

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL**  
**PROGRAMA DE PÓSGRADUAÇÃO EM MANEJO E CONSERVAÇÃO DO**  
**SOLO E DA ÁGUA**



**Dissertação**

**Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de rotação de culturas  
em um Planossolo do Rio Grande do Sul**

**Anderson Dias Silveira**

**Pelotas, 2018.**

**Anderson Dias Silveira**

**Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de rotação de culturas  
em um Planossolo do Rio Grande do Sul**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Professor Dr. Rogério Oliveira de Sousa  
Co-orientador: Pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Walkyria Bueno Scivittaro

Pelotas, 2018.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

S587e Silveira, Anderson Dias

Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de rotação de culturas em um Planossolo do Rio Grande do Sul / Anderson Dias Silveira ; Rogério Oliveira de Sousa, orientador ; Walkyria Bueno Scivittaro, coorientadora. — Pelotas, 2018.

82 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2018.

1. Gases de efeito estufa. 2. Rotação de culturas. 3. Soja. 4. Arroz irrigado. 5. Sorgo. I. Sousa, Rogério Oliveira de, orient. II. Scivittaro, Walkyria Bueno, coorient. III. Título.

CDD : 631.4

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Anderson Dias Silveira

Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de rotação de culturas em  
um Planossolo do Rio Grande do Sul

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 30/08/2018

Banca examinadora:

  
Prof. Dr. Rogério Oliveira de Sousa (Orientador)  
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

  
Dr. Gerson Lübke Buss  
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

  
Dr. Giovan Theisen  
Doutor em Agronomia pela Wageningen University & Research

Dedico este trabalho a minha família,  
especialmente a meus pais Jadir Madruga  
Silveira e Marisa Helena de Leon Dias.

## Agradecimentos

À força maior do universo, capaz de nos proporcionar saúde e sabedoria durante a busca de conhecimento e desenvolvimento pessoal e social.

A todos meus familiares, especialmente aos meus pais Jadir Madruga Silveira e Marisa Helena de Leon Dias, por terem me proporcionado educação, afeto e instrução ao longo da vida. Estendo muito minha gratidão também aos meus irmãos Luiz Paulo Dias Teixeira e Jeferson Dias Silveira, por todas as demonstrações de apoio e troca de experiências de vida.

Ao meu primo Elias Gabriel, pelos momentos de descontração escutando música e “mateando”, desligando-me um pouco da preocupação com as atividades do dia seguinte.

À minha vó Romilda e minha tia Suzete, por terem sido guerreiras na manutenção da união familiar, sempre com sorriso no rosto.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Oliveira de Sousa e minha co-orientadora Dr<sup>a</sup>. Walkyria Bueno Scivittaro, por todos os ensinamentos durante o longo período que pude conviver com ambos.

Aos funcionários da Embrapa Clima Temperado, Adão, Santo Denoir, Paulo, Elizabeth, Cristina e José Taroco pela amizade e conhecimento transmitido a mim; e também à Marla Farias pelo apoio, conselhos e tranquilidade compartilhada.

A todos os colegas de Pós-graduação, pela amizade e compartilhamento de conhecimentos durante o decorrer das disciplinas. Também a todos coletas que me ajudaram durante a condução do experimento, Ingrid, Cristiano, Victor, Eltieres, Camila, especialmente à Thaís Antolini Veçozzi, que não temeu tempo ruim durante minhas coletas de campo e estava sempre disposta a ajudar.

Aos amigos José Maria Barbat Parfitt e Adilson Härter pela ajuda nas análises estatísticas.

Aos estagiários do Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Renata, Lilian, Thaís Murias, Marcos, Lorena, Estefânia, Andressa e Giovana pela amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos os demais, que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

## Resumo

SILVEIRA, Anderson Dias. **Emissões de metano e óxido nitroso em sistemas de rotação de culturas em um Planossolo do Rio Grande do Sul**. 2018. 80f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Esforços globais buscam reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o óxido nitroso ( $N_2O$ ) e metano ( $CH_4$ ) do solo, favorecidos pela adição de fertilizantes nitrogenados e inundação do solo, respectivamente. Entre os sistemas de cultivo adotados no Rio Grande do Sul para o arroz irrigado estão o sistema convencional e o plantio direto, às vezes associados à rotação de culturas. Assim, o presente trabalho buscou avaliar as emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  e seus respectivos potenciais de aquecimento global parcial (PAGp) em sistemas de rotação de culturas e preparo do solo em um Planossolo Háplico. Os tratamentos incluíram as combinações dos fatores sistema de cultivo [convencional (SC) e plantio direto (PD)] e rotação de culturas de verão (arroz-arroz-arroz-arroz; soja-soja-soja-arroz; sorgo-sorgo-sorgo-arroz e soja-sorgo-soja-arroz). O sistema adotado para a coleta de gases de efeito estufa foi do tipo câmara estática fechada. Foram avaliados os fluxos, emissão total, PAGp de  $N_2O$  e  $CH_4$  durante a entressafra 2016 e safra 2016/17, assim como o PAGp em relação a produtividade das culturas. As emissões totais de  $N_2O$  e  $CH_4$  foram baixas na entressafra, não diferindo entre SC e PD, mas foram maiores no tratamento arroz-arroz-arroz-arroz. Na safra, houve maior emissão de  $N_2O$  no cultivo de arroz irrigado sob SC em relação ao PD; enquanto nos cultivos de sorgo e soja ocorreu o inverso. A emissão de  $CH_4$  na safra foi maior no arroz irrigado sob SC em relação ao PD; e não houve diferença estatística entre os sistemas de cultivo para a emissão de  $CH_4$  nas culturas de sequeiro. O PAGp foi maior no sistema arroz-arroz-arroz-arroz em ambos sistemas de cultivo durante a entressafra e safra em relação as demais rotações de culturas. Durante a entressafra, o sistema arroz-arroz-arroz-arroz apresentou maior PAGp por quilograma de matéria seca produzida nos dois sistemas de cultivo; ocorrendo o mesmo na safra. Os resultados permitiram as seguintes conclusões: A inserção de cultivos de sequeiro em rotação com o arroz irrigado em Planossolo apresenta potencial mitigador de emissões de  $CH_4$  nos períodos de safra e de entressafra, bem como do PAGp. No sistema plantio direto, o cultivo de sorgo promove maiores emissões de  $N_2O$ , em comparação ao arroz irrigado. No sistema convencional, as emissões de  $N_2O$  do cultivo de arroz irrigado superam as da soja e do sorgo forrageiro, produzido em sucessão à soja. Na entressafra, as emissões de GEE de sistemas de rotação de culturas são semelhantes nos sistema de preparo convencional e plantio direto. Durante a safra, porém, apenas as emissões do cultivo de arroz irrigado foram menores sob plantio direto, ocorrendo o contrário para os cultivos de sequeiro. O período da safra de primavera/verão responde pela maior parte das emissões de GEE e do PAGp de sistemas de rotação de culturas em Planossolo, correspondendo a 93% e 82% do total anual, para o arroz irrigado e os cultivos de sequeiro, respectivamente.

**Palavras-chave:** gases de efeito estufa; rotação de culturas; soja; arroz irrigado, sorgo

## Abstract

SILVEIRA, Anderson Dias. **Methane and nitrous oxide emissions in Lowlandcrop rotation systems in Planossolo of Rio Grande do Sul.** 2018. 80f. Dissertation (Master degree) – Graduate Program of Soil and Water Management and Conservation, College of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2018

Global efforts seek to reduce greenhouse gases (GHG) emissions, such as nitrous oxide ( $N_2O$ ) and methane ( $CH_4$ ) from soil, which are favored by the addition of nitrogen fertilizers and soil flooding, respectively. Among the cropping systems adopted in Rio Grande do Sul for continuous flooding rice are the conventional tillage and no-tillage, which sometimes are established with crops rotation. Thus, the present study sought to evaluate  $CH_4$  and  $N_2O$  emissions and their respective partial global warming potential (pGWP) under different crop rotation systems and soil preparation from a soil classified as Planossolo Háplico. The treatments included combinations of cropping systems factors [conventional tillage (CT) and no-tillage (NT)] and rotation of summer crops (rice-rice-rice-rice; soybean-soybean-soybean-rice; sorghum-sorghum-sorghum-rice and soybean-sorghum-soybean-rice). The system adopted to collect greenhouse gases was the closed static chamber type. Methane and nitrous oxides fluxes, total emission, pGWP were evaluated during the period of nongrowing season 2016 and growing season 2016/17, as well as yield-scaled pGWP. The total emissions of  $N_2O$  and  $CH_4$  were low during the nongrowing season, not differing between CT and NT, but it was higher in the rice-rice-rice-rice treatment. During the growing season,  $N_2O$  emissions were higher in continuous flooding rice under CT than in NT systems; while the reverse occurred with sorghum and soybean crops. The  $CH_4$  emission in the growing season was higher in irrigated rice under CT in relation to NT; and for  $CH_4$  emission in rainfed crops there was no statistical difference between cropping systems. The pGWP was higher in rice-rice-rice-rice system in both CT and NT during nongrowing season and growing season when compared to other crops rotation. During the nongrowing season, rice-rice-rice-rice system presented higher pGWP per kilogram of dry matter produced in both cropping systems; the same occurred during the growing season period. The results allowed the following conclusions: The inclusion of rainfed crops in rotation with irrigated rice in a Planossolo presents potential to mitigate  $CH_4$  emissions during nongrowing season and growing season, as well as pGWP. In no-tillage system, sorghum cultivation promotes higher  $N_2O$  emissions when compared to irrigated rice. In conventional tillage system, emissions of  $N_2O$  from irrigated rice exceed emissions from soybean and sorghum, grown in succession of soybean. During nongrowing season period, GHG emissions from cropping systems are similar in conventional tillage and no-tillage. On the other hand, during growing season, only emissions from irrigated rice were lower under no-tillage system, while the opposite occurred with rainfed crops. Growing season period of spring/summer is responsible for most of GHG emission and pGWP from cropping rotation systems in a Planossolo, corresponding to 93% and 82% of the annual total for irrigated rice and rainfed crops, respectively.

**Keywords:** greenhouse gases; crop rotation; soybean; continuous flooding rice, sorghum



## Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema simplificado da fermentação. ....	21
Figura 2 - Produção, consumo e transferência do CH <sub>4</sub> para a atmosfera em lavouras de arroz irrigado por inundação. ....	23
Figura 3 - Ciclo do nitrogênio na natureza.....	24
Figura 4 - Base metálica (a) e topo (b) para o arroz e base metálica (c) e topo (d) para culturas de sequeiro.....	34
Figura 5 - Fluxo de N <sub>2</sub> O em Planossolo durante o período de entressafra 2016 em função da cultura antecedente e do sistema de preparo do solo, convencional - SC (a) e plantio direto - PD (b). ....	37
Figura 6 - Fluxo de N <sub>2</sub> O em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC (a) e plantio direto - PD (b). ....	41
Figura 7 - Fluxos de CH <sub>4</sub> em Planossolo durante o período de entressafra 2016 em função da cultura antecedente e do sistema de preparo do solo, convencional - SC (a) e plantio direto - PD (b). ....	44
Figura 8 - Fluxos de CH <sub>4</sub> em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC (a) e plantio direto - PD (b). ....	46
Figura 9 - Potencial de aquecimento global parcial em Planossolo durante o período de entressafra 2016 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC e plantio direto - PD. ....	54
Figura 10 - Potencial de aquecimento global parcial em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC e plantio direto - PD. ....	56

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Organismos envolvidos e respectivos produtos da fermentação. ...	22
Tabela 2 - Emissões totais de N <sub>2</sub> O em Planossolo durante o período da entressafra 2016 em função da cultura antecedente e do sistema de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD .....	48
Tabela 3 - Emissões totais de N <sub>2</sub> O em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD.....	50
Tabela 4 - Emissões totais de CH <sub>4</sub> em Planossolo durante o período de entressafra 2016 em função da cultura antecedente e do sistema de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto – PD .....	51
Tabela 5 - Emissões totais de CH <sub>4</sub> em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD.....	52
Tabela 6 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) em Planossolo durante o período da entressafra 2016 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD .....	55
Tabela 7 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD .....	56
Tabela 8 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) anual em Planossolo em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD.....	57
Tabela 9 - Produtividade do azevém e Índice PAGp.kg <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> de matéria seca (MS) do azevém em Planossolo durante o período de entressafra em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC e plantio direto - PD.....	58
Tabela 10 - Produtividade das culturas e Índice PAGp.MJ <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC e plantio direto - PD.....	59

## Sumário

<b>1 Introdução</b> .....	<b>12</b>
<b>2 Revisão bibliográfica</b> .....	<b>14</b>
2.1 Sistemas de Cultivo .....	14
2.1.1 Sistema Convencional de Cultivo .....	15
2.1.2 Sistema Plantio Direto .....	15
2.2 Rotação de Culturas .....	16
2.3 Cultura do Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> [L.] Moench) .....	17
2.4 Cultura da Soja ( <i>Glycine max</i> [L.] Merrill).....	18
2.5 Cultura do Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) .....	18
2.6 Cultura do arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.) .....	19
2.7 Produção e emissão de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O em solos agrícolas.....	20
2.8 Fatores capazes de influenciar a produção e/ou a emissão de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O .....	25
2.8.1 Potencial redox (Eh) e potencial hidrogeniônico (pH) .....	25
2.8.2 Matéria orgânica .....	26
2.8.3 Umidade do solo .....	27
2.8.4 Temperatura do solo.....	27
2.8.5 Fertilizantes .....	28
2.8.6 Sistemas de cultivo do solo (Convencional e “Plantio direto”) .....	29
<b>3 Hipóteses</b> .....	<b>30</b>
<b>4 Objetivos</b> .....	<b>30</b>
<b>5 Material e métodos</b> .....	<b>31</b>
5.1 Área experimental.....	31
5.2 Manejo dos cultivos de inverno e verão.....	31
5.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	33
5.4 Amostragem e análise dos gases CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O .....	33

5.5 Análise dos dados.....	36
<b>6 Resultados e Discussões .....</b>	<b>36</b>
6.1 Fluxos de N <sub>2</sub> O.....	36
6.1.1 Entressafra 2016.....	36
6.1.2 Safra 2016/17 .....	39
6.2 Fluxo de CH <sub>4</sub> .....	43
6.2.1 Entressafra 2016.....	43
6.2.2 Safra 2016/17 .....	44
6.3 Emissão total de N <sub>2</sub> O.....	47
6.3.1 Entressafra 2016.....	47
6.3.2 Safra 2016/17 .....	48
6.4 Emissão total de CH <sub>4</sub> .....	51
6.4.1 Entressafra 2016.....	51
6.4.2 Safra 2016/17 .....	52
6.5 Potencial de Aquecimento Global Parcial (PAGp), índice PAGp/matéria seca (PAGp/MS <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ) e PAGp/megajoule produzido por hectare (PAGp.MJ <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ) .....	54
<b>7 Conclusões .....</b>	<b>59</b>
<b>Referências .....</b>	<b>61</b>

## 1 Introdução

Os gases que constituem em torno de 99% da atmosfera são o nitrogênio e o oxigênio (JARDIM, 2001). Porém, há a presença natural de outros gases em pequenas quantidades como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ); que são chamados “gases de efeito estufa” (GEE). Essa denominação ocorre em função desses gases apresentarem a propriedade de reter calor (MAPA, 2012).

A emissão de GEE para a atmosfera ocorre naturalmente através de processos essenciais à manutenção da vida na Terra. Porém, quando alguma perturbação afeta o equilíbrio da concentração de GEE na atmosfera, como por exemplo, por ação do homem sobre o ambiente, pode haver um aporte adicional desses gases para a atmosfera, ampliando sua capacidade de absorção de energia.

A concentração global de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  aumentaram, respectivamente, de 280ppm, 715ppb e 270ppb, no ano de 1750, para 379ppm, 1774ppb e 319ppb, no ano de 2005, representando, na mesma ordem, crescimento de 35, 148 e 18% em sua concentração na atmosfera (IPCC, 2007). No ano de 2009, o Governo Federal Brasileiro, por meio da Lei Nº 12.187, instituiu a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), confirmando o compromisso nacional voluntário de adotar ações visando reduzir suas emissões de GEE entre 36,1% e 38,9%, em relação às emissões projetadas para o ano de 2020 (MCTI, 2014).

De acordo com dados apresentados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2014) sobre o percentual de emissões de  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) no Brasil nos setores produtivos Energia, Tratamentos de Resíduos, Processos Industriais, Agropecuária e Uso da Terra e Florestas, as emissões do ano de 2012 foram maiores que as de 2005 para os setores Energia, Tratamento de Resíduos, Processos Industriais e Agropecuária, sendo que este último respondeu por 20% das emissões de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  em 2005 e por 37% em 2012. O setor de Energia também apresentou um acréscimo significativo, passando de 16% de emissões de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ , em 2005, para 37%, em 2012.

No setor Agropecuário brasileiro, as principais emissões de GEE são devidas à fermentação entérica do gado bovino, que produz  $\text{CH}_4$ , e à aplicação de adubos e fertilizantes sintéticos nitrogenados, que contribuem para a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ . Porém, o cultivo do arroz irrigado sob inundação do solo também contribui significativamente

para a emissão de CH<sub>4</sub>, principalmente na região sul do Brasil. Em 2005, o cultivo do arroz irrigado sob inundação contínua contribuiu com 97,4% da totalidade das emissões de CH<sub>4</sub> na região Sul (MCT, 2010).

No Estado do Rio Grande do Sul (RS), o arroz é cultivado no ambiente de terras baixas, que ocupam cerca de 20% (5,4 milhões de hectares) do território gaúcho (GOMES et al., 2002b). Contudo, anualmente, pouco mais de um milhão de hectares são cultivados com o cereal (Reunião..., 2016). Esses solos caracterizam-se pela má drenagem, condição que favorece o cultivo em sistema irrigado por inundação do solo (PINTO et al., 2004). A inundação do solo durante o cultivo do arroz causa condição estritamente anaeróbia, que é necessária para que haja a produção de CH<sub>4</sub> (SMITH et al., 2003). Já a produção de N<sub>2</sub>O é favorecida pela alternância da umidade do solo, pois as reações que envolvem a produção desse gás são a nitrificação e desnitrificação, estritamente aeróbia e anaeróbia, respectivamente (KHALIL et al., 2004).

Áreas de terras baixas do RS foram cultivadas por muitos anos com o arroz irrigado sob sistema convencional de cultivo do solo, levando ao surgimento de vários problemas como a ocorrência do arroz-vermelho e preto (Reunião..., 2016). Na década de 80, o plantio direto começou a ser adotado na cultura do arroz irrigado no Rio Grande do Sul (GOMES et al., 2004), e ao longo do tempo foi-se incorporando a rotação de culturas, dando ao plantio direto maior característica de sistema. Entretanto, estudos demonstram que, o tempo de implantação do sistema plantio direto e as culturas utilizadas na sucessão e rotação influenciam as emissões de N<sub>2</sub>O (NETO et al. 2009); assim como em menores fluxos de emissão de CH<sub>4</sub> em sistema plantio direto no cultivo de arroz irrigado (ZHANG et al., 2013), comparado aos sistema convencional.

Gan et al. (2011) verificaram redução de 17% na pegada de carbono (somatório das emissões de GEE expressas em massa de CO<sub>2</sub> equivalente) quando o trigo foi precedido por culturas fixadoras de nitrogênio. Weller et al. (2016), constataram aumento nas emissões de N<sub>2</sub>O nos sistemas rotacionados, mas redução significativa na emissão de CH<sub>4</sub>. Ussiri et al. (2009) observaram que no longo prazo, parcelas sem preparo do solo apresentam fluxos médios diários e emissões anuais de N<sub>2</sub>O menores, quando comparado as áreas submetidas a aração e escarificação; e que adicionalmente também atuaram como dreno de CH<sub>4</sub>.

É necessária a avaliação dos sistemas agrícolas em caráter regional sobre as emissões de gases de efeito estufa, considerando a grande dinâmica que há no ecossistema em função das práticas de manejo adotadas pelo produtor. Assim, o presente trabalho busca avaliar as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O e seus respectivos potenciais de aquecimento global em distintos sistemas de preparo e rotação de culturas em um Planossolo do Rio Grande do Sul.

## **2 Revisão bibliográfica**

### **2.1 Sistemas de Cultivo**

Vários sistemas de cultivo podem ser adotados na agricultura em função das peculiaridades de cada região, condições ambientais e do domínio da tecnologia pelo produtor. Nas áreas cultivadas com arroz irrigado no Rio Grande do Sul, na safra 2013/14, houve predomínio do cultivo mínimo com preparo antecipado do solo e semeadura direta (60% da área), enquanto o sistema convencional de cultivo representou 30% da área (Reunião..., 2016).

O manejo do solo pode causar importantes alterações físicas, químicas e biológicas no solo, tornando importante considerar o sistema de cultivo no âmbito das emissões de GEE. As práticas de manejo do solo atuam sobre variáveis controladoras de estoque de carbono e da emissão de gases para a atmosfera (COSTA et al, 2008b). O preparo convencional do solo estimula a atividade microbiana através da exposição de material orgânico lábil, antes protegido no interior de agregados e pela incorporação de resíduos antes presentes na superfície do solo (COSTA ET AL, 2008b). Por outro lado, o não revolvimento ou mínimo revolvimento do solo intensificam a estabilização do carbono no solo (BAYER et al, 2011). O sistema plantio direto proporciona acúmulo de resíduos vegetais em superfície, reduzindo os processos erosivos, quando bem conduzido, e contribui na preservação da umidade do solo (CALEGARI & COSTA, 2010). A atividade microbiana aeróbica aumenta com o teor de água até um ponto em que a água dificulta a difusão do oxigênio no solo (LINN & DORAN, 1984). Segundo Khalil & Baggs (2005), maximização da produção de N<sub>2</sub>O por desnitrificação é favorecida por teores superiores a 70% do espaço poroso preenchido com água (EPPA), sendo este processo considerado o principal produtor de N<sub>2</sub>O nos solos.

Independente do sistema de cultivo adotado, os solos de terras baixas podem apresentar condições de anaerobiose durante períodos de precipitação

pluviométrica, em função de possuírem baixa condutividade hidráulica. Em solos aerados predomina a oxidação do  $\text{CH}_4$  sobre a metanogênese, mas esta pode ocorrer em microsítios anaeróbios (KHALIL et al., 2004).

### **2.1.1 Sistema Convencional de Cultivo**

O sistema de cultivo convencional do solo é caracterizado pelo revolvimento de camadas superficiais do solo para reduzir a compactação, incorporar corretivos, resíduos vegetais e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água. A operação convencional de preparo também reduz a resistência do solo ao crescimento das raízes das plantas. Além disso, o revolvimento do solo auxilia no controle de pragas e patógenos do solo (SANTIAGO & ROSSETTO, 2007).

No preparo convencional do solo para a implantação de lavouras de arroz irrigado, as operações relacionadas à próxima safra normalmente iniciam no verão/outono anterior à semeadura, com o desmanche das taipas, seguida pelo preparo primário, geralmente com grade aradora, que visa, principalmente a eliminação e/ou enterrio da cobertura vegetal (VERNETTI JÚNIOR & GOMES, 2004). O preparo secundário visa nivelar o terreno, destorroar o solo, incorporar herbicidas e eliminar plantas daninhas, sendo realizado na primavera, pouco antes da semeadura do arroz.

### **2.1.2 Sistema Plantio Direto**

O sistema plantio direto está baseado em 3 princípios básicos: mínima movimentação do solo, manutenção permanente de cobertura vegetal do solo e adoção da prática de rotação de culturas e sucessão de culturas (Reunião..., 2016).

O sistema plantio direto no arroz irrigado difere um pouco daquele adotado em áreas de terras altas, assemelhando-se ao cultivo mínimo, pois a colheita mecanizada na lavoura arrozeira irrigada por inundação contínua se dá, na maioria dos casos, em condição de solo muito úmido, causando irregularidades no terreno e o desmanche de taipas, havendo a necessidade de promover o preparo do solo (Reunião..., 2016). Quando o arroz é semeado sobre a resteva de uma cultura de sequeiro da safra anterior, têm-se mais características do sistema plantio direto de terras altas, pois a colheita das culturas de sequeiro é feita com solo menos úmido, causando menor desestruturação das taipas e superfície do solo.



Em áreas de pousio, a implantação do sistema plantio direto para a cultura de arroz irrigado inicia com o preparo do solo nos meses iniciais do ano, normalmente com a realização de uma aração e duas gradagens. Este preparo visa corrigir pequenas imperfeições no relevo, e principalmente, estimular a emergência de plantas daninhas no período da entressafra, que não competem com o arroz irrigado. (GOMES et al., 2004).

Após o preparo de verão executado para a implementação do sistema plantio direto, é aconselhável a semeadura de uma forrageira de inverno, que comumente é o azevém no Rio Grande do Sul, pois apresenta bom desenvolvimento em áreas de terras baixas e propicia boa cobertura vegetal. A manutenção de cobertura vegetal ainda pode contribuir para a melhoria de atributos dos solos de terras baixas. Gomes et al. (1997) verificaram maior infiltração de água no solo de terras baixas em áreas cultivadas com azevém, azevém + trevo e sob flora de sucessão, quando comparado a áreas sem cobertura.

