

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

João Angelo Silva Nunes

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, CARACTERÍSTICAS
PRODUTIVAS E MORFOLÓGICAS DE CULTIVARES DE ARROZ
SOB MANEJOS DE IRRIGAÇÃO**

**Santa Maria, RS
2019**

João Angelo Silva Nunes

EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E MORFOLÓGICAS DE CULTIVARES DE ARROZ SOB MANEJOS DE IRRIGAÇÃO

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

Orientador: Prof^o Dr. Enio Marchesan

Santa Maria, RS
2019

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Nunes, João Angelo Silva
Emissão de gases de efeito estufa, características
produtivas e morfológicas de cultivares de arroz sob
manejos de irrigação / João Angelo Silva Nunes.- 2019.
124 p.; 30 cm

Orientador: Enio Marchesan
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2019

1. Aquecimento Global 2. Aerênquima 3. Metano 4.
Oryza Sativa 5. Óxido Nitroso I. Marchesan, Enio II.
Titulo.

©2019

Todos os direitos autorais reservados a João Angelo Silva Nunes. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

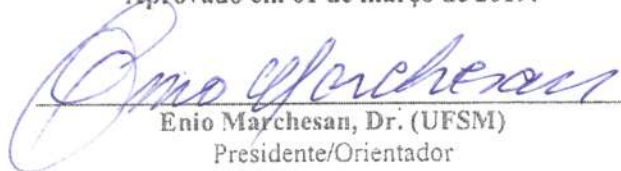
E-mail: joaoangelo_jaciara@hotmail.com

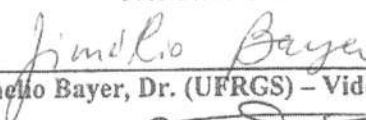
João Angelo Silva Nunes

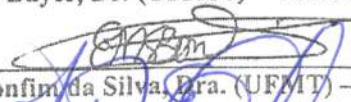
EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E MORFOLÓGICAS DE CULTIVARES DE ARROZ SOB MANEJOS DE IRRIGAÇÃO

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


Aprovado em 01 de março de 2019:


Enio Marchesan, Dr. (UFSM)
Presidente/Orientador


Cimelio Bayer, Dr. (UFRGS) – Videoconferência


Edna Maria Bonfim da Silva, Dra. (UFMT) – Videoconferência


João Marcelo Santos de Oliveira, Dr. (UFSM)


Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais José Nunes Neto e Maria Silva Nunes, minha esposa Priscilla Cardoso Martins Nunes e meus filhos Jean Filipe Martins Nunes e Joanna Cardoso da Silva, por acreditarem na minha capacidade e por toda a mudança necessária para realização do doutorado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por suas bênçãos, auxílio e proteção. Sendo minha base forte nessa jornada.

Aos meus pais, José Nunes Neto e Maria Silva Nunes, pelo apoio, pela força, pelo carinho, pelo exemplo de vida, pelo exemplo pessoal que são para mim de amor, perseverança, caráter e honestidade, vocês foram essenciais não apenas na minha formação acadêmica, mas principalmente na formação do meu caráter.

À minha esposa Priscilla Nunes, pela força, encorajamento e apoio irrestrito, pela mudança de Estado e ficar longe de nossos familiares, obrigado por fazer parte do meu sonho.

Aos meus filhos Jean Filipe Nunes e Joanna Silva, por terem que passar por uma mudança radical em suas vidas sem ao menos compreender o motivo.

Ao professor Enio Marchesan, pela orientação, dedicação e ensinamentos durante o período do doutorado.

Aos professores da pós-graduação em Agronomia pelo conhecimento transmitido e contribuição em minha formação acadêmica.

Aos colegas e ex-colegas de Pós-Graduação, Bruno Aramburu, Camile Soares, Daivyd de Oliveira, Gabriel Donato, Guilherme Cassol, Lucas Coelho, Mara Ghros, Maurício de Oliveira e Silvana Fin, pela convivência, troca de conhecimentos e pelo aprendizado.

Aos bolsistas do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado (GPAI), Angelo Taschetto, Alisson Fleck, Augusto Serafin, Eduardo Bortolin, Matias Prochnow, Oscar Groth e Uashington Riste, pela colaboração na condução do experimento e convivência no dia a dia.

Aos ex bolsistas do GPAI, Cristiano Fortuna, Francisco Tonetto, Isabel Werle, Marcelo de Oliveira e Vítório Pagliarin, pelo auxílio na condução do experimento.

Aos professores João Marcelo de Oliveira e Sandro Giacomini, pelo auxílio prestado durante a condução do experimento e pela disponibilidade dos laboratórios.

Aos professores Cimelio Bayer e Edna Bonfim da Silva por se disporem a participar da banca de defesa e pelas contribuições ao trabalho.

À técnica de laboratório Marisa Abbad por estar sempre disposta a ajudar.

Ao colaborador Ary Junior, pela ajuda na implantação e condução do experimento.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudo, imprescindível para minha formação.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de conclusão do curso de Pós-Graduação em Agronomia.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste projeto.

Meu muito obrigado.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou
o que era antes”.*

(Marthin Luther King)

RESUMO

EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA, CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E MORFOLÓGICAS DE CULTIVARES DE ARROZ SOB MANEJOS DE IRRIGAÇÃO

