014; ZHANG et al., 2015; ZSCHORNACK et al., 2016).

Os experimentos que utilizam espécies de cobertura em terras baixas, não têm obtido resultados satisfatórios em relação aos possíveis benefícios que a sucessão de culturas poderia trazer às espécies, em termos de fertilidade e aumento de produtividade. Alguns trabalhos em condições brasileiras relatam diminuição entre 8 e 30% na produtividade do arroz irrigado, após o cultivo do azevém (MENEZES et al., 2002; FERREIRA et al., 2015). Dependendo da espécie e do manejo de solo utilizado, pode haver aumento das emissões de CH₄ e aumento do potencial de aquecimento global quando se obtém uma influência negativa sobre a produtividade de grãos.

No entanto, o presente trabalho demonstrou que, apesar da presença do azevém aumentar o potencial de aquecimento global parcial, essa influência pode ser minimizada quando se utiliza sistemas de preparo do solo voltados ao plantio direto, com manutenção da palha do arroz sobre a superfície do solo.

CONCLUSÕES

1. A emissão de metano é estimulada quando ocorre a incorporação da palha do arroz, logo após a colheita, com o solo alagado, sendo agravada pela associação com o cultivo de azevém, durante a entressafra do arroz;
2. Para óxido nitroso, a manutenção da palha do arroz sobre a superfície do solo, associado à semeadura do azevém potencializa a emissão desse gás, porém o mesmo possui pequena influência no potencial de aquecimento global parcial;
3. O potencial de aquecimento global parcial é minimizado quando se utiliza plantio direto sem a presença de azevém, contribuindo para a mitigação dos gases do efeito estufa;
4. Quando há utilização do azevém, o plantio direto o potencial de aquecimento global quando se considera a produtividade de grãos de arroz.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C; GIACOMINI S.J.; HÜBNER, A.P; MARQUES, M.G. Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.30, p.149-161, 2006.
- BAGGS, E.M., STEVENSON, M., PIHLATIC, A., REGAR, A., COOK, H., CADISCH, G. Nitrogen oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, v.254, 361-270, 2003.
- BANGER, K.; TIAN, H.; LU, H. Do nitrogen fertilizers stimulate or inhibit methane emissions from rice fields? **Global Change Biology**, v.18, p. 3259–3267, 2012.
- BAYER, C.; COSTA, F.S.C.; PEDROSO, G.M.; ZSCHORNACK, T.; CAMARGO E.S; DE LIMA, M.A.; FRIGHETO, R.T.S.; GOMES, J.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term Conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. **Field Crops Research**, v.162, p.60–69, 2014.
- BIRD J. A. Immobilization of fertilizer nitrogen in rice: effects of straw management practices. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.1143-1152, 2001.
- BORIN, J.B.M. Alterações da solução do solo e resposta do arroz irrigado ao manejo da irrigação e da adubação nitrogenada. 2014. 93 f. **Dissertação de mestrado** (Mestre em Ciência dos Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.
- BOENI M, ANGHINONI I, GENRO, SAGJ, FILHO BDO. A Evolução da fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Boletim Técnico** 8. Cachoeirinha: IRGA/Estação Experimental. Seção de Agronomia, 2010. 40 p. http://www3.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1290184277Evolucao_da_fertilidade.pdf
- COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000.
- CRUZ, P, R, da. Exigências climáticas para a cultura do arroz irrigado. **Boletim técnico** 11. Cachoeirinha: IRGA/Estação experimental, Seção de Melhoramento Genético, 2010. 36p.
- DALAL, R., ALLEN, D., LIVESLEY, S., RICHARDS, G. Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: a review. **Plant Soil**, v.09, p. 43–76, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 2006. 306p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*. 2014, vol.38, n.2, p. 109-112 .

FERREIRA, R.B; MARCHESAN, E.; COELHO, L.L; OLIVEIRA, M. L.; TELÓ, FILHO, A.C.; SARTORI, G.M.S. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.45, n.12, p.2143-2149, 2015.

GAIHRE, Y, K.; WASSMANN, R.; VILLEGAS-PANGGA, G. Impact of elevated temperatures on greenhouse gas emissions in rice systems: interaction with straw incorporation studied in a growth chamber experiment. **Plant Soil**, v.373, n.1, p.857–875, 2013.

HIRSCH, P.R.; MAUCLINE, T.H. The Importance of the Microbial N Cycle in Soil for Crop Plant Nutrition. **Advances in Applied Microbiology**, v.93, p.45-65, 2015.

HUANG, M.; ZOU, Y; JIANG, P.; BING XIA, B.; FENG, Y.; CHENG, Z; MO, Y. Effect of tillage on soil and crop properties of wet-seeded flooded rice. **Field Crops Research**, v.129, p.28–38, 2012.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ^a. Safras: Situação da semeadura. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>. Acesso em: 01 fev 2017.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ^b. Safras: Série histórica de Produção x Produtividade: BR x RS. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>. Acesso em: 01 fev 2017.

KIM, S.Y.; GUTIERREZ, J.; KIM, P.J. Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation on paddy soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.161, p.130-136, 2012.

KIM, S.Y.; LEE, C.H.; GUTIERREZ, J.; KIM, P.J. Contribution of winter cover crop amendments on global warming potential in rice paddy soil during cultivation. **Plant and Soil**, v.366, p.273-286, 2013.

KOGA. N.; HAYASHI, K.; SHIMODA, S. Differences in CO₂ and N₂O emission rates following crop residue incorporation with or without field burning: A case study of adzuki bean residue and wheat straw. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.62, n.1, p.52-56, 2016.

LOBO JÚNIOR, M; SOUZA, J,N,G de; SANTOS, A,B dos. Processos biológicos e densidade de microrganismos em solo de várzea tropical cultivado com forrageiras para implantação do arroz no sistema plantio direto. **Comunicado Técnico**, n. 89, EMBRAPA, 2004.6p.

MASSONI, P. Dinâmica do banco de sementes de arroz vermelho e ciclagem de nutrientes em função do manejo pós colheita da palha do arroz. 2011. 116 f. **Dissertação de mestrado** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MASSONI, P.F.S. ; MARCHESAN, E.; GROHS, M.; SILVA, L.S.; ROSO, R. Nutrientes do solo influenciados por diferentes manejos da palha após a colheita do arroz irrigado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n.2, p. 205-214, 2013.

MOREIRA F. M. S., SIQUEIRA J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª Ed. Lavras, UFLA. 2006. 729p.

MOSIER, A, R. Chamber and isotopic techniques. In: ANDREA, M.O; SCHIMEL, D.S (eds.). **Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. Report f the Dahlem Workshop. John Wiley and Sons, Berlin, Germany, p. 175-187, 1989.

MOTSCHENBACHER, J; BRYE, K.; ANDERS, M.; GBUR, E.; SLATON, N.; EVANS-WHITE, M. Long-Term Crop Rotation, Tillage, and Fertility Effects on Soil Carbon and Nitrogen in Dry-Seeded, Delayed-Flood Rice Production Systems. In: **CO₂ Sequestration and Valorization**. Capítulo 5, p. 129-156, 2014.

NAKAJIMA, M.; CHENG, W.; TANG, S.; HORI, Y.; YAGINUMA, E.; HATTORI, S.; HANAYAMA, S.; TAWARAYA, K.; XU, X. [Modeling aerobic decomposition of rice straw during the off-rice season in an Andisol paddy soil in a cold temperate region of Japan: Effects of soil temperature and moisture](#). **Soil Science And Plant Nutrition**, v. 62, n.1, p. 1-9, 2015.

OLK, DC, et al. Crop Nitrogen Uptake and Soil Phenols Accumulation under Continuous Rice Cropping in Arkansas. **Soil Science Society of America**, [S.l.], v. 73, n.3, p. 952-960, 2009.

PIVA, J.T. Emissão de óxido nitroso e metano em um latossolo bruno submetido a sistemas de preparo e integração lavoura-pecuária, 2010. 57p. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PITTELKOW, C.M.; ADVIENTO-BORBE, M.A.; HILL, J.E.; SIX, J.; VAN KESSEL, C. Yield-scaled global warming potential of annual nitrous oxide and methane emissions from continuously flooded rice in response to nitrogen input. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.177, p.10–20, 2013.

REDIN, M. Produção de biomassa, composição química e decomposição de resíduos culturais da parte aérea e resíduos no solo. 2014. 115 f. **Tese** (Doutorado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

SCHMIDT, A.; JOHN, K.; ARIDA, G.; AUGE, H.; BRAND, R.; HORGAN, F.G.; HOTES, S.F.; MAQUEZ, L.; RADERMACHER, N.; SETTELE, J.; WOLTERS, J.; SCHÄDLER, M. Effects of Residue Management on Decomposition in irrigated rice fields are not related to changes in the decomposer community. **PLoS One**, v.10, n.7, p. 1-19, 2015.

SINGH, S.N. Exploring correlation between redox and other edaphic factors in field and laboratory conditions in relation to methane efflux. **Environment international** v.27, p.265-274, 2001.

SILVA, L.S; MOTERLE, D.F; OLIVEIRA, J.M.S. Chapter 5: The impact of different rice cultivars on soil methane emissions. P. 85-98 In: OELBERMANN, M. **Sustainable agroecosystems in climate change mitigation**. (Online only). 2014.

SOLOMON, D.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER H. L. **Climate Change 2007: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University, 2007. 996p. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

SOUZA, E.L. Emissão de óxido nitroso e metano em área de cultivo com arroz irrigado com diferentes manejos da palha pós-colheita. 2013. 139 f. **Tese** (Doutorado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

TANG S.; CHENG, W.; HU, R.; GUIGUE, J.; KIMANI, S.M.; TAWARAYA, K.; XU, X. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off-rice season on rice straw decomposition and subsequent CH₄ production during the growth season in a paddy soil. **Biology Fertilily Soils**, v. 52, 2016.

TIAN K.; ZHANG, L.; ZHONG, X.; HUANG, X.; ZHANG, W.; PAN, J. Effects of Rice Straw and Winter Green Manure Incorporations on Grain Yields and Methane Emissions of Double-Season Rice (*Oryza sativa*) field in South China. **Environmental Science and Pollution Research International**, v.22, n.16 p.12689–12698, 2015.

VAN GROENIGEN, J.W.; HUYGENS D.; BOECKX, P.; KUYPER W.; LUBBERS, I.M.; RÜTTING, T.; GROFFMAN, P.T. The soil N cycle: new insights and key challenges. **Soil**, v.1, p.235–256, 2015.