## **2.2 Rotação de Culturas**

Rotação de culturas é a alternância de culturas no espaço e no tempo, dentro de uma mesma lavoura, onde uma espécie vegetal não é cultivada novamente em um mesmo local nos próximos dois anos (GOMES et al., 2002a) O monocultivo acarreta, ao longo do tempo, aumento nos custos de produção, redução da produtividade das culturas, degradação química do solo, erosão, aumento na incidência de doenças, pragas e plantas daninhas, bem como outros problemas relacionados à qualidade física e biológica do solo (SANTOS & REIS, 2001).

A rotação de culturas também diversifica as atividades da propriedade rural, seja entre culturas anuais ou entre estas e pastagens, demandando planejamento da propriedade a médio e longo prazos. A definição das culturas e do sistema a ser adotado deve atender às particularidades e perspectivas regionais quanto à comercialização e/ou utilização dos produtos pelo produtor.

A atividade agropecuária no ecossistema de terras baixas da região de clima temperado é fundamentada, basicamente, no cultivo de arroz irrigado e na produção pecuária extensiva (REIS & SAIBRO, 2004). A utilização de culturas de sequeiro em rotação com o arroz irrigado, além de trazer os benefícios inerentes à rotação de culturas, também pode diversificar o uso e produção das áreas de terras baixas e

umentar a rentabilidade do sistema produtivo. As principais espécies envolvidas na rotação com o arroz irrigado são soja, milho e sorgo (Reunião..., 2016).

### **2.3 Cultura do Sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench)**

O sorgo tem origem na África e parte da Ásia e foi domesticado entre 3 mil e 5 mil anos atrás. A cultura foi introduzida no Brasil no início do século XX (Reunião..., 2013), sendo cultivado, principalmente, no Rio Grande do Sul, São Paulo, Bahia e Paraná. Na safra 2012/2013, o Brasil ocupou a 8ª posição entre os principais produtores mundiais, enquanto em nível nacional o Rio Grande do Sul situou-se em 7º lugar entre os estados produtores. No ano de 2001, o estado gaúcho produziu 16% do sorgo nacional (Reunião..., 2013). No entanto, sua participação na produção caiu ao longo dos anos, chegando a uma representatividade de apenas 1,44% em 2017.

Segundo dados preliminares do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2017), o Rio Grande do Sul possui rebanho superior a 11 milhões de cabeças de gado. O sorgo forrageiro é mais uma opção de forragem aos produtores de arroz que também atuam na atividade pecuária, otimizando o uso da infraestrutura da propriedade e da mão-de-obra.

O sorgo é considerado uma planta tolerante a altas temperaturas e a períodos de estiagem, condições que comumente ocorrem nas áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. A maioria dos solos das áreas de terras baixas apresenta um horizonte superficial pouco profundo sobre um horizonte B argiloso e impermeável, conferindo baixa capacidade de armazenamento de água ao solo (SILVA & PARFITT, 2000). Quando comparado a outras espécies, como o milho, o sorgo é mais tolerante a condições de alta umidade. Essa tolerância do sorgo ao excesso hídrico ocorre a partir de aproximadamente 20 dias após a emergência da cultura, quando a cultura passa a tolerar baixas tensões de oxigênio no solo (SILVA & PARFITT, 2004). Apesar de o sorgo apresentar relativa tolerância a períodos de estiagem e excesso hídrico, é importante a adequação das áreas quanto à drenagem e possibilidade de irrigação, aproveitando-se da estrutura utilizada para a irrigação do arroz, contando, ainda, com a experiência adquirida ao longo dos anos pelos produtores.

Para a cultura do sorgo, ao contrário da soja, é recomendado o uso de fertilizantes nitrogenados minerais, com vistas a suprir a demanda de nitrogênio (N).

Essa prática de manejo intensifica as emissões de  $N_2O$  pelo aumento de substrato para os processos de nitrificação e desnitrificação (COSTA et al, 2008b). No entanto, a ausência de lâmina de água sobre o solo não é favorável à metanogênese (BUSS, 2016).

#### **2.4 Cultura da Soja (*Glycine max* [L.] Merrill)**

A soja cultivada originou-se no norte da China, disseminando-se para o centro e sul da China e Coreia, para então depois ser incorporada ao cultivo em outros países (VERNETTI et al., 2014). A soja foi introduzida no Brasil em 1882, na escola Agrícola da Bahia, mas só entre 1970 e 1979 a sojicultura se expandiu para o sul do país (VERNETTI et al., 2014), mesmo já tendo sido relatada em 1901 em um artigo escrito por Guilherme Minssen, agrônomo francês que lecionou na atual Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.

Atualmente, o Rio Grande do Sul é o terceiro estado produtor de soja, com área semeada na safra 2016/17 de 5,570 milhões de hectares (CONAB, 2017). A soja, quando comparada ao arroz, constitui-se uma interessante alternativa de renda ao produtor, seja pelo seu maior valor no mercado, como pelos possíveis benefícios que seu cultivo pode oferecer no sistema de rotação, como a quebra no ciclo de doenças e incorporação de N ao solo. Outro ponto a favor do cultivo de soja em rotação com o arroz irrigado é o fato de dispensar o uso de adubação nitrogenada mineral, já que a disponibilidade deste nutriente se dá pela simbiose entre a planta e o rizóbio responsável pela fixação biológica do N (Comissão..., 2004). A contribuição da soja na possível mitigação das emissões de GEE está no fato de ser cultivada em solo drenado e não receber adubação nitrogenada via fertilizantes sintéticos, podendo assim reduzir tanto as emissões de  $CH_4$  como de  $N_2O$ , quando comparada a outros cultivos.

#### **2.5 Cultura do Azevém (*Lolium multiflorum* L.)**

O azevém é uma espécie forrageira rústica e vigorosa, de alto valor nutritivo, fácil digestão pelos ruminantes, com boa capacidade de perfilhamento e produtiva, podendo, quando bem fertilizada, apresentar desempenho superior ao de outras espécies de inverno (FONTANELI et al., 2012). Adicionalmente, a possibilidade de ressemeadura natural do azevém contribui para que a espécie seja a mais difundida na região Sul do país.

Um dos motivos que pode levar a escolha do azevém como cultura de entressafra é que esta espécie adapta-se a quase todos os tipos de solo e desenvolve-se bem em solos de cotas baixas e ligeiramente úmidos (FONTANELI et al., 2012). Outro fato a considerar é que na adoção do sistema plantio direto, o azevém propicia uma boa cobertura vegetal, protegendo o solo da erosão e impedindo e/ou retardando a emergência de plantas daninhas no cultivo subsequente.

Quando se considera o efeito do uso de cobertura vegetal sobre a emissão de GEE, o azevém pode contribuir para o aumento da emissão de CH<sub>4</sub> durante o cultivo do arroz irrigado por inundação. Nesse sentido, trabalho realizado por Zschornack et al. (2016) mostrou que a emissão média diária de CH<sub>4</sub> no arroz irrigado, quando precedido de cobertura vegetal na entressafra, foi de 1.005 g ha<sup>-1</sup> por dia, enquanto que no cultivo do arroz em área anteriormente em pousio, o valor obtido foi de 99 g ha<sup>-1</sup> por dia.

## **2.6 Cultura do arroz (*Oryza sativa* L.)**

O arroz chegou ao Brasil trazido pela frota de Pedro Álvares Cabral, mas relatos de seu cultivo em território nacional só ocorreram após 1530, na capitania de São Vicente. Até o século XX, seu cultivo foi de subsistência e em pequena escala, principalmente na região Nordeste (PINTO, 2015). Os primeiros cultivos empresariais surgiram em 1904, em Pelotas e posteriormente em Cachoeira do Sul, ambos municípios do estado do Rio Grande do Sul, e, a partir de 1912, o cultivo foi impulsionado, graças aos locomóveis. Os locomoveis eram veículos a vapor, utilizados no acionamento de bombas de irrigação, facilitando a inundação das lavouras de arroz (PINTO, 2015).

Cultivado globalmente, o arroz é alimento básico da população, suprimindo 20% das calorias consumidas na alimentação humana no mundo. A área cultivada com arroz no mundo é de aproximadamente 168 milhões de hectares, apresentando uma produção em torno de 741,0 milhões de toneladas de grãos em casca (Reunião..., 2016). No Brasil, o estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor, respondendo por aproximadamente 70% do total produzido, com área anual cultivada em torno de um milhão de hectares, regulando, pois, o mercado brasileiro do cereal, juntamente com o estado de Santa Catarina. No Sul do Brasil, a importância da cultura do arroz ultrapassa a questão alimentar, contribuindo significativamente nos aspectos

econômico e social. No Rio Grande do Sul, 11,9 mil produtores atuam na produção do arroz irrigado (Reunião..., 2016).

Da mesma maneira que uma grande atividade causa um forte impacto econômico e social, também pode causar um grande impacto no ambiente natural. A grande área inundada, aliada à aplicação de adubos nitrogenados durante o cultivo do arroz irrigado no RS e SC cria condições para a produção e emissão dos gases de efeito estufa  $N_2O$  e  $CH_4$ . O ambiente anaeróbio presente no cultivo do arroz irrigado por inundação do solo condiciona a produção de  $CH_4$  como produto final da decomposição de compostos orgânicos por microrganismos metanogênicos (BRANDANI & SANTOS, 2016). Por sua vez, a aplicação de adubos minerais nitrogenados e/ou adubos orgânicos constitui-se em fonte de nitrogênio para reações mediadas por microrganismos, como a nitrificação e desnitrificação, que têm como produto intermediário o  $N_2O$  (ALMEIDA et al., 2015).

## **2.7 Produção e emissão de $CH_4$ e $N_2O$ em solos agrícolas**

Uma grande fração do carbono (C) fotoassimilado pelas plantas vai para o solo, tido como um reservatório natural desse elemento. Estimativas apontam que em nível global, a quantidade de C presente na matéria orgânica do solo é de 1.200 Gt (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Este valor representa quase o dobro do C presente na atmosfera e quase o triplo da quantidade do elemento da biomassa terrestre, que é da ordem de 765 Gt e 500 – 800 Gt, respectivamente (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Apesar de o solo “aprisionar” grande quantidade de C, é natural que parte também seja emitida para a atmosfera através de processos biológicos naturais. As principais perdas de C para a atmosfera são na forma dos gases  $CO_2$  e  $CH_4$ , importantes GEE (BRANDANI & SANTOS, 2016).

A produção de  $CH_4$  ocorre em condições estritamente anaeróbias, sendo um típico produto da decomposição da matéria orgânica (MO) em ambientes alagados (PONNAMPERUMA, 1972). Os microrganismos envolvidos na produção de  $CH_4$  são bactérias, englobadas em vários gêneros dentro do reino Archaeobactéria (*Methanosarcina*, *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanospirillum* e *Methanobrevibacter*) (SILVA et al., 2008).

Em condições de aerobiose, microrganismos aeróbios utilizam o oxigênio ( $O_2$ ) como acceptor de elétrons no processo de respiração. Em ambientes onde há déficit de  $O_2$ , microrganismos anaeróbios utilizam compostos inorgânicos oxidados, como

$\text{NO}^{-3}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{CO}_2$ ; ou compostos orgânicos, como piruvato e acetaldeído na fermentação (BINI et al., 2016).

Com a redução da disponibilidade de aceptores inorgânicos, a microbiota anaeróbia do solo passa a utilizar aceptores de origem orgânica, caracterizando o processo denominado fermentação. A fermentação é qualquer processo metabólico que libera a energia de um açúcar ou outra molécula orgânica. Ela não requer oxigênio ou um sistema transportador de elétrons e usa uma molécula orgânica comoceptor final de elétrons (TORTORA et al., 2005), produzindo uma mistura de gases como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , entre outros (CORTEZ et al., 2008).

A fermentação pode ser dividida em glicólise e redução do ácido pirúvico (Figura 1). A glicólise é um conjunto de reações que produz moléculas de ATP,  $\text{NADH}_2$  e ácido pirúvico, este último, por sua vez, será reduzido formando diferentes produtos (Tabela 1) em função do tipo de microrganismo envolvido no processo fermentativo (BINI et al., 2016).

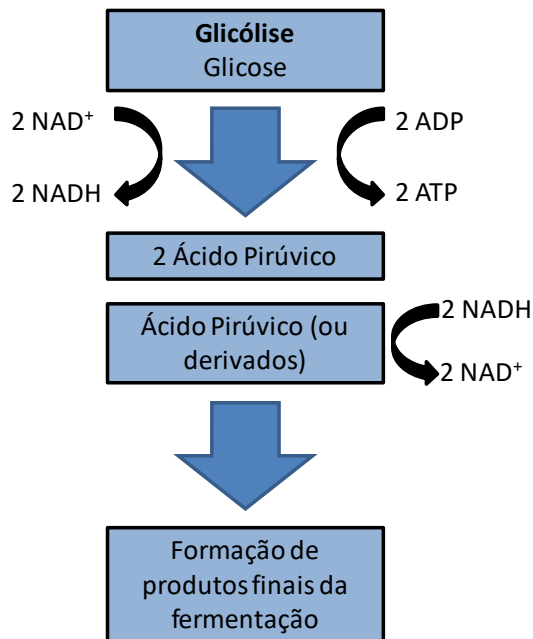


Figura 1 - Esquema simplificado da fermentação. Adaptado de Tortora et al., (2005).

Tabela 1 - Organismos envolvidos e respectivos produtos da fermentação. Adaptado de Tortora et al., (2005)

Organismos	Produtos finais da fermentação
<i>Streptococcus, Lactobacillus, Bacillus</i>	Ácido láctico
<i>Saccharomyces (levedura)</i>	Etanol e CO <sub>2</sub>
<i>Propionibacterium</i>	Ácido propiônico, ácido acético, CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub>
<i>Clostridium</i>	Ácido butírico, butanol, acetona, álcool isopropílico e CO <sub>2</sub>
<i>Escherichia, Salmonella</i>	Etanol, ácido láctico, ácido succínico, ácido acético, CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub>
<i>Enterobacter</i>	Etanol, ácido láctico, ácido fórmico, butanodiol, acetoína, CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub>

A partir dos produtos da fermentação, como CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>, pode haver a formação de acetato, considerado um dos principais supridores de C e energia para o processo de metanogênese (BINI et al., 2016).

O CH<sub>4</sub> é produzido através de duas vias metabólicas principais: hidrogenotrófica e acetotrófica (ou acetoclástica). Os micro-organismos hidrogenotróficos são autótrofos, reduzindo CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> e usando H<sub>2</sub> como doador de elétrons, liberando H<sub>2</sub>O. As arqueias acetoclásticas são heterótroficas, produzindo CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> a partir da redução do acetato (ABREU, 2007). Estas últimas têm grande importância porque essa via pode responder por até 80% do total de CH<sub>4</sub> produzido (DUBEY, 2005).

A emissão do CH<sub>4</sub> de solo em condição de anaerobiose para a atmosfera pode ocorrer através de três mecanismos principais: ebulição, difusão e liberação através do aerênquima das plantas (Figura 2)(BUSS, 2016; LIMA et al., 2012; REDDY & DELAUNE, 2008). O aerênquima ou parênquima aerífero é um tecido especializado na reserva e condução gasosa na planta, presente principalmente em plantas aquáticas, mas também ocorrendo em plantas que habitam solos sujeitos ao alagamento, como o arroz (SCATENA & DIAS, 2006). A liberação de gases via aerênquima das plantas de arroz é considerada a mais importante via de perda de gases do solo. O aerênquima de caules e raízes transporta cerca de 90% do CH<sub>4</sub> em lavouras de arroz irrigado (REDDY & DELAUNE, 2008).

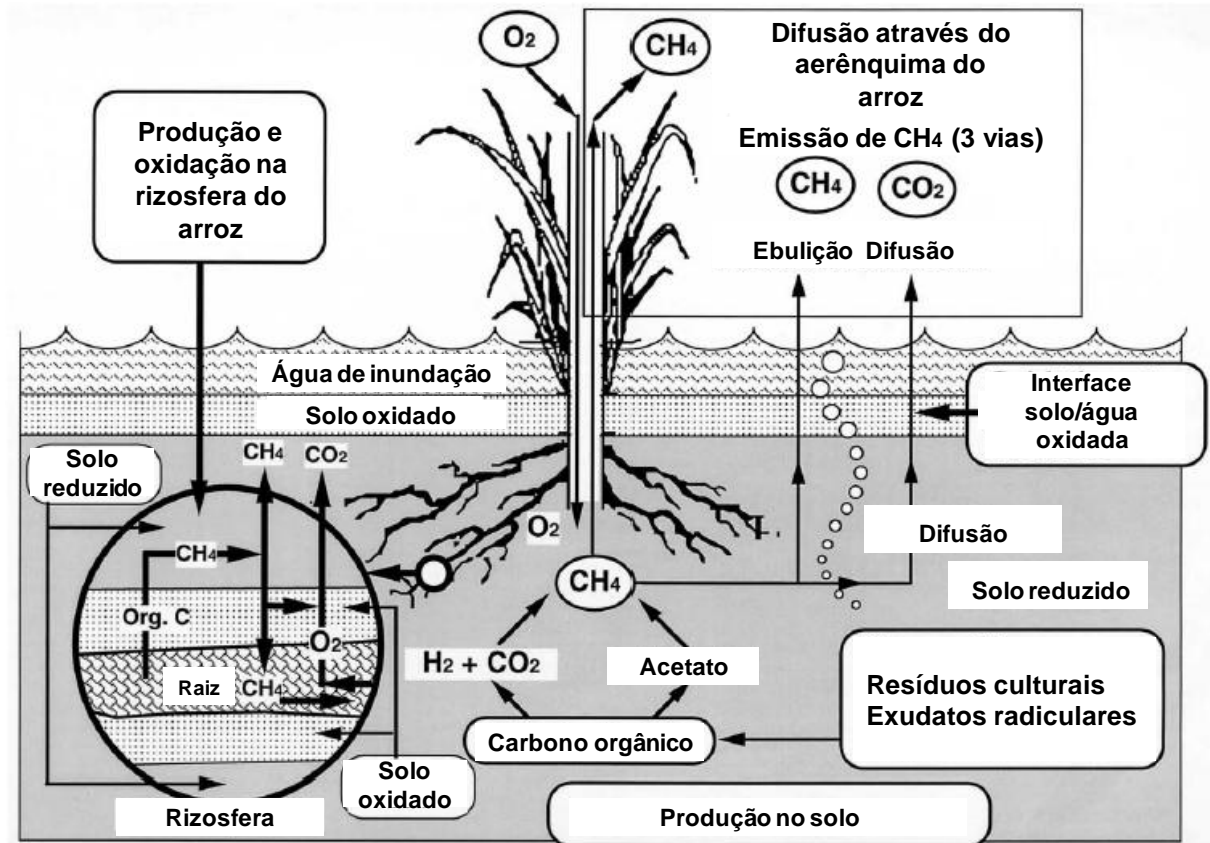


Figura 2 - Produ o, consumo e transferência do  $\text{CH}_4$  para a atmosfera em lavouras de arroz irrigado por inunda o.  
Fonte: adaptado de LE MER & R GER, 2001.

O processo de ebuli o ocorre quando há um aumento da pressão dos gases, devido a sua contínua produ o em conjunto com a resistência que a lâmina de água oferece ao seu escape, produzindo bolhas que podem atingir a superfície do solo (SILVA, 2014), podendo ser influenciado por mudanças na pressão atmosférica e hidrostática, decorrentes da varia o no nível da  gua (REDDY & DELAUNE, 2008).

A perda de  $\text{CH}_4$  por difusão não tem a mesma importância que as perdas por ebuli o e via aerênquima, visto que a difusão de gases na água   10.000 vezes menor que no ar (KHALIL & BAGGS, 2005) e para que o gás chegue   superfície precisa ultrapassar uma interface oxidada, onde ocorre a oxida o do  $\text{CH}_4$  (REDDY & DELAUNE, 2008). A baixa solubilidade do  $\text{CH}_4$  na água dificulta seu escape por difusão para a atmosfera, quando o solo se encontra inundado (REDDY & DELAUNE, 2008) e parte do  $\text{CH}_4$  pode ser oxidado a  $\text{CO}_2$ , principalmente em zonas mais aeradas do solo, como a rizosfera. Assim, fica evidente a importância do



aerênquima no transporte de gases entre o solo/sistema radicular e a atmosfera para as plantas que habitam ambientes inundados.

O ciclo do nitrogênio na natureza é demonstrado na figura 3. A produção de  $N_2O$  começa com a mineralização do N presente na MO ou pela adição de N ao solo via fertilização mineral. A mineralização do N orgânico (presente na MO) pela atividade de microrganismos heterotróficos libera amônio ( $NH_4^+$ ) ao ambiente solo (HAVLIN et al., 1999), onde este  $NH_4^+$  pode ser prontamente absorvido pelas plantas ou então convertido à nitrito ( $NO_2^-$ ) e posteriormente a nitrato ( $NO_3^-$ ) pela ação de microrganismos do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, respectivamente, em um processo denominado nitrificação (SOUSA et al., 2015) que ocorre em condições oxidadas (ALVES et al., 2012).

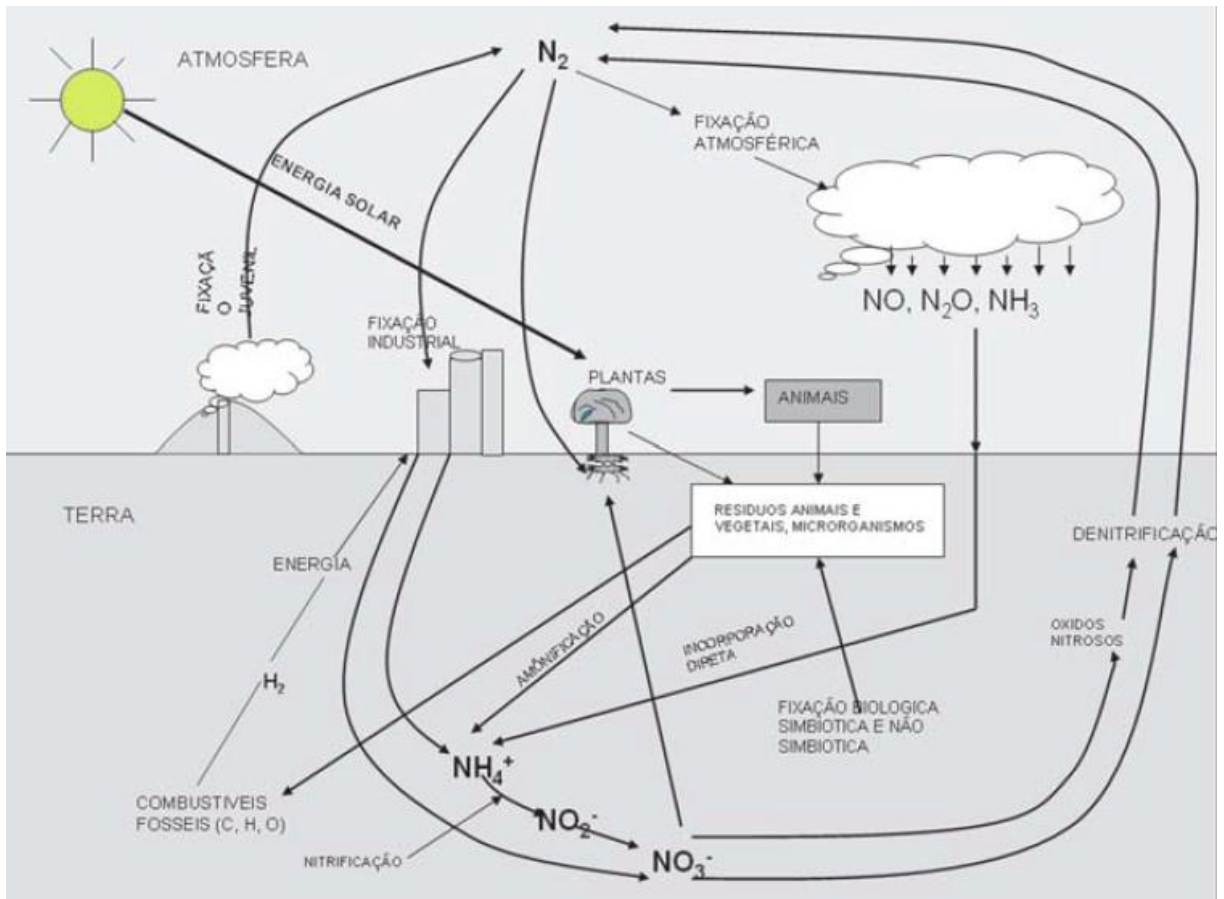


Figura 3 - Ciclo do nitrogênio na natureza.

Fonte: GOMES et al. (2000)

As principais vias de perda de N do solo são a volatilização da amônia ( $NH_3^+$ ), lixiviação do  $NO_3^-$  e perda gasosa como  $N_2O$  e  $N_2$  (HAVLIN ET AL., 1999). Sob deficiência de oxigênio no solo, começa a ocorrer o processo denominado desnitrificação, que é a redução de  $NO_3^-$  a formas gasosas como  $N_2O$ ,  $NO$  e  $N_2$

(MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Assim como o CH<sub>4</sub>, o N<sub>2</sub>O pode ser emitido através dos aerênquimas das plantas de arroz (REDDY & DELAUNE, 2008). Yan et al. (2000) observaram que, em média, 87% do N<sub>2</sub>O emitido para a atmosfera se dá através das plantas quando o solo está inundado; sob ausência de inundação, apenas cerca de 17% da emissão ocorre via planta.