AUTOR: João Angelo Silva Nunes

ORIENTADOR: Enio Marchesan

O cultivo de arroz irrigado é uma importante fonte de emissão de gases de efeito estufa. Entre os principais gases de efeito estufa em área de arroz são o metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), os quais variam em função do manejo da cultivar e do manejo da irrigação. O estudo de manejos da irrigação e de cultivares é de grande importância por servirem de alternativa para aumento de produtividade e qualidade de grãos sem aumento de área plantada e do consumo de água. As plantas de arroz possuem estruturas, denominadas de aerênquimas, que servem principalmente para a oxidação do sistema radicular, porém por meio dessas estruturas também ocorre a passagem de outros gases, como o CH₄ e o N₂O. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo quantificar as emissões de CH₄ e N₂O, componentes de rendimento, qualidade de grãos, produtividade, características morfológicas, potencial de aquecimento global parcial (PAGp) e índice de PAGp/Rendimento de Grãos de cultivares de arroz sob irrigação permanente e irrigação intermitente. Diante disto, a presente tese foi estruturada em quatro capítulos. O capítulo 1 é uma revisão de literatura intitulada de “Produção, emissão e medidas mitigatórias de metano em lavouras de arroz irrigado”. O capítulo 2 aborda a emissão de CH₄ e N₂O, a produtividade, o potencial de aquecimento global e o índice de potencial de aquecimento global por produtividade de grãos a partir de áreas de arroz irrigado, com o título de “Emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global de cultivares de arroz sob manejos de irrigação”. O capítulo 3 aborda sobre as características morfológicas da parte aérea (número e diâmetro de colmos e estatura) de plantas de arroz, bem como suas estruturas internas (número, área e volume de aerênquimas e área e volume da fístula) e produção de massa seca, esse capítulo é intitulado como “Características estruturais de cultivares de arroz sob manejos de irrigação”. O capítulo 4 aborda sobre o número de panículas por m², o número de grãos por panículas, a massa de mil grãos, renda do benefício e sobre as características físicas dos grãos (grãos inteiros, gessados e barriga branca), e está intitulado de “Componentes de rendimento e qualidade de grão de cultivares de arroz sob manejos de irrigação”. A partir dos resultados obtidos concluiu-se que a cultivar XP 113 emite menos metano e óxido nitroso, além de apresentar maior produtividade de grãos, o que garante, juntamente com a cultivar Titan CL menor Potencial de Aquecimento Global parcial e menor índice de PAGp/Produtividade de Grãos. A irrigação intermitente, combinado com baixas precipitações, afeta negativamente a produtividade de grãos do arroz, porém resulta em menor emissão de metano, PAGp e PAGp/PG. Não há diferença na emissão de óxido nitroso em função do manejo de irrigação. A cultivar XP 113 apresenta menor área e volume de aerênquimas, bem como menor número de colmos por m² e massa seca da parte aérea, enquanto a cultivar Lexus CL apresenta maior massa seca da parte aérea, área e volume de aerênquimas e área e volume da fístula. Há redução do índice de área foliar quando as plantas de arroz são submetidas ao manejo de irrigação intermitente em todas as cultivares, com exceção da cultivar XP 113. O manejo da irrigação intermitente reduz a estatura de plantas, massa seca da parte aérea, área (de aerênquimas e da fístula) e volume (de aerênquimas e da fístula). A cultivar IRGA 424 RI possui menor porcentagem de área gessada, de massa de mil grãos e de grãos por panícula em relação as demais cultivares. As cultivares IRGA 424 RI e Titan CL possuem maior porcentagem de grãos inteiros. A cultivar XP 113 possui maior número de grãos por panículas. As cultivares XP 113 e IRGA 424 RI possuem menor porcentagem de grãos gessados e barriga branca. O manejo da irrigação intermitente não reduz a esterilidade de espiguetas, massa de mil grãos, número de panículas por m² e qualidade de grãos.

Palavras-chave: Aquecimento Global. Aerênquima. Metano. *Oryza sativa*. Óxido Nitroso.

ABSTRACT

GREENHOUSE GASES EMISSION, PRODUCTIVE AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RICE CULTIVARS UNDER IRRIGATION MANAGEMENT

AUTHOR: João Angelo Silva Nunes

ADVISOR: Enio Marchesan

The cultivation of irrigated rice is an important source of greenhouse gases emission. Among the main greenhouse gases are the area of rice are methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), which vary depending on crop management and irrigation management. The study of irrigation and cultivar management is of great importance as an alternative to increase productivity and grain quality without increasing planted area and water consumption. Rice plants have structures called aerenchyma, which mainly serve to oxidize the root system, but through these structures also the passage of other gases such as CH₄ and N₂O occurs. In this sense, the present study had as objective to quantify CH₄ and N₂O emissions, components of yield, grain quality, yield, morphological characteristics, partial global warming potential (pGWP) and index pGWP/grain yield (Yield-scaled) of rice cultivars under permanent irrigation and intermittent irrigation. In view of this, this thesis was structured in four chapters. Chapter 1 is a literature review entitled "Production, emission and methane mitigation measures in irrigated rice crops". The chapter 2 addresses the emission of CH₄ and N₂O, yield, global warming potential and global warming potential index for grain yield from areas of irrigated rice under the heading "Greenhouse gas emissions and global warming potential of rice cultivars under irrigation management". The chapter 3 deals with the morphological characteristics of the aerial part (number and diameter of stems and stature) of rice plants, as well as their internal structures (number, area and volume of aerenchyma and area and volume of the fistula) and dry mass production, this chapter is entitled "Structural characteristics of rice cultivars under irrigation management". The chapter 4 deals with the number of panicles per m², the number of grains per panicles, the mass of a thousand grains, income of the benefit and on the physical characteristics of the grains (whole grains, plaster and white belly) and is titled "Performance components and grain quality of rice cultivars under irrigation management". From the results obtained, it was concluded that the cultivar XP 113 emits less methane and nitrous oxide, in addition to presenting higher grain yield, which guarantees, together with the cultivar Titan CL, lower Partial Global Warming Potential and lower pGWP/Grain Productivity. Intermittent irrigation, combined with low rainfall, adversely affects grain yield of rice, but results in lower methane emissions, pGWP and pGWP/GY. There is no difference in the emission of nitrous oxide as a function of irrigation management. The cultivar XP 113 shows a lower area and volume of aerenchyma, as well as a lower number of stems per m² and dry mass of the aerial part, while the cultivar Lexus CL presents higher dry mass of aerial part, area and volume of aerenchyma and area and volume of fistula. There is a reduction in leaf area index when the rice plants are submitted to intermittent irrigation management in all cultivars, except for cultivar XP 113. The management of intermittent irrigation reduces plant height, shoot dry mass, area of aerenchyma and fistula) and volume (of aerenchyma and fistula). The cultivar IRGA 424 RI has a lower percentage of the cast area, of a thousand grain mass and of grains per panicle in relation to the other cultivars. The cultivars IRGA 424 RI and Titan CL have a higher percentage of whole grains. The cultivar XP 113 has a higher number of grains per panicle. Cultivars XP 113 and IRGA 424 RI have a lower percentage of grains and white belly. The management of intermittent irrigation does not reduce the sterility of spikelets, mass of a thousand grains, number of panicles per m² and grain quality.