VERNETTI JUNIOR, F.J; GOMES, A.S.; SCHUCH, L.O.B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Revista Ciência Rural**, v.39, n.6, p.1708-1714, 2009.

YAO, S.; ZHANG, B.; HU, F. Soil biophysical controls over rice straw decomposition and sequestration in soil: The effects of drying intensity and frequency of drying and wetting cycles. **Soil Biology & Biochemistry**, v.43, p. 590-599, 2011.

ZHAO, XU.; MIN, J.; WANG, S.; SHI, W.; XING, S. Further understanding of nitrous oxide emission from paddy fields under rice/wheat rotation in south China. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, p. 1-7, 2016.

ZHANG, W.; YU Y; HUANG Y; LI, Y; WANG P. Modeling methane emissions from irrigated rice cultivation in China from 1960 to 2050. **Global Change Biology**, v.17, p. 3511–3523, 2011.

ZHANG, L.; ZHENG, J.; CHEN, L.; SHEN, M.; ZHANG, X.; ZHANG, M.; BIAN, X.; ZHANG, J.; ZHANG, W. Integrative effects of soil tillage and straw management on crop yields and greenhouse gas emissions in a rice–wheat cropping system. **Europe Journal Agronomy**, v.63, p.47–54, 2015.

ZSCHORNACK, T.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A; VIEIRA, F.C.B.; ANGHINONI, I. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from flood-irrigated rice by no incorporation of winter crop residues into the soil. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.35, p. 623-634, 2011.

ZSCHORNACK, T.; ROSA, C.M; CAMARGO, E.S.; REIS, C.E.S; SCHOENFELD, R.; BAYER, C. Impacto de espécies de cobertura e da drenagem do solo nas emissões de CH₄ e N₂O sob cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1163-1171, 2016.

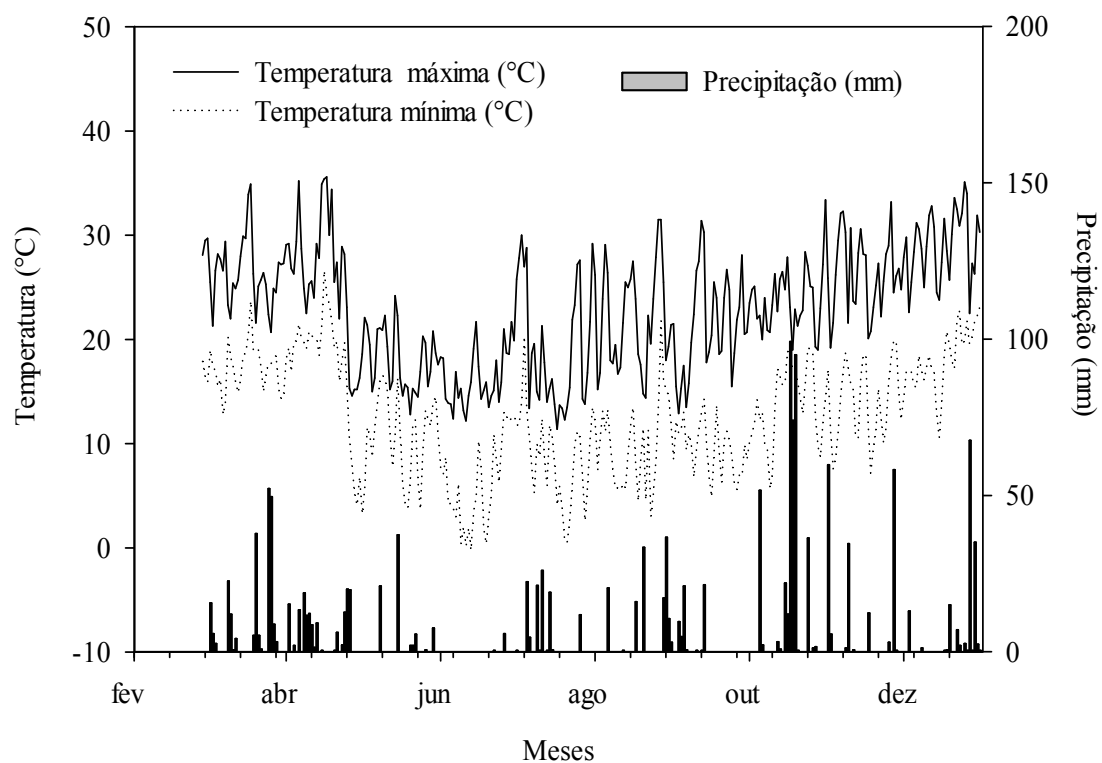
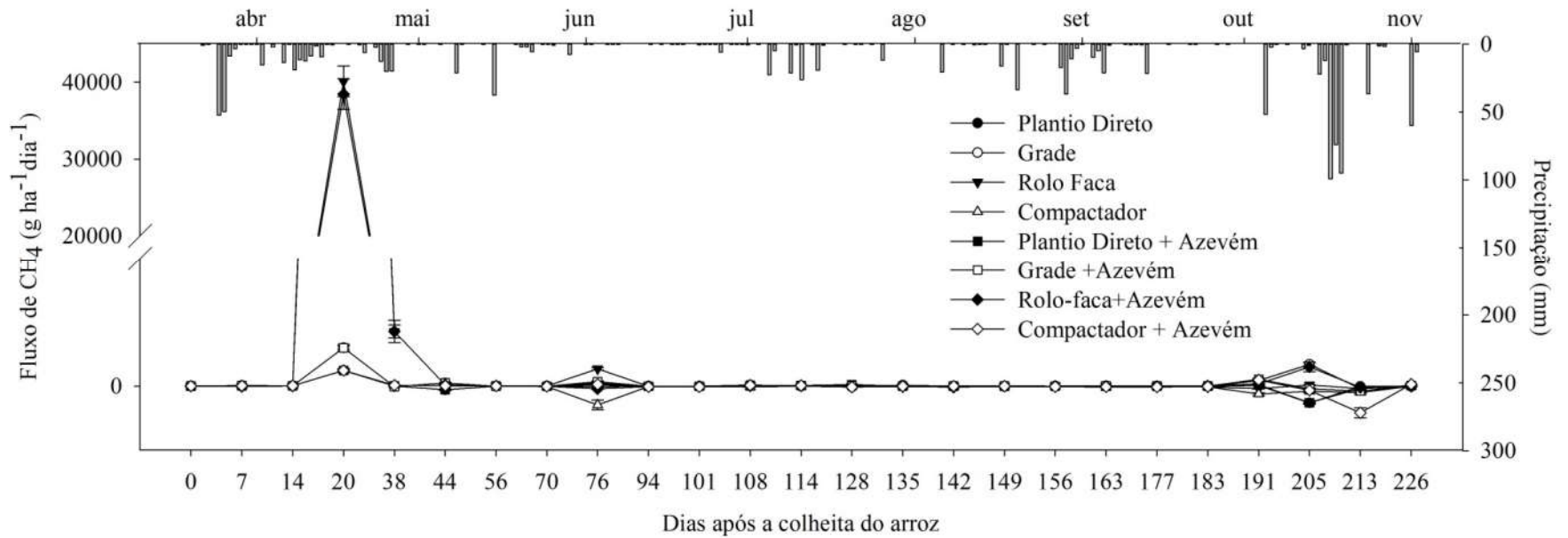


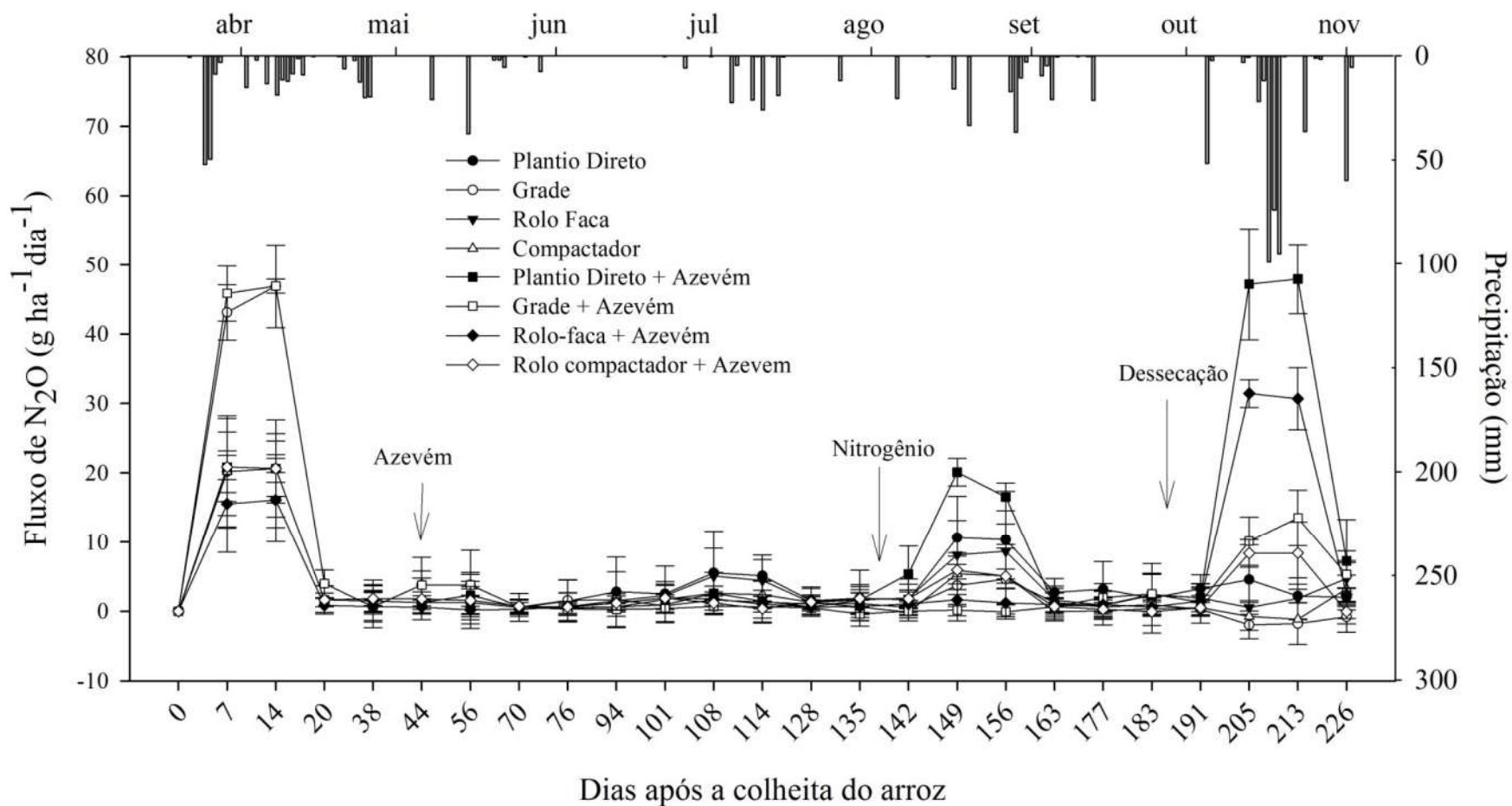
Fig.1. Temperatura máxima e mínima e precipitação pluvial ocorrida durante o período de execução do experimento. Santa Maria, 2018.