## **2.8 Fatores capazes de influenciar a produção e/ou a emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O**

É comum que haja em todo processo ou reação vários condicionantes e/ou agentes influenciadores para que tal processo ocorra ou não. Assim, vários fatores influenciam na emissão e/ou na produção de GEE, como: potencial redox e hidrogeniônico do solo, matéria orgânica, umidade e temperatura do solo, uso de fertilizantes e sistemas de cultivo do solo.

### **2.8.1 Potencial redox (Eh) e potencial hidrogeniônico (pH)**

Várias alterações eletroquímicas ocorrem no solo alagado. Uma das alterações é a variação do Eh, que é um indicador da condição de redução do solo (SOUSA et al., 2015). O CH<sub>4</sub> começa a ser produzido em condições de alta redução do solo, a partir de um valor de Eh em torno de – 150 mV (WANG et al., 1993). No entanto, devido à heterogeneidade do solo e à presença de várias substâncias em distintas condições de oxidação, é possível haver condições de Eh (VAHL & SOUZA, 2004), que favoreçam a produção de CH<sub>4</sub> em alguns pontos, enquanto que em outros não.

Como as reações redox exercem influência sobre a dinâmica de redução do solo, a presença de aceptores de elétrons em altas concentrações, como ferro (Fe<sup>3+</sup>) e manganês (Mn<sup>3+</sup> e Mn<sup>4+</sup>), no solo, e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, na solução, podem atrasar a produção de CH<sub>4</sub>, por serem preferencialmente reduzidos em relação à compostos orgânicos (SILVA et al., 2008). Buss (2012) avaliando a emissão de CH<sub>4</sub> em arroz sob inundação contínua em Planossolo Háplico verificou que o aumento significativo da emissão de CH<sub>4</sub> coincidiu com o aumento dos teores das formas reduzidas Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> na solução do solo. Com relação ao pH, a maioria das bactérias metanogênicas não tolera acidez ou alcalinidade (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), ou seja, são neutrófilas. Wang et al. (1993) verificaram máximo efluxo de CH<sub>4</sub> entre pH 6,9 e 7,1 e efluxo tendendo à zero com pH abaixo de 5,75 e acima de 8,75.

Em valores de Eh mais negativos ocorre menor produção de N<sub>2</sub>O, em função de grande quantidade de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> já ter sido consumido no processo de desnitrificação

logo após a redução de  $O_2$  no solo (CAMARGO, 2015). Tratando-se do efeito do pH sobre as bactérias desnitrificadoras, estas desenvolvem-se melhor quando o pH situa-se entre 6,0 e 8,0; já o processo de desnitrificação é lento quando o pH é menor que 5 e geralmente não ocorre sob pH menor que 4,0 (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

### **2.8.2 Matéria orgânica**

A adição de MO ao solo aumenta a taxa de produção do  $CH_4$  (AGOSTINETTO et al., 2002), pois a MO atua como fornecedora de elétrons para a redução do solo (SILVA et al., 2008). Em estudo realizado por Copetti et al. (2013) em casa de vegetação, utilizando um Planosolo Háplico, a incorporação de palha de arroz equivalente a  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  provocou aumento significativo nas emissões de  $CH_4$  de solo alagado ou na capacidade de campo, quando comparado ao solo sem adição de palha.

A adição de matéria orgânica também pode afetar a emissão de  $N_2O$ . Copetti et al. (2013) também avaliaram a emissão de  $N_2O$  no mesmo estudo citado anteriormente; onde os tratamentos alagado e em capacidade de campo, ambos sem adição de palha, apresentaram as maiores emissões de  $N_2O$ , comparativamente aos tratamentos sob as mesmas condições de umidade (capacidade de campo e alagado) com adição de palha em superfície ou incorporada ao solo. Os autores atribuíram a menor emissão de  $N_2O$  para os tratamentos com adição de palha, ao fato desta servir como fonte de carbono no processo de imobilização microbiana do nitrogênio já presente no solo na forma de  $NO_3^-$ .

A qualidade da MO adicionada ao solo também é importante, pois a composição química dos resíduos afeta a velocidade de sua degradação, conseqüentemente, a mineralização de elementos como o N. A adição de resíduos com elevada relação carbono:nitrogênio (C:N) pode atuar estimulando a imobilização microbiana do N e, conseqüentemente, reduzir a oferta de N aos processos produtores de  $N_2O$  no solo (YAO et al., 2010). Em estudo realizado por Toma & Hatano (2007), onde se avaliou o efeito da aplicação de vários resíduos com diferentes relações C:N na emissão de  $N_2O$ , as maiores emissões ocorreram pela adição de resíduos com menor relação C:N. Os autores atribuíram a maior

emissão de  $N_2O$  nos tratamentos com resíduos de menor relação C:N ao fato de os resíduos com essa característica apresentarem decomposição mais rápida.

### **2.8.3 Umidade do solo**

A produção de  $CH_4$  é dependente de condições estritamente anaeróbias no solo, pois os microrganismos envolvidos na produção de  $CH_4$  são anaeróbios. Essa condição é propiciada pela manutenção de uma lâmina de água acima da superfície do solo, podendo ocorrer também em sítios aeróbios onde a atividade de microrganismos aeróbios é intensa, reduzindo a taxa de difusão de  $O_2$  (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Contudo, a manutenção de uma lâmina de água baixa ou mesmo a manutenção do solo apenas saturado pode mitigar as emissões de  $CH_4$ , pois nesses casos há maior possibilidade de oxigenação dos primeiros milímetros e/ou centímetros do solo (SILVA et al., 2008). Silveira et al. (2013) em estudo realizado em Planossolo Háplico observaram significativa redução na emissão de  $CH_4$  quando da manutenção do solo saturado (lâmina  $\leq 1$  cm), onde a emissão total foi de  $14,4 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$ , enquanto que no solo inundado a emissão total foi de  $133,9 \text{ kg } CH_4 \text{ ha}^{-1}$ . No mesmo estudo, os autores verificaram baixa emissão total de  $N_2O$  independentemente da lâmina de água, com a ocorrência de apenas dois picos de emissão; o primeiro em sucessão a um evento de precipitação elevada e outro associado à aplicação de adubação nitrogenada em cobertura.

Porém, para cultivos de sequeiro, a alternância da condição de umidade do solo tem maior influência sobre a emissão de  $N_2O$ , pois favorece os processos de nitrificação/desnitrificação, que têm o  $N_2O$  como produto intermediário (TOWPRAYOON et al., 2005). A desnitrificação ocorre a partir de 60% do espaço poroso do solo preenchido por água, intensificando-se em torno de 80% (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

### **2.8.4 Temperatura do solo**

A atividade e a taxa de crescimento de microrganismos são altamente dependentes da temperatura geralmente apresentando correlação positiva entre a atividade e taxa de crescimento dos microrganismos com o aumento da temperatura até determinado ponto, quando começa a ocorrer rápido declínio pela redução da atividade ou morte (SCHÜTZ et al., 1990). Na temperatura de  $28^\circ\text{C}$ , as taxas das reações microbianas no solo são maiores, com reduções acentuadas quando a temperatura é inferior a  $25^\circ\text{C}$  ou superior a  $35^\circ\text{C}$  (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Yang & Shang (1998) identificaram correlação linear positiva entre a taxa de produção de  $\text{CH}_4$  e o aumento da temperatura na faixa de 15 a 37°C e correlação linear negativa na faixa de 37 a 60°C.

A temperatura do solo tem relação direta com a desnitrificação, aumentando exponencialmente. Porém, na faixa de 15 a 20°C, essa relação apresenta, com maior frequência, comportamento linear, relativamente ao exponencial (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Esse fato mostra que o aquecimento global poderá aumentar o potencial do processo de desnitrificação do N, que ocorre a partir da temperatura mínima de 5°C até a temperatura de 75°C (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

### **2.8.5 Fertilizantes**

A utilização de fertilizantes minerais na agricultura é ampla, visando propiciar condições adequadas de nutrientes às culturas, de forma que possam expressar integralmente seu potencial produtivo. Dentre os fertilizantes nitrogenados mais empregados na agricultura encontra-se a ureia  $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ . A desnitrificação é acelerada sob condições anóxicas e altas adições de nitrogênio (RANATUNGA et al., 2018); e a quantidade e o tipo de fertilizante aplicado ao solo pode influenciar a emissão de GEE (LE MER & ROGER, 2001). Pilleco (2013) observou em Argissolo Vermelho Distrófico arênico maior emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  na cultura do girassol utilizando fontes orgânicas de N (cama de frango e cama sobreposta de suínos) quando comparadas à adubação mineral. Em contrapartida, Chiaradia (2005) em experimento com a cultura da mamona em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, não encontrou diferença na emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  quando da aplicação da mesma quantidade de N na forma orgânica (lodo de esgoto) ou mineral. Veçozzi (2015), avaliando a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  em arroz irrigado em Planossolo Háplico, quando da utilização de diferentes fontes de N sob distintas formas de aplicação, não verificou diferença para a emissão total de  $\text{N}_2\text{O}$  entre tratamentos que receberam ureia, ureia protegida aplicada a superfície e ureia protegida aplicada no sulco de semeadura. O autor atribuiu esse fato a maior suscetibilidade momentânea da uréia protegida de ser perdida como  $\text{N}_2\text{O}$ , pois a recomendação para essas fontes foi de aplicação única no momento da semeadura do arroz, enquanto a uréia foi aplicada parcelada.

A utilização de adubos nitrogenados também pode influenciar a emissão de  $\text{CH}_4$  (ZSCHORNACK, 2011a). Se por um lado a fertilização pode aumentar a

produtividade do arroz, também pode aumentar a emissão de  $\text{CH}_4$  (Le Mer & Roger, 2001), por favorecer o desenvolvimento das plantas. Contrariamente, Bin-Feng et al. (2016) observaram que a emissão de  $\text{CH}_4$  em arroz irrigado foi maior com a menor dose de N e menor com a maior taxa de N, quando comparados à testemunha sem N. Os autores atribuíram esse comportamento à semelhança estrutural entre as moléculas de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e  $\text{CH}_4$ , levando os microrganismos metanotróficos a oxidar preferencialmente  $\text{NH}_4^+$  em relação ao  $\text{CH}_4$ , dependendo da proporção entre as moléculas no solo, favorecendo o desenvolvimento da população de microrganismos metanotróficos.

#### **2.8.6 Sistemas de cultivo do solo (Convencional e “Plantio direto”)**

O revolvimento do solo no sistema convencional de cultivo interfere na dinâmica e balanço do carbono, pois aumenta a oxigenação do solo, influenciando consequentemente a mineralização da matéria orgânica, que exerce efeito sobre as emissões de carbono (C) para a atmosfera. A matéria orgânica particulada (fragmentos orgânicos de tamanho maior que  $0,45 \mu\text{m}$ ) tem nos agregados do solo sua principal proteção contra o ataque de microrganismos (DIECKOW et al., 2004). Assim, operações como aração e gradagem desestruturam o solo, favorecendo a perda de carbono na forma de  $\text{CO}_2$  pela atividade dos microrganismos, reduzindo o teor de MO no solo.

Avaliando o efeito do preparo ou não do solo em área de terras baixas, sobre a emissão de  $\text{CH}_4$  no cultivo do arroz irrigado, Costa et al. (2004) observaram que a emissão sazonal de  $\text{CH}_4$  na safra 2002/2003 foi 33% maior no sistema convencional, quando comparado ao plantio direto. Na safra seguinte praticamente não houve diferença na emissão sazonal, mas considerando apenas a emissão na fase vegetativa da cultura, o arroz irrigado sob sistema convencional de cultivo apresentou maiores emissões nas duas safras.

Um dos pilares do sistema plantio direto é a manutenção da cobertura do solo, que pode beneficiar não só o ecossistema em si, mas também a cultura de real interesse produtivo pelo produtor. Amado et al. (2001) avaliaram o balanço de carbono orgânico e nitrogênio total em sistemas de cultivo de milho em Argissolo Vermelho distrófico arênico e constataram que a inclusão de plantas de cobertura levou o solo (camada de 0-20 cm), após oito anos, à apresentar  $5,42 \text{ Mg ha}^{-1}$  de C e  $1,27 \text{ Mg ha}^{-1}$  de N acima dos valores determinados no sistema milho/pousio,

demonstrando a capacidade que as práticas de manejo têm de influenciar o balanço de elementos com direta relação com os GEE.

Costa et al. (2008a) verificaram em um experimento de longa duração (18 anos) em Argissolo Vermelho distrófico típico envolvendo sistemas de cultivo convencional e plantio direto associados às sucessões aveia/milho e ervilhaca/milho, que esta associada ao plantio direto proporcionou um balanço positivo de carbono, comparativamente aos demais tratamentos.

Zschornack et al. (2018) determinaram na cultura do arroz irrigado sob plantio direto em três níveis de manejo (médio, alto e muito alto), diferenças entre as emissões acumuladas médias de CH<sub>4</sub> em três anos de estudo em Gleissolo, atribuindo às diferenças à produção de biomassa da vegetação de cobertura na entressafra e aos diferentes níveis de manejo adotados. No mesmo estudo, os autores observaram que a intensificação do manejo levou à maior emissão de CH<sub>4</sub> durante a entressafra, atribuindo o fato à maior produção de biomassa do arroz e elevado teor de umidade do solo. Estes dados demonstram que as variações de manejo, dentro de um mesmo sistema de preparo do solo, leva a respostas diversas desse agroecossistema em relação às emissões de GEE.

### **3 Hipóteses**

O cultivo de espécies de sequeiro em rotação ao arroz irrigado em Planossolo apresenta potencial mitigador de emissões de CH<sub>4</sub>, mas potencializa as emissões de N<sub>2</sub>O.

As emissões de GEE em sistemas de rotação de culturas em Planossolo são maiores no período de safra de primavera/verão, relativamente à entressafra de outono/inverno.

A adoção de sistema convencional de preparo do solo em sistemas de rotação de culturas em Planossolo proporciona maiores emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, relativamente ao sistema plantio direto.

### **4 Objetivos**

Avaliar o efeito da inserção da soja e de sorgo forrageiro em rotação ao arroz irrigado em Planossolo sobre as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do solo e potencial de aquecimento global parcial.

Determinar a contribuição dos períodos de safra e entressafra para as emissões de GEE de sistemas envolvendo espécies sequeiro em rotação ao arroz irrigado em Planossolo.

Determinar a influência do sistema de preparo do solo, convencional e plantio direto, sobre a emissão sazonal e anual de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O de sistemas de rotação de culturas em Planossolo.

## **5 Material e métodos**

### **5.1 Área experimental**

As coletas foram realizadas sob condições de campo, no período de 12 de maio de 2016 a 04 de maio de 2017, na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, no Município de Capão do Leão, RS, em um Planossolo Háplico (STRECK et al., 2008). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é subtropical úmido ou temperado (Cfa). A temperatura média anual é de 17,6°C e a precipitação média anual, de 1.300 mm.

A área experimental foi implantada no outono/inverno de 2015 com a cultura de azevém, cultivar BRS Ponteio. No início da primavera de 2015, essa foi dividida em duas partes; metade da área foi preparada em sistema convencional de cultivo e a outra metade foi dessecada, para a implantação das espécies de verão em sistema plantio direto. As espécies de verão foram inseridas em quatro sistemas de rotação de culturas: arroz-arroz-arroz-arroz; soja-soja-soja-arroz; sorgo-sorgo-sorgo-arroz e soja-sorgo-soja-arroz.

Em todos os sistemas de rotação de culturas, durante o período de entressafra, as parcelas experimentais foram cultivadas com azevém sob pastejo simulado, através do corte e remoção da biomassa vegetal produzida. O azevém foi cultivado em sistema de semeadura direta sobre a palha das culturas antecedentes. O manejo do azevém e das culturas de verão seguiu as indicações da pesquisa para o Sul do Brasil (Comissão..., 2004; Reunião..., 2013; Reunião..., 2014; e Reunião..., 2016) e são descritos a seguir.

### **5.2 Manejo dos cultivos de inverno e verão**

Na entressafra 2016, foi cultivado o azevém, cultivar BRS Ponteio. A adubação de base consistiu na aplicação de 400 kg.ha<sup>-1</sup> da formulação 5-25-25; essa dose foi estabelecida considerando o azevém como 1º cultivo. O azevém



recebeu três cortes, (simulando o pastejo das áreas), em 30 de junho, 17 de agosto e 28 de outubro, quando se avaliou a produção de matéria seca da parte aérea presente. O azevém recebeu, ainda, duas adubações nitrogenadas em cobertura ( $50 \text{ kg.ha}^{-1}$  de N cada, nas áreas previamente cultivadas com arroz irrigado e sorgo, e 1ª e 2ª adubações em cobertura de  $30$  e  $50 \text{ kg.ha}^{-1}$  de N, respectivamente, nas áreas previamente cultivadas com soja), após o primeiro e o segundo cortes. Em 07 de novembro de 2016, procedeu-se à dessecação do azevém.

Na safra 2016/17, o preparo de solo foi realizado em 08 de novembro de 2016. A cultivar de arroz Puitá Inta CL (ciclo de aproximadamente 125 dias) foi semeada em 10 de novembro de 2016 nos sistemas convencional e plantio direto, com espaçamento entre linhas de 17,5 cm e densidade de semeadura para a obtenção de aproximadamente  $225 \text{ plantas.m}^{-2}$ . A adubação de base foi de  $300 \text{ kg.ha}^{-1}$  da formulação 5-25-25. A emergência da cultura (50%) ocorreu em 25 de novembro de 2016. O arroz recebeu duas adubações nitrogenadas em cobertura na dose de  $52,5 \text{ kg.ha}^{-1}$  de N cada, como uréia. A primeira cobertura foi realizada no estágio de quatro folhas (V4), no dia 12 de dezembro de 2016, sendo seguida pela imediata entrada da água nas parcelas; e a segunda no estágio de iniciação da panícula (R0), no dia 17 de janeiro de 2017, estimado pelo método de graus-dia (STEINMETZ et al., 2010). A drenagem da água e colheita do arroz ocorreram nos dias 20 e 24 de março de 2017, respectivamente.

O sorgo forrageiro cultivar BRS 802 foi semeado em 22 de novembro de 2016, com espaçamento de 45 cm entre linhas e densidade de 29 sementes. $\text{m}^{-1}$ . A adubação de base foi de  $250 \text{ kg.ha}^{-1}$  de 5-25-25. A emergência da cultura (50%) ocorreu em 27 de novembro. As adubações nitrogenadas de cobertura ( $40 \text{ kg.ha}^{-1}$  de N cada, como ureia) foram realizadas nos dias 13 de dezembro de 2016, 09 de janeiro e 06 de fevereiro de 2017. A colheita do sorgo foi realizada em 03 de maio de 2017.

A soja cultivar Brasmax Ponta IPRO foi semeada em 24 de novembro de 2016, com espaçamento de 45 cm entre linhas em densidade de 20 sementes. $\text{m}^{-1}$ . A adubação de base consistiu na aplicação de  $90 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , como superfosfato triplo, e  $75 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , como cloreto de potássio. Esses fertilizantes foram aplicados à lanço em superfície. A emergência da cultura ocorreu em 30 de novembro. A soja recebeu adubação potássica em cobertura ( $45 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ,

como cloreto de potássio) no dia 23 de janeiro de 2017. A colheita da soja foi realizada em 18 de abril de 2017.

### **5.3 Tratamentos e delineamento experimental**

Os tratamentos avaliados incluíram as combinações dos fatores sistema de cultivo (convencional e plantio direto) e rotação de culturas de verão (arroz-arroz-arroz-arroz; soja-soja-soja-arroz; sorgo-sorgo-sorgo-arroz e soja-sorgo-soja-arroz). Importante salientar que na safra 2016/17, dois tratamentos receberam a nomenclatura Sorgo SC e outros dois a nomenclatura Sorgo PD seguidos do número 1 e 2. Aqueles tratamentos seguidos do número 1 foram antecedidos pelo cultivo do sorgo na safra 2015/16, enquanto que os seguidos pelo número 2 foram antecedidos pela cultura da soja na safra 2015/16. Os tratamentos avaliados foram dispostos em delineamento de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas principais foram alocados os níveis do fator sistema de cultivo e nas subparcelas, os níveis do fator rotação de culturas. As parcelas principais apresentaram dimensões de 36 m x 40 m e as subparcelas, de 12 m x 20 m. Em duas subparcelas não foram feitas avaliações. Em três das quatro repetições de cada tratamento foram distribuídos sistemas coletores de gases de efeito estufa, do tipo câmara estática fechada, constituindo as repetições dos tratamentos para as variáveis associadas ao monitoramento de emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$ .

### **5.4 Amostragem e análise dos gases $CH_4$ e $N_2O$**

A amostragem do ar para avaliação de emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  foi realizada com periodicidade aproximadamente semanal, no horário das nove às onze horas da manhã, entre 12 de maio de 2016 a 04 de maio de 2017. Após as aplicações de fertilizante nitrogenado, foram realizadas coletas intensivas nos três dias subsequentes à aplicação de nitrogênio. Para a coleta do  $CH_4$  e  $N_2O$  do solo foi utilizado o método da câmara estática fechada, adaptado de Mosier (1989).

Anteriormente ao início do período das coletas, foram “fixadas” ao solo, bases metálicas que apresentam uma canaleta na parte superior. Utilizaram-se modelos de bases distintos para os tratamentos desenvolvidos nos ambientes alagado e de sequeiro (Figura 4a e 4c). No momento das coletas, acoplava-se um topo metálico sobre as bases (Figura 4b e 4d), onde a vedação hermética do conjunto base e topo foi obtido pelo preenchimento da canaleta da base com água. Conforme a cultura do arroz foi se desenvolvendo, um ou dois extensores foram acoplados entre as bases

e os topos. Na cultura da soja, sorgo e azevém, não houve a necessidade de implantação de extensores. Nas culturas da soja e sorgo as plantas foram removidas do interior das câmaras. Apesar das plantas de soja serem capazes de formar aerênquima lisígeno (PIRES et al., 2002), esta não foi considerada importante via de emissão de GEE, pois as parcelas cultivadas com soja foram mantidas continuamente drenadas.

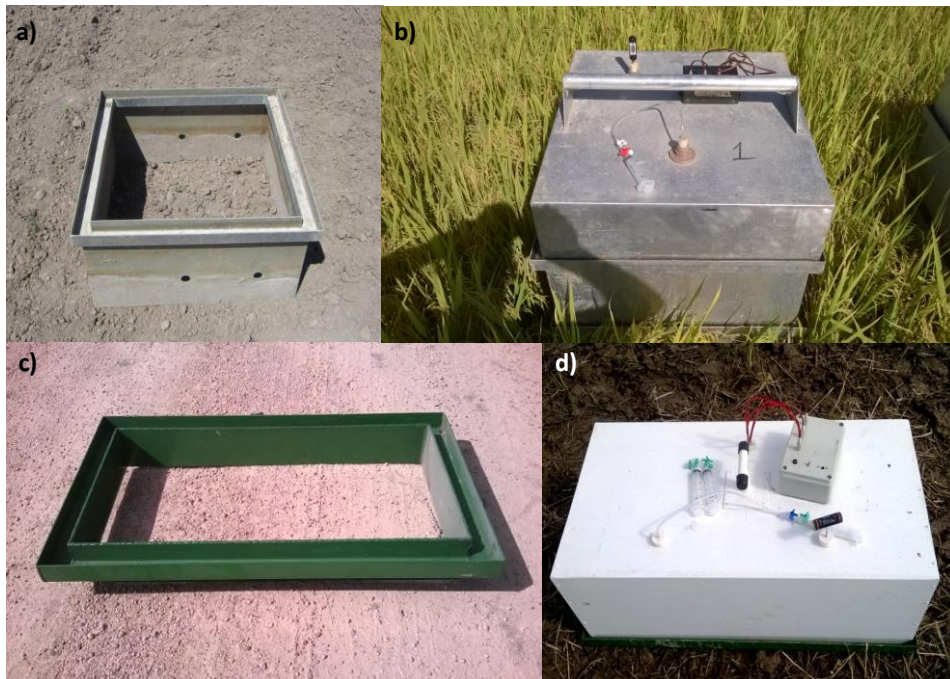


Figura 4 - Base metálica (a) e topo (b) para o arroz e base metálica (c) e topo (d) para culturas de sequeiro.

Fotos: Thaís Antolini Veçozzi

As coletas foram realizadas nos tempos 0, 5, 10 e 20 minutos após o acoplamento das câmaras às bases. As câmaras são equipadas com termômetros digitais, ventiladores internos e tubos vedados. Os termômetros digitais mediram a temperatura do ar no interior de cada um dos sistemas em todos os tempos de coletas. Antes de cada coleta, os ventiladores eram acionados para a circulação e homogeneização do ar no interior da câmara por 30 segundos, exceto no tempo zero de coleta. Os tubos possibilitaram a coleta das amostras, retiradas manualmente por seringas de polipropileno com capacidade para 20 mL (GOMES et al., 2009).

Imediatamente após a coleta em cada tempo, as seringas foram acondicionadas em caixas térmicas e, posteriormente, o seu conteúdo, era

transferido para frascos de vidro, previamente evacuados e com tampa de borracha, que impedem a dispersão das amostras para o ambiente (COSTA et al., 2006). Na etapa seguinte, as amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no município de Porto Alegre, RS.