Keywords: Global Warming. Aerenchyma. Methane. *Oryza sativa*. Nitrous oxide.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Variação da temperatura média e precipitação pluviométrica, por decêndio, em Santa Maria, RS nas safras (A) 2016/17 e (B) 2017/18..... 87
- Figura 2 - (A, B, C e D) Fluxo médio diário e (E e F) emissão acumulada de CH₄ no solo sob (A e B) cultivares de arroz e (C e D) manejos da água no cultivo do arroz nas safras (A, C e D) 2016/17 e (B, D e F) 2017/18..... 88
- Figura 3 - (A, B, C e D) Fluxo médio diário e (E e F) emissão acumulada de N₂O no solo sob (A e B) cultivares de arroz e (C e D) manejos da água no cultivo do arroz nas safras (A, C e D) 2016/17 e (B, D e F) 2017/18..... 89
- Figura 4 - (A e B) Potencial de aquecimento global parcial, (C e D) produtividade e índice PAGp/PG de cultivares de arroz e manejos da água no cultivo do arroz nas safras (A, C e E) 2016/17 e (B, D e F) 2017/18 em Santa Maria, RS..... 90

CAPÍTULO 3

- Figura 1 - Variação diária da (A e B) temperatura média, precipitação pluvial e (C e D) radiação solar global e (E e F) variação mensal da radiação solar global em Santa Maria, RS nas safras (A, C e E) 2016/17 e (B, D e F) 2017/18..... 93
- Figura 2 - Seções transversais de colmos de cultivares de *Oryza sativa* (arroz) na região do primeiro entrenó visível (A e E) Lexus CL, (B e F) Titan CL, (C e G) XP 113 e (D e H) IRGA 424 RI submetidas ao manejo de irrigação (A, B, C e D) permanente e (E, F, G e H) intermitente..... 96

CAPÍTULO 4

- Figura 1 - Variação diária da (A e B) temperatura média, precipitação pluvial e (C e D) radiação solar global e (E e F) variação mensal da radiação solar global em Santa Maria, RS nas safras (A, C e E) 2016/2017 e (B, D e F) 2017/2018..... 107

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1 - Manejos de adubação e de cobertura do solo utilizadas como medidas mitigatórias na emissão de CH₄ em lavouras de arroz irrigado..... 64
- Tabela 2 - Manejos de irrigação, cultivares e rotação de cultura utilizados como medidas mitigatórias na emissão de CH₄ em lavouras de arroz irrigado..... 65

CAPÍTULO 3

- Tabela 1 - Número de colmos m⁻² (NC), estatura de plantas em cm (EP), massa seca da parte aérea em g m⁻² (MSPA) e diâmetro de colmo em mm (DC) de cultivares de arroz no estádio R4 submetidas a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18..... 94
- Tabela 2 - Número de aerênquimas, área de aerênquimas (mm²), volume de aerênquimas (m³), área da fístula (mm²), volume da fístula (m³) e espessura do córtex (mm) por colmo de cultivares de arroz no estádio R4 submetidas a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18..... 95
- Tabela 3 - Número de aerênquimas, área de aerênquimas (mm²), volume de aerênquimas (m³), área da fístula (mm²), volume da fístula (m³) e espessura do córtex (mm) por m² de cultivares de arroz no estádio R4 submetidas a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18..... 96
- Tabela 4 - Índice de área foliar de cultivares de arroz no estádio R4 submetidas a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18..... 97

CAPÍTULO 4

- Tabela 1 - Grãos por panícula, esterilidade de espiguetas (%), massa de mil grãos (g) e número de panículas m⁻² na ocasião da colheita de cultivares de arroz submetidas a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18 109
- Tabela 2 - Rendimento de beneficiamento do grão (%), grãos inteiros (%), área gessada (%), grãos gessados (%) e grãos barriga branca (%) de cultivares de arroz submetidas a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/2017 e 2017/2018..... 112

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. DESENVOLVIMENTO.....	27
2.1 CAPÍTULO 1 - Produção, emissão e medidas mitigatórias de metano em lavouras de arroz irrigado.....	27
Introdução.....	28
Mecanismos envolvidos na produção de CH₄ em áreas de arroz.....	29
Caminhos para emissão de CH₄.....	34
Medidas mitigatórias.....	41
Conclusão.....	49
Referências.....	50
2.2 CAPÍTULO 2 - Emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global de cultivares de arroz sob manejos de irrigação.....	67
Introdução.....	67
Material e métodos.....	69
Resultados e Discussão.....	74
Conclusões.....	83
Referências Bibliográficas.....	83
2.3 CAPÍTULO 3 - Características produtivas e morfofisiológicas de cultivares de arroz sob manejo de irrigação.....	91
Introdução.....	91
Material e métodos.....	92
Resultados.....	94
Discussão.....	97

Conclusões.....	100
Referências.....	100
2.4 CAPÍTULO 4 - Componentes de rendimento e qualidade de grão de cultivares de arroz sob manejos de irrigação.....	103
Introdução.....	103
Material e métodos.....	105
Resultados e Discussão.....	108
Conclusões.....	114
Literatura Citada.....	114
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117
4. CONCLUSÕES.....	121
REFERÊNCIAS.....	123

1.INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre devido à concentração de determinados gases na atmosfera, podendo ocorrer de forma natural e/ou antrópica. Em relação a emissão de gases de efeito estufa (GEE) de forma antrópica, solos de áreas de arroz têm contribuído significativamente, principalmente através da emissão de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Quando se separa a contribuição de cada GEE, a agricultura representa cerca de 60% e 50% do total das emissões antrópicas de N_2O e CH_4 , respectivamente (TUBIELLO et al., 2013; SEEG, 2015).

O cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) é uma importante fonte de emissão GEE, estima-se que o cultivo do arroz tenha contribuído com cerca de 11% das emissões globais de CH_4 no ano de 2010. O arroz cultivado em campos inundados ou em áreas de terras baixas emite CH_4 devido à decomposição anaeróbica da matéria orgânica presente no solo, sendo que seu potencial de aquecimento global é 25 vezes maior que o do CO_2 . As emissões de N_2O também são de grande importância, o seu potencial de aquecimento global é 298 vezes maior do que o CO_2 . Em solos cultivados com arroz irrigado por inundação, a submersão provoca mudanças nas condições de oxirredução do solo, promovendo alternância nos processos microbianos de nitrificação e desnitrificação, principais responsáveis pela produção de N_2O no solo (SIGNOR et al., 2013).

O arroz ocupa uma área de 158 milhões de ha em todo o mundo, sendo um dos cereais mais cultivado e, um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, servindo de base alimentar para mais de 3 bilhões de pessoas. A produção de cerca de 746,7 milhões de toneladas de grãos em casca corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana. No Brasil, o arroz é produzido em áreas inundadas e em áreas secas, com a maior parte da produção ocorrendo no Rio Grande do Sul, com quase 70% da produção brasileira, com predominância do arroz em áreas inundadas, sendo a média de produtividade de 7299 kg/ha.