1

2 **Fig.2.** Fluxo de metano – CH_4 ($\text{g ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$) – durante a entressafra do arroz irrigado em função de diferentes manejos pós-colheita aplicados na
 3 palha do arroz. Santa Maria, RS, Brasil, 2018.

4



5

6 **Fig.3.** Fluxo de óxido nitroso – N₂O (g ha⁻¹ dia⁻¹) – durante a entressafra do arroz irrigado em função de diferentes manejos pós-colheita,
 7 aplicados na palha do arroz. Santa Maria, RS, Brasil, 2018.

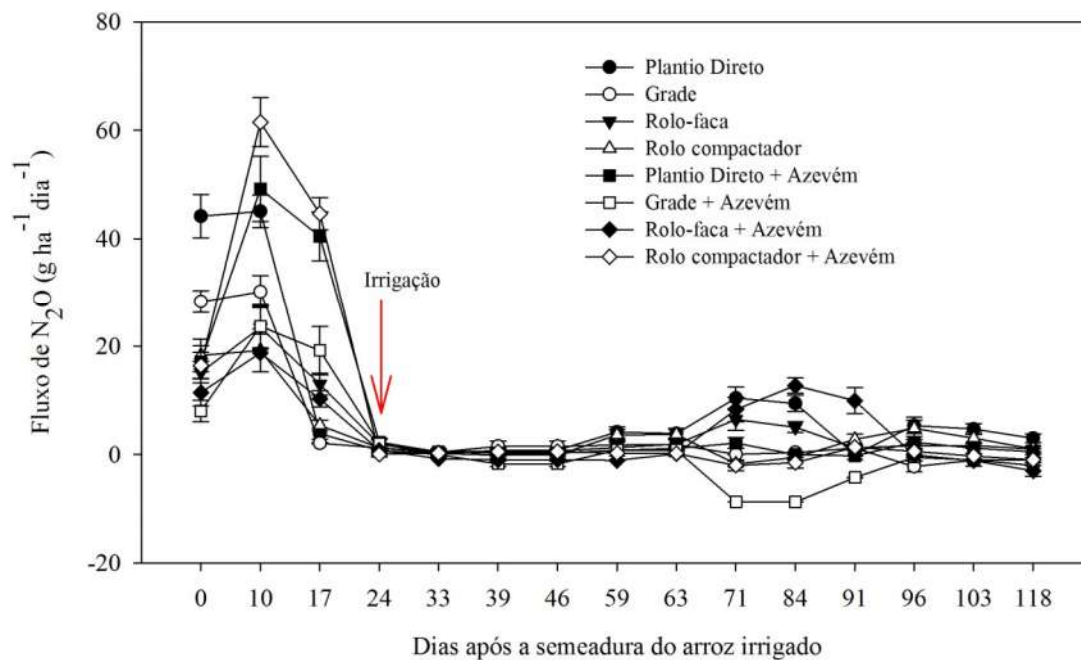


Fig.4. Fluxo de óxido nitroso – N_2O ($g\ ha^{-1}\ dia^{-1}$) – durante a safra do arroz irrigado, em função de diferentes manejos pós-colheita aplicados na palha do arroz nos meses da entressafra. Santa Maria, RS, Brasil, 2018.

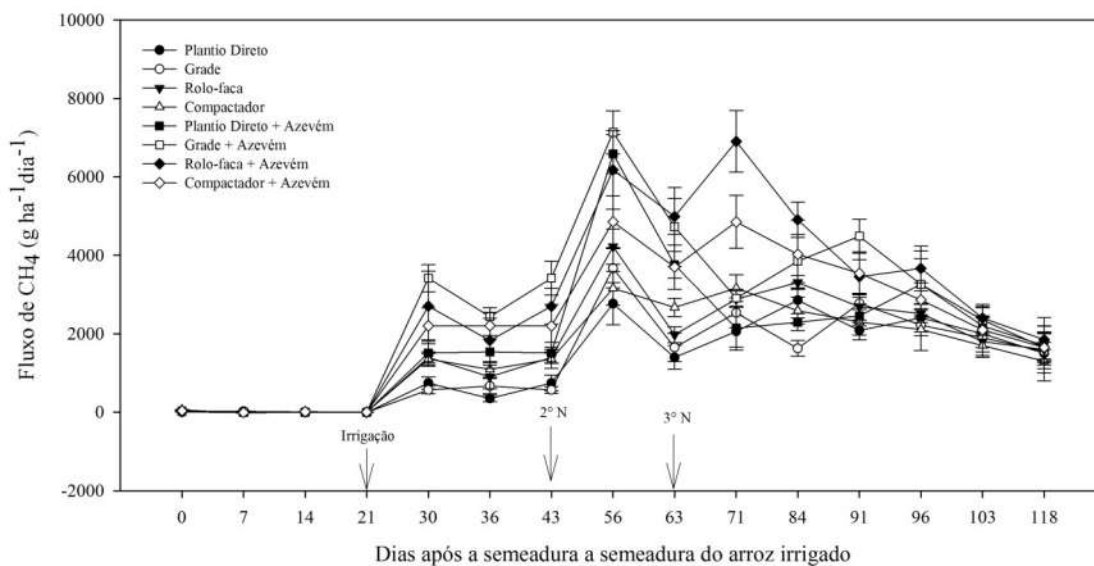


Fig.5. Fluxo de metano – CH_4 ($g\ ha^{-1}\ dia^{-1}$) – durante a safra do arroz irrigado, em função de diferentes manejos pós-colheita aplicados na palha do arroz nos meses da entressafra. Santa Maria, RS, Brasil, 2018.

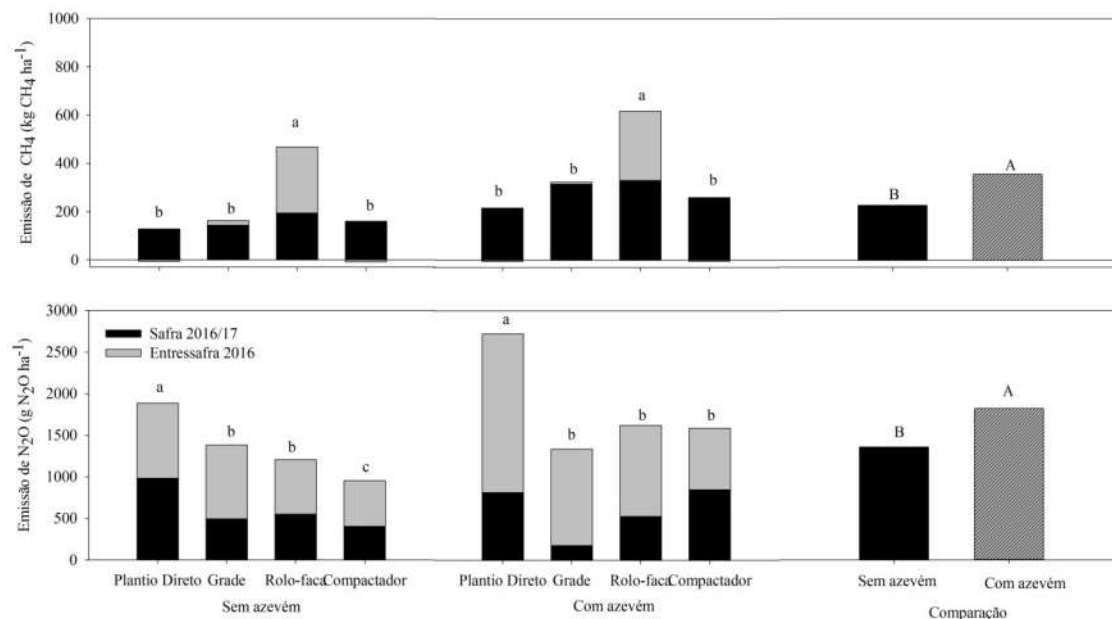


Fig.6. Emissão acumulada de metano (A) – CH₄ (kg ha⁻¹) - e de óxido nitroso (B) – N₂O (g ha⁻¹) - em função dos manejos de pós-colheita do arroz irrigado, mensurados na entressafrá e safrá. Letras minúsculas comparam a influência dos manejos de solo, com ou sem azevém. Letras maiúsculas comparam a média dos manejos pós-colheita com ou sem a utilização do azevém sobre o resultado de cada parâmetro. Santa Maria, RS, Brasil, 2018.

Tabela 01 – Potencial de aquecimento global parcial (PAGp), produtividade de grãos (kg ha⁻¹) e PAGp/rendimento de grãos (PAGp/rend) em função de manejos pós-colheita do arroz. Santa Maria, RS, Brasil. 2018.

Manejos pós-colheita	PAGp Mg CO ₂ eq ha ⁻¹		Produtividade (kg ha ⁻¹)		PAGp/rend	
	sem azevém	com azevém	sem azevém	com azevém	sem azevém	com azevém
Plantio direto	3,91b B ¹	6,34bA	9118.2 ^{ns} A	8598.2Bb	0,43bB	0,74cA
Grade	4,49bB	8,50bA	9317.2 A	7799.6 cB	0,48bB	1,09bA
Rolo-faca	12,06aB	15,93aA	9118.3 A	8548.6bB	1,32aB	1,86aA
Compactador	4,46bB	7,07bA	9375.8A	9083.6aB	0,48bB	0,78cA
Média	6,23B ²	9,46A	9232.39A	8507.58B	0,68B	1,12A
Cv (%)	10,9		5,47		8,04	

⁽¹⁾ Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada coluna; Letras maiúsculas comparam a média dos manejos pós-colheita com ou sem a utilização do azevém.