As concentrações de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O foram determinadas por cromatografia gasosa, utilizando-se um cromatógrafo Shimadzu 2014 (modelo “Greenhouse”), equipado com coluna empacotada (70 °C), detectores FID (250 °C) e ECD (325 °C) e N<sub>2</sub> como gás de arraste (26 mL min<sup>-1</sup>). Para o cálculo dos fluxos destes gases utilizou-se a equação:  $f = (\Delta Q/\Delta t) \cdot (PV/RT) \cdot (M/A)$ , onde f é o fluxo de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (μg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), Q é a quantidade do gás (μmol mol<sup>-1</sup>) na câmara no momento da coleta, t é o tempo da amostragem (min), P é a pressão atmosférica (atm) no interior da câmara - assumida como 1 atm, V é o volume da câmara (L), R é a constante dos gases ideais (0,08205 atm L mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), T é a temperatura dentro da câmara no momento da amostragem (°K), M é a massa molar do gás (μg mol<sup>-1</sup>) e A é a área da base da câmara (m<sup>2</sup>) (BUSS et al., 2012). A emissão acumulada no período foi calculada pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação dos valores diários de emissão de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> do solo (GOMES et al., 2009). A partir da obtenção das concentrações de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O pela análise das amostras de ar, foi calculado o Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) de cada tratamento, que considera o potencial de aquecimento global de cada gás em relação ao CO<sub>2</sub>, onde CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O para um horizonte de 100 anos (IPCC, 2007), apresentam 25 e 298 vezes o potencial do CO<sub>2</sub>, respectivamente. Para o cálculo do PAGp anual do tratamento sorgo 2 SC e PD foram utilizados os mesmos dados de fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> dos respectivos sistemas de cultivo da entressafra do tratamento soja, pois até a entressafra 2016 não haviam diferenças de cultura e no manejo das subparcelas onde foram alocados posteriormente os tratamentos sorgo 2 SC e PD.

A relação entre o PAGp e a produtividade das culturas foi estabelecida de forma distinta entre a entressafra 2016 e safra 2016/17 porque durante a entressafra tínhamos uma cultura em comum em todas a área experimental, enquanto na safra tínhamos culturas com a finalidade de produzir grãos (arroz e soja) e forragem (sorgo). Assim, o índice foi estabelecido entre PAGp e matéria seca de azevém produzida por hectare na entressafra; e entre PAGp e megajoule (MJ) produzido por

hectare na safra. Para a obtenção da energia produzida por cada cultura na safra foram multiplicadas as produtividades pelo seu equivalente energético unitário [arroz irrigado – 3,60 Mcal.kg<sup>-1</sup> grão (NEPA, 2011), soja – 5,05 Mcal.kg<sup>-1</sup> grão (Barletta, 2014) e sorgo – 4,45 Mcal.kg<sup>-1</sup> MS (Castro, 2014)]. Posteriormente, os valores obtidos foram multiplicados por 4,1868 para serem expressos em MJ de energia produzida por hectare.

## 5.5 Análise dos dados

Os fluxos diários dos GEE foram analisados de maneira descritiva (média ± desvio padrão).

As emissões totais de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, potencial de aquecimento global parcial (PAGp) e os índices PAGp.kg<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup> de matéria seca de azevém e PAGp.MJ<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup> de energia produzida pelos grãos (soja e arroz) ou matéria seca (sorgo forrageiro) foram submetidas à análise de variância e quando significativa, ao teste de Tukey ao nível de 5% de significância, através do software R (versão 3.2.4).

## 6 Resultados e Discussões

### 6.1 Fluxos de N<sub>2</sub>O

#### 6.1.1 Entressafra 2016

No sistema convencional, o primeiro pico de emissão de N<sub>2</sub>O foi de 2.048 mg ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, determinado no primeiro dia de avaliação para o tratamento sorgo SC (Figura 5a). Os tratamentos arroz irrigado SC e soja SC apresentaram seu primeiro pico de emissão mais tardiamente, no 25º dia após o início das avaliações, com valores 1.541 e 1.013 mg ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> (Figura 5a), respectivamente. Possivelmente esse primeiro pico de emissão de N<sub>2</sub>O para esses tratamentos se deva à presença de matéria orgânica facilmente decomponível oriunda da deposição dos restos dos cultivos antecedentes (soja e arroz), não tendo sido verificado para o tratamento cultivado anteriormente com sorgo, visto que essa cultura era de propósito forrageiro, não deixando grande quantidade de resíduos no solo. A elevada atividade de microrganismos decompositores aeróbios resulta em mineralização de compostos nitrogenados e na liberação de carbono dissolvido, promovendo o consumo de oxigênio no solo e aumentando os sítios de desnitrificação (COSTA et al., 2008b). Baggs et al. (2000) em estudo conduzido em um Cambisol (classificação da FAO) avaliando o efeito dos resíduos de gramíneas e leguminosas adicionados ao solo sobre a emissão de N<sub>2</sub>O verificaram que nos primeiros 21 dias de avaliação,

ocorreram até 87% das emissões totais. No presente trabalho, porém, os picos de emissão de  $N_2O$  durante a entressafra ocorreram em diversos momentos e em magnitude variável, estando associados, principalmente, às práticas de aplicações de N para o azevém, bem como aos eventos de chuva (Figura 5b).

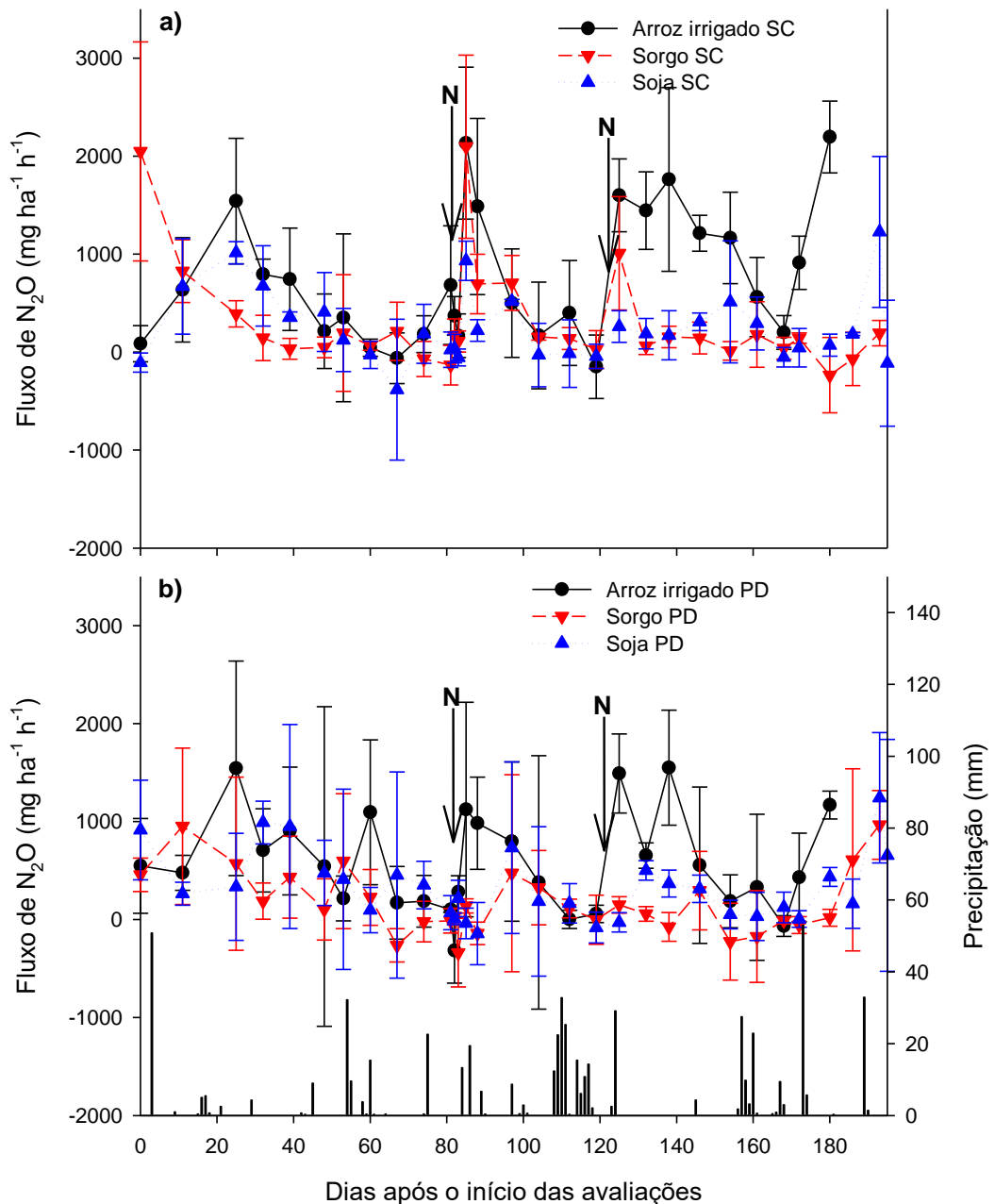


Figura 5 - Fluxo de  $N_2O$  em Planossolo durante o período de entressafra 2016 em função da cultura antecedente e do sistema de preparo do solo, convencional - SC (a) e plantio direto - PD (b). As setas indicam as fertilizações nitrogenadas no cultivo do azevém em todos os tratamentos. Barras verticais referem-se à precipitação. Dia zero corresponde a data 12 de maio de 2016.

O segundo pico de emissão de  $N_2O$  ocorreu em todos os tratamentos no 85º dia após o início das avaliações, com valores de 2.132; 2.096 e 932  $mg\ ha^{-1}h^{-1}$  (Figura 5a), para as áreas previamente cultivadas com arroz irrigado SC, sorgo SC e soja SC, respectivamente, coincidindo com a primeira aplicação de nitrogênio em cobertura para o azevém. Vale destacar que a menor magnitude de emissão de  $N_2O$  no tratamento onde se cultivou soja na safra anterior pode ser explicada pela menor dose (30  $kg\ ha^{-1}$  de N) na 1ª adubação de cobertura nessa área, comparada às cultivadas anteriormente com arroz e sorgo (50  $kg\ ha^{-1}$  de N). Ao avaliar as emissões de  $N_2O$  em função da dose e da fonte de N em cultivo de arroz irrigado, Cai et al. (1997) observaram aumento das emissões com o aumento da dose de N aplicada, independentemente da fonte em um Stagnic Luvisols (classificação da FAO).

Os demais picos de emissão de  $N_2O$  ocorreram após a segunda aplicação de N em cobertura (124º dia) ou em sucessão a eventos de precipitação pluviométrica elevada (Figura 5a). As maiores emissões observadas no tratamento arroz irrigado SC após o 124º dia são atribuídas à manutenção do solo com umidade elevada após eventos de precipitação, visto que as taipas das parcelas cultivadas com arroz foram mantidas durante a entressafra. Esse fato, aliado à drenagem natural deficiente dos solos hidromórficos deve ter contribuído para a intensificação do processo de desnitrificação, que tem o  $N_2O$  como produto intermediário. Também as operações de preparo do solo podem ter contribuído para a redução na capacidade de infiltração de água do solo, mantendo-o sob saturação por período mais longo. Nesse sentido, Lima et al. (2006) determinaram maior densidade e menor porosidade total na camada de 0-10 cm do mesmo solo do presente estudo, quando manejado sob sistema convencional de preparo, comparativamente ao sistema plantio direto.

Com relação ao sistema plantio direto, o tratamento arroz irrigado PD foi o que apresentou picos de emissão de  $N_2O$  de maior magnitude, com valores de 1.543; 1.095; 1.122 e 1.594  $mg\ ha^{-1}h^{-1}$  no 25º, 60º, 85º e 138º dia após o início das avaliações (Figura 5b), relativamente aos tratamentos onde foram cultivadas culturas de sequeiro anteriormente. Assim como no sistema convencional de cultivo, as variações nas emissões de  $N_2O$  do solo dos tratamentos sob plantio direto durante a entressafra estiveram associadas às aplicações de nitrogênio para o azevém e à provável variação na umidade do solo decorrente de eventos de chuva. Salvo et al.

(2013), determinaram em um experimento de longa duração em um Argiudol típico (classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), envolvendo rotação de culturas e sistemas convencional e plantio direto, que as maiores emissões observadas durante um ano agrícola, ocorreram durante o cultivo do trigo; e que o manejo conservacionista (PD) apresentou menor emissão acumulada de  $N_2O$  no período, em comparação ao sistema convencional. Os autores atribuíram aos picos de emissão de  $N_2O$  ao aumento dos níveis de nitrato (via adubação ou mineralização da MO) e da porosidade do solo preenchida por água, favorecendo a desnitrificação.

### **6.1.2 Safra 2016/17**

No sistema convencional, durante a safra de primavera/verão (2016/17), os picos de emissão de  $N_2O$  foram menos freqüentes, destacando-se alguns picos nos tratamentos arroz irrigado SC e sorgo SC 1. Especificamente na área cultivada com arroz irrigado, determinou-se um pico de emissão de  $N_2O$  de elevada magnitude ( $48.422 \text{ mg ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), correspondendo ao 24º dia após o início das avaliações (Figura 6a). Na mesma data, determinou-se, ainda, um pico de emissão de  $N_2O$  no tratamento sorgo SC 1, com valor de  $44.846 \text{ mg ha}^{-1}\text{h}^{-1}$  (Figura 6a). Ambos os picos devem estar relacionados à recente incorporação da palha de azevém ao solo, associada à umidade elevada do solo dessas parcelas experimentais, que apresentaram pior drenagem que as demais parcelas do mesmo sistema de preparo do solo, as quais não apresentaram picos de emissão de  $N_2O$  elevados nesse momento. A avaliação da precipitação incidente na área experimental revelou um volume de chuva de 28 mm nos dias anteriores ao primeiro pico de emissão de  $N_2O$ , justificando sua ocorrência. Baggs et al. (2003) em estudo conduzido em um Cambisol (classificação da FAO) avaliaram a emissão de  $N_2O$  do solo de áreas sob sistema convencional (com incorporação de palha de trigo) e plantio direto (palha de trigo depositada em superfície) e manejos da fertilização nitrogenada, tendo verificado picos de emissão de  $N_2O$  entre 15 e 25 dias após o início das avaliações. Os autores determinaram maiores emissões de  $N_2O$  nos dois sistemas de cultivo com e sem fertilização nesse período, quando comparado ao tratamento controle (sem adição de N e palha de trigo), atribuindo-as à combinação adição de palha e fertilizante nitrogenado. Assim, a adubação básica de semeadura deve ter fornecido



N para o processo de desnitrificação e também favorecido a decomposição da palha de azevém.

Outros picos de emissão de  $N_2O$  para o tratamento sorgo SC 1 de menor intensidade (7.862 e 5.878  $mg\ ha^{-1}h^{-1}$ ) foram determinados no 47º e 61º dia após o início das avaliações, respectivamente (Figura 6a). O pico de emissão de  $N_2O$  no tratamento sorgo SC 1 aos 47 dias após o início das avaliações está associado ao acúmulo de eventos de chuva (Figura 6b) que antecederam o referido fluxo; enquanto o pico de fluxo observado no 61º após o início das avaliações esteve relacionado à associação precipitação e aplicação da segunda adubação de cobertura nitrogenada no sorgo (Figura 6a).

Nas áreas cultivadas com soja em ambos os sistemas de preparo do solo, com exceção ao primeiro pico de emissão de  $N_2O$  observado aos 24 dias após o início das avaliações no plantio direto (Figura 6b), não determinou-se picos de elevada magnitude durante o período de avaliação. Esse fato é atribuído à boa drenagem superficial durante o período de avaliação e à ausência de adubação nitrogenada de cobertura na cultura da soja associada, que obtém o nitrogênio através da fixação biológica de nitrogênio (FBN), reduzindo as perdas de N do sistema, quando comparado à adubação nitrogenada mineral.

Na área cultivada com arroz irrigado, por sua vez, as menores emissões de  $N_2O$  após o elevado pico medido no 24º dia após o início das avaliações estiveram relacionados à manutenção de lâmina de água contínua a partir da entrada de água na lavoura até o final do ciclo da cultura, evitando ciclos de umedecimento e secagem do solo e, portanto, a alternância nas condições de oxirredução.

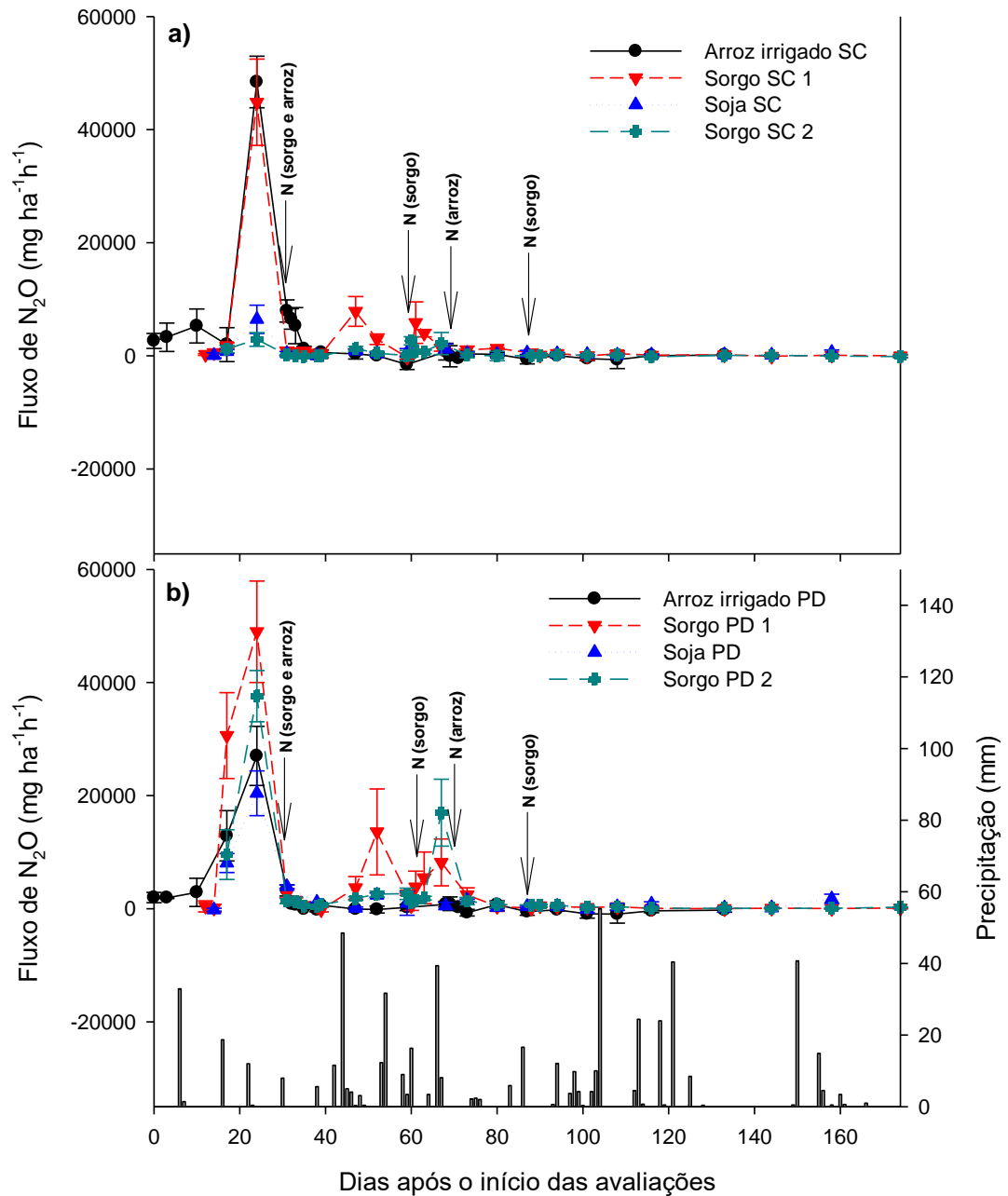


Figura 6 - Fluxo de  $N_2O$  em Planosolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC (a) e plantio direto - PD (b). Barras verticais referem-se à precipitação. Dia zero corresponde a data 11 de novembro de 2016.

Sob plantio direto, as culturas apresentaram quanto a emissão de  $N_2O$ , comportamento similar ao sistema convencional. O primeiro pico de emissão ocorreu em todos os tratamentos aos 24 dias de avaliação (Figura 6b). Os picos de emissão de  $N_2O$  foram de 27.036; 48.983; 20.431 e 37.596  $mg\ ha^{-1}h^{-1}$  para os tratamentos arroz irrigado PD, sorgo PD 1, soja PD e sorgo PD 2, respectivamente. A expressão da emissão em todos os tratamentos em PD pode estar relacionada à contribuição

da palha no referido sistema, disponibilizando MO e mantendo a umidade da superfície do solo por mais tempo. Rosalino (2014), em estudo realizado em Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico, avaliou os fluxos de  $N_2O$  na cultura da soja após diferentes manejos da palha na entressafra. O autor também presenciou elevado pico de emissão no início do cultivo (13 e 18 dias após a semeadura da soja) no tratamento sob plantio direto cultivado com azevém na entressafra com simulação de pastejo através de cortes, atribuindo este fato a uma irrigação por banho na cultura da soja, que propiciou condições de anaerobiose favoráveis à desnitrificação. A menor magnitude do primeiro pico de emissão de  $N_2O$  na cultura da soja em PD em relação aos demais tratamentos, deve estar relacionado à ausência de adubação nitrogenada de base, condicionando à produção de  $N_2O$  do solo ao teor de N proveniente da mineralização da matéria orgânica, enquanto que, nos outros cultivos o fornecimento de N mineral potencializa o fornecimento de substrato para a produção de  $N_2O$ .

Os demais picos de emissão de  $N_2O$  na cultura do sorgo em PD foram de 13.587 e 8.195  $mg\ ha^{-1}h^{-1}$  para o tratamento sorgo PD 1 no 52º e 67º dia após o início das avaliações, respectivamente; e 16.988  $mg\ ha^{-1}h^{-1}$  no tratamento sorgo PD 2 no 67º dia (Figura 6b). Os picos determinados na cultura do sorgo sob plantio direto estiveram relacionados, assim como no SC, a eventos de chuva e adubação nitrogenada de cobertura (Figura 6b).

Do 70º dia até o final das avaliações, a intensidade das emissões de  $N_2O$  no SC e PD em todos tratamentos (Figuras 6a e 6b) foram bem menores, devido à implementação de sistema de drenagem superficial do solo, condicionando o solo à maior aerobiose. Weier et al. (1993), ao avaliarem a taxa de desnitrificação de N de quatro solos, determinaram que, independente da adição de N e C solúvel ao solo, a taxa de desnitrificação aumentava proporcionalmente ao percentual de poros preenchidos com água.

## 6.2 Fluxo de CH<sub>4</sub>

### 6.2.1 Entressafra 2016

De forma geral, as emissões de CH<sub>4</sub> do solo durante o período de entressafra (2016) foram muito baixas, exceção feita para as áreas relativas aos tratamentos onde se cultivou anteriormente arroz irrigado (Figuras 7a e 7b). As áreas cultivadas com arroz irrigado (tratamentos arroz irrigado SC e arroz irrigado PD) apresentaram picos de emissão de CH<sub>4</sub> de baixa magnitude e decrescentes no período inicial das avaliações (zero a 30 dias). Após, as emissões determinadas foram praticamente nulas, caracterizadas pela alternância de fluxos e influxos de baixíssima magnitude desse GEE (Figuras 7a e 7b). A maior emissão de CH<sub>4</sub> determinada no início do período de entressafra, seguida de decréscimo nas emissões, é explicada pelo fato de que mesmo após a drenagem da área para a colheita do arroz, o solo ainda permanece por algum tempo com umidade elevada ou até mesmo saturado, condicionando anaerobiose do solo, mantendo a produção e emissão de CH<sub>4</sub>. Além disso, após a supressão da irrigação, pode ocorrer a liberação de bolhas de CH<sub>4</sub> que estavam aprisionadas sob a lâmina de água, aumentando o efluxo de CH<sub>4</sub> (NEUE et al., 1997). Silva (2014) também determinou alguns picos de emissão de CH<sub>4</sub> em seguida à colheita do arroz, com posterior decréscimo, atribuindo o fato à elevada umidade inicial presente na área durante o início do período da entressafra.

A baixíssima ou ausência de emissões de CH<sub>4</sub> durante o restante do período de avaliação (30<sup>o</sup> dia em diante) nas áreas previamente cultivadas com arroz irrigado, bem como ao longo de toda a entressafra, para as áreas cultivadas com soja e sorgo (Figuras 7a e 7b), é resultado da ausência de lâmina de água sobre o solo, pois a metanogênese é um processo estritamente anaeróbio (SILVA et al., 2008).