Em solos com condições de alagamento, pela falta de oxigênio, as plantas de arroz desenvolvem espaços porosos, quando tais espaços se desenvolvem em tecidos parenquimáticos de origem do sistema fundamental (regiões corticais e medulares) classifica-se o tecido como aerênquima. Através dos aerênquimas o oxigênio é transportado da atmosfera até as raízes, suprindo as necessidades fisiológicas das plantas, sendo esse oxigênio liberado em partes na rizosfera do arroz (ARMSTRONG, 1980; MALIK et al., 2003), desempenhando assim papel importante no transporte de gases entre a rizosfera e a atmosfera.

As trocas gasosas entre o solo e a atmosfera é realizada por meio de espaços aéreos internos das plantas. Como a inundação do solo afeta principalmente as raízes, as pesquisas têm

focado seus estudos na formação de aerênquima nas raízes. No entanto, a formação de aerênquima também ocorre no colmo e outros órgãos da parte aérea no arroz (STEFFENS et al. 2011).

Em áreas de arroz, a manutenção de lâmina contínua de água sobre a superfície do solo, permanece entre 80 e 100 dias, dependendo do ciclo da cultivar (BORIN et al., 2016), esse sistema é utilizado pois apresenta maior praticidade na execução, aumento na produtividade, melhoria na qualidade industrial de grãos (MARCHEZAN et al., 2004) e favorece o controle de plantas daninhas (AVILA et al., 2014). O manejo da água tem sido reconhecido como uma prática importante que afeta as emissões de CH₄ e N₂O (ZCHORNACK et al., 2016). A irrigação por inundação na cultura do arroz requer o uso de grandes quantidades de água. Além disso, o desenvolvimento de práticas de manejo de irrigação eficientes, tais como o uso de inundações intermitentes e seleção de cultivares pode mudar a emissão de CH₄ e N₂O de solos de várzea.

A redução da disponibilidade de água para a agricultura pode comprometer a produtividade e a qualidade do arroz irrigado, sendo preciso buscar alternativas de redução da demanda de água para irrigação, com manutenção do potencial produtivo da cultura, pois sob condições de fornecimento limitado de água é necessário maximizar a produtividade, o que coloca em destaque manejos que visem a economia no uso da água. Entre as alternativas adotadas para redução do consumo de água, podem ser citadas o uso de diferentes sistemas de irrigação, como com presença contínua de lâmina de água e com irrigação intermitente, densidades de plantas, cultivares de diferentes ciclos, híbridas e convencionais, diferentes momentos de supressão da irrigação e épocas de semeadura do arroz (SARTORI et al., 2013).

Desta forma, é necessário o uso de cultivares com bom perfilhamento, alto número de grãos por panícula e elevado rendimento de grãos, sem resultar em perdas nas características físicas do grão e que possuam maior eficiência do uso da água, proporcionando alternativas no manejo da água em lavouras de arroz, entre elas a irrigação intermitente (LONDERO et al., 2015).

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo quantificar as emissões de CH₄ e N₂O, componentes de rendimento, qualidade de grãos, produtividade, características morfofisiológicas, potencial de aquecimento global parcial (PAGp) e índice de PAGp/Rendimento de Grãos nas safras agrícolas 2016/17 e 2017/18 de cultivares de arroz sob irrigação permanente e irrigação intermitente.

A presente tese foi estruturada em quatro capítulos:

Capítulo 1

Produção, emissão e medidas mitigatórias de metano em lavouras de arroz irrigado

Objetivo: revisar informações sobre o CH₄, incluindo produção, emissão e medidas de mitigação em lavouras de arroz irrigado

Capítulo 2

Emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global de cultivares de arroz sob manejos de irrigação

Objetivo: quantificar as emissões de CH₄ e N₂O na cultura do arroz, em função de cultivares submetidas a diferentes manejos de irrigação, avaliando o rendimento de grãos e o PAG dos diferentes manejos.

Capítulo 3

Características estruturais de cultivares de arroz sob manejos de irrigação

Objetivo: avaliar as características estruturais de diferentes cultivares de arroz quando submetidas aos manejos de irrigação permanente e irrigação intermitente.

Capítulo 4

Componentes de rendimento e qualidade de grão de cultivares de arroz sob manejos de irrigação

Objetivo: quantificar os componentes de rendimento e qualidade de grãos de diferentes cultivares de arroz submetidas aos manejos de irrigação permanente e irrigação intermitente.

1 2. DESENVOLVIMENTO

2 2.1. CAPÍTULO 1

3 **Nas normas da Revista Ciência Rural**

4 **Produção, emissão e medidas mitigatórias de metano em lavouras de arroz irrigado**

5

6 **-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-**

7

8 **RESUMO**

9 A cultura de arroz irrigado é uma das principais fontes antropogênica de emissão de metano
10 (CH₄), as condições de anaerobiose resultam na produção de CH₄ por microrganismos
11 metanogênicos. A emissão de CH₄ por solos alagados resulta da sua produção em zonas
12 anóxicas e pelo seu consumo por metanotróficos em zonas oxidadas, porém o seu fluxo depende
13 também das plantas de arroz para transferência para a atmosfera, principalmente através de
14 tecidos porosos das plantas de arroz, os aerênquimas, e em menor escala, por difusão e ebulição.
15 As plantas de arroz podem ser responsáveis pela emissão de até 90% do CH₄ do solo para a
16 atmosfera. O entendimento dos diferentes fatores responsáveis pela produção, emissão e
17 consumo de CH₄ ajuda na formulação de estratégias de mitigação. Técnicas potenciais incluem
18 manejo do solo e da água, adubação, seleção de cultivares, entre outros. O objetivo deste
19 trabalho é revisar informações sobre o CH₄, incluindo produção, emissão e medidas de
20 mitigação em lavouras de arroz irrigado.

21

22 **Palavras-chave:** Cultivares de arroz, manejo da água, manejo do solo, metanogênese.

23

24

25

1 INTRODUÇÃO

2 A cultura de arroz irrigado (*Oryza sativa*) é uma das principais fontes antropogênica de
3 emissão de metano (CH₄). Em relação ao potencial de aquecimento global, o CH₄ é 25 vezes
4 maior do que o dióxido de carbono (CO₂). Nos últimos dois séculos, a concentração de CH₄ na
5 atmosfera mais que dobrou. O CH₄ é produzido em ambientes anóxicos por microorganismos
6 anaeróbicos obrigatórios, por processos de redução de CO₂ ou transmetilação
7 (TOWPRAYOON et al., 2005).

8 A gestão da água tem sido reconhecida como uma prática importante que afeta as
9 emissões de CH₄ a partir de lavouras de arroz (ZSCHORNACK et al., 2016). A irrigação por
10 inundação na cultura do arroz requer o uso de grandes quantidades de água. Além disso, o
11 desenvolvimento de práticas de gestão de irrigação eficientes, tais como o uso de inundações
12 intermitentes pode mudar a emissão de CH₄ de solos de várzea (MOTERLE et al., 2013).