- CAPÍTULO III -**ESPÉCIES DE COBERTURA NO OUTONO-INVERNO AUMENTAM O
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL DURANTE O CULTIVO DE ARROZ
IRRIGADO NO SUL DO BRASIL***

*Normas conforme a revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (ANEXO C)

Resumo - Este trabalho foi realizado com o objetivo de quantificar o impacto no potencial de aquecimento global quando são utilizadas espécies de cobertura de outono-inverno, antecedendo o cultivo do arroz irrigado. Um experimento foi instalado na entressafra de 2015 e na safra 2015/16, utilizando como espécies de cobertura o azevém, a aveia, a serradela, o trigo e uma testemunha sem a presença de plantas (pousio), no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foi quantificada a influência dessas espécies de cobertura sobre o estabelecimento e a produtividade de grãos do arroz irrigado e as emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) desde a sua dessecação até a colheita do arroz irrigado, semeado em sucessão, bem como o potencial de aquecimento global. A presença de espécies de cobertura com alta produção de massa seca antecedendo o arroz irrigado favorece a emissão de gases do efeito estufa, principalmente de CH₄, além de diminuir a produtividade do arroz em função da diminuição do estande de plantas. A associação de menor produtividade e alta emissão de GEE aumenta o potencial de aquecimento global parcial no sistema de cultivo que envolve o arroz irrigado quando associado à utilização de espécies de cobertura.

Termos para indexação: metano, óxido nitroso, azevém, *Oryza sativa* sp.

INTRODUÇÃO

A *Food and Agriculture Organization of the United Nation* (FAO) aponta o arroz como o terceiro cereal mais semeado no mundo e, em virtude de sua produtividade, o responsável também pela segunda maior produção de grãos, contribuindo anualmente com 741,4 milhões de toneladas do grão para alimentação humana e animal (Faostat, 2014). Apesar desse volume de produção, a média mundial de produtividade é de 4.556 kg ha⁻¹, havendo espaço para aumento considerável de produção, sem necessidade de inserção de novas áreas.

O aumento da produtividade do arroz, tanto em escala regional quanto global, passa pela adoção de técnicas de manejo simples, como semeadura na época ideal, controle de plantas daninhas, manejo da lâmina de irrigação e melhoria da fertilidade do solo. Nesse sentido, a baixa fertilidade dos solos onde se cultiva arroz, aliada ao sistema de preparo desses solos, tem sido responsabilizada pela estagnação da produtividade do arroz não só no Brasil, mas nos principais países produtores do mundo (Olk et al., 2009). A migração para sistemas de preparo do solo que visem o plantio direto, bem como a adição de resíduos culturais através da utilização de espécies de cobertura, para a melhoria da qualidade do solo onde se cultiva o arroz irrigado, é uma tendência perseguida tanto no Brasil, quanto nos demais países produtores desse cereal (Kim et al., 2012).

Entre os principais atributos requeridos para as espécies de cobertura de solo no outono-inverno, destacam-se: elevados rendimentos de matéria seca e taxa de crescimento, resistência a baixas temperaturas, não se transformar em planta daninha, ser de fácil manejo, ter sistema radicular vigoroso e profundo, elevada capacidade cicladora de nutrientes e ser de fácil produção de sementes (Reddy et al., 2001). Dentre as opções disponíveis para serem utilizadas no sul do Brasil, cita-se a aveia, a serradela, o trigo e, com maior expressão, o azevém.

Porém, se por um lado a manutenção da palhada e/ou inserção de outras culturas no período da entressafra do arroz visa melhorias na qualidade do solo, há o risco do aumento da emissão dos gases de efeito estufa, visto que o aporte de resíduos vegetais previamente ao cultivo do arroz irrigado altera as condições de oxirredução do solo e pode ter efeitos distintos sobre as emissões dos gases de efeito estufa (Zschornack et al., 2011; Kim et al., 2013).

A adição de material orgânico, além de favorecer processos de redução no solo, também intensifica as emissões de CH₄ pela disponibilização de carbono lábil para microrganismos envolvidos no processo de metanogênese (Kim et al., 2012).

Além disso, a qualidade do material e a quantidade de matéria produzida irão influenciar de formas distintas o padrão de emissão desses gases. Ao comparar a utilização de ervilhaca e centeio, Kim et al., (2013) observaram um aumento de 61 a 122% nas emissões dos GEE, sendo muito superior na cultura do centeio, apesar de similar quantidade de massa fresca produzida. Já, Zschornack et al., (2011) citam que, na comparação entre serradela e azevém, a leguminosa pode aumentar as emissões de óxido nitroso durante o ciclo do arroz irrigado, dependendo de como é manejada.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto no potencial de aquecimento global quando são utilizadas espécies de cobertura antecedendo o cultivo de arroz irrigado, através da quantificação de CH₄ e N₂O emitidos do solo, e a influência dessas plantas sobre a produtividade do arroz irrigado em sucessão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra agrícola 2015/16 na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em área didático-experimental de terras baixas do Departamento de Fitotecnia, em Santa Maria, RS, Brasil. O solo onde o experimento foi conduzido é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico arênico, pertencente à Unidade de Mapeamento Vacacaí (EMBRAPA, 2013), com as seguintes características na camada de 0-20 cm: pH_{água}(1:1) = 4,6; fósforo (P) = 3,7 mg dm⁻³; potássio (K) = 0,14 cmolc dm⁻³ e matéria orgânica (MO) = 10,0 g kg⁻¹.

O experimento foi implantado na entressafra do cultivo do arroz irrigado, no dia 01 de maio de 2015, com a semeadura das espécies de cobertura. Para tal, a área que era proveniente de resteva de arroz irrigado foi preparada com gradagens sucessivas até a completa incorporação dos restos culturais, seguido de aplainamento do terreno. Os tratamentos foram compostos da semeadura de espécies de cobertura: aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum* L.), serradela (*Ornithopus sativus* Brot.) e trigo (*Triticum aestivum*). A aveia preta e o trigo foram semeados com densidade de 100 kg ha⁻¹, a serradela com 6 kg ha⁻¹ e o azevém com 25 kg ha⁻¹. O trigo foi semeado em linhas espaçadas de 0,17 m, por meio de uma semeadora de parcelas; as demais culturas foram semeadas a lanço. O tratamento testemunha foi representado pela área mantida em pousio, sendo dessecada toda vez que se constatava o início da presença de plantas espontâneas.

Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco repetições, onde cada parcela experimental apresentava 105 m² de área (7 m x 15

m). Para a adubação de base das espécies foi utilizado 200 kg ha^{-1} da fórmula 05-20-20 (N- P_2O_5 - K_2O), distribuídos a lanço no dia da semeadura. A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada em duas ocasiões, aos 30 e 60 dias após a emergência (DAE), utilizando como dose total 100 kg ha^{-1} de nitrogênio (N). Vinte e três dias antes da semeadura da cultura do arroz irrigado foi realizado a dessecação de todas as culturas de cobertura, através da aplicação de $1.800 \text{ g i.a ha}^{-1}$ do herbicida glifosato.

A cultura do arroz irrigado foi semeada no dia 30/09/2015, utilizando-se a cultivar IRGA 424RI, na densidade de 100 kg ha^{-1} , e adubação de base com 400 kg ha^{-1} da fórmula 04-17-27 (N- P_2O_5 - K_2O), em todas as parcelas do experimento. Quando as plantas de arroz se encontravam no estágio V4 (Counce et al., 2000) foi realizado a aplicação de 90 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, bem como a aplicação de herbicida pós-emergente, iniciando-se a irrigação imediatamente após as aplicações, no dia 07/11/2015. O restante do fertilizante nitrogenado foi dividido em mais duas aplicações durante o ciclo da cultura, nos estádios V6 e R0 (Counce et al., 2000), na dose de 30 kg ha^{-1} de N em cada aplicação, totalizando 166 kg ha^{-1} de N durante o ciclo do arroz irrigado. Quando as plantas de arroz se encontravam no estágio R7 procedeu-se a drenagem da área e, com 124 dias de ciclo, procedeu-se a operação de colheita.

A partir da dessecação das espécies de cobertura, antes de semear o arroz, teve início a quantificação de alguns gases de efeito estufa (GEE), CH_4 e N_2O . As avaliações foram realizadas com auxílio de um sistema composto por uma base e uma câmara, conforme método da câmara estática fechada (Mosier, 1989). A base em aço galvanizado e quadrada, $0,4 \text{ m}$ de lado, ficou permanentemente no campo, inserida no solo a $0,12 \text{ m}$ de profundidade, deixando exposta uma calha sobre ela para encaixe da câmara, de mesmo material, no momento das amostragens. Para as avaliações realizadas durante o período de cultivo do arroz foram utilizados extensores para adequar a altura da câmara às plantas de arroz. Durante esse período de avaliações as bases foram alocadas de modo que três linhas de semeadura do arroz passassem no interior de cada base. Cada câmara possuía um ventilador tipo “cooler” no seu interior, o qual foi conectado e ligado a uma bateria de 12 V durante 30 s para homogeneização da atmosfera interna imediatamente antes de cada coleta de ar.

Na parte superior da câmara existia uma válvula de três vias, pela qual foram coletadas as amostras de ar. As amostras de ar do interior das câmaras foram coletadas com seringas de polipropileno (marca BD), em quatro tempos após a colocação da câmara sobre a base: 0, 15, 30 e 45 minutos do início das avaliações, sendo esses tempos utilizados após a dessecação das culturas até o início da irrigação da cultura do arroz, quando então as coletas passaram a ser

realizadas nos tempos de 0, 8, 16 e 24 minutos, em função da dinâmica de emissão de CH₄, que passa a ser predominante após a irrigação. A determinação das concentrações de CH₄ e N₂O foi realizada por cromatografia gasosa (GC-2014, modelo Greenhouse, Shimadzu), equipado com um detector por captura de elétrons, ECD (Electron Capture Detector), e outro detector por ionização de chamas, FID (Flame Ionization Detector), para as análises de N₂O e CH₄, respectivamente.