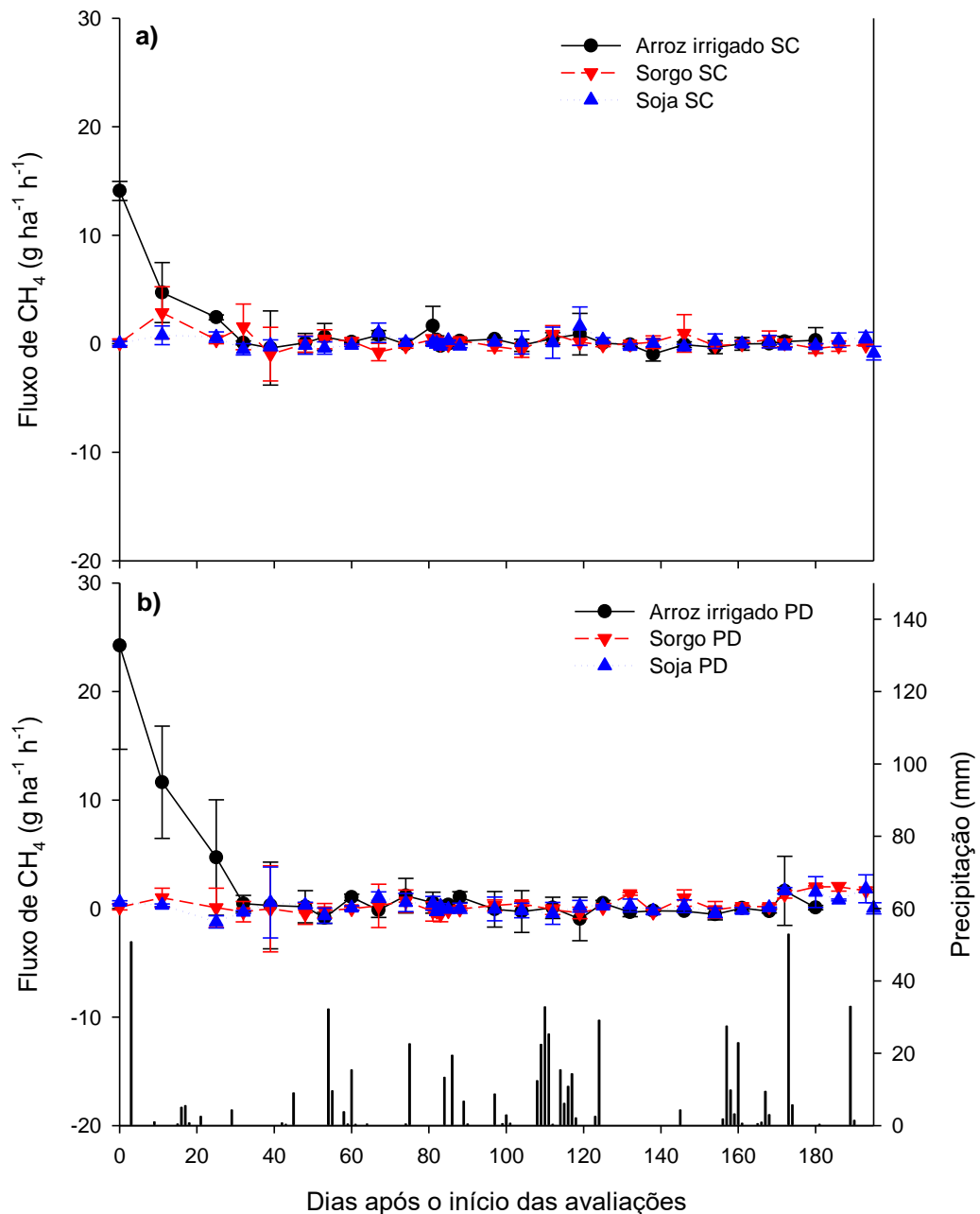


Figura 7 - Fluxos de CH<sub>4</sub> em Planosolo durante o período de entressafra 2016 em função da cultura antecedente e do sistema de preparo do solo, convencional - SC (a) e plantio direto - PD (b). Barras verticais referem-se à precipitação. Dia zero corresponde a data 12 de maio de 2016.

### 6.2.2 Safra 2016/17

Em ambos os sistemas de preparo do solo, os fluxos de CH<sub>4</sub> do solo foram praticamente nulos nas áreas cultivadas com sorgo e soja (Figuras 8a e 8b). O comportamento dos fluxos de CH<sub>4</sub> observado para os tratamentos arroz irrigado SC e PD foram semelhantes, caracterizado por padrões similares de emissão ao longo do tempo, embora diferindo em magnitude. As emissões de CH<sub>4</sub> nas áreas

cultivadas com arroz irrigado (arroz irrigado SC e PD) iniciaram cerca de 45 dias após o começo das avaliações (Figuras 8a e 8b), aumentando em intensidade até o 68º dia após o início das avaliações, quando apresentaram valores máximos, correspondentes a 572 e 620 g ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, respectivamente. Costa (2005) e Zschornack (2011a) conduzindo experimentos em Argissolo e Gleissolo, respectivamente, verificaram comportamento similar para os fluxos de CH<sub>4</sub> em cultivos de arroz irrigado nos SC e PD, associando-o à variação no potencial de oxirredução e à disponibilidade de matéria orgânica do solo.

Com relação aos picos máximos de emissão de CH<sub>4</sub> no 68º dia nas áreas cultivadas com arroz irrigado, possivelmente estejam associados ao estágio de desenvolvimento das plantas de arroz (início da fase reprodutiva), apresentando bom desenvolvimento do sistema radicular, liberando quantidades consideráveis de exudatos no meio de cultivo. O aporte de fontes de N inorgânico ao arroz, principalmente na fase vegetativa, contribui para o maior desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, para a liberação de exsudatos radiculares (REDDY & DELAUNE, 2008). Outro fator importante é a acumulação de ácidos orgânicos do solo devido ao alagamento (SILVA et al., 2008); esses constituem-se em substrato para a produção de CH<sub>4</sub>. Além disso, na fase reprodutiva, a planta de arroz encontra-se bem desenvolvida, apresentando maior volume de aerênquima, principal via de transporte do CH<sub>4</sub> produzido no solo para a atmosfera, aliado à maior contribuição em substratos orgânicos para o processo de metanogênese. Aulakh et al. (2001) em experimento em casa de vegetação, verificaram que a produção de CH<sub>4</sub> em cultivo de arroz irrigado foi maior no período compreendido entre as fases de iniciação da panícula e floração, coincidindo com os períodos de maior produção de exsudatos.

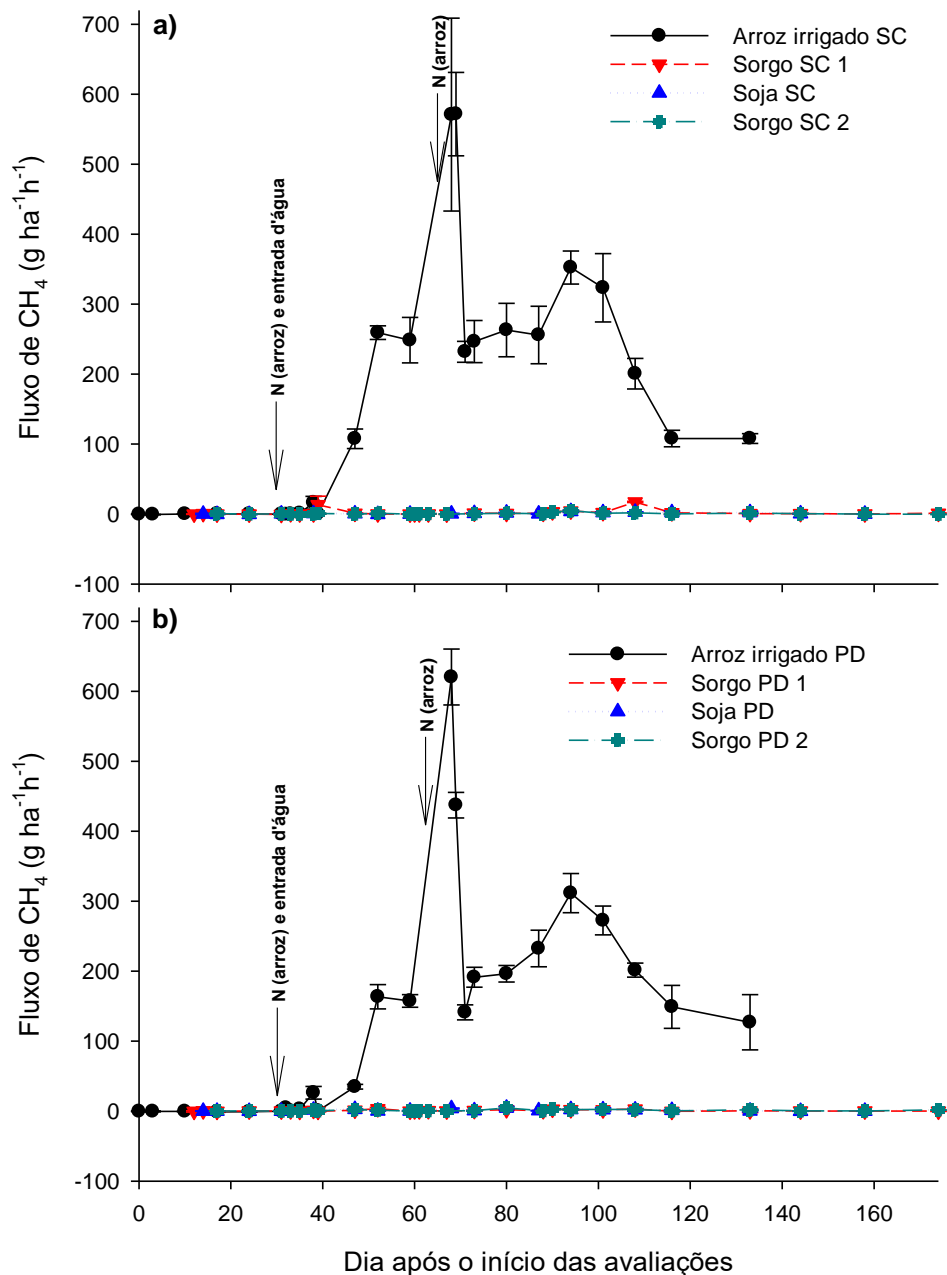


Figura 8 - Fluxos de CH<sub>4</sub> em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC (a) e plantio direto - PD (b). Dia zero corresponde a data 11 de novembro de 2016.

O segundo pico mais alto de emissão de CH<sub>4</sub> ocorreu no 94º dia, com magnitudes 352 e 312 g ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> para os tratamentos Arroz irrigado SC e PD, respectivamente (Figuras 8a e 8b). Esse segundo pico de emissão ocorreu após a floração, podendo estar relacionado à formação de liteira sobre o solo, a partir da senescência e morte das folhas baixas da planta de arroz, bem como de

escamações ou morte de raízes, a qual se constitui em substrato orgânico para a metanogênese (MINAMIKAWA et al., 2006).

De forma geral, com exceção do pico de emissão de  $\text{CH}_4$  observado no 68º após o início das avaliações, os fluxos de  $\text{CH}_4$  determinados na área sob plantio direto (arroz irrigado PD) foram menores comparativamente àquela sob preparo convencional (arroz irrigado SC) (Figuras 8a e 8b). Os menores fluxos medidos no sistema plantio direto podem estar relacionados ao maior conteúdo de matéria orgânica depositado na superfície do solo, reduzindo sua exposição ao ataque microbiano, como ocorre no sistema convencional de cultivo, onde os resíduos são incorporados ao solo, sendo distribuídos em profundidade. Outro fator importante é que, no sistema plantio direto, as raízes do arroz podem se concentrar na camada mais superficial do solo, zona mais oxidada e com maior Eh (COSTA et al., 2008b) e, portanto, com menor potencial de produção de  $\text{CH}_4$ .

Zhang et al. (2013) avaliaram as emissões de  $\text{CH}_4$  em dois cultivos sucessivos de arroz irrigado sob sistemas convencional e plantio direto, verificando predominância de fluxos menores no plantio direto. Os autores atribuíram as menores emissões à maior porosidade que o solo sob plantio direto apresentou e, também, à presença de camada oxidada na interface solo/água próxima às raízes. Costa (2005) também verificou maior emissão de  $\text{CH}_4$  em arroz irrigado cultivado em sistema convencional de preparo, em comparação ao plantio direto, na maior parte do período em que o solo foi mantido inundado, exceção feita para as primeiras semanas de cultivo. O autor associou as maiores emissões de  $\text{CH}_4$  determinadas no plantio direto no período inicial de solo inundado aos maiores teores de carbono orgânico dissolvido na solução do solo, considerado indicador direto de maior metanogênese.

Com relação aos tratamentos sorgo 1, soja e sorgo 2 (SC e PD), as emissões de  $\text{CH}_4$  foram praticamente nulas durante todo o período (Figura 8a e 8b), em função das condições predominantes de aerobiose do solo durante o cultivo.

## **6.3 Emissão total de $\text{N}_2\text{O}$**

### **6.3.1 Entressafra 2016**

As emissões totais de  $\text{N}_2\text{O}$  no período da entressafra 2016 não diferiram entre os sistemas de preparo do solo. Entretanto, as áreas previamente cultivadas com arroz irrigado apresentaram maior emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  relativamente àquelas cultivadas



com soja e sorgo, as quais não diferiram entre si (Tabela 2). A maior emissão determinada em sucessão ao arroz é atribuída, principalmente, à ocorrência de dois períodos de fluxos maiores de  $N_2O$ , próximo ao 80º e 130º dias após o início das avaliações (Figuras 5a e 5b), coincidindo com períodos de aplicação de adubação nitrogenada em cobertura no azevém e eventos de precipitação, que condicionaram maior umidade no solo nas parcelas anteriormente cultivadas com arroz, que apresentaram drenagem superficial dificultada pela presença de taipas. Pimentel et al. (2015) avaliaram as emissões de  $N_2O$  do solo decorrente da adição de resíduos de leguminosas e de gramíneas de verão e de inverno sob duas condições de umidade do solo (40% e 70% dos poros preenchidos com água), tendo verificado picos de emissão de  $N_2O$  logo após a aplicação de todos os resíduos, porém esses foram maiores quando o solo apresentava maior umidade (70% dos poros preenchidos por água).

Tabela 2 - Emissões totais de  $N_2O$  em Planossolo durante o período da entressafra 2016 em função da cultura antecedente e do sistema de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD

Tratamento	SC	PD	Média
	----- $N_2O$ (kg.ha <sup>-1</sup> )-----		
Arroz irrigado	3,2 (± 0,6)	2,7 (± 0,7)	3,0A
Sorgo	1,4 (± 0,6)	1,0 (± 0,7)	1,2B
Soja	1,3 (± 0,6)	1,6 (± 0,8)	1,4B
Média	2,0 ns	1,8 ns	

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

Apesar de no presente estudo ter-se simulado o pastejo por meio do corte do azevém, uma fração do material vegetal produzido permaneceu nas parcelas, ficando exposta à degradação microbiana. Este fato, aliado às aplicações de N, contribuem para elevar as emissões de  $N_2O$  do solo (REDDY & DELAUNE, 2008). Os tratamentos sorgo e soja (Tabela 2), mesmo recebendo igual manejo na cultura do azevém, possivelmente não apresentaram emissões totais de  $N_2O$  de maior intensidade em função das parcelas serem dotadas de melhor condição de drenagem.

### 6.3.2 Safra 2016/17

Durante a safra de verão, determinou-se efeito de ambos os fatores avaliados, sistema de preparo do solo e da rotação de culturas sobre as emissões

de  $N_2O$  do solo. Para o arroz irrigado, as emissões de  $N_2O$  foram maiores na área sob sistema convencional de preparo, enquanto que para os demais tratamentos (sorgo, soja e sorgo 2) maiores emissões desse GEE ocorreram sob plantio direto (Tabela 3). As maiores emissões totais de  $N_2O$  nas rotações com os cultivos de sequeiro em plantio direto estão relacionadas, principalmente, ao pico inicial elevado de  $N_2O$  determinado nesses tratamentos (Figura 6b), que contribuiu substancialmente para a maior emissão acumulada de  $N_2O$  no período. Nesse sentido, a adição de resíduos em superfície pode ter mantido maior conteúdo de água na camada superficial do solo, favorecendo o processo de desnitrificação. Outro fato a ser destacado, é que nos primeiros centímetros do solo sob PD, possivelmente a atividade da microbiota aeróbia seja mais intensa, decorrente da grande disponibilidade de substrato em superfície, potencializando a ocorrência de microsítios anaeróbios. Costa (2005), não verificou diferença estatística entre o SC e PD para a variável carbono orgânico do solo; no entanto, na camada de 0,0 – 2,5 cm do solo, o teor de carbono orgânico no PD foi 141% maior em relação ao SC.

A análise dos dados da Tabela 3 mostra que as emissões totais medidas na área cultivada com a soja foram bem menores que as medidas nas áreas cultivadas com sorgo, exceto quando comparado ao tratamento sorgo 2 SC. Possivelmente esse comportamento se deve ao fato de boa parte do N exigido pela cultura da soja ser originado da fixação biológica do nitrogênio (FBN), que não recebeu fertilização nitrogenada mineral, conseqüentemente as variações nos fluxos de  $N_2O$  são menores que as determinadas em cultivos que recebem aporte de N, via adubação mineral ao longo do ciclo, como o sorgo e, até mesmo, arroz irrigado. Ainda que a soja seja rica em nitrogênio, a deposição de restos culturais (folhas baixas) ao longo do ciclo é gradativa, assim como a disponibilização de N mineralizável. Mackenzie et al. (1997) avaliaram as emissões de  $N_2O$  em quatro sistemas de culturas (milho contínuo, soja contínuo, milho-soja com 2 anos de rotação e soja-milho-alfafa com 3 anos de rotação) em sete fases (três com cultivo de milho na safra de avaliação, três com cultivo de soja e uma com alfafa), verificando que as emissões totais em milho contínuo aumentou com a elevação da dose de N. No entanto, quando em rotação com a soja, a emissão acumulada no cultivo do milho foi menor. Por sua vez, López et al. (1998) determinaram em laboratório o potencial de nitrificação e de desnitrificação de um solo Podzólico Vermelho Amarelo extraído

da zona radicular de cultivo de quatro espécies de Braquiária, tendo observado variações nos potenciais de nitrificação e desnitrificação em função da espécie de Braquiária, as quais foram atribuídas a diferenças nas comunidades microbianas desnitrificantes presentes. No mesmo estudo os autores também avaliaram o potencial de desnitrificação em solo sob plantio direto e convencional, verificando maior tendência de desnitrificação após 72 horas de incubação, no solo sob plantio direto. Os fatos citados contribuem para justificar as diferenças de emissões totais de N<sub>2</sub>O encontradas entre as culturas dentro de cada sistema de cultivo (Tabela 3).

Tabela 3 - Emissões totais de N<sub>2</sub>O em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD

	SC	PD	Média
	-----N <sub>2</sub> O (kg.ha <sup>-1</sup> )-----		
Arroz irrigado	10,9 (± 0,8)aA	7,7 (± 0,8) bC	9,3
Sorgo 1	11,0 (± 2,4)bA	17,4 (± 3,1)aA	14,2
Soja	2,4 (± 0,7)bB	7,0 (± 0,8) aC	4,7
Sorgo 2	1,3 (± 0,5)bB	11,4 (± 1,0)aB	6,4
Média	6,4	10,9	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

Com relação à cultura do arroz irrigado, em que a maior emissão total de N<sub>2</sub>O ocorreu no sistema convencional (Tabela 3), o comportamento observado também está fortemente associado ao primeiro pico de emissão desse GEE, contribuindo majoritariamente para as emissões totais do período (Figuras 6a e 6b). As diferenças entre os sistemas devem-se à variação na intensidade desse pico, que foi maior no sistema convencional, possivelmente devido à incorporação da palha presente durante o preparo do solo, elevando a concentração de nitrato no solo devido à mineralização da MO. Posteriormente, a elevação da umidade do solo pode ter propiciado condições para uma maior atividade da microbiota desnitrificadora.

A resposta inversa observada nos cultivos de sequeiro, onde as maiores emissões totais de N<sub>2</sub>O ocorreram no PD, podem estar associadas à menor produtividade do azevém durante a entressafra no PD nos tratamentos sorgo (9.764 kg ha<sup>-1</sup> MS) e soja (9.332 kg ha<sup>-1</sup> MS), em relação ao SC (sorgo: 11.341 kg ha<sup>-1</sup> MS; soja: 12.341 kg ha<sup>-1</sup> MS). A menor produtividade do azevém indica menor exportação de nutrientes do solo. Assim, provavelmente houve maior disponibilidade

de N inorgânico para a próxima estação de cultivo (primavera/verão), onde foram determinados os maiores picos de emissão de N<sub>2</sub>O sob PD logo no início do período de avaliação.

## 6.4 Emissão total de CH<sub>4</sub>

### 6.4.1 Entressafra 2016

Assim como para o N<sub>2</sub>O, as emissões totais de CH<sub>4</sub> no período da entressafra 2016 não diferiram entre os sistemas de cultivo, porém foram significativamente maiores nas áreas previamente sob arroz irrigado, em comparação com as cultivadas na safra de verão com sorgo e soja (Tabela 4). As maiores emissões de CH<sub>4</sub> observadas na entressafra após o cultivo do arroz são reflexo do alagamento do solo para a irrigação da cultura, pois, após a drenagem para a colheita do arroz, o solo permanece saturado por um período, e uma fração do CH<sub>4</sub> aprisionado no interior dos agregados do solo é liberada para a atmosfera no período subsequente à drenagem da lavoura, conforme pode ser observado nas figuras 7a e 7b em ambos os sistemas de cultivo no período inicial de avaliação na entressafra.

Tabela 4 - Emissões totais de CH<sub>4</sub> em Planossolo durante o período de entressafra 2016 em função da cultura antecedente e do sistema de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto – PD

Tratamento	SC	PD	Média
	-----CH <sub>4</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )-----		
Arroz irrigado	4,4 (± 0,9)	8,4 (± 5,4)	6,4A
Sorgo	1,2 (± 0,5)	1,7 (± 0,4)	1,4B
Soja	0,8 (± 0,3)	0,9 (± 0,5)	0,9B
Média	2,1 ns	3,7 ns	

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

Destaca-se, ainda, que as maiores emissões totais de CH<sub>4</sub> determinada em sucessão ao cultivo de arroz decorrem, basicamente, dos fluxos de maior intensidades ocorridos no período inicial de avaliação (três primeiras amostragens) (Figuras 7a e 7b), estando relacionados à quantidade elevada de resíduos orgânicos derivados da resteva do arroz, representando uma fonte de carbono lábil para a decomposição anaeróbia, e à liberação de bolhas de CH<sub>4</sub> aprisionadas no solo durante a safra do arroz. Glatzel & Stahr (2001) avaliaram as emissões de CH<sub>4</sub> em área cultivada com gramínea (*Lolium cynosuretum*) associada ou não ao uso da adubação. Em ambas as situações, os autores verificaram baixas emissões de CH<sub>4</sub>

em um período de 6 meses de avaliação. Os fluxos medidos no período totalizaram 1,43 e 1,27 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na área adubada e não adubada, sendo atribuídos à presença de microsítios com condições de oxirredução favoráveis à produção de CH<sub>4</sub>. Esses valores são bastante próximos aos determinados para as áreas previamente cultivadas com soja e sorgo e, mesmo, àquelas cultivadas com arroz irrigado, desconsiderando as emissões ocorridas no início do período de avaliação.

#### 6.4.2 Safra 2016/17

Em ambos sistemas de preparo, as emissões totais de CH<sub>4</sub> do solo na cultura de arroz irrigado foram maiores que as das demais (Tabela 5), em razão da condição de cultivo irrigado por inundação contínua. A condição de anaerobiose propiciada pela lâmina de água promove alterações eletroquímicas no solo, modificando a flora e a atividade microbiana, favorecendo a produção e emissão de CH<sub>4</sub> (REDDY & DELAUNE, 2008).

Tabela 5 - Emissões totais de CH<sub>4</sub> em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD

	SC	PD	Média
	-----CH <sub>4</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )-----		
Arroz irrigado	520,8 (± 32,0) aA	455,0 (± 27,3) bA	487,9
Sorgo 1	7,4 (± 1,2) <sup>ns</sup> B	2,5 (± 0,3) <sup>ns</sup> B	5,0
Soja	3,8 (± 0,0) <sup>ns</sup> B	4,1 (± 0,6) <sup>ns</sup> B	4,0
Sorgo 2	2,3 (± 0,3) <sup>ns</sup> B	4,1 (± 0,4) <sup>ns</sup> B	3,2
Média	133,6	116,5	

Médias seguidas de mesma letra minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

Na comparação entre os sistemas de preparo do solo, diferenças foram verificadas, apenas, para a cultura de arroz irrigado, para a qual maior emissão total de CH<sub>4</sub> foi determinada no sistema convencional (Tabela 5). Atribui-se esse comportamento à incorporação da palha do azevém ao solo no sistema convencional de preparo, de forma que a matéria orgânica dos resíduos da cobertura de inverno, assim como a matéria orgânica protegida fisicamente pelos agregados, foram expostas ao ataque microbiano e, por ocasião da inundação do solo, esse material orgânico se encontrava parcialmente degradado na forma de compostos orgânicos mais simples, facilitando sua conversão a CH<sub>4</sub>.