13 O solo de arroz irrigado pode ser considerado como um sistema compartimentalizado,
14 com três compartimentos caracterizados por diferentes condições físico-químicas: superfície
15 óxica do solo, solo anóxico e solo da rizosfera. Entre esses compartimentos, gradientes
16 químicos bem definidos podem ser medidos e fornecer informações sobre a atividade e
17 distribuição espacial de grupos funcionais de microrganismos (LIESACK et al., 2000). Os
18 grupos funcionais de microrganismos consistem em organismos metabolicamente relacionados,
19 por exemplo, bactérias respiradoras de oxigênio (O₂), redutores de nitrato, redutores de ferro,
20 redutores de sulfato, mas também bactérias fermentadoras e *Archaea*. A ação combinada de
21 todos os grupos funcionais de microrganismos impulsiona o ciclo do carbono (C), nitrogênio
22 (N), enxofre e ferro em lavouras de arroz, mas também em outros solos (LIESACK et al., 2000).

23 Para o início da produção de CH₄, o potencial redox (Eh) do solo deve estar entre -
24 100mV a -200mV áreas de arroz irrigado fornecem um Eh favorável a esta produção, pois após
25 a inundação, o Eh do solo diminui acentuadamente até -150 mV (DUBEY, 2005). Porém, a

1 maior parte do CH₄ liberado em áreas de arroz é através dos aerênquimas presentes nas plantas.
2 O transporte de O₂ da atmosfera para a rizosfera via aerênquimas das plantas de arroz ajuda a
3 aumentar o Eh do solo e resulta na oxidação do CH₄ (LE MER & ROGER, 2001).

4 A seleção de cultivares adequadas pode desempenhar um papel importante na regulação
5 de emissões de CH₄, pois cultivares de arroz com poucos perfilhos improdutivos, sistema
6 radicular pequeno, alta atividade oxidativa das raízes, alto índice de colheita, baixa exsudação
7 radicular e maturação precoce são ideais para mitigar a emissão de CH₄ em lavouras de arroz
8 (MALYAN et al., 2016).

9 Sendo assim, o objetivo deste trabalho é revisar informações sobre o CH₄, incluindo
10 produção, emissão e medidas de mitigação em lavouras de arroz irrigado.

11 **MECANISMOS ENVOLVIDOS NA PRODUÇÃO DE CH₄ EM ÁREAS DE ARROZ**

12 Em solos cultivados com arroz com alagamento contínuo, as condições de anaerobiose
13 resultam na produção de CH₄ como produto final da decomposição de compostos. Essa emissão
14 de CH₄ é o resultado de uma série complexa de processos do solo envolvendo interações de
15 microrganismos. Áreas de arroz irrigado promovem a fermentação anaeróbica de fontes de C
16 fornecidas pelas plantas de arroz e outros substratos orgânicos incorporados, sendo o resultado
17 de processos bacterianos opostos, produção em microambientes anaeróbios e consumo e
18 oxidação em microambientes aeróbicos, ambos os quais podem ser encontrados lado a lado em
19 solo de arroz irrigado (SASS & CICERONE, 2002).

20 O início da produção de CH₄ depende da quantidade de matéria orgânica facilmente
21 biodegradável e da magnitude do sistema redox, após a redução do Fe³⁺ e do SO₄²⁻. A
22 disponibilidade de substratos (H₂ e acetato) no solo é o fator que limita a atividade das bactérias
23 metanogênicas (CONRAD & KLOSE, 1999). A produção de CH₄ por decomposição
24 anaeróbica da matéria orgânica no solo ocorre apenas depois que a maioria dos aceptores de
25 elétrons, é reduzida. Essas substâncias (Fe³⁺, Mn⁴⁺ e SO₄²⁻) são reduzidos a Fe²⁺, Mn²⁺ e S²⁻,

1 respectivamente, antes da produção de CH₄ (YU et al., 2007). Um maior conteúdo de C
2 orgânico no solo, pode resultar em maior produção de CH₄, uma vez que a matéria orgânica é
3 conhecida por ser um substrato efetivo para microrganismos metanogênicos (MINAMIKAWA
4 et al., 2006), pois o C atua como fonte de energia para esses microrganismos. As bactérias
5 metanogênicas competem com outras bactérias anaeróbicas pelos substratos disponíveis, como
6 as redutoras de Fe³⁺, Mn⁴⁺ e SO₄²⁻ (DUBEY, 2005). Entre os processos metabólicos que levam
7 a mineralização da matéria orgânica em anaerobiose, como desnitrificação, redução do Fe³⁺ e
8 do SO₄²⁻, a metanogênese é a que apresenta menor rendimento energético, devido o CO₂ não
9 ser um aceptor de elétrons eficiente, e a reação menos favorável que a redução dos compostos
10 iônicos oxidantes (LIU & WHITMAN, 2008).

11 A matéria orgânica é convertida na primeira forma alimentar preferida pelas bactérias
12 metanogênicas (acetato) ou álcoois, que estão prontamente disponíveis para as bactérias como
13 alimento (DUBEY, 2005). Essa transformação requer ações sucessivas de quatro populações
14 de microrganismos que degradem moléculas complexas em compostos mais simples: hidrólise
15 de polímeros biológicos em monómeros por uma microflora hidrolítica que pode ser aeróbica
16 facultativa ou estritamente anaeróbica; acidogênese de compostos monoméricos e compostos
17 intermediários formados durante a fermentação por uma microflora fermentativa que pode ser
18 facultativa ou estritamente anaeróbica; acetogênese dos metabólitos anteriores por uma
19 microflora sintrófica ou homoacetogênica; e metanogênese a partir dos compostos simples que
20 podem ser utilizados por metanogênicos (LE MER & ROGER, 2001).

21 **Hidrólise**

22 A hidrólise é uma reação química em meio aquoso, em que a água sofre dupla
23 decomposição em um composto: um hidrogênio (H₂) da molécula de água é transferido para
24 um dos produtos, e o grupo OH é transferido para outro produto, podendo ocorrer em ambientes
25 diferentes, como aeróbico a estritamente anaeróbico. Pode ser ácida ou enzimática. Quando

1 enzimática, funciona como catalisador dos processos biológicos e são responsáveis por várias
2 fases do metabolismo. A hidrólise apresenta reações sensíveis a fatores externos que podem
3 alterar a velocidade das reações e a restrição das atividades dos microrganismos em faixas
4 limitadas de temperatura e pH, e outros fatores que podem alterar o grau e a taxa de velocidade
5 em que o substrato é hidrolisado, como as características do substrato e a concentração de
6 sólidos (VIDAL JUNIOR et al., 2011).