Os fluxos dos gases foram calculados de acordo com a fórmula: $f = \Delta Q/\Delta t \times PV/RT \times M/A$; em que f é o fluxo de N₂O ou CH₄ (g ha⁻¹ por dia); $\Delta Q/\Delta t$ é a variação na concentração do gás (mol h⁻¹) na câmara, no momento da coleta; P é a pressão atmosférica (atm) no interior da câmara, a qual foi assumida como 1 atm; V é o volume da câmara (L); R é a constante dos gases ideais (0,08205 atm L mol⁻¹ K⁻¹); T é a temperatura dentro da câmara no momento da coleta (K); M é a massa molar do gás (μg mol⁻¹); A é a área da base da câmara (m²). As emissões acumuladas de CH₄ e de N₂O foram calculadas a partir da integração da área sob a curva estabelecida pela interpolação dos valores diários de emissão (Bayer et al., 2014).

Os dados meteorológicos foram obtidos da Estação Automática de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante 0,5 km do local do experimento e, estes, são apresentados na Figura 1.

Além das avaliações dos GEE foi realizada também a determinação da produtividade de massa seca das espécies de cobertura, da população inicial de plantas por m² de arroz irrigado, bem como o rendimento de grãos (kg ha⁻¹) da cultura do arroz. A massa seca das espécies de cobertura foi determinada no dia da dessecação das parcelas do experimento. Para tal, uma área de 1,2 m² de cada cultura foi retirada das parcelas com auxílio de uma tesoura, sendo posteriormente submetida à secagem em estufa de circulação forçada a 65°C, até obtenção de peso constante. Para a avaliação da população inicial de plantas de arroz foi realizado a contagem de um metro linear de uma linha semeada, a partir de duas amostragens em cada parcela. Por ocasião da colheita de grãos, foi realizada a colheita manual de duas áreas de 4,75 m², totalizando a colheita de 9,50 m² em cada parcela, quando encontravam-se com 22 % de umidade.

Com base na emissão acumulada de CH₄ e N₂O, e considerando o potencial de aquecimento global de cada gás em relação ao CO₂ – 25 vezes para o CH₄ e 300 vezes para o N₂O, num horizonte de 100 anos (Solomon et al., 2007) –, foram calculadas as emissões em quantidades de CO₂ equivalente (CO₂eq). A soma desses equivalentes foi denominada de Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp), calculado pela expressão: $PAGp = (CH_4 \times 25) + (N_2O \times 300)$, onde o PAGp é o potencial de aquecimento global parcial (kg CO₂eq ha⁻¹)

e CH₄ e N₂O são as emissões no período avaliado (kg ha⁻¹). Foi calculado também a relação entre o PAGp e a produtividade de grãos (PG – kg ha¹), conforme a expressão: $PAGpPG = PAGp/PG$.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade sendo, posteriormente, realizada a análise de variância pelo teste F e então, quando o mesmo foi significativo, procedeu-se o teste de médias via Teste Scott-Knott, a 5 % de probabilidade do erro. Para as datas de coletas dos gases foi realizada a análise por intervalo de confiança, a 5 % de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de massa seca das espécies de cobertura, no momento da dessecação, apresentou grande variação entre elas, sendo 1.438, 737, 660 e 30 kg ha⁻¹ para azevém, aveia, trigo e serradela, respectivamente (dados não apresentados). Esse resultado é reflexo direto das características de cada espécie, principalmente as ligadas à sensibilidade ao excesso hídrico, condição normal em solos de terras baixas. Essa quantidade de massa foi determinante para os resultados de emissão de CH₄ (Figura 2).

No período compreendido entre a dessecação das culturas, representado na figura 2 como “dia 01”, e duas semanas após a irrigação, as leituras da emissão de CH₄ foram nulas, em função da inexistência das condições ambientais necessárias para a ocorrência da emissão. Com o alagamento, a condição de anaerobiose foi satisfeita aos 13 dias após o início da irrigação, quando se registrou os primeiros picos de emissão de CH₄, os quais foram mais expressivos no azevém e na aveia, com fluxos médios de 2.770 e 2.290 g ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, enquanto que nas demais espécies ficou ao redor de 1.600 g ha⁻¹ dia⁻¹. Esse resultado é reflexo direto da maior quantidade de resíduos vegetais registrada no tratamento azevém e na aveia.

O aporte de resíduos vegetais em solos cultivados com arroz irrigado aumenta a produção e a emissão de CH₄ pois, além de estimular a atividade de microrganismos metanogênicos pela adição de carbono lábil, os resíduos diminuem o potencial redox do solo ao acelerar a redução de íons inorgânicos oxidados (NO₃⁻, Mn⁺⁴, Fe⁺³ e SO₄⁻), pois há um rápido consumo de oxigênio (O₂) durante a inundação da área (Dalal et al., 2008; Kim et al., 2012).

A partir da fase reprodutiva do arroz, representada por R0, as emissões de CH₄ foram potencializadas, principalmente nas parcelas semeadas sobre resteva de azevém, atingindo um fluxo médio de 11.129 g ha dia⁻¹, 47 % a mais do que a quantidade emitida pelo pousio (5.980

g ha dia⁻¹), o que demonstra a influência direta dos resíduos vegetais sobre as emissões desse gás. O processo de metanogênese é desencadeado quando praticamente todo o Fe⁺³ se encontra reduzido a Fe⁺² (Zschornack et al., 2011) e o CH₄ começa a ser produzido a partir da decomposição da matéria orgânica por bactérias metanogênicas sob condições extremamente reduzidas (condutividade elétrica abaixo de -200 mv).

O padrão de emissão de CH₄ registrado, além da condição de redução do solo, também está ligado ao estágio ao qual se encontram as plantas de arroz. Quando as plantas passam à fase reprodutiva há o máximo desenvolvimento dos aerênquimas, que podem transportar até 90 % do CH₄ produzido, sendo a principal via de transporte do CH₄ para a atmosfera (Moterle et al., 2013). Além disso, com o desenvolvimento das plantas há aumento na produção de exsudatos radiculares que servem de substrato para as bactérias metanogênicas produzirem o CH₄ (Su et al., 2016).

A partir do estágio de maior índice de área foliar (R4), as emissões de CH₄ começaram a diminuir em todos os tratamentos, coincidindo com a supressão da irrigação (a partir de 138 dias após a dessecação) e a total retirada da água do experimento para a operação de colheita (157 dias).

Diferentemente do comportamento do CH₄, N₂O é bastante dependente da qualidade do material (Figura 3). Após a dessecação (dia 01), as culturas do trigo e da aveia apresentaram os maiores picos de maior emissão de N₂O, sendo praticamente zero para serradela e azevém. Esse resultado está intimamente ligado à constituição do material vegetal. Segundo Kim et al. (2013), resíduos com menor relação C/N aumentam as emissões de N₂O, pois esta é ligada diretamente à composição bioquímica e resíduos vegetais, de forma que, quanto menor a relação C/N, mais rápida é a mineralização e a disponibilidade do N para processos de nitrificação e desnitrificação.

A dinâmica de decomposição da maioria dos resíduos culturais é muito rápida na fase inicial e depois ocorre de forma mais lenta e gradual. Ela resulta do fato da maioria dos microrganismos do solo possuir enzimas necessárias para metabolizar, inicialmente, os compostos orgânicos mais facilmente decomponíveis na busca de carbono e energia para suportar seu crescimento. Com isso, sobram os compostos de difícil decomposição, os quais são sucessivamente atacados por populações microbianas mais especializadas.

Porém, para que o carbono e a energia retirados do composto orgânico possam ser convertidos em tecido celular, os microrganismos necessitam nutrientes, principalmente N para a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e outros compostos celulares. Quando há disponibilidade de resíduos culturais com maior teor de N, como por exemplo, aqueles com

baixa relação C/N, as necessidades microbianas desse nutriente serão facilmente preenchidas e o N em excesso é liberado na forma mineral, caracterizando o processo de mineralização.

Do contrário, com resíduos pobres em N, com alta relação C/N, os microrganismos necessitarão buscar N adicional no solo para poder sintetizar compostos nitrogenados orgânicos a partir do carbono e da energia extraídos dos resíduos culturais. Portanto, os microrganismos assimilam o N mineral do solo nas formas de nitrato (NO_3^-) e, principalmente, de amônio (NH_4^+), para incorporá-los a compostos nitrogenados orgânicos na célula, acarretando a imobilização do N do solo.

Diante do conhecimento desses processos, pode-se caracterizar os resultados obtidos nos primeiros dias de mensuração do N_2O . Segundo Redin (2014), o trigo e a aveia apresentam uma relação C/N inferior à do azevém, o que propiciou uma decomposição mais acelerada nas duas primeiras semanas de avaliação, aumentando a disponibilidade de N para o solo, acarretando em um aumento das concentrações de NO_3^- e NH_4^+ . A associação dessa disponibilidade com as elevadas precipitações no período (o que proporcionou o preenchimento dos espaços porosos do solo e a consequente condição de anaerobiose), culminou com a transformação dessas formas de N à N_2O , quantificado no estudo, situação essa relatada por Souza et al. (2013).

O contrário ocorreu no tratamento com azevém. Resíduos com elevada relação C/N intensificam a condição de anaerobiose, pois as bactérias consomem rapidamente o O_2 do solo em função do processo de decomposição. Em função disso, o N_2O é mais rapidamente reduzido a N_2 no papel de acceptor final de elétrons (Kim et al., 2012).

Apesar de ser a única leguminosa no estudo, a cultura da serradela não apresentou nenhuma alteração nas emissões de N_2O , provavelmente pela quantidade bastante baixa de massa seca (30 kg ha^{-1}) e pela rápida decomposição que apresentou, onde o intervalo entre coletas (7 dias) não foi suficiente para quantificar alterações. Leguminosas e gramíneas não apresentam diferenças quanto a emissão de CH_4 , desde que tenham a mesma quantidade de massa seca inicial, mas a serradela teria maior influência sobre a emissão de N_2O em função da sua composição e contribuição da fixação do N (Zschornack et al., 2011). Cessadas as condições ambientais favoráveis a emissão de N_2O , não foi registrado picos de emissão desse gás até o início da irrigação do experimento, em todos os tratamentos.