Outro fato a considerar é que o revolvimento diminui a resistência do solo à penetração das raízes do arroz, propiciando que as raízes das plantas atinjam maiores profundidades e apresentem maior volume. Em estudo realizado em Planossolo com a cultura da soja, Marchezan et al. (2013) determinaram em Planossolo Háplico eutrófico arênico, que o plantio direto ofereceu resistência mecânica restritiva ao crescimento radicular aos 12 cm de profundidade, quando comparado ao sistema convencional de cultivo. Além disso, zonas mais profundas do solo possuem menor potencial redox, que é uma condição favorável à produção de  $\text{CH}_4$ , enquanto que próximo a superfície há uma interface solo-lâmina de água que se apresenta oxidada (SOUSA et al., 2015). Costa (2005), ao comparar as emissões de  $\text{CH}_4$  sob os sistemas convencional e plantio direto, observou maior densidade de raízes de arroz na camada de 0-10 cm em plantio direto, atribuindo os menores fluxos de  $\text{CH}_4$  no plantio direto ao fato do maior volume de raízes estar concentrado na camada mais superficial, que apresentava menor potencial de produção de  $\text{CH}_4$ . Zhang et al. (2013) também observaram maiores emissões totais de  $\text{CH}_4$  em cultivos de arroz irrigado quando cultivado sob sistema convencional em relação ao plantio direto; atribuindo a menor emissão no plantio direto à maior porosidade do solo na camada mais superficial do solo (0-5 cm).

Nos tratamentos com cultivos de sequeiro durante a safra de verão (sorgo 1, soja e sorgo 2), as emissões de  $\text{CH}_4$  do solo foram pequenas e semelhantes entre si, independente do sistema de preparo do solo (Tabela 5), evidenciando a importância da condição estritamente anaeróbia para a produção do  $\text{CH}_4$ , que sob cultivos de sequeiro ocorre apenas esporadicamente e por curtos períodos em eventuais microsítios anaeróbios. Omonode et al. (2007) avaliaram as emissões de  $\text{CH}_4$  em estudo de longa duração envolvendo diferentes operações de preparo do solo e rotação de cultivos de sequeiro. Assim como no presente estudo, os autores não encontraram diferença nas emissões médias de  $\text{CH}_4$  entre as rotações de culturas. No entanto, essas foram maiores no sistema plantio direto, relativamente às áreas preparadas com arado e escarificador, atribuindo as maiores emissões de  $\text{CH}_4$  no plantio direto à não perturbação, maior umidade e cobertura do solo, fatores que contribuem para a maior frequência de sítios anaeróbios no solo.

### 6.5 Potencial de Aquecimento Global Parcial (PAGp), índice PAGp/matéria seca (PAGp/MS<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>) e PAGp/megajoule produzido por hectare (PAGp.MJ<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup>)

O potencial de aquecimento global parcial no período da entressafra 2016 e safra 2016/17, que considera o potencial de absorção de radiação dos gases N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> em relação ao dióxido de carbono, refletiu as variações nas emissões totais dos tratamentos. Por sua vez, a contribuição individual dos gases CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O para a constituição do PAGp pode ser visualizada nas Figuras 9 e 10. Durante a entressafra 2016, o PAGp foi predominantemente constituído pelo N<sub>2</sub>O, independentemente do tratamento, com valores correspondentes a 89,8; 79,2; 95,3; 95,2; 93,4 e 87,9% do total para os tratamentos arroz irrigado SC, arroz irrigado PD, soja SC, soja PD, sorgo SC e sorgo PD, respectivamente (Figura 9).

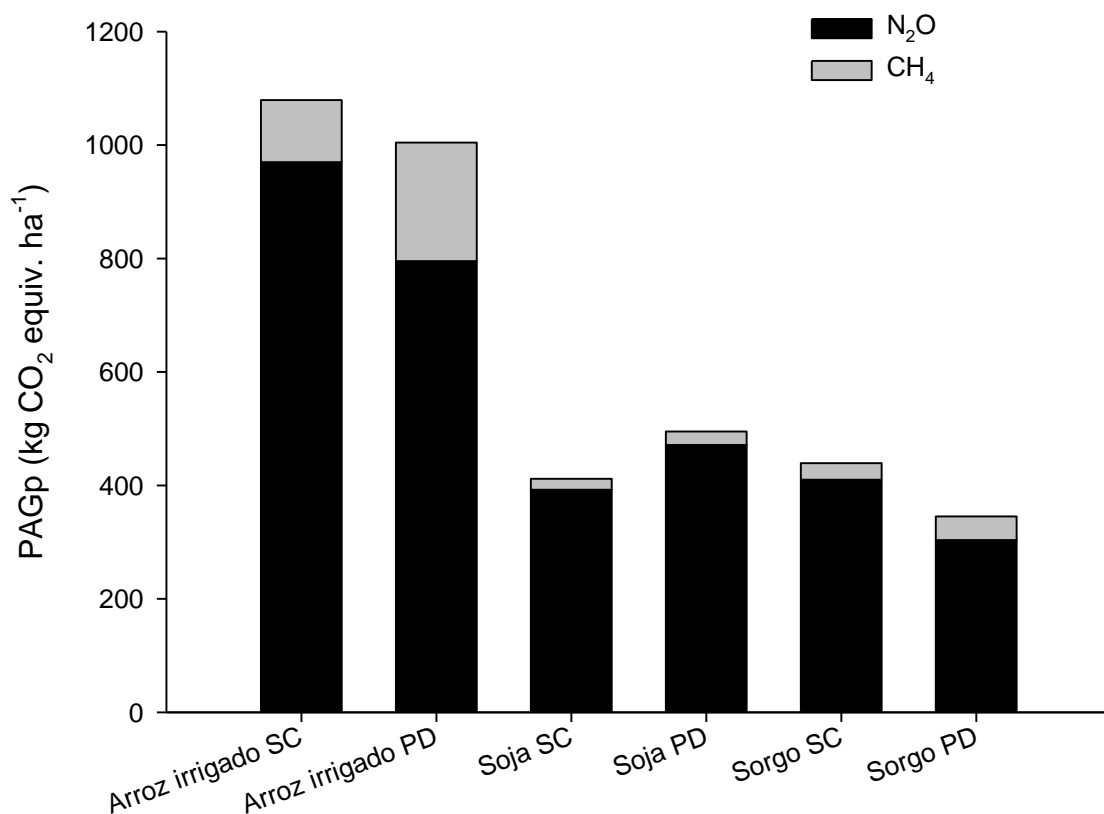


Figura 9 - Potencial de aquecimento global parcial em Planossolo durante o período de entressafra 2016 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC e plantio direto - PD.

Entre os sistemas de culturas, destacaram-se os tratamentos sobre resteva de arroz irrigado que, para ambos os sistemas de preparo do solo, apresentaram

maior PAGp que os demais (Tabela 6), devido à elevada emissão sazonal de N<sub>2</sub>O durante a entressafra, comparativamente aos demais tratamentos. BUSS (2016) avaliando o PAGp da entressafra 2013, verificou maior PAGp no tratamento antecedido pelo arroz irrigado, quando foi mantida maior umidade do solo, principalmente logo após a colheita, com maior contribuição do CH<sub>4</sub> na constituição do PAGp. Já na entressafra 2014, o autor determinou significativa redução no PAGp nos tratamentos antecedidos pela cultura da soja, comparativamente ao arroz irrigado.

Tabela 6 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) em Planossolo durante o período da entressafra 2016 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD

Tratamento	SC	PD	Média
	-----PAGp (kg CO <sub>2</sub> equiv.ha <sup>-1</sup> )-----		
Arroz irrigado	1.079,4	1.004,4	1.041,9A
Sorgo	439,2	345,3	392,3B
Soja	411,6	495,0	453,3B
Média	643,4 ns	614,9 ns	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

Durante a safra de verão (2016/17) houve diferença no PAGp, que diferiu entre os sistemas de cultivo para todas as rotações de culturas (Tabela 7). Com exceção do arroz irrigado, maior PAGp foi determinado para o plantio direto. Zschornack et al. (2011b) em estudo realizado em casa de vegetação com a cultura do arroz irrigado, também verificaram menor PAGp quando da manutenção de resíduos vegetais em superfície, comparativamente à incorporação dos resíduos ao solo, relacionando o ocorrido a lenta disponibilidade de substrato para a metanogênese. Camargo (2015) determinaram em cultivo de arroz irrigado sob inundação durante três safras, valores de PAGp entre 8.179 e 18.474 kg.CO<sub>2</sub> equiv.ha<sup>-1</sup> no sistema convencional de cultivo. No entanto, não encontraram diferença no PAGp na cultura da soja entre o SC e PD, atribuindo este fato à boa condição de drenagem estabelecida durante o período de avaliação.



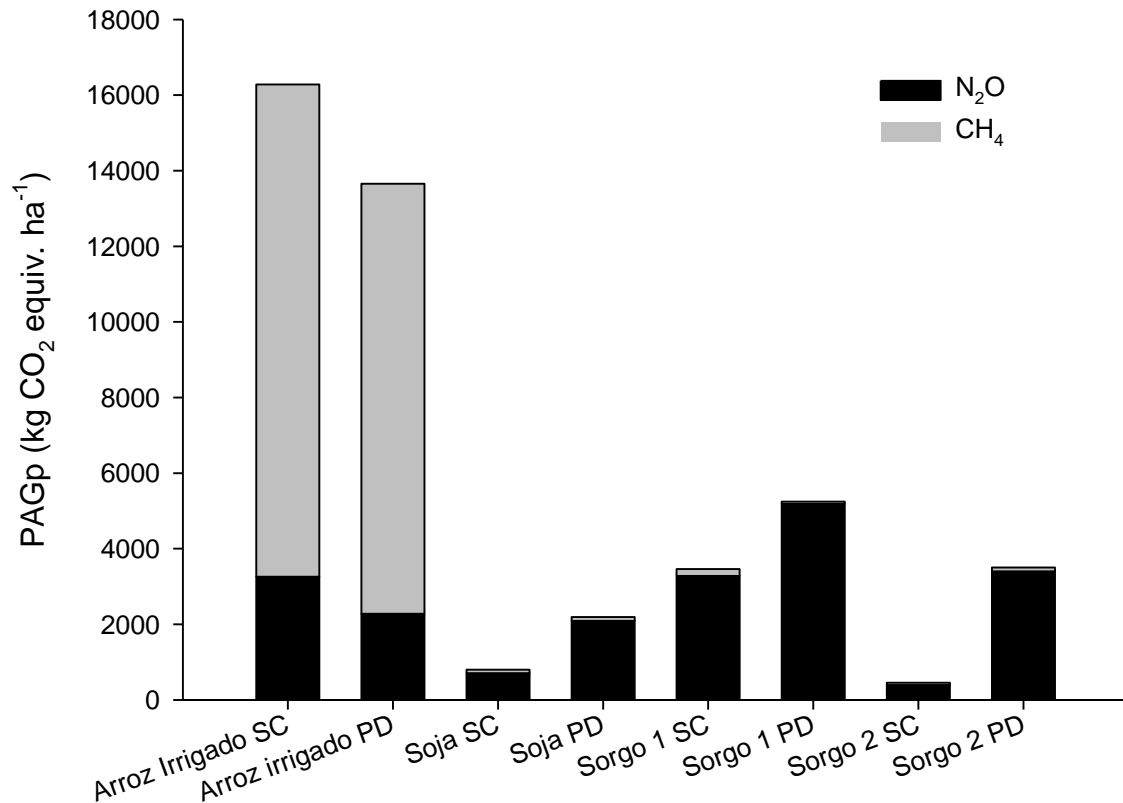


Figura 10 - Potencial de aquecimento global parcial em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC e plantio direto - PD.

Tabela 7 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD

	SC	PD	Média
-----PAGp (kg CO <sub>2</sub> equiv.ha <sup>-1</sup> )-----			
Arroz irrigado	16.278,8 aA	13.655,5 bA	14.967,1
Sorgo 1	3.464,8 bB	5.246,1 aB	4.355,5
Soja	802,5 bC	2.193,2 aC	1.497,8
Sorgo 2	452,9 bC	3.502,9aC	1.977,9
Média	5.249,8	6.149,4	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

Entre os cultivos de sequeiro, o N<sub>2</sub>O contribuiu, respectivamente, com 88,0; 95,3; 94,7; 98,8; 87,2 e 97,1% para o PAGp dos tratamentos soja SC, soja PD, sorgo 1 SC, sorgo 1 PD, sorgo 2 SC e sorgo 2 PD, enquanto que para o arroz irrigado o gás predominante foi o CH<sub>4</sub>, representando 80,0 e 83,3% do total do PAGp

nos tratamentos SC e PD, respectivamente (Figura 10). Em ambientes alagados, como no cultivo de arroz irrigado por inundação do solo, a condição estritamente anaeróbia é primordial para a gênese do CH<sub>4</sub> (LE MER & ROGER, 2001), enquanto que em cultivos de sequeiro, mesmo em terras baixas, essa condição pode ocorrer, porém em menor intensidade e frequência, apresentando, pois, menor impacto sobre a produção de CH<sub>4</sub>. Por outro lado, em áreas de sequeiro, a alternância nas condições de umidade do solo favorecem a produção de N<sub>2</sub>O pelo processo de desnitrificação (BREMNER, 1997). Isso explica a grande contribuição do N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> para o PAGp de cultivos de sequeiro e em sistemas alagados, como o cultivo de arroz irrigado, respectivamente.

A tabela 8 apresenta o PAGp anual, ou seja, de todo o período avaliado. Os valores demonstram o mesmo comportamento geral ocorrido durante a safra, onde o PAGp foi maior nos cultivos de sequeiro no PD, enquanto no SC foi maior na área cultivada com arroz irrigado. Zschornack et al. (2018) determinaram valores médios de PAGp anuais de 9.228 a 15.245 kg CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup> em função da intensidade de manejo (fertilização de base, tratamento de sementes, adubação nitrogenada de cobertura, etc) adotado na cultura do arroz irrigado em sistema PD. Exceto nos tratamentos soja SC e sorgo 2 SC, o período da safra contribuiu com mais de 80% do PAGp anual, corroborando com os percentuais anuais observados por Silva (2014) no cultivo do arroz irrigado em Planossolo. O alto percentual de contribuição do período da safra no PAGp revela a importância dos manejos na emissão de GEE, principalmente quando tratamos do uso de fertilizantes nitrogenados e o uso de sistemas de irrigação por inundação na cultura do arroz irrigado.

Tabela 8 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) anual em Planossolo em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional - SC e plantio direto - PD

	SC	PD	Média
	-----PAGp (kg CO <sub>2</sub> equiv.ha <sup>-1</sup> )-----		
Arroz irrigado	17.358,2aA	14.659,8bA	16.009,0
Sorgo 1	3.904,0 bB	5.591,4aB	4.747,7
Soja	1.214,1bC	2.688,2 aD	1.951,2
Sorgo 2	884,0bC	4.180,9aC	2.532,5
Média	5.840,1	6.780,1	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as produtividades e os índices PAGp (expresso em kg CO<sub>2</sub> equivalente.ha<sup>-1</sup>) em relação a matéria seca (MS) de azevém e PAGp em relação a megajoule de energia produzida pelos cultivos de verão, respectivamente.

Na entressafra, os maiores índices PAGp/MS de azevém foram observados nas áreas previamente cultivadas com arroz irrigado, independentemente do sistemas de preparo do solo (Tabela 9). A produção de matéria seca de azevém (Tabela 9), assim como o PAGp (Tabela 6) foram muitos próximos entre os SC e PD. Assim, nas áreas anteriormente cultivada com arroz irrigado, não houve diferença no PAGp.kg<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup> MS entre os sistemas convencional e plantio direto.

Nas áreas anteriormente cultivadas com sorgo e soja, também não houve diferenças no índice entre SC e PD. No entanto, o PAGp.kg<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup> MS foi menor nestes quando comparados às áreas previamente cultivadas com arroz irrigado, devido à associação entre menor PAGp e maior produtividade do azevém.

Tabela 9 - Produtividade do azevém e Índice PAGp.kg<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup> de matéria seca (MS) do azevém em Planossolo durante o período de entressafra em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC e plantio direto - PD

Tratamento	SC	PD	SC	PD
	----kg MS azevém.ha <sup>-1</sup> ----		--kg CO <sub>2</sub> equiv. kg <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> de MS--	
Arroz irrigado	8.825	8.634	0,12a	0,12a
Sorgo	11.341	9.764	0,04b	0,04b
Soja	12.341	9.332	0,04b	0,04b

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

Durante a safra de verão, o menor PAGp aliado à maior produtividade do arroz irrigado sob plantio direto contribuiriam para que o índice fosse 37% menor em relação ao sistema convencional. Zschornack et al. (2016) determinaram um índice próximo (0,067 na unidade deste estudo) ao observado no presente estudo em arroz irrigado produzido em PD sob alagamento contínuo em sucessão ao azevém, no entanto, não compararam ao sistema convencional de cultivo.

Nos cultivos de sequeiro (sorgo 1, soja e sorgo 2), a diferença estabeleceu-se em relação ao arroz irrigado, em ambos sistemas de cultivo, que apresentaram menor índice PAGp.MJ<sup>-1</sup>ha<sup>-1</sup> (Tabela 10), relacionados principalmente ao menor PAGp em relação ao arroz irrigado, já que as produtividades são inerentes de cada

espécie. Os dados corroboram com os obtidos por Camargo (2015), que também determinou maior PAGp por unidade de energia produzida na cultura do arroz irrigado em relação à cultivos de sequeiro. A produtividade das culturas durante a safra é característica de cada espécie em função de sua resposta ao manejo e condições meteorológicas, sendo o índice  $\text{PAGp.MJ}^{-1}\text{ha}^{-1}$  condicionado às variações entre produtividade e total de emissões de GEE.

Tabela 10 - Produtividade das culturas e Índice  $\text{PAGp.MJ}^{-1}\text{ha}^{-1}$  em Planossolo durante o período de safra 2016/17 em função de sistemas de rotação de culturas e de preparo do solo, convencional – SC e plantio direto - PD

Tratamento	SC	PD	SC	PD
	--Produtividade ( $\text{kg.ha}^{-1}$ )--		----- $\text{kg CO}_2$ equiv. $\text{MJ}^{-1}\text{ha}^{-1}$ -----	
Arroz irrigado	7.216	9.614	0,148aA	0,094bA
Sorgo 1 <sup>(1)</sup>	9.982	11.617	0,019 <sup>ns</sup> B	0,024 <sup>ns</sup> B
Soja	4.150	3.988	0,009 <sup>ns</sup> B	0,026 <sup>ns</sup> B
Sorgo 2 <sup>(1)</sup>	11.046	11.480	0,002 <sup>ns</sup> B	0,016 <sup>ns</sup> B

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%; ns - não significativo.

<sup>(1)</sup> Produtividade expressa em matéria seca.

Assim, o aumento da produtividade contribui para a redução da quantidade de  $\text{CO}_2$  equiv.  $\text{kg}^{-1}\text{ha}^{-1}$  emitido para a atmosfera, especialmente quando associada à adoção de práticas conservacionistas no manejo das culturas. É comum, porém, que o aumento na produtividade esteja associado à intensificação no manejo, como por exemplo o incremento nas adubações nitrogenadas e, conseqüente, aumento de emissões. Desta forma, fica evidente a importância de se identificar práticas de manejo das culturas que maximizem sua produtividade com menor impacto sobre as emissões de GEE.

## 7 Conclusões

A inserção de cultivos de sequeiro em rotação com o arroz irrigado em Planossolo apresenta potencial mitigador de emissões de  $\text{CH}_4$  nos períodos de safra e de entressafra, bem como do potencial de aquecimento global parcial.

No sistema plantio direto, o cultivo de sorgo promove maiores emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ , em comparação ao arroz irrigado. No sistema convencional, as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  do cultivo de arroz irrigado superam as da soja e do sorgo forrageiro, produzido em sucessão à soja.

Na entressafra, as emissões de GEE de sistemas de rotação de culturas são semelhantes nos sistema de preparo convencional e plantio direto. Durante a safra, porém, apenas as emissões do cultivo de arroz irrigado foram menores sob plantio direto, ocorrendo o contrário para os cultivos de sequeiro.

O período da safra de primavera/verão responde pela maior parte das emissões de GEE e do PAGp de sistemas de rotação de culturas em Planossolo, correspondendo, respectivamente, a 93% e 82% do total anual, para o arroz irrigado e os cultivos de sequeiro, respectivamente.

## Referências

- ABREU, E. F de. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário. 2007.** 105 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- AGOSTINETTO, D.; FLECK, N. G.; RIZZARDI, M. A.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 1073-1081, 2002.
- ALMEIDA, R. F de.; NAVES, E. R.; SILVEIRA, C. H.; WENDLING, B. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: uma revisão. **Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 8, n. 2, p. 441-461, 2015.
- ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. de.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F dos.; SANTOS, H. P dos.; CARVALHO, C. J. R de. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. In: LIMA, M. A. de.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de. A.; URQUIAGA, S (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira.** Brasília - DF, Embrapa, 2012. p. 159 - 186.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 189-197, 2001.
- AULAKH, M. S.; WASSMANN, R.; BUENO, C.; RENNENBERG, H. Impact of root exudates of different cultivars and plant development stages of rice (*Oriza sativa* L.) on methane production in a paddy soil. **Plant and soil**, Netherlands, v. 230, n. 1, p. 77-86, 2001.
- BAGGS, E. M.; REES, R. M.; SMITH, K. A.; VINTEN, A. J. A. Nitrous oxide emissions from soils after incorporating crop residues. **Soil Use and Management**, v.16, p. 82-87, 2000.
- BAGGS, E. M.; STEVENSON, M. P.; HEGAR, A.; COOK, H.; GADISCH, G. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 254, p. 361-370, 2003.
- BARLETTA, R. V. **Avaliação da cinética ruminal e fluxo abomasal de ácidos graxos em vacas leiteiras suplementadas com fontes lipídicas.** 2014. 119 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2014.
- BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. C.; DIECKOW, J.; ZANATA, J. A.; NICOLOSO, R. da. S. Mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, Á. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo.** 1 ed. Viçosa - MG: SBCS, 2011. p. 55 - 118.
- BIN-FENG, S.; HONG, Z.; YI-ZHONG, L.; FEI, L.; XIAO-KE, W. The effects of nitrogen fertilizer application on methane and nitrous oxide emission/uptake in Chinese croplands. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 15, n. 2, p. 440-450, 2016.

- BINI, D.; LOPEZ, M. V.; CARDOSO, E. JBN. Metabolismo microbiano. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do Solo**. 2 ed. Piracicaba - SP: ESALQ, 2016. p. 61 - 78.
- BRANDANI, C. B.; SANTOS, D. G dos. Transformações do carbono no solo. In: CARDOSO, E. J. B.; ANDREOTE, F. D. (Ed.). **Microbiologia do Solo**. 2 ed. Piracicaba - SP: ESALQ, 2016. p. 81 - 94.
- BUSS, G. L. **Emissões de metano e óxido nitroso em cultivo de arroz irrigado por aspersão, alagamento contínuo e intermitente**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal Pelotas, Pelotas, 2012.
- BUSS, G. L. **Emissões de Metano e Óxido Nitroso em Sistemas de Cultivo em Terras Baixas sob Diferentes Manejos de Água, do Solo e da Cobertura Vegetal**. 2016. 123 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal Pelotas, Pelotas, 2016.
- CAI, Z.; XING, G.; YAN, X.; XU, H.; TSURUTA, H.; YAGI, K.; MINAMI, K. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilisers and water management. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 196, p. 7-14, 1997.
- CALEGARI, A.; COSTA, A. Sistemas conservacionistas de uso do solo. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de.(Org.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 279 – 302.
- CAMARGO, E. S. **Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa na cultura do arroz irrigado**. 2015. 138 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- CASTRO, F. M. R. **Potencial agrônômico e energético de genótipos de sorgo biomassa**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado acadêmico) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- CHIARADIA, J. J. **Avaliação agrônômica e fluxo de gases do efeito estufa a partir de solo tratado com resíduos e cultivado com mamona (*Ricinus communis* L.) em área de reforma de canavial**. 2005. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande de Sul e Santa Catarina. Porto Alegre – RS, 2004. 400 p.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos – sexto levantamento – março 2017. Brasília - DF, 2017. 176 p.
- COPETTI, A. C. C.; SILVA, L. S da.; DRESCHER, G. L.; MÜLLER, E. A.; FAGUNDES, R. L.; OTTONELLI, A.; BUSANELLO, R. L.; PIMENTA, B. D. Emissão de gases de efeito estufa em solo de várzea sob diferentes manejos da água e da palha de arroz. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8., 2013, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: UFSM, 2013. p. 1248 – 1250.

- CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A da.; JÚNIOR, J de. L.; JORDAN, R. A.; CASTRO, L R de. Biodigestão de efluentes. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para energia**. 1 ed. Campinas: Unicamp, 2008. p. 493 – 528.
- COSTA, F de. S.; BAYER, C.; LIMA, M. A de.; FRIGHETTO, R. T. S.; BOHMEN, H.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Efeito estufa, metano e sistemas de cultivo irrigado no RS. **Revista Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre - RS, v.52, n.436, p. 29-32, 2004.
- COSTA, F de. S. **Estoques de carbono orgânico e efluxos de dióxido de carbono e metano de solos em preparo convencional e plantio direto no subtropical brasileiro**. 2005. 145 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- COSTA, F de. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v.36, n.2, p.693-700, 2006.
- COSTA, F de. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoques de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.32, n.1, p. 323-332, 2008a
- COSTA, F. de. S.; ZANATTA, J. A. BAYER, C. Emissões de gases do efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. de. A.; SILVA, L. S. da.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008b. p. 545-555.
- DIECKOW, J.; BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. **Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono**. São Carlos - SP: Embrapa, 2004. 17 p.
- DUBEY, S.K. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: a review. **Applied ecology and environmental research**, Penkala, v.3, n.2, p.1-27, 2005.
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos.; FONTANELI, R. S.; OLIVEIRA, J. T. de.; LEHMEN, R. I.; DREON, G. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos.; FONTANELI, R. S. (Ed.). **Forrageiras para integração pecuária-floresta na região sul brasileira**. Brasília - DF, Embrapa, 2012. 274 p.
- GAN, Y.; LIANG, C.; WANG, X.; MCCONKEY, B. Lowering carbon footprint of durum wheat by diversifying cropping systems. **Fields Crops Research**, Davis – CA, v. 122, p. 199-206, 2011.
- GLATZEL, S.; STAHR, K. Methane and nitrous oxide exchange in differently fertilised grassland in southern Germany. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 231, p. 21-35, 2001.
- GOMES, A. da S.; PEÑA, Y. A.; GOMES DD. N. Influência de diferentes sistemas de cultivo sobre alguns atributos físicos de um solo de várzea. In: **Seminário Internacional do Plantio Direto**, 2., 1997, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo: Embrapa – CNPT, 1997. p. 137 – 142.