7 **Acidogênese**

8 A acidogênese é efetuada por um grande e diverso grupo de bactérias fermentativas. A
9 maioria das bactérias acidogênicas são anaeróbias estrita, mas cerca de 1% consiste de bactérias
10 facultativas que podem oxidar o substrato orgânico por via oxidativa. Durante a acidogênese os
11 produtos da hidrólise são convertidos em ácidos graxos voláteis (acetato, propionato, butirato
12 e lactato), amônia, ácidos orgânicos, álcoois (etanol e metanol), H₂ e CO₂ (VAN HAANDEL
13 & LETTINGA, 1994). Os monómeros formados durante a hidrólise são fermentados em ácidos
14 por bactérias fermentativas, essas bactérias podem ser estritamente anaeróbicas ou podem ser
15 de natureza aeróbica facultativa (MALYAN et al., 2016).

16 As bactérias acidogênicas convertem os compostos solubilizados a uma combinação de
17 ácidos graxos voláteis e outros produtos como CO₂, H₂ e ácido acético, compondo a segunda
18 etapa do processo (TEIXEIRA et al., 2008). Os microrganismos acidogênicos convertem em
19 alcoóis e/ou ácidos orgânicos os componentes solúveis, através da hidrólise.

20 **Acetogênese**

21 A acetogênese é uma reação biológica na qual os ácidos graxos voláteis são convertidos
22 em ácido acético, CO₂ e H₂ por acetogênicos, que são bactérias anaeróbicas obrigatórias
23 presentes em solo inundado. Pela acetogênese se tem a produção de acetato por microrganismos
24 heterotróficos, pela oxidação de ácidos orgânicos como os ácidos propiônico, butírico e álcoois
25 (MALYAN et al., 2016). Os organismos que podem sintetizar acetato por redução de CO₂ são

1 denominados acetogênicos. Na acetogênese ocorre a degradação de moléculas simples, que
2 foram geradas anteriormente, para produzir H_2 , CO_2 e principalmente, acetato, que são
3 substratos utilizados para formação de CH_4 na etapa seguinte, a metanogênese (SILVA, 2016).

4 Segundo DUBEY (2005) o acetato contribui com aproximadamente 80% do C utilizado
5 na geração de CH_4 , enquanto que os compostos H_2 e CO_2 contribuem de com cerca de 20% da
6 produção de CH_4 . Porém, segundo CONRAD (1999) a contribuição de acetato e dos compostos
7 H_2 e CO_2 para o total de CH_4 produzido durante a degradação anaeróbica de açúcares devem
8 ser de 66 e 33%, respectivamente. A produção de acetato por bactérias acetogênicas podem
9 ocorrer na faixa de 15 a 50°C, porém a assimilação de CO_2 pode ocorrer até a 50°C, quando
10 H_2 é fornecido. Com a temperatura de 15°C, no entanto, os oxidantes de acetato sintróficos não
11 estão ativos e, em vez disso, outras bactérias estão ativas na fixação de CO_2 com e sem H_2 (LIU
12 & WHITMAN, 2008). Ainda segundo esses autores, estas bactérias são aparentemente capazes
13 de sobreviver a 81 dias de pré-incubação a alta temperatura e tornaram-se ativas com a redução
14 da temperatura para 15° C. Demonstrando haver uma considerável diversidade de acetogênicos
15 que podem ser potencialmente ativos como fixadores de CO_2 (MALYAN et al., 2016).

16 **Metanogênese**

17 A metanogênese é o último estágio da decomposição anaeróbia. Neste estágio, as
18 arqueas metanogênicas convertem principalmente o ácido acético, o H_2 e o CO_2 em CH_4 .
19 (SILVA & BORTOLI, 2018). O processo de metanogênese depende da dinâmica de
20 oxirredução no solo, em especial dos óxidos e hidróxidos de ferro, e é desencadeado quando
21 praticamente todo o Fe^{3+} encontra-se reduzido a Fe^{2+} (ZSCHORNACK et al., 2011). A
22 produção de CH_4 em solos alagados é realizada por microrganismos metanogênicos que
23 metabolizam o C de compostos orgânicos somente em condições sem O_2 e de baixo Eh. O CH_4
24 pode ser produzido pelas bactérias acetotróficas a partir da redução do ácido acético ou pelas
25 hidrogenotróficas, a partir da redução de CO_2 (SILVA, 2016).

1 A metanogênese, que requer anaerobiose estrita e baixos potenciais de oxidação-
2 redução envolve uma microflora especializada, estritamente anaeróbica, que pode se
3 desenvolver em sinergia ou em sincronia com outras bactérias anaeróbias (KLUDZE et al.,
4 1993; LE MER & ROGER, 2001). Segundo FAGNANI et al. (2011) os principais substratos
5 da metanogênese são os acetatos, $H_2 + CO_2$, compostos metilados (metanol, metilaminas) e
6 álcoois primários e secundários. O CO_2 pode ser usado por metanogênicos, mas não é um
7 substrato importante (LE MER & ROGER, 2001). Esses substratos são convertidos a CH_4 e
8 CO_2 , por uma classe de microrganismos pertencentes ao domínio *Archaea* (FAZLI et al., 2013).

9 As arqueas metanogênicas podem ser divididas em dois grupos, as acetoclásticas e as
10 hidrogenotróficas. As primeiras produzem CH_4 e CO_2 a partir da clivagem do ácido acético,
11 enquanto que as últimas consomem o H_2 e o CO_2 gerado na acidogênese, formando CH_4 e água
12 (FAGNANI et al., 2011). O processo de formação do CH_4 é específico de ambientes em que
13 outros aceptores de elétrons, como O_2 , NO_3^- , Mn^{+4} , Fe^{+3} , SO_4^{-2} , estejam em baixa concentração,
14 não oferecendo concorrência, e também de uma quantidade de substrato suficiente para que a
15 reação ocorra (DUBEY, 2005). O fator limitante para a atividade dos microrganismos
16 metanogênicos no solo é disponibilidade de substratos (H_2 e acetato) (CONRAD & KLOSE,
17 1999), pois os microrganismos metanogênicos precisam competir com outras bactérias
18 anaeróbicas pelos substratos disponíveis (YU et al., 2007), sendo que a metanogênese pode ser
19 inibida quando as concentrações de sulfato são elevadas, pois as bactérias redutoras de sulfato
20 competem com as metanogênicas pelo mesmo substrato, como o H_2 e o acetato (SILVA, 2016).