Após o início da irrigação, dois picos de emissão de N_2O foram registrados, os quais coincidiram com a segunda (2^{a} N) e a terceira (3^{a} N) adubações nitrogenadas de cobertura. O primeiro pico foi registrado apenas nos tratamentos pousio e aveia. Já no segundo pico, todos os tratamentos registraram aumentos consideráveis de emissão de N_2O , exceto o tratamento

pousio, que tendeu a zero. Quando ocorre a aplicação de fertilizantes nitrogenados com fontes amoniacais, há uma tendência do NH_4^+ ser absorvido pelas plantas. Porém, em virtude da proximidade entre a superfície do solo e a rizosfera (ambas oxidadas) e a região anaeróbica há maior facilidade de perdas pela nitrificação-desnitrificação (Holzschuh et al., 2011) passando o NH_4^+ a NO_3^- , que por sua vez atua como acceptor final de elétrons. Os maiores picos de emissão de N_2O durante o ciclo do arroz irrigado estão associados a maior presença de NO_3^- na solução do solo (Zhao et al., 2011) e à possibilidade de que as plantas de arroz possuam um mecanismo na rizosfera que controla a proporção de absorção de NH_4^+ e NO_3^- , a fim de evitar toxidez por NH_4^+ . Porém, se a absorção pelas raízes for insuficiente, ou seja, se houver NO_3^- disponível para os microrganismos desnitrificadores, haverá perdas desse N através do N_2O ou N_2 em função do ambiente estar anóxico.

Após o segundo pico de emissão no estágio R0 do arroz, não houveram mais emissões consideráveis de N_2O , mesmo após a completa drenagem da área. Fluxos negativos de N_2O foram verificados em muitas coletas, tanto no solo seco quanto na área sob alagamento contínuo, evidenciando a existência de absorção desse gás pelo sistema solo-água, condição essa já demonstrada em trabalhos anteriores (Zschornack et al., 2011; Souza et al., 2013). Em condições anóxicas e de limitado teor de nitrato no solo, parte da microbiota pode utilizar o nitrito e o N_2O como aceptores de elétrons, o que resulta na produção e na emissão de N_2 em vez de N_2O (Reddy & Delaune, 2008).

Nos parâmetros relativos ao arroz irrigado, a produtividade de grãos foi influenciada diretamente pelo tipo de cobertura adotado no outono-inverno (Figura 4a). Isso é resultado da interferência das espécies de cobertura sobre o estabelecimento inicial do arroz (figura 4b), o qual foi prejudicado naqueles tratamentos com semeaduras a lanço (azevém, aveia e serradela), que apresentavam maior cobertura vegetal no momento da semeadura. Além disso, a quantidade de material vegetal acentuou as diferenças entre os tratamentos, visto que no tratamento com azevém foi observada a maior diminuição da população de plantas, seguido da aveia, resultado esse que influenciou diretamente a produtividade de grãos do arroz. Essa influência negativa do azevém sobre o estabelecimento inicial e a produtividade do arroz já foi relatado por Menezes et al. (2001) e Ferreira et al. (2015), principalmente quando a dessecação ocorre muito próxima à semeadura, caso do presente trabalho. A amplitude de redução na produtividade variou de 11 a 30 % nos respectivos trabalhos, enquanto que no presente trabalho ficou em torno de 22 %.

Os acúmulos de CH_4 e N_2O durante a safra são apresentados na Figura 5, juntamente com o potencial de aquecimento global e potencial de aquecimento por unidade de

rendimento. As condições que favorecem a emissão de CH_4 e N_2O são contrárias, isto é, quando favorecem a emissão de CH_4 , diminuem ou anulam a emissão de N_2O . No presente trabalho, a emissão acumulada de CH_4 foi maior na cultura do azevém, enquanto que as emissões de N_2O foram mais expressivas na cultura da aveia. A metanogênese é diretamente ligada a maior quantidade de material vegetal que permanece na área (Kim et al., 2012, 2013; Zschornack et al., 2011). Isso se deve ao fato de que o material vegetal é degradado via fermentação após o ambiente ser submetido à anaerobiose, em que há inexistência do O_2 para atuar como acceptor final de elétrons, passando o CO_2 a exercer esse papel, o que acaba por reduzi-lo a CH_4 . Como o azevém apresentava a maior quantidade de massa seca na área, potencializou a emissão de CH_4 .

Para o N_2O , o que prevaleceu foi a qualidade do resíduo vegetal, isto é, em função da relação C/N, o que provavelmente acelerou a decomposição do material vegetal e a disponibilidade de N no solo. A associação dessa qualidade com condições ambientais favoráveis, como o alagamento do solo, estimulou sua emissão.

Deve-se atentar para o tratamento com aveia, que foi o segundo tratamento com maior emissão, tanto em CH_4 e o primeiro na emissão N_2O , em função da quantidade de massa produzida e pela qualidade do seu resíduo vegetal. Isso pode significar que, naquelas áreas com melhor condição de drenagem, onde há um estabelecimento satisfatório da cultura da aveia, essa pode demonstrar um maior potencial de emissão, inclusive de CH_4 .

O cultivo de espécies de cobertura aumentou significativamente o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) ($\text{CH}_4+\text{N}_2\text{O}$), calculado em quantidades de CO_2 equivalente, o qual foi mais influenciado pela emissão de CH_4 (figura 5c), em função do ambiente anaeróbico em boa parte das avaliações. A contribuição do CH_4 para o PAGp chegou a 97,3 % no tratamento azevém, resultado esse semelhante a outros trabalhos que utilizaram sistemas tradicionais de cultivo de arroz irrigado no RS, cuja contribuição desse gás para o PAGp foi superior a 90 % (Zschornack et al., 2011; Souza, 2013; Bayer et al., 2014, 2015). Nesse sentido, quando se trata de cobertura de outono-inverno, as estratégias de mitigação devem focar principalmente no CH_4 , que foi responsável pela maior porção do PAGp.

Para o cálculo do PAG por unidade de rendimento (PAGpPG) foi considerado o resultado da produtividade, onde a influência do azevém ficou ainda mais evidente (Figura 5d). Isso porque, além de aumentar consideravelmente as emissões de CH_4 em relação aos demais tratamentos, diminuiu a produtividade do arroz. Isso implicou em um PAGpPG 2,4

vezes maior que no tratamento pousio, evidenciando o seu efeito negativo sobre a emissão dos gases de efeito estufa.

Quando se utiliza o PAGp por unidade de rendimento como parâmetro para as discussões, busca-se identificar o manejo que apesar de emitir quantidades consideráveis dos GEE, implica em maior produtividade e pode ser interpretado como forma de mitigação do mesmo (Kim et al., 2013). Por exemplo, há diferença entre as cultivares de arroz relativas à emissão de CH₄, sendo as com porte baixo e ciclo precoce, as cultivares com menor emissão dos GEE e seu potencial mitigatório é acentuado pela maior produtividade de grãos que apresenta, o que acaba diminuindo o PAGpPG (Silva et al., 2014). A situação contrária foi observada no presente trabalho, onde o azevém aumentou a emissão do principal gás que compõe o PAGp (CH₄) e diminuiu a produtividade do arroz irrigado.

CONCLUSÃO

1. A presença de espécies de cobertura com alta produção de massa seca antecedendo a cultura do arroz irrigado favorece a emissão de gases do efeito estufa, principalmente o gás metano;
2. Aveia, azevém e serradela interferem negativamente no estabelecimento inicial da cultura do arroz, o que acaba diminuindo a produtividade de grãos de arroz e acentuando o potencial de aquecimento global parcial desse tipo de manejo.
3. Quando da utilização de espécies de cobertura, durante a entressafra do arroz irrigado, essa prática agrícola deverá vir associada a manejos que visem à redução da emissão dos gases do efeito estufa durante o cultivo do arroz irrigado, como irrigações intermitentes.

REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; FLECK, D.G.; RIZZARDI, M.A; BALBINOT JR, A.A. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, p.1073-1081, 2002. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000600026>.

BAYER, C.; COSTA, F. de S.; PEDROSO, G.M.; ZSCHORNACK, T.; CAMARGO, E.S.; LIMA, M.A. de; FRIGHETO, R.T.S.; GOMES, J.; MARCOLIN, E.; MACEDO, V.R.M. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. **Field Crops Research**, v.162, p.60-69, 2014. doi: 10.1016/j.fcr.2014.03.015.

BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; PEDROSO, G.M.; ROSA, C.M.da; CAMARGO, E.S.; BOENI, M.; MARCOLIN, E.; REIS, C.E.S.dos; SANTOS, D.C. dos. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, v.145, p.118-125, 2015. doi: 10.1016/j.still.2014.09.001.

COUNCE, P.A.; KEISLING, T.C.; MITCHELL, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, v.40, p.436-443, 2000. doi: 10.2135/cropsci2

DALAL, R.C.; ALLEN, D.E.; LIVESLEY, S.J.; RICHARDS, G. Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: a review. **Plant and Soil**, v.309, p.43-76, 2008. doi: 10.1007/s11104-007-9446-7.000.402436x.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

FERREIRA, R.B; MARCHESAN, E.; COELHO, L.L; OLIVEIRA, M. L.; TELÓ, FILHO, A.C.; SARTORI, G.M.S. Manejo do azevém no estabelecimento inicial de plantas, na ciclagem de nutrientes e no rendimento de grãos do arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.45, n.12, p.2143-2149, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131473>. Acesso em: 20 jul 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT: Rice paddy, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 25 jan 2017.

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

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ - IRGA. Safras: Série histórica de Produção x Produtividade: BR x RS. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>. Acesso em: 01 fev 2017.

KIM, S.Y.; GUTIERREZ, J.; KIM, P.J. Considering winter cover crop selection as green manure to control methane emission during rice cultivation on paddy soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.161, p.130-136, 2012. DOI: 10.1016/j.agee.2012.07.026.

KIM, S.Y.; LEE, C.H.; GUTIERREZ, J.; KIM, P.J. Contribution of winter cover crop amendments on global warming potential in rice paddy soil during cultivation. **Plant and Soil**, v.366, p.273-286, 2013. DOI: 10.1007/s11104-012-1403-4.

MENEZES, V.G.; MARIOT, C.H.P; LOPES, M.C.B.; SILVA, P.R.F.; TEICHMANN, L.L. Semeadura direta de genótipos de arroz irrigado em sucessão a espécies de cobertura de inverno. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1107-1115, 2001.

MOSIER, A, R. Chamber and isotopic techniques. In: ANDREA, M.O; SCHIMEL, D.S (eds.). Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Report f the Dahlem Workshop. John Wiley and Sons, Berlin, Germany, p. 175-187, 1989.

MOTERLE, D.F.; SILVA, L.S. da; MORO, V.J.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T.; AVILA, L.A. de; BUNDT, A. da C. Methane efflux in rice paddy field under different irrigation managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.431-437, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000200014.