GOMES, A. da S.; PORTO, M. P.; PARFITT, J. M. B.; SILVA, C. A. S da. Rotação de culturas em áreas de várzea e indicadores de qualidade do solo. In: GOMES, A. da S.; PORTO, M. P.; PARFITT, J. M. B.; SILVA, C. A. S da.; SOUSA, R. O de.; PAULETTO, E. A. **Rotação de Culturas em Áreas de Várzea e Plantio Direto de Arroz**. 1. ed. Pelotas – RS, 2002a. p. 09 – 36.

GOMES, A. da S.; TERRES, A. L.; AZAMBUJA, I. H. V. O arroz irrigado no Rio Grande do Sul: solo, área, produção, produtividade e perfil do produtor. In: **Série Culturas Arroz**. 1. ed. Porto Alegre – RS, 2002b. p. 13 – 22.

GOMES, A da. S.; PAULETTO, E. A.; JUNIOR, F de. J. V.; SOUSA, R. O de. Plantio direto e cultivo mínimo em arroz irrigado. In: GOMES, A. da. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. 1.ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2004. p. 349-383.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F.S.; PICCOLO, M.C.; ZANATTA, J.A.; VIEIRA, F.C.B. & SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, Kiel – Germany, v. 106, p. 36-44, 2009.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 50p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18).

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. Nitrogen. In:\_\_\_\_\_. **Soil fertility and fertilizers – Na introduction to nutrient management**. 6. ed. Pearson, 1999. p. 86-153.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados preliminares – Tabela\_1\_RS. 2017. Disponível em:< [www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html?=&t=downloads](http://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html?=&t=downloads)> Acesso em: 04 set. 2018.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. eds. 2007. *Climate change 2007: The physical science basis*. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 996p.

JARDIM, W. F. A evolução da atmosfera terrestre, São Paulo, SP, 2001. Disponível em:<<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/evolucao.pdf>> Acesso em: 02 set. 2018.

KHALIL, K.; MARY, B.; RENAULT, P. Nitrous oxide production by nitrification and denitrification in soil aggregates as affected by O<sub>2</sub> concentration. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 36, p. 687-699, 2004.

KHALIL, M.I.; BAGGS, E. M. CH<sub>4</sub> oxidation and N<sub>2</sub>O emissions at varied soil water-filled pore spaces and headspace CH<sub>4</sub> concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, v.37, p. 1785-1794, 2005.

LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **Soil Biology**. v.37, p.25-50. 2001.

LIMA, M. A. de.; FRIGHETTO, R. T. S.; VILLELA, O. V.; COSTA, F.de. S.; BAYER, C.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Emissão de metano em cultivo de arroz irrigado por inundação. In: LIMA, M. A. de.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.;

- MACHADO, P. L. O. de. A.; URQUIAGA, S (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília - DF, Embrapa, 2012. p. 193-218.
- LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A. P.; GOMES, A da. S.; HARTWIG, M. P.; PASSIANOTO, C. C. Compactação de um planossolo em função de sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.2, p.179-182. 2006.
- LINN, D. M.; DORAN, J. W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. **Soil Science Society of America Journal** – Winsconsin, Madison, v.48, p.1267-1272. 1984.
- LÓPEZ, A.; JESUS, H. S de.; ROCHA, M de. M.; FRIES, M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. **Diagnóstico do Potencial de Nitrificação e Desnitrificação em Solo sob Pastagens de *Bracharia sp.* e Solo sob Plantio Direto e Convencional**. Seropédica - RJ, Embrapa Agrobiologia, 1998. 24 p.
- MACKENZIE, A. F.; FAN, M. X.; CADRIN, F. Nitrous oxide emission as affected by tillage, corn-soybean-alfafa rotations and nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, Lethbridge, v. 77, n. 2, p. 145-152, 1997.
- MARCHESAN, E.; ARAMBURU, B. B.; VIZZOTTO, V. R.; OLIVEIRA, M. L de.; CASTRO, I. A de.; TONETTO, F.; GIACOMELI, R. Sistemas de implantação e seus efeitos na resistência mecânica do solo à penetração de raízes e na produtividade de soja em área de várzea. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 8., 2013, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: UFSM, 2013.
- MINAMIKAWA, K.; SAKAI, N.; YAGI, K. Methane emission from paddy fields and its mitigation options on a Field scale. **Microbes and Environments**. V.21, n.3, p. 135-147, 2006.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. O aquecimento global e a agricultura de baixa emissão de carbono. Brasília: MAPA, 2012.
- Ministério da Ciência e Tecnologia. Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília: EMBRAPA, 2010.
- Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2. ed. Brasília: MCTI, 2014.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. In: \_\_\_\_\_. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras - MG: UFLA, 2006. p. 313-403.
- MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: **Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop**. Berlin, Wiley, p.175-187, 1989.
- NEPA – Núcleo de Estudos e pesquisas em Alimentação. Tabela brasileira de composição de alimentos. 4 ed. Campinas - SP, 2011. 161 p.
- NETO, M. S.; VENZKE FILHO, S. de. P.; PICOLLO, M. de. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I – sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.33, n.4, p.1013-1022, 2009.
- NEUE, H. U.; GAUNT, J. L.; WANG, Z. P.; BECKER-HEIDMANN, P.; QUIJANO, C. Carbon in tropical wetlands. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.1-4, p.163-185, 1997.

- OMONODE, R. A.; VYN, T. J.; SMITH, D. R.; HEGYMEGI, P.; GÁL, A. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn-soybean rotations. **Soil & Tillage Research**, Kiel - Germany, v.95, p.182-195, 2007.
- PILLECO, G. E. **Emissão de óxido nitroso e produtividade do girassol sob diferentes fontes de adubação nitrogenada**. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- PIMENTEL, L. G.; WEILER, D. A.; PEDROSO, G. M.; BAYER, C. Soil emissions following cover-crop residues application under two soil moisture conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Landau, v.178, p. 631-640, 2015.
- PINTO, A. R. da. C. Arroz: tecnologia e alimentação. In: NETO, A. A. de. O. (Org.). **A Cultura do Arroz**. Brasília - DF, CONAB, 2015. p. 13-21.
- PINTO, L. F. S.; NETO, J. A. L.; PAULETTO, E. A. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. da. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. 1.ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2004. p. 75-95.
- PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v. 37, n.1, p. 41-50, 2002.
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24, p. 58-80, 1972.
- RANATUNGA, T.; HIRAMATSU, K.; ONISHI, T.; ISHIGURO, Y. Process of denitrification in flooded rice soils. **Reviews in Agricultural Science**, Yanagido, v.6, p. 21-33, 2018.
- REDDY, K. R.; DELAUNE, R. D. Wetlands and global climate change. In:\_\_\_\_\_. **Biogeochemistry of wetlands: science and applications**. 1 ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. p. 599 - 621.
- REIS, J. C. L.; SAIBRO, J. C. de. Integração do arroz com pastagens cultivadas e pecuária. In: GOMES, A. da. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. 1.ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2004. p. 831-855.
- Reunião técnica anual de milho e reunião técnica anual de sorgo. Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015. Brasília – DF, Embrapa, 2013. 124 p.
- Reunião de pesquisa de soja da região Sul. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2013/2014 e 2014/2015**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. 124 p.
- Reunião técnica da cultura do arroz irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.
- ROSALINO, P. K. **Manejo do solo na entressafra do arroz e sua influência na emissão de gases de efeito estufa e na produtividade da cultura da soja**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SALVO, L.; BAYER, C.; ERNST, O.; BUSCHIAZZO, L.; FIORELLI, M. J. Emissão de N<sub>2</sub>O em sistemas de culturas contínuas e culturas-pastagens, sob diferentes sistemas de preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. Disponível em: <<http://eventosolos.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/1862.pdf>> Acesso em: 22 jul. 2018.

SANTIAGO, A. D. ;ROSSETTO, R. Preparo convencional. Brasília, DF, 2007. Disponível em:< [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_84\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_84_22122006154841.html)> Acesso em: 16 ago. 2017.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E.M. Rotação de culturas. In:\_\_\_\_\_. **Rotação de culturas em plantio direto**. Passo Fundo - RS, Embrapa, 2001. 212 p.

SCATENA, V. L.; DIAS, E. S. Parênquima, Colênquima e Esclerênquima. In: APEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Ed.) **Anatomia Vegetal**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 109 – 127.

SCHÜTZ, H.; SEILER, W.; CONRAD, R. Influence of soil temperature on methane emission from rice paddy fields. **Biogeochemistry**, v. 11, n. 2, p. 75-95, 1990.

SILVA, C. A. S. da.; PARFITT, J. M. B. Drenagem e irrigação para milho e sorgo cultivados em rotação com arroz irrigado. In: PARFITT, J. M. B. (Coord.). **Produção de milho e sorgo em várzea**. Pelotas - RS, Embrapa Clima Temperado, 2000. 146 p.

SILVA, C. A. S. da.; PARFITT, J. M. B. **Drenagem superficial para diversificação do uso dos solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Pelotas - RS, Embrapa Clima Temperado, 2004. 10 p.

SILVA, L. S.; SOUSA, R. O.; POCOJESKI, E. Dinâmica da matéria orgânica em ambientes alagados. In: SANTOS, G. de. A.; SILVA, L. S. da.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 525-541.

SILVA, J. T.; SCIVITTARO, W. B.; SOUSA, R. O de.; BUSS, G. L.; SILVEIRA, A. D.; ROSA, C. M da. Emissão de metano e óxido nitroso no período de entressafra do arroz irrigado sob diferentes manejos de solo e da cobertura vegetal. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34., 2013, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: EPAGRI e SBCS, 2013. Disponível em: <<https://www.sbc.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/2746.pdf>> Acesso em: 11 abr. 2018.

SILVA, J. T da. **Emissões de metano e óxido nitroso em área de arroz irrigado influenciadas por sistemas de preparo do solo**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal Pelotas, Pelotas, 2014.

SILVEIRA, A. D.; LEVANDOSKY, A. P.; FARIAS, M de. O.; MELLO, D. C de.; SCIVITTARO, W. B. Influência do manejo da água nas emissões de gases de efeito estufa em lavoura de arroz irrigado. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 22., 2013, Pelotas. Disponível em:< [http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/CA\\_01717.pdf](http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/CA_01717.pdf)> Acesso em: 08 nov. 2017.

- SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J. A.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, v. 54, p. 779-791, 2003.
- SOUSA, R. O de.; CAMARGO, F. A. O.; VAHL, L. Solos alagados (reações de redox). In: MEURER, E. J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. 6.ed. Porto Alegre - RS, 2015. p. 177-200.
- STEINMETZ, S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M de.; FAGUNDES, P. R. R.; SCIVITTARO, W. B.; ALMEIDA, I. R de.; REISSER JÚNIOR, C.; DEIBLER, A. N.; MATZENAUER, R.; RADIN, B.; PRESTES, S. D.; SILVA, M. F da. **Uso de graus-dia para estimar a data de diferenciação da panícula (DP) de seis subgrupos de cultivares de arroz irrigado visando à adubação nitrogenada em cobertura no Rio Grande do Sul**. Pelotas - RS, Embrapa Clima Temperado, 2010. 85 p.
- STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. As principais classes de solos identificadas no Rio Grande do Sul. In:\_\_\_\_\_. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. revista e ampliada. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR. 222 p., 2008.
- TOMA, Y.; HATANO, R. Effect of crop residue C:N ratio on N<sub>2</sub>O emissions from gray lowland soil in Mikasa, Hokkaido, Japan. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tóquio, v. 53, p. 198-205, 2007.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. Metabolismo microbiano. In:\_\_\_\_\_. **Microbiologia**. 8.ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 111-151.
- TOWPRAYOON, S.; SM AKGAHN, K.; POONKAEW S. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. **Chemosphere**, Oxford, v.59, p.1547-1556, 2005.
- USIRRI, D. A. N.; LAL, R.; JARECJI, M. K. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Kiel - Germany, v.104, p.247-255, 2009.
- VAHL, L. C.; SOUSA, R. O de. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. da. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.) **Arroz irrigado no sul do Brasil**. 1.ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2004. p. 97-117.
- VEÇOZZI, T. A. **Eficiência agrônômica de fertilizante nitrogenado de liberação controlada e seus efeitos nas emissões de metano e óxido nitroso em arroz irrigado**. 2015. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal Pelotas, Pelotas, 2015.
- VERNETTI JÚNIOR, F. de. J.; GOMES, A da. S. Sistema convencional de arroz irrigado. In: GOMES, A. da. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. 1.ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2004. p. 339-347.
- VERNETTI, F. de. J.; VERNETTI JÚNIOR, F. de. J.; AZAMBUJA, I. H. V. **A legendária história da soja**. Brasília – DF. Embrapa, 2014. 86 p.
- WANG, Z. P.; DELAUNE, R. D.; MASSCHELEYN, P. H.; PATRICK JÚNIOR, W. H. Soil redox and pH effects on methane production in flooded rice soil. **Soil Science Society of America Journal** – Winsconsin, Madison, v. 57, n. 2, p. 382 – 385, 1993.
- WELLER, S.; JANZ, B.; JÖRG, L.; KRAUS, D.; RACELA, H. U.; WASSMANN, R.; BUTTERBACH-BAHL, K. Greenhouse gas emissions and global warming potential of

traditional and diversified tropical rice rotation systems. **Global Change Biology**, Illinois, v. 22, p. 432 – 448, 2016.

WEIER, K. L.; DORAN, J. W.; POWER, J. F.; WALTERS, D. T. Denitrification and the Dinitrogen/Nitrous Oxide Ratio as Affected by Soil Water, Available Carbon, and Nitrate. **Soil Science Society of American Journal**, v. 57, p. 66 – 72, 1993.

YAN, X.; SHI, S.; DU, L.; XING, G. Pathways of N<sub>2</sub>O emission from rice paddy soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, n. 1, p. 437 – 440, 2000.

YANG, S.S.; CHANG, H.L. Effect of environmental conditions on methane production and emission from paddy soil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.69, n.1, p.69-80, 1998.

YAO, Z.; ZHOU, Z.; ZHENG, X.; XIE, B.; MEI, B.; WANG, R.; BUTTERBACHBAHL, K.; ZHU, J. Effects of organic matter incorporation on nitrous oxide emissions from rice-wheat rotation ecosystems in China. **Plant and Soil**, Tóquio, v. 327, p. 315-330, 2010.

ZHANG, H.; BAI, X.; XUE, J.; CHEN, Z.; TANG, H.; CHEN, F. Emissions of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O under Different Tillage Systems from Double-Cropped Paddy Fields in Southern China. **Plos One**, College Park, v. 8, n. 6, p. e65277, 2013.

ZSCHORNACK, T. **Emissões de metano e de óxido nitroso em sistemas de produção de arroz irrigado no sul do Brasil e potencial de mitigação por práticas de manejo**. 2011. 87 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011a.

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 de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.35, p.623-634, 2011b.

ZSCHORNACK, T.; ROSA, C. M da.; CAMARGO, E. S.; REIS, C. E. S dos; SCHOENFELD, R.; BAYER, C. Impacto de plantas de cobertura e da drenagem do solo nas emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O sob cultivo de arroz irrigado . **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v.51, n.9, p.1163-1171, 2016.

ZSCHORNACK, T.; ROSA, C. M da.; REIS, C. E. S dos.; PEDROSO, G. M.; CAMARGO, E. S.; SANTOS, D. C dos.; BOENI, M.; BAYER, C. Soil CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O Emissions from Paddy Fields in Southern Brazil as Affected by Crop Management Levels: a Three-Year Field Study. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.42, n.1, p.01-12, 2018.

## **Apêndices**

**Apêndice A.** Fluxos de N<sub>2</sub>O, por repetição (Rep.) na cultura do azevém antecedido das culturas arroz irrigado, soja e sorgo, durante o período da entressafra de 2016, sob manejo convencional do solo e plantio direto

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC	Sorgo PD	Soja SC	Soja PD
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----							
12/05/2016	1	13,85	3,50	2303,11	323,53	-163,88	525,99
	2	295,61	710,05	824,43	649,21	-163,12	714,50
	3	-52,57	929,55	3015,26	397,19	6,57	1492,02
23/05/2016	1	1211,85	677,50	546,63	437,95	998,05	128,43
	2	532,82	338,01	756,81	546,50	110,81	325,39
	3	161,82	929,55	1175,34	1870,23	901,77	336,43
06/06/2016	1	908,41	2662,47	277,35	-107,73	966,64	-221,00
	2	1525,30	1493,51	354,07	248,41	1143,61	872,05
	3	2189,21	474,28	538,49	1569,27	929,62	350,50
13/06/2016	1	781,77	1196,29	0,90	379,38	1026,31	1094,47
	2	646,12	456,29	411,62	174,92	225,16	1136,85
	3	954,76	465,65	21,37	10,56	773,66	739,52
20/06/2016	1	998,07	1591,20	34,83	261,96	320,39	1650,67
	2	142,71	825,71	138,62	126,82	355,03	1444,91
	3	1089,05	294,39	-73,80	908,52	413,57	-246,70
29/06/2016	1	-97,46	2420,07	-13,61	-242,68	716,74	280,44
	2	98,27	-517,51	170,89	365,45	-46,86	860,60
	3	636,58	-278,80	-10,76	189,13	556,60	286,18
04/07/2016	1	1238,04	400,77	-141,74	227,82	385,26	647,20
	2	-470,62	285,00	-155,71	1389,73	-235,79	1188,33
	3	285,15	-40,43	882,46	170,17	221,16	-604,90
11/07/2016	1	10,42	1754,31	20,52	227,10	2,30	-52,64
	2	-20,59	297,14	60,14	-59,26	93,28	363,79
	3	143,91	1233,00	112,31	510,84	-179,83	-21,64
18/07/2016	1	-355,17	75,99	-12,64	-234,10	331,54	-737,66
	2	31,89	-142,91	548,88	-455,41	-373,88	846,96
	3	135,76	580,55	98,71	-109,67	-1105,73	1253,00
25/07/2016	1	302,13	479,68	99,34	-218,10	533,68	211,33
	2	-33,18	112,83	-50,70	-40,98	4,10	632,61
	3	281,40	-32,85	-257,78	194,98	20,45	212,53
01/08/2016	1	175,56	133,78	-6,82	-106,26	-99,03	97,28
	2	1353,77	89,73	-366,76	-62,89	-59,75	228,48
	3	522,31	79,91	-27,38	127,25	231,17	-115,84
02/08/2016	1	457,04	-186,54	256,54	-55,41	193,88	-61,89
	2	509,33	-70,24	277,95	37,77	0,85	37,80
	3	144,59	-694,69	-26,40	113,97	-89,02	42,48
03/08/2016	1	66,42	132,76	154,66	-692,87	43,38	268,59
	2	12,13	251,32	185,22	-326,51	-113,86	368,81
	3	422,02	460,33	-15,00	6,12	-95,59	8,55

Continua



## Continuação

Data da coleta	Rep	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC	Sorgo PD	Soja SC	Soja PD
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----							
05/08/2016	1	2566,30	2379,32	1121,04	206,65	860,88	-179,91
	2	1236,53	383,98	2181,84	148,71	1157,90	-65,58
	3	2593,51	603,72	2984,77	62,22	776,51	127,97
08/08/2016	1	1878,96	1518,18	493,51	-10,89	332,80	-131,85
	2	456,72	634,89	546,77	-186,12	112,31	-466,65
	3	2120,95	796,07	1044,72	-226,38	219,00	167,51
17/08/2016	1	1057,34	154,27	558,27	-143,50	500,60	337,15
	2	-48,69	1709,33	1028,62	-70,72	538,07	1737,31
	3	489,41	524,74	529,30	1633,00	514,74	124,88
24/08/2016	1	792,25	-905,21	126,97	756,09	302,59	460,41
	2	-212,63	1681,24	145,83	41,04	-49,06	770,63
	3	-69,54	361,79	187,38	178,25	-343,20	-676,46
01/09/2016	1	984,25	-89,52	187,17	14,75	248,54	-41,79
	2	280,05	96,23	9,78	206,16	109,23	176,99
	3	-66,93	-0,02	217,98	116,41	-405,43	360,21
08/09/2016	1	198,31	26,29	-101,72	-268,54	-59,46	-241,07
	2	-203,38	158,24	-68,38	229,54	-159,28	-78,95
	3	-442,58	-11,40	248,52	31,53	87,92	74,10
14/09/2016	1	1916,29	1867,02	983,48	197,27	206,12	-6,03
	2	1190,56	1538,50	443,06	199,06	133,58	-135,87
	3	1692,36	1064,79	1597,99	52,73	442,47	56,11
21/09/2016	1	1014,27	514,72	117,21	87,20	332,51	475,10
	2	1524,56	672,59	-38,48	-26,84	206,45	610,76
	3	1792,85	771,83	109,20	112,73	24,71	418,96
27/09/2016	1	689,29	1018,44	127,41	-111,83	460,66	244,66
	2	2172,79	1450,50	274,39	-199,73	28,86	514,99
	3	2425,26	2179,28	61,78	86,20	24,78	341,93
05/10/2016	1	1191,70	-89,71	289,51	125,10	235,66	308,61
	2	1405,25	304,81	-31,54	752,97	409,60	456,89
	3	1041,39	1446,83	172,56	7,87	281,06	177,22
13/10/2016	1	1648,83	229,05	33,71	-519,86	1231,73	45,50
	2	718,29	-102,48	-90,36	219,59	162,52	200,93
	3	1128,41	432,84	95,38	-376,04	144,98	-91,96
20/10/2016	1	996,36	1165,70	-46,49	58,63	602,22	-226,20
	2	491,52	-262,11	20,89	133,26	105,76	58,25
	3	195,74	83,37	563,85	-711,31	169,36	263,52
27/10/2016	1	399,47	-188,34	-45,60	29,09	-92,38	-23,09
	2	92,84	5,82	-3,39	-35,80	59,82	106,06
	3	110,61	-17,39	165,97	-23,65	-125,37	288,28

Continua

## Continuação

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC	Sorgo PD	Soja SC	Soja PD
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----							
31/10/2016	1	632,04	933,17	191,67	-59,67	261,26	56,09
	2	927,46	296,18	86,51	32,08	-121,45	52,14
	3	1174,20	61,26	151,39	-141,10	-8,06	-91,72
08/11/2016	1	1778,25	1106,63	-348,36	-40,98	193,83	434,97
	2	2346,84	1067,93	-549,37	117,41	46,20	531,87
	3	2461,88	1331,49	192,72	-21,99	-27,85	339,42
14/11/2016	1	-	-	211,43	5,31	181,61	128,76
	2	-	-	-330,80	1679,40	199,67	428,88
	3	-	-	-88,57	142,63	170,11	-70,75
21/11/2016	1	-	-	61,53	896,59	345,91	1975,34
	2	-	-	319,90	655,27	1775,46	675,60
	3	-	-	199,57	1345,97	1556,97	1076,91
23/11/2016	1	-	-	-	-	536,28	574,87
	2	-	-	-	-	-749,12	1877,15
	3	-	-	-	-	-128,08	-484,57

**Apêndice B.** Fluxos de CH<sub>4</sub>, por repetição (Rep.) na cultura do azevém antecedido das culturas arroz irrigado, soja e sorgo, durante o período da entressafra de 2016, sob manejo convencional do solo e plantio direto