21 Algumas substâncias reduzidas, produzidas pela oxidação do C, podem ser reoxidadas,
22 absorvidas ou precipitadas. O CH_4 , devido a sua baixa solubilidade no meio líquido, atinge com
23 facilidade a zona de redução de sulfatos, sofrendo uma oxidação anaeróbia do CH_4 . Desta
24 forma, é estabelecida uma competição pelo H_2 produzido na degradação da matéria orgânica
25 em etapas fermentativas preliminares, sendo que na presença de muito sulfato e pouco C a

1 metanogênese seria prejudicada, uma vez que com altas concentrações de C comparativamente
2 aos sulfatos, a metanogênese não sofreria competição pelo H₂ (FAGNANI et al., 2011).
3 Segundo SILVA et al. (2011) o início das emissões de CH₄ ocorre após as reduções sequenciais
4 de Mn (III e IV) e de Fe (III) no solo, pois esses elementos atuam como aceptores de elétrons
5 no processo de redução. Assim, os compostos orgânicos passam a ser utilizados pelos
6 metanogênicos, intensificando a produção de CH₄. Esses autores observaram ainda, que
7 enquanto o Fe está atuando como acceptor de elétrons, a emissão de CH₄ é muito baixa, se
8 intensificando a partir de 90% do pico máximo de liberação de Fe²⁺ para a solução do solo,
9 independentemente do valor de Eh da solução.

10 Os metanogênicos que utilizam principalmente de acetato de etilo como uma fonte de
11 C contribuem com cerca de 80% da produção de CH₄, enquanto outros metanogênicos que
12 utilizam substratos como H₂-CO₂ contribuem entre 10% a 30%. Todos os metanogênicos
13 utilizam o íon amônio (NH₄⁺) como fonte de N, embora a capacidade de fixar N molecular e o
14 gene de fixação de N esteja presente em quatro ordens de metanogênicos, *Methanococcales*,
15 *Methanomicrobiales*, *Methanobacteriales* e *Methanomicrobiales* (DUBEY, 2005).

16 **CAMINHOS PARA EMISSÃO DE CH₄**

17 A emissão de CH₄ por solos alagados resulta da produção de CH₄ em zonas anóxicas e
18 o consumo de CH₄ por metanotróficos em zonas oxidadas, porém o fluxo de CH₄ não depende
19 apenas das condições físico-químicas do meio ambiente, mas também é altamente regulado
20 pelas plantas de arroz em transportá-lo para a atmosfera, principalmente através dos tecidos
21 porosos das plantas de arroz, os aerênquimas, e em menor escala, por difusão e ebulição (LE
22 MER & ROGER, 2001).

23 **Difusão**

24 O alagamento do solo durante o manejo da irrigação na cultura do arroz causa a
25 diminuição do O₂ livre, devido à baixa taxa de difusão do O₂ na água, tornando um ambiente

1 anaeróbico (LE MER & ROGER, 2001). Com a presença de lâmina de água, manejo de
2 irrigação mais adotado no cultivo de arroz irrigado, a difusão de gases pode ser 10000 vezes
3 menor. O que define o transporte de CH_4 do solo até a atmosfera é a diferença do gradiente de
4 concentração de CH_4 formado entre o solo e atmosfera (VAN BODEGOM et al., 2001).

5 O CH_4 emitido por difusão passa pela lâmina de água na superfície do solo, difundindo
6 gradativamente pela superfície da água para a atmosfera, quando há diferença de concentração
7 entre estes dois meios. Durante sua permanência na rizosfera ou na parte oxidativa da lâmina
8 de água o CH_4 dissolvido na água pode ser oxidado, produzindo CO_2 , por isso a difusão é o
9 principal mecanismo de emissão de CO_2 do solo para a atmosfera (LE MER & ROGER, 2001).

10 **Ebulição**

11 A ebulição é a formação e liberação de bolhas (predominantemente contendo CH_4 ,
12 CO_2 e elementos gasosos relacionados com o N) de solos inundados para a atmosfera. Devido
13 à baixa solubilidade e falta de uma forma iônica, o CH_4 altera rapidamente do estado dissolvido
14 na solução do solo para o estado gasoso, formando bolhas dentro do solo que eventualmente
15 vão para a atmosfera (TOKIDA et al., 2013) e segundo MALYAN et al. (2016) é um processo
16 mais rápido que a difusão e ocorre quando há alta produção de CH_4 , particularmente durante o
17 período inicial de crescimento do arroz e quando há alta entrada de matéria orgânica por
18 diferentes fontes.

19 No processo de ebulição, as bolhas se formam quando as pressões parciais combinadas
20 dos gases dissolvidos excedem a pressão hidrostática. A presença destas bolhas tem efeitos
21 bioquímicos importantes, incluindo o desenvolvimento de gradientes de difusão de CH_4
22 (BUTTERBACH-BAHL et al., 1997). TOKIDA et al. (2013) observaram que bolhas formadas
23 em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do arroz representam uma importante
24 quantidade de CH_4 , mesmo em solo que é considerado como saturado com água (26 a 45% na
25 formação de panículas e de 60 a 68% no enchimento de grãos). Por outro lado, em estudo de

1 campo BUTTERBACH-BAHL et al. (1997) obtiveram como resultado, que cerca de 10%
2 das emissões de CH₄ durante o cultivo de arroz eram atribuíveis à ebulição nas primeiras
3 semanas. Como a ebulição é um processo muito rápido para a emissão de CH₄, há chance muito
4 menor ou insignificante de ocorrer a oxidação de CH₄ (MALYAN et al., 2016).

5 **Transporte de gases mediado pelas plantas**

6 Os fluxos de pressão podem contribuir significativamente para o fluxo de CH₄ através
7 das plantas. As indicações são de que a presença de plantas pode aumentar consideravelmente
8 a emissão de CH₄ para a atmosfera, e este é certamente o caso do arroz, porém existem
9 diferenças entre cultivares que podem depender do aerênquima e de outras resistências difusivas
10 internas. Por outro lado, a perda de O₂ radial ajuda a oxidar o CH₄ e inibir sua formação
11 (JACKSON & ARMSTRONG, 1999). O transporte de O₂ da atmosfera para os órgãos
12 submersos do arroz é realizado a partir das partes foliares pelo aerênquima e sistemas espaciais
13 gasosos intercelulares por difusão ou por fluxo de massa. Uma vez que estes espaços aéreos
14 internos em plantas de arroz são particularmente bem desenvolvidos no colmo e raízes, o
15 sistema de ventilação em plantas de arroz desempenha um papel importante no transporte de
16 gases entre a rizosfera e a atmosfera (NOUCHI et al., 1990).