OLK, D.C.; ANDERS, M.M.; FILLEY, T.R.; ISBELL, C. Crop Nitrogen Uptake and Soil Phenols Accumulation under Continuous Rice Cropping in Arkansas. **Soil Science Society of America**, [S.l.], v. 73, n.3, p. 952-960, 2009.

REDIN, M. Produção de biomassa, composição química e decomposição de resíduos culturais da parte aérea e resíduos no solo. 2014. 115 f. **Tese** (Doutorado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

SOLOMON, D.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER H. L. **Climate Change 2007: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University, 2007. 996p. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

SOUZA, E.L. Emissão de óxido nitroso e metano em área de cultivo com arroz irrigado com diferentes manejos da palha pós-colheita. 2013. 139 f. **Tese** (Doutorado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SU, J; HU C.; YAN, X; JIN J.;CHEN, Z.; GUAN Q.; WANG Y.; ZHONG, D.; JANSSON C.; WANG F. Expression of barley SUSIBA2 transcription factor yields high-starch lowmethane rice. **Nature**, v.523, p. 602–606, 2015.

ZHANG, W.; YU Y; HUANG Y; LI, Y; WANG P. Modeling methane emissions from irrigated rice cultivation in China from 1960 to 2050. **Global Change Biology**, v.17, p. 3511–3523, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02495.x

ZHAO, X.; MIN, J.; WANG, S.; SHI, W.; XING G. Further understanding of nitrous oxide emission from paddy fields under rice/wheat rotation in south China. **Journal of Geophysical Research**, v.116, 2011. doi:10.1029/2010JG001528.

ZSCHORNACK, T.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; VIEIRA, F.C.B.; ANGHINONI, I. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from flood-irrigated rice by no incorporation of winter crop residues into the soil. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.35, p. 623-634, 2011.

ZSCHORNACK, T.; ROSA, C.M; CAMARGO, E.S.; REIS, C.E.S; SCHOENFELD, R.; BAYER, C. Impacto de espécies de cobertura e da drenagem do solo nas emissões de CH₄ e N₂O sob cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1163-1171, set. 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900016.

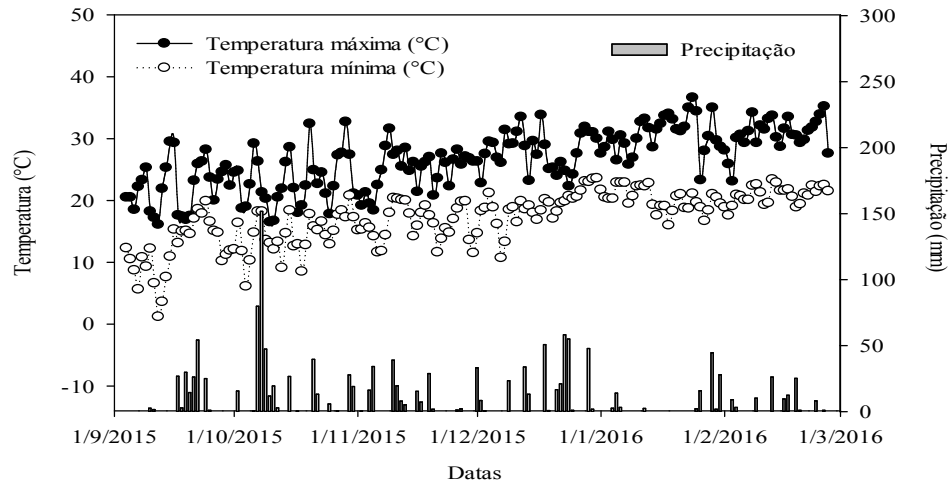


Figura 1. Temperaturas máxima e mínima do ar e precipitação pluviométrica ocorrida durante a execução do experimento. Santa Maria, 2018.

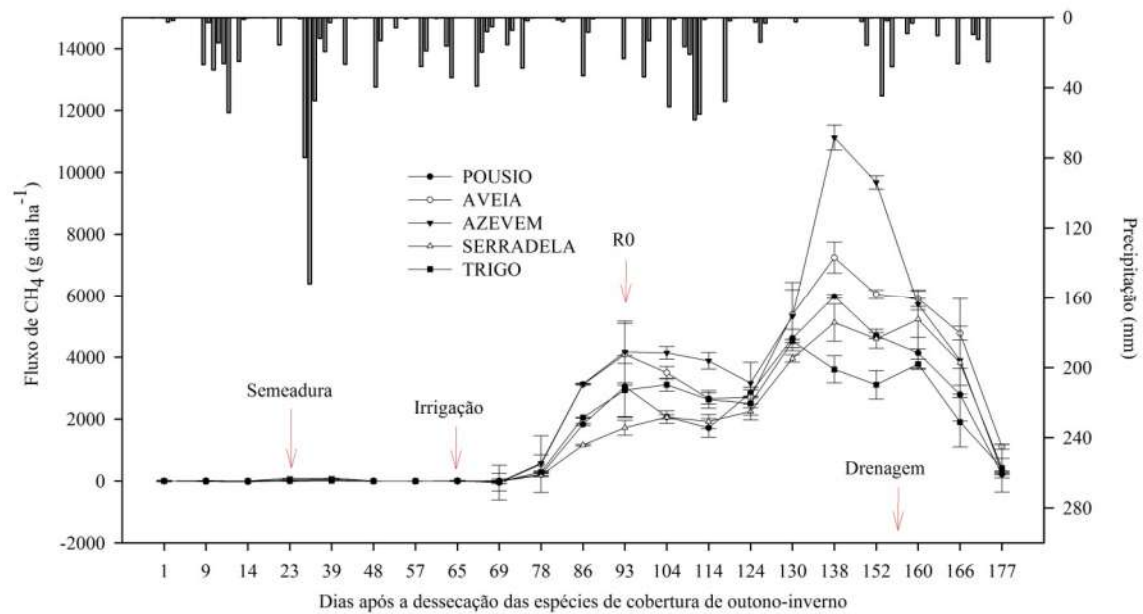


Figura 2. Emissão de metano (CH_4) no período entre a dessecação das espécies de outono-inverno e a colheita do arroz. Santa Maria, 2018. Barras verticais representam o intervalo de confiança, a 5% de probabilidade.

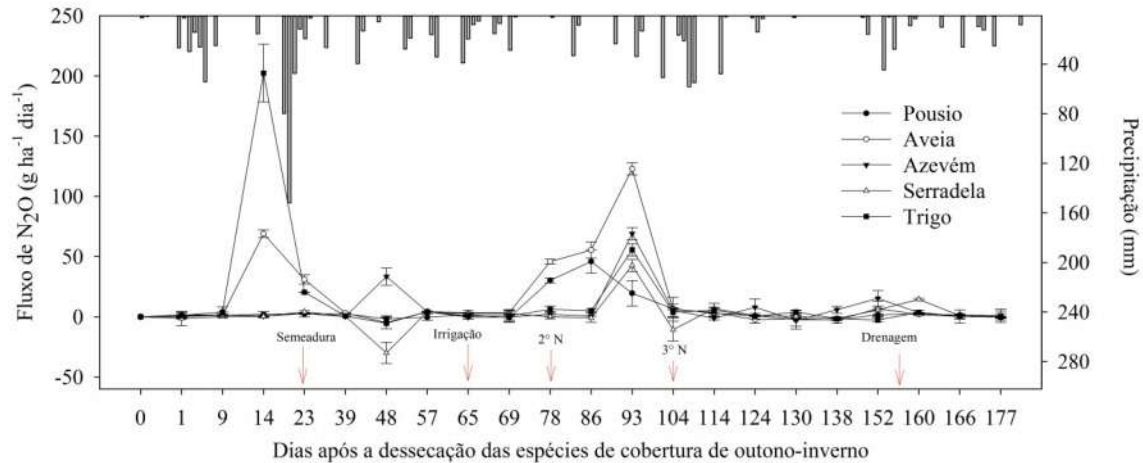


Figura 3. Emissão de óxido nitroso (N_2O) no período entre a dessecação das espécies de outono-inverno e a colheita do arroz. 2^aN e 3^aN – segunda e terceira adubação nitrogenada em cobertura no arroz. Santa Maria, 2018. Barras verticais representam o intervalo de confiança, a 5 % de probabilidade.

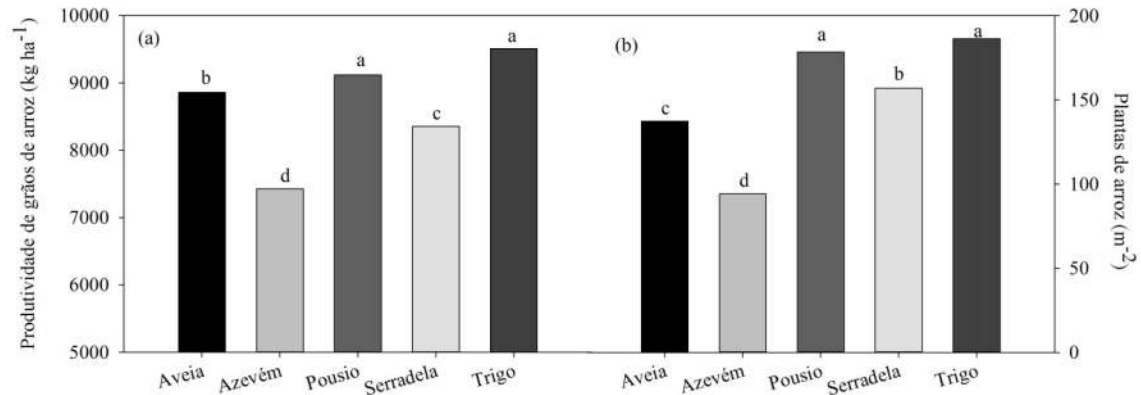


Figura 4. Produtividade de grãos (a) e população final de plantas de arroz (b) em função da palha de espécies de outono-inverno. Santa Maria, 2018. Letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