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC	Sorgo PD	Soja SC	Soja PD
-----CH <sub>4</sub> (g ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----							
12/05/2016	1	14,92	18,58	-0,10	0,40	0,04	0,49
	2	14,16	35,26	-0,19	-0,12	-0,17	0,75
	3	13,27	18,85	0,50	0,11	0,22	0,50
23/05/2016	1	6,42	11,71	1,88	1,43	0,54	0,18
	2	1,53	16,77	1,09	-0,03	1,74	0,40
	3	6,21	6,43	5,59	1,58	0,07	0,34
06/06/2016	1	2,30	2,72	0,76	-0,57	0,17	-0,60
	2	2,70	10,72	0,08	-1,34	0,54	-1,68
	3	2,29	0,66	0,25	2,11	1,13	-1,39
13/06/2016	1	-0,03	-0,07	0,35	0,68	-0,58	-0,49
	2	-0,02	0,10	3,98	-0,35	-1,00	-0,24
	3	0,29	1,33	0,34	-1,19	0,04	-0,24
20/06/2016	1	-2,76	2,24	-2,89	-1,95	0,42	1,46
	2	-1,93	2,93	1,83	4,54	-0,53	-3,06
	3	3,52	-4,30	-1,80	-2,65	-0,32	3,29
29/06/2016	1	-0,91	1,89	0,80	-0,47	-0,21	0,10
	2	0,66	-0,77	-0,25	0,50	-0,91	0,61
	3	0,51	-0,58	-0,65	-1,45	0,72	0,26
04/07/2016	1	2,00	-0,42	-0,16	0,26	0,26	-0,64
	2	-0,39	-1,42	-0,02	0,09	-0,75	0,04
	3	0,28	-0,73	1,42	-0,97	-0,69	-1,35
11/07/2016	1	0,11	0,79	-0,13	-0,15	-0,05	-0,12
	2	0,15	1,36	0,46	0,00	-0,27	0,27
	3	0,22	0,98	0,34	0,13	-0,08	0,04
18/07/2016	1	0,63	-0,15	0,14	2,52	1,87	0,54
	2	0,45	0,54	-1,34	-1,26	1,08	1,46
	3	1,28	-0,81	-1,10	-0,50	0,09	1,20
25/07/2016	1	-0,06	3,01	-0,13	0,02	0,08	0,15
	2	-0,04	0,02	-0,01	1,87	-0,17	1,53
	3	-0,05	0,54	-0,42	0,16	0,49	0,02
01/08/2016	1	1,66	1,00	0,51	-1,28	0,06	0,04
	2	-0,17	-0,57	-0,09	0,35	0,09	1,21
	3	3,44	1,20	0,74	0,14	0,19	0,20
02/08/2016	1	0,78	-0,67	0,37	-0,15	-0,03	-0,05
	2	0,21	-0,06	0,28	-0,11	-0,35	0,04
	3	0,08	0,01	0,18	-0,46	0,51	-0,67
03/08/2016	1	-0,14	-0,22	0,11	-1,31	-0,31	0,33
	2	-0,16	0,07	0,29	-0,07	-0,28	-0,06
	3	-0,31	0,60	-0,54	-0,21	-0,06	0,39

Continua

## Continuação

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC	Sorgo PD	Soja SC	Soja PD
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----							
05/08/2016	1	-0,42	-0,05	0,01	-0,38	0,30	0,00
	2	-0,41	0,74	-0,11	-0,01	0,25	-0,23
	3	-0,03	0,32	-0,14	-0,23	0,35	0,02
08/08/2016	1	-0,05	0,50	0,21	0,06	-0,05	0,17
	2	0,35	1,22	0,48	-0,17	-0,23	-0,48
	3	0,45	1,46	0,17	-0,06	-0,35	0,41
17/08/2016	1	0,32	0,43	0,22	0,23	0,24	-0,02
	2	0,55	-1,89	-0,32	-0,18	0,31	-1,13
	3	0,43	1,27	-0,59	0,83	-0,09	1,05
24/08/2016	1	-0,30	-1,26	-0,15	0,62	-0,88	0,54
	2	0,48	1,94	-1,35	0,47	1,24	-0,24
	3	-0,61	-1,50	-0,26	0,21	0,00	-0,81
01/09/2016	1	0,30	-0,46	-0,02	0,39	1,23	-0,51
	2	1,09	1,21	1,09	-0,41	0,58	-1,42
	3	0,04	-0,54	1,54	-0,31	-1,51	0,60
08/09/2016	1	0,48	-0,77	-0,12	-0,07	1,77	0,18
	2	2,97	0,95	0,39	-1,01	-0,22	0,77
	3	-0,78	-3,05	0,15	-0,12	3,31	-0,30
14/09/2016	1	0,16	0,22	0,03	0,04	0,58	0,27
	2	0,10	0,59	-0,28	0,17	0,28	0,32
	3	-0,07	0,69	-0,07	0,04	0,18	0,15
21/09/2016	1	0,11	-0,14	0,02	1,44	-0,30	0,17
	2	-0,16	-0,80	-0,06	1,21	0,01	-0,24
	3	-0,21	-0,04	-0,07	1,42	-0,39	0,93
27/09/2016	1	-1,68	-0,15	0,77	-0,11	0,48	-0,41
	2	-0,50	-0,20	0,02	-0,43	-0,18	-0,36
	3	-0,64	-0,26	-0,37	-0,47	-0,07	0,10
05/10/2016	1	0,20	-0,35	1,07	0,94	-0,55	0,89
	2	-0,19	-0,17	2,62	1,75	-0,11	-0,17
	3	-0,26	-0,21	-0,83	0,23	-0,20	-0,05
13/10/2016	1	0,37	-0,05	-0,30	-0,99	1,01	-0,15
	2	-0,75	-0,47	-0,33	0,31	-0,12	-0,12
	3	-0,56	-1,07	0,03	0,36	-0,15	-0,90
20/10/2016	1	0,11	-0,01	-0,19	0,11	-0,28	-0,21
	2	0,52	0,33	-0,19	0,18	0,22	0,12
	3	-0,64	-0,20	0,34	0,26	0,04	-0,40
27/10/2016	1	-0,05	-0,43	-0,24	-0,02	0,84	0,02
	2	0,14	-0,12	1,24	0,33	-0,01	0,14
	3	-0,08	-0,18	0,26	0,21	-0,25	0,09

Continua

## Continuação

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC	Sorgo PD	Soja SC	Soja PD
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----							
31/10/2016	1	-0,33	0,35	0,43	1,22	-0,03	1,52
	2	0,31	5,25	-0,25	1,72	-0,38	1,47
	3	0,62	-0,72	0,03	1,01	-0,18	1,98
08/11/2016	1	-0,36	-0,12	-0,40	1,96	-0,10	2,11
	2	-0,34	0,11	-0,91	1,90	-0,03	2,54
	3	1,66	0,27	-0,02	2,10	-0,36	-0,10
14/11/2016	1	-	-	-0,24	1,57	-0,11	0,84
	2	-	-	0,27	2,33	1,10	0,85
	3	-	-	-0,67	2,11	0,03	0,70
21/11/2016	1	-	-	-0,04	1,75	0,04	3,08
	2	-	-	-0,20	1,65	1,00	1,87
	3	-	-	-0,15	1,53	0,68	0,52
23/11/2016	1	-	-	-	-	-0,49	0,14
	2	-	-	-	-	-1,59	0,47
	3	-	-	-	-	-0,53	-0,53

**Apêndice C.** Fluxos de N<sub>2</sub>O, por repetição (Rep.) nas culturas do culturas arroz irrigado, soja e sorgo, durante o período da safra 2016/17, sob manejo convencional do solo e plantio direto

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC 1	Sorgo PD 1	Soja SC	Soja PD	Sorgo SC 2	Sorgo PD 2
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----									
11/11/2016	1	3160,78	1435,87	-	-	-	-	-	-
	2	3640,20	1493,80	-	-	-	-	-	-
	3	1143,68	3029,20	-	-	-	-	-	-
14/11/2016	1	3234,16	1918,11	-	-	-	-	-	-
	2	5834,91	1828,35	-	-	-	-	-	-
	3	826,19	2092,88	-	-	-	-	-	-
21/11/2016	1	6380,54	1080,87	-	-	-	-	-	-
	2	7577,32	1879,77	-	-	-	-	-	-
	3	1879,37	5756,78	-	-	-	-	-	-
23/11/2016	1	-	-	415,96	1481,10	-	-	-	-
	2	-	-	152,70	254,55	-	-	-	-
	3	-	-	153,65	-456,91	-	-	-	-
25/11/2016	1	-	-	310,21	-391,94	-330,79	25,89	-	-
	2	-	-	756,33	-167,17	562,19	-474,23	-	-
	3	-	-	608,74	913,60	24,72	-64,51	-	-
28/11/2016	1	-1198,00	7777,63	1740,28	36850,57	1104,75	6495,82	1043,49	4661,48
	2	2385,39	15084,48	2337,04	32843,32	439,02	9851,19	666,15	13159,33
	3	4769,68	15843,66	1347,40	22163,50	769,18	7926,42	1958,82	10879,76
05/12/2016	1	53246,44	31345,93	53649,57	38643,86	3674,87	16867,72	3182,18	32965,94
	2	47820,86	28534,63	40071,37	53845,45	8473,58	19733,59	3933,81	37787,51
	3	44198,46	21227,93	40816,30	54458,82	7231,22	24690,60	1575,48	42034,81
12/12/2016	1	8543,13	3191,33	1196,01	3630,86	189,06	3880,19	134,95	1047,23
	2	9519,62	2282,85	-181,66	2080,34	821,01	3625,40	242,71	1178,86
	3	5739,78	4233,34	1194,38	2422,25	351,05	4233,85	32,80	1874,29
13/12/2016	1	8424,12	610,12	-	-	-	-	-	-
	2	6344,57	1214,70	-	-	-	-	-	-
	3	4818,59	788,89	-	-	-	-	-	-
14/12/2016	1	8385,98	230,24	746,58	1943,11	-	-	-80,16	777,89
	2	5603,26	865,48	325,57	1161,38	-	-	10,77	986,27
	3	2021,52	1022,90	935,23	1432,42	-	-	-106,13	2182,49
16/12/2016	1	1578,23	-138,19	1577,84	527,36	-	-	-290,64	411,10
	2	1399,61	6,22	304,29	397,06	-	-	-53,34	703,38
	3	713,01	-6,38	462,95	791,26	-	-	154,19	349,00
19/12/2016	1	245,93	37,38	553,16	591,87	228,53	1125,84	76,45	370,38
	2	-271,95	-590,43	401,46	409,92	-44,61	1184,54	-24,97	372,38
	3	310,39	6,40	429,63	193,03	-80,11	1129,54	100,44	376,22
20/12/2016	1	83,32	607,35	1026,68	-418,09	-	-	-52,22	707,37
	2	747,78	634,00	-133,48	-351,63	-	-	170,25	587,51
	3	981,60	590,58	-110,17	341,49	-	-	-144,20	842,27

Continua

## Continuação

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC 1	Sorgo PD 1	Soja SC	Soja PD	Sorgo SC 2	Sorgo PD 2
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----									
28/12/2016	1	1380,81	3,36	10907,34	4964,79	529,09	-64,53	1343,11	1450,36
	2	-129,25	-142,67	6263,55	4733,76	830,28	75,87	1624,52	2101,11
	3	-214,24	-35,00	6416,15	1388,96	1206,91	342,42	797,88	1893,79
02/01/2017	1	31,05	-31,27	3852,75	13052,59	576,33	2214,06	171,68	2161,77
	2	28,08	-796,70	2020,60	21435,32	118,00	2168,95	327,27	2445,04
	3	-3,88	446,73	2959,59	6271,98	452,09	2858,03	862,50	3160,81
09/01/2017	1	-1488,86	690,65	50,74	2676,11	-264,60	2938,58	-977,58	1714,91
	2	-2433,09	386,41	-373,89	2690,59	1138,71	1248,44	560,16	2506,19
	3	-643,11	-375,92	-487,75	2343,71	794,11	-1266,20	558,58	3726,78
10/01/2017	1	-	-	447,95	1281,92	-	-	1849,02	1234,50
	2	-	-	413,16	733,64	-	-	3249,29	1128,04
	3	-	-	440,59	-364,06	-	-	2896,82	911,88
11/01/2017	1	-	-	10070,03	3946,43	-	-	667,37	1415,15
	2	-	-	3296,67	6601,40	-	-	730,10	1652,28
	3	-	-	4266,23	951,45	-	-	819,81	1110,04
13/01/2017	1	-	-	4743,62	2894,92	-	-	349,43	1514,45
	2	-	-	3578,73	10725,42	-	-	935,00	2034,69
	3	-	-	3685,69	2768,13	-	-	828,68	2098,33
17/01/2017	1	-	-	1809,55	10647,67	-	-	3954,08	18866,21
	2	-	-	749,13	10515,24	-	-	2481,21	21736,28
	3	-	-	1619,81	3421,57	-	-	98,25	10361,44
18/01/2017	1	-827,92	1164,66	-	-	1176,46	1145,64	-	-
	2	2102,94	219,11	-	-	2186,13	-67,94	-	-
	3	1007,53	983,75	-	-	618,66	458,10	-	-
19/01/2017	1	-999,14	2279,36	-	-	-	-	-	-
	2	-1256,23	116,10	-	-	-	-	-	-
	3	2079,71	275,99	-	-	-	-	-	-
21/01/2017	1	-384,90	571,68	-	-	-	-	-	-
	2	-645,80	435,33	-	-	-	-	-	-
	3	-300,48	-234,84	-	-	-	-	-	-
23/01/2017	1	40,83	-39,88	1525,62	1366,27	523,40	1659,42	-404,29	658,38
	2	102,94	-905,44	1352,02	3841,29	637,63	1311,56	261,86	1444,65
	3	879,85	-1156,93	259,13	2152,21	124,63	1628,63	552,23	1959,99
30/01/2017	1	381,89	940,07	1179,40	-69,22	370,80	-256,50	-695,14	1293,48
	2	-106,96	1261,72	1337,13	1384,36	150,21	177,53	895,06	146,31
	3	547,15	0,67	1419,66	-93,52	314,09	849,06	-274,14	785,48

Continua

## Continuação

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC 1	Sorgo PD 1	Soja SC	Soja PD	Sorgo SC 2	Sorgo PD 2
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----									
06/02/2017	1	-83,06	-1011,06	-	-	167,23	190,04	-	-
	2	-1531,92	234,24	-	-	1029,75	440,58	-	-
	3	-127,42	-704,21	-	-	346,98	563,68	-	-
07/02/2017	1	-	-	167,53	-20,88	-	-	202,23	956,85
	2	-	-	1202,56	424,66	-	-	-114,37	375,02
	3	-	-	202,13	-183,76	-	-	69,70	589,76
09/02/2017	1	-	-	436,60	418,68	-	-	151,45	686,84
	2	-	-	-132,91	332,12	-	-	-16,14	654,72
	3	-	-	42,84	757,95	-	-	94,16	355,90
13/02/2017	1	-350,31	-10,77	343,78	652,50	377,96	488,22	432,08	685,65
	2	339,43	-53,98	463,98	288,68	626,04	364,72	191,98	673,86
	3	163,39	-448,12	408,12	219,00	159,38	447,78	-58,99	435,72
20/02/2017	1	-807,22	-1694,95	597,74	140,74	253,08	267,49	173,35	631,25
	2	-102,64	-205,28	115,40	260,23	244,46	-722,21	19,04	170,75
	3	-551,71	-789,89	-821,45	233,06	213,87	39,56	31,17	12,08
27/02/2017	1	-2403,90	-2781,67	469,86	427,61	288,79	765,33	209,27	284,87
	2	-285,17	40,57	198,90	375,51	58,18	-320,65	23,46	402,42
	3	661,87	-31,68	463,10	279,11	38,89	621,02	140,07	345,35
07/03/2017	1	-31,64	-412,57	186,22	-134,98	327,49	636,11	-140,99	115,95
	2	-194,45	-3,64	-9,25	138,46	157,14	560,87	-110,00	207,82
	3	331,86	-660,29	195,65	148,52	23,40	1290,49	-201,95	-50,97
24/03/2017	1	-136,44	-417,88	155,68	115,58	156,53	49,53	27,02	229,63
	2	362,25	216,94	215,17	-18,11	262,12	354,16	208,98	75,40
	3	200,39	-495,87	92,77	-43,54	121,89	42,68	27,51	-95,07
04/04/2017	1	-	-	54,48	-31,91	198,54	162,72	-19,51	96,39
	2	-	-	-136,56	202,37	85,18	126,42	59,34	84,52
	3	-	-	-121,93	89,45	124,55	190,49	221,84	35,85
18/04/2017	1	-	-	132,09	32,93	500,67	1419,23	-77,43	50,38
	2	-	-	90,49	35,30	1100,40	1169,75	51,82	185,56
	3	-	-	141,79	-6,69	255,06	2693,64	-120,53	-63,34
04/05/2017	1	-	-	182,13	18,83	-	-	-53,57	306,60
	2	-	-	80,20	49,88	-	-	51,57	277,72
	3	-	-	-330,36	245,84	-	-	-366,89	206,68



**Apêndice D.** Fluxos de CH<sub>4</sub>, por repetição (Rep.) nas culturas do culturas arroz irrigado, soja e sorgo, durante o período da safra 2016/17, sob manejo convencional do solo e plantio direto

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC 1	Sorgo PD 1	Soja SC	Soja PD	Sorgo SC 2	Sorgo PD 2
-----CH <sub>4</sub> (g ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----									
11/11/2016	1	-0,36	-0,32	-	-	-	-	-	-
	2	-0,45	-0,11	-	-	-	-	-	-
	3	-0,30	-0,50	-	-	-	-	-	-
14/11/2016	1	-0,97	-0,68	-	-	-	-	-	-
	2	-0,26	0,55	-	-	-	-	-	-
	3	-0,61	-0,72	-	-	-	-	-	-
21/11/2016	1	-0,08	-0,55	-	-	-	-	-	-
	2	0,16	-0,31	-	-	-	-	-	-
	3	0,36	-0,56	-	-	-	-	-	-
23/11/2016	1	-	-	0,02	0,65	-	-	-	-
	2	-	-	-0,25	-0,40	-	-	-	-
	3	-	-	-0,26	-1,13	-	-	-	-
25/11/2016	1	-	-	0,78	0,47	-0,72	0,26	-	-
	2	-	-	0,66	0,40	1,03	-0,24	-	-
	3	-	-	0,25	0,19	-0,10	0,08	-	-
28/11/2016	1	0,25	-1,47	-0,42	-0,28	-0,22	0,11	0,15	0,05
	2	0,89	-0,45	-0,24	-0,32	-0,67	0,23	0,30	0,25
	3	-0,06	-1,60	0,10	-1,17	-0,01	-0,14	1,43	0,14
05/12/2016	1	0,41	-0,71	-0,11	0,55	-0,15	0,43	-0,05	0,32
	2	-0,04	-0,29	0,14	0,06	-0,81	-0,27	0,16	0,08
	3	0,27	-1,57	-0,30	-0,64	-0,07	-0,54	-0,40	0,55
12/12/2016	1	-0,04	0,00	-0,01	0,20	-0,12	-0,03	-0,12	-0,26
	2	-0,16	-0,48	-0,85	0,13	0,65	0,38	0,18	0,16
	3	-0,35	-0,11	-0,70	-0,15	0,55	-0,10	-0,01	0,01
13/12/2016	1	0,40	3,14	-	-	-	-	-	-
	2	-0,72	5,27	-	-	-	-	-	-
	3	-1,61	5,06	-	-	-	-	-	-
14/12/2016	1	0,18	0,36	-0,25	0,66	-	-	-0,29	-0,15
	2	0,13	0,31	0,23	0,23	-	-	-0,14	0,02
	3	-0,15	0,30	0,69	0,22	-	-	-0,04	0,95
16/12/2016	1	0,99	1,80	1,25	-0,25	-	-	-0,05	0,03
	2	0,35	2,73	-0,81	-0,98	-	-	-0,01	0,20
	3	1,52	4,13	0,02	0,39	-	-	-0,02	-0,73
19/12/2016	1	15,72	18,46	0,88	1,01	1,03	1,26	0,41	1,74
	2	7,41	24,26	0,01	0,94	0,96	1,88	-0,44	-0,11
	3	25,56	36,17	-0,33	1,05	0,57	1,84	0,07	2,46
20/12/2016	1	0,37	0,76	0,74	-0,36	-	-	0,50	-0,04
	2	0,20	0,01	25,20	-1,04	-	-	1,53	0,12
	3	0,14	0,37	13,92	0,36	-	-	0,30	0,80

Continua

## Continuação

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC 1	Sorgo PD 1	Soja SC	Soja PD	Sorgo SC 2	Sorgo PD 2
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----									
28/12/2016	1	121,82	31,18	0,93	1,11	0,54	3,08	0,02	2,07
	2	93,94	37,98	0,71	1,75	0,79	2,50	-0,32	2,85
	3	107,05	35,58	1,14	0,63	0,26	2,10	-0,27	1,94
02/01/2017	1	263,55	147,92	-0,13	1,16	-0,34	0,15	0,93	1,17
	2	266,14	160,42	0,39	3,89	-0,29	0,31	0,92	1,04
	3	248,32	182,07	0,33	5,13	-0,18	0,71	1,06	1,47
09/01/2017	1	261,70	167,55	-0,12	-0,06	0,03	0,23	0,05	-0,04
	2	211,39	154,75	-0,19	-0,04	0,10	1,12	-0,25	-0,17
	3	272,46	149,97	0,21	-0,10	-0,03	-0,05	-0,11	0,40
10/01/2017	1	-	-	0,30	-0,19	-	-	0,04	0,34
	2	-	-	0,03	0,89	-	-	0,16	0,25
	3	-	-	0,09	0,18	-	-	0,07	0,00
11/01/2017	1	-	-	0,18	0,37	-	-	0,08	0,27
	2	-	-	0,06	0,45	-	-	0,26	1,04
	3	-	-	0,37	-0,11	-	-	0,31	0,27
13/01/2017	1	-	-	0,11	0,51	-	-	0,75	0,63
	2	-	-	-0,10	0,74	-	-	0,13	0,42
	3	-	-	0,53	0,56	-	-	0,75	0,48
17/01/2017	1	-	-	-0,04	-0,07	-	-	-0,19	0,43
	2	-	-	-0,16	-0,14	-	-	0,31	0,03
	3	-	-	-0,25	0,24	-	-	-0,21	-0,12
18/01/2017	1	594,33	599,14	-	-	-0,62	4,52	-	-
	2	422,89	595,71	-	-	0,78	3,23	-	-
	3	695,49	666,42	-	-	0,68	3,68	-	-
19/01/2017	1	610,91	428,97	-	-	-	-	-	-
	2	503,14	424,75	-	-	-	-	-	-
	3	600,94	458,75	-	-	-	-	-	-
21/01/2017	1	235,48	147,74	-	-	-	-	-	-
	2	215,40	128,79	-	-	-	-	-	-
	3	244,80	147,04	-	-	-	-	-	-
23/01/2017	1	242,76	206,55	1,38	0,57	0,98	0,85	0,14	0,44
	2	218,65	178,55	0,89	0,29	1,14	0,61	0,40	0,57
	3	278,32	188,99	1,40	1,25	1,21	0,93	0,56	0,61
30/01/2017	1	304,51	209,52	0,75	1,65	1,15	7,04	1,31	5,95
	2	229,30	192,75	0,69	2,70	1,95	3,64	1,13	4,50
	3	255,07	186,85	0,78	1,42	2,26	3,10	0,88	3,34
06/02/2017	1	294,72	262,30	-	-	0,22	0,39	-	-
	2	260,06	222,25	-	-	1,18	0,48	-	-
	3	212,95	212,91	-	-	-0,28	1,19	-	-

continua

## Continuação

Data da coleta	Rep.	Arroz irrigado SC	Arroz irrigado PD	Sorgo SC 1	Sorgo PD 1	Soja SC	Soja PD	Sorgo SC 2	Sorgo PD 2
-----N <sub>2</sub> O (mg ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )-----									
07/02/2017	1	-	-	0,93	0,86	-	-	0,41	0,80
	2	-	-	2,02	0,67	-	-	0,09	0,69
	3	-	-	0,43	0,04	-	-	0,18	0,34
09/02/2017	1	-	-	2,74	2,67	-	-	2,97	1,96
	2	-	-	2,61	3,07	-	-	2,12	3,33
	3	-	-	3,78	2,50	-	-	3,26	2,86
13/02/2017	1	341,96	343,52	3,50	2,45	5,99	2,93	5,93	1,96
	2	335,87	300,55	4,28	1,95	2,93	2,36	3,37	2,56
	3	379,43	290,95	5,32	1,19	2,75	1,90	4,54	1,63
20/02/2017	1	276,35	290,26	2,00	1,78	1,85	4,95	0,82	3,21
	2	320,09	249,77	3,24	1,62	2,52	-0,03	1,25	2,53
	3	373,85	277,46	0,90	1,86	2,35	1,73	0,71	1,74
27/02/2017	1	176,85	201,81	16,54	2,58	2,84	2,83	1,51	1,58
	2	219,70	211,56	17,95	3,47	2,88	-0,20	1,71	3,69
	3	205,47	191,27	17,51	2,50	3,11	3,08	1,77	1,54
07/03/2017	1	107,21	181,34	0,56	-1,06	2,05	0,21	-1,19	0,70
	2	120,03	120,22	4,01	0,72	4,49	1,33	0,97	1,31
	3	96,41	145,55	0,67	-0,42	-0,01	2,05	0,42	-1,30
24/03/2017	1	108,70	135,74	2,62	2,62	2,24	-0,27	1,83	1,22
	2	100,67	83,87	-2,62	-2,09	-0,13	2,14	1,21	0,42
	3	114,47	161,46	1,67	0,17	4,10	-0,68	0,68	3,59
04/04/2017	1	-	-	-0,02	-0,21	0,73	0,00	0,33	0,11
	2	-	-	0,69	0,08	0,38	-0,04	0,70	0,68
	3	-	-	0,77	0,09	0,75	-0,16	0,99	0,08
18/04/2017	1	-	-	0,30	0,18	0,17	-0,01	-0,21	-0,08
	2	-	-	0,02	0,18	-0,15	0,16	0,06	0,25
	3	-	-	0,09	-0,03	0,14	-0,08	-0,34	-0,14
04/05/2017	1	-	-	1,76	-0,51	-	-	0,02	1,76
	2	-	-	1,23	0,11	-	-	-0,18	1,91
	3	-	-	0,40	0,03	-	-	-0,89	1,48