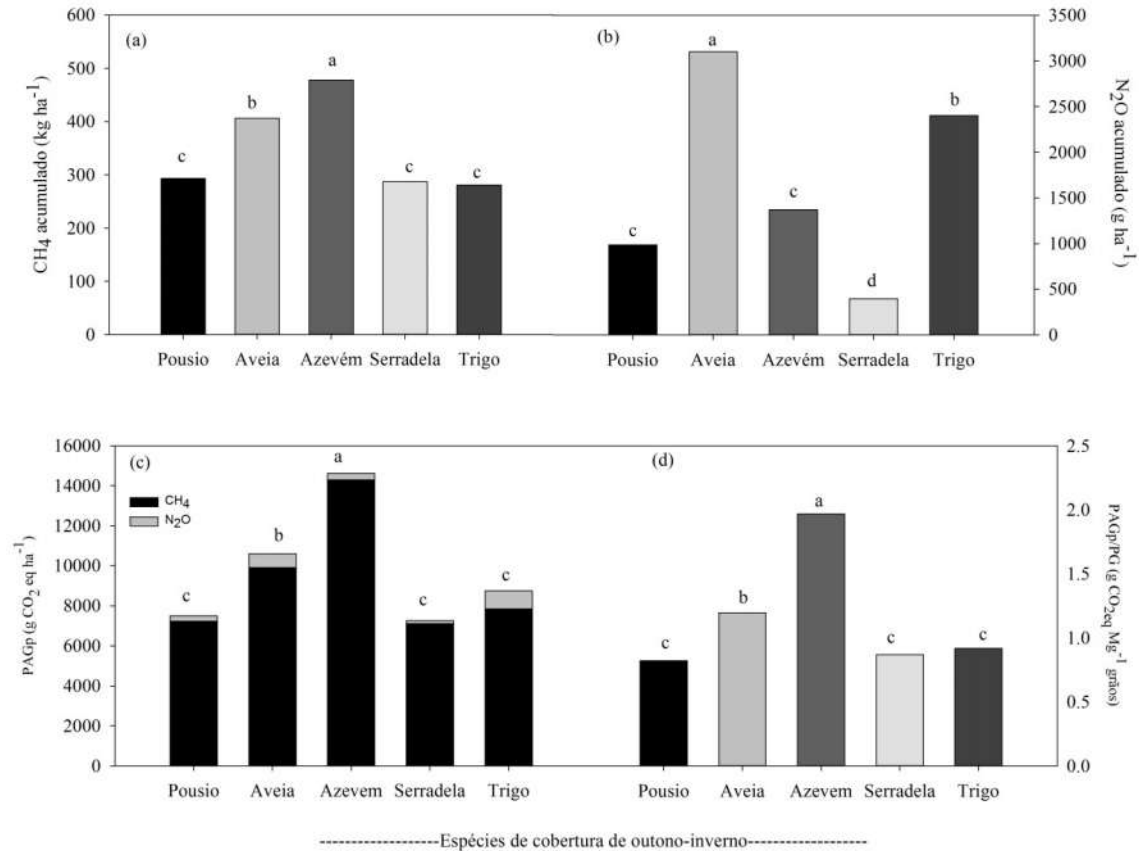


Figura 5. Emissão acumulada de metano (CH_4) (a) e óxido nitroso (N_2O) (b), potencial de aquecimento global parcial (PAGp) (c), e PAGp/PG (d). Santa Maria, 2018. Letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estabelecimento de espécies de cobertura, principalmente azevém e aveia, é viável em terras baixas, desde que medidas relacionadas à drenagem sejam atendidas. No entanto, a presença de espécies de cobertura pode acarretar problemas relacionados ao estabelecimento inicial da cultura do arroz irrigado, o que poderá se refletir em menor produtividade de grãos.

A influência sobre o estabelecimento parece estar ligada mais a aspectos de operacionalidade do que propriamente a algum efeito ligado à quantidade de palha ou a efeitos alelopáticos.

De todas as culturas testadas, o trigo foi à única que não influenciou sobre o estabelecimento do arroz, sendo também a única cultura que foi semeada em linha. A semeadura em linha das demais culturas poderia ser uma alternativa para diminuir os efeitos da palha no momento da semeadura, caso comprovado essa causa.

É possível que, superada as dificuldades de implantação do arroz sobre a palhada de espécies de coberturas, os benefícios da utilização dessas culturas sejam mais aparentes, visto que a liberação de nutrientes provenientes da palhada pode contribuir para a produtividade do arroz e a construção da fertilidade do solo, ao longo dos anos.

No entanto, a utilização das espécies de cobertura com maior quantidade de palha, antecedendo o cultivo de arroz deverá vir associada a práticas de manejo que visem à redução das emissões dos gases do efeito estufa, visto que a entrada desse material próximo ao alagamento do solo favorecerá o aumento das emissões desses gases.

O manejo pós-colheita da palha do arroz pode ser utilizado como forma de mitigação da emissão dos gases do efeito estufa. A manutenção da palha sobre o solo é mais benéfica do que sua incorporação da mesma com o ambiente alagado. Porém, a associação desses manejos com a semeadura de uma espécie de cobertura com alta produtividade de massa seca, como o azevém, poderá potencializar a emissão de gases, principalmente o metano, durante o ciclo do arroz.

Nesse sentido, um sistema de cultivo de plantio direto, não compromete a produtividade do arroz, comparado aos sistemas convencionais, e diminui o potencial de aquecimento global da lavoura de arroz, quando se utiliza espécies de cobertura com alta produtividade de massa seca, a semeadura direta é uma estratégia de mitigação do potencial de aquecimento global.

ANEXOS

ANEXO A

Normas para publicação do capítulo I na Revista Brasileira da Ciência do Solo

<http://www.scielo.br/revistas/rbcs/iinstruc.htm>

**INSTRUCTIONS TO AUTHORS**

- [Scope and editorial policy](#)
- [Manuscript submission](#)
- [Review process](#)
- [After acceptance](#)
- [Publication fees](#)
- [Additional information](#)

Scope and editorial policy**Language**

Before submitting your manuscript to the RBCS, we recommended a professional edition of your paper, particularly if English is not your native language. This is not mandatory but may ensure that the scientific content is fully understood by the editors and reviewers. Even after approval, the editors/reviewers may request, if necessary, a text revision by one of the specialists indicated herein. Manuscripts with inappropriate English will have its review process interrupted/rejected by the Editor or reviewer.

Exclusivity and originality

Manuscripts submitted or published, even partially, in another journal are not accepted. The exclusivity must be declared in the cover letter. Only manuscripts whose content has been published in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis/dissertation/monography are accepted. Nonconformities of the manuscript regarding exclusivity and originality will be the sole responsibility of the corresponding author.

Conflict of interest

In the cover letter, declare absence (or declare if any) of conflict of interest associated with financial and personal support or of any other nature which has influenced the manuscript content.

Authors

All authors must have an Open Researcher and Contributor Identifier (ORCID ID - <https://orcid.org/register>), which will be required during the submission to ScholarOne™. The corresponding author must declare in the cover letter that all authors are aware of and approved the manuscript submission. The manifestation of unawareness or disagreement with the submission by anyone of the authors will result in the interruption of the manuscript. It is not allowed to change the corresponding author. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made before the manuscript is accepted. The contribution of each author to the proposal, implementation, data analysis, and writing of the manuscript must also be declared in the title page.

ANEXO B

Normas para publicação do capítulo II na Revista Field Crop Research

<https://www.elsevier.com/journals/field-crops-research/0378-4290?generatepdf=true>



FIELD CROPS RESEARCH

An International Journal

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

• Description	p.1
• Audience	p.2
• Impact Factor	p.2
• Abstracting and Indexing	p.2
• Editorial Board	p.2
• Guide for Authors	p.6



ISSN: 0378-4290

DESCRIPTION

Aims and Scope of *Field Crops Research*

Field Crops Research is an **international** journal publishing **scientific articles** on:

✓ **experimental** and **modelling research** at **field**, **farm** and **landscape** levels on **temperate** and **tropical crops** and **cropping systems**, with a focus on **crop ecology** and **physiology**, **agronomy**, and **plant genetics** and **breeding**.

✓ Articles on plant genetics and breeding need to be integrated with crop ecology and physiology, and/or agronomy.

✓ An economic analysis may be included if appropriate.

Papers must demonstrate **new scientific insight**, **original technologies** or **novel methods** that have general application and relevance to field crops.

× *Research findings of a purely corroborative nature, descriptive or of only local significance will not be considered.*

The journal's focus is **major field crops for food and feed**. This focus includes **species used for cultivated pastures**, but *excludes natural grasslands*. **Other species**, including important biofuel crops, could be considered if they contribute to the basic understanding of processes related to development, growth and yield of field crops.

ANEXO C

Normas para publicação do capítulo III na Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira

<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/about/submissions#onlineSubmissions>



CAPA SOBRE ACESSO CADASTRO PESQUISA ATUAL ANTERIORES NOTÍCIAS VIDEO INSTITUCIONAL

Capa > Sobre a revista > **Submissões**

Submissões

- [Submissões Online](#)
- [Diretrizes para Autores](#)
- [Política de Privacidade](#)

Submissões Online

Já possui um login/senha de acesso à revista Pesquisa Agropecuária Brasileira?
[ACESSO](#)

Não tem login/senha?
[ACESSE A PAGINA DE CADASTRO](#)

O cadastro no sistema e posterior acesso, por meio de login e senha, são obrigatórios para a submissão de trabalhos, bem como para acompanhar o processo editorial em curso.

Diretrizes para Autores

Escopo e política editorial

A revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB) é uma publicação mensal da Embrapa, que edita e publica trabalhos técnico-científicos originais, em inglês, resultantes de pesquisas de interesse agropecuário. A principal forma de contribuição é o Artigo, mas a PAB também publica Notas Científicas e Revisões a convite do Editor.

As submissões de artigos científicos, notas científicas e revisões (a convite do editor) **devem ser encaminhadas via eletrônica e em inglês**, a partir do dia primeiro de março de 2018.

Análise dos artigos

A Comissão Editorial faz a análise inicial dos trabalhos antes de submetê-los à assessoria científica. Nessa análise, consideram-se aspectos como escopo, apresentação do artigo segundo as normas da revista, formulação do objetivo de forma clara, clareza da redação, fundamentação teórica, atualização da revisão da literatura, coerência e precisão da metodologia, resultados com contribuição significativa, discussão dos resultados observados em relação aos descritos na literatura, qualidade das tabelas e figuras, originalidade e consistência das conclusões. Após a aplicação desses critérios, os trabalhos submetidos poderão, então, seguir para a avaliação dos pares, se em concordância com todos os itens considerados, ou serem rejeitados e devolvidos aos autores.

A PAB não aceita ressubmissão de artigos rejeitados na seleção inicial ou após a avaliação por revisores.