17 Vários estudos relatam a emissão de CH₄ com o crescimento da cultura do arroz
18 irrigado, mostrando baixa emissão no início do crescimento das plantas e os picos maiores
19 durante a fase reprodutiva, em função do transporte de CH₄ através dos aerênquimas das plantas
20 (KLUDZE et al., 1993; SILVA et al., 2014), sendo este o principal processo biológico para a
21 emissão de CH₄ na cultura do arroz (MALYAN et al., 2016). O aerênquima é um tecido
22 parenquimatoso modificado com vacúolos de ar para adaptação da planta em ambiente alagado
23 e sua principal função é o transporte de O₂ para a respiração radicular e embora a função
24 primária dos aerênquimas seja o transporte de O₂ para as raízes, neste processo outros gases,
25 como CO₂, N₂, N₂O e CH₄, também são transportados (WANG et al., 1997).

1 As plantas de arroz apresentam grande variação nas características morfofisiológicas,
2 inclusive diferenças na capacidade de transporte de CH₄ (CTM) (AGOSTINETTO et al., 2002).
3 Em lavouras de arroz, apenas uma pequena porcentagem do CH₄ produzido é emitido por
4 ebulição ou difusão do solo para atmosfera diretamente pela lâmina de água, os aerênquimas
5 das plantas de arroz atuam como tubulações, permitindo trocas gasosas entre o solo e a
6 atmosfera. Quando as plantas de arroz se desenvolvem, a difusão através do aerênquima torna-
7 se o processo dominante, responsável por mais de 90% do CH₄ emitido durante a fase
8 reprodutiva das plantas de arroz (LE MER & ROGER, 2001). A máxima CTM das plantas de
9 arroz ocorre na fase de florescimento pleno da cultura (AULAKH et al., 2000), durante esse
10 estágio, os exsudatos radiculares aumentam a produção de CH₄, fornecendo recursos e
11 mobilizando micronutrientes e microrganismos metanogênicos (ZISKA et al., 1998; LU et al.,
12 2000).

13 Outros autores têm observado maior emissão de CH₄ entre o máximo perfilhamento e
14 iniciação da panícula (MEIJIDE et al., 2011) e no estágio de enchimento de grãos (TOKIDA et
15 al., 2013). Exsudados radiculares e biomassa vegetal em decomposição também têm potencial
16 influência na emissão de CH₄, especialmente para as mudanças no fluxo de CH₄ no estágio de
17 iniciação da panícula (TOKIDA et al., 2010; BALAKRISHNAN et al., 2018). Após o
18 desenvolvimento da panícula e enchimento de grãos, há o declínio da emissão de CH₄ devido
19 ao envelhecimento e perda de permeabilidade da epiderme radicular e condutância na parte
20 aérea (NOUCHI et al., 1990).

21 As diferenças relacionadas as emissões de CH₄ em função do estágio da cultura, podem
22 estar relacionadas as características genéticas da cultivar utilizada, assim como pelas
23 características físicas e químicas do solo em que foram realizadas as avaliações. Durante o
24 desenvolvimento da planta, a mesma irá destinar seu fitoassimilados para diferentes regiões da
25 planta visando seu perfilhamento, crescimento da parte aérea e/ou sistema radicular,

1 florescimento e enchimento de grãos. Enquanto que no solo os processos de produção de CH₄
2 vão estar relacionados ao potencial redox, matéria orgânica do solo, entrada de oxigênio no
3 sistema, comunidade microbiana, entre outros fatores que são essenciais para os processos de
4 metanogênese e metanotrofia.

5 Com relação as estruturas das plantas de arroz, os aerênquimas fazem parte das mesmas,
6 sendo formados mesmo quando o arroz é cultivado em condições aeradas. Quando o arroz é
7 cultivado sob irrigação permanente, os aerênquimas são mais desenvolvidos, aumentando a
8 CTM e por sua vez, favorece a oxidação do CH₄ na rizosfera (YOSHIDA, 1981;
9 DANNENBERG & CONRAD, 1999). O CH₄ é emitido principalmente através dos microporos
10 na bainha da folha, da face abaxial da folha e secundariamente pelos estômatos na lâmina foliar
11 (NOUCHI et al., 1990).

12 **Características morfofisiológicas de arroz e sua relação com a emissão de CH₄**

13 Segundo KLUDZE et al. (1993) a interferência do potencial de redução do solo
14 influencia o fluxo de CH₄ em lavouras de arroz de duas formas: pela determinação direta do
15 aumento na taxa de produção de CH₄ no solo e por provocar mudanças morfofisiológicas nas
16 plantas de arroz, induzindo a formação de aerênquimas, o que facilita a liberação do CH₄ do
17 solo para atmosfera. Porém, as características morfológicas das plantas de arroz apresentam
18 respostas variadas em relação à emissão de CH₄ (AGOSTINETTO et al., 2002).

19 A presença de plantas de arroz aumenta fortemente a emissão de CH₄, fornecendo fontes
20 de C orgânico e favorecendo a transferência de CH₄ para a atmosfera. A quantidade de CH₄
21 emitida durante o ciclo da cultura do arroz correlaciona-se positivamente com a biomassa da
22 parte aérea e biomassa radicular (LE MER & ROGER, 2001). SASS & CICERONE (2002)
23 considerando dados de experimentos nas Filipinas, apresentaram dados que demonstraram não
24 haver correlação entre a biomassa da parte aérea de plantas de arroz e a emissão de CH₄. Já XU
25 et al. (2015), avaliando duas cultivares de arroz, observaram que a cultivar que apresentou

1 maior produção de biomassa não apresentou maiores emissões de CH₄ em comparação com a
2 cultivar com menor produção de biomassa.

3 MA et al. (2010) avaliando três cultivares de arroz, observaram que cultivares japônica
4 e híbrida possuíram menor emissão de CH₄ em relação a cultivar indica, sendo que a híbrida
5 produziu maior quantidade de massa seca, apresentando um aumento de 67% no potencial de
6 oxidação do solo em comparação com as cultivares convencionais. SILVA et al. (2014)
7 avaliando 19 cultivares de arroz afirmam que as características gerais de uma cultivar não
8 devem ser usadas como fator determinante na avaliação da emissão de CH₄, porém, observaram
9 que características específicas como a produção de massa seca da parte aérea e a altura das
10 plantas apresentam correlação com a emissão de CH₄ durante todo o ciclo de crescimento do
11 arroz. Esses autores não observaram correlação para outras características que foram avaliadas,
12 entre elas número de perfilhos e área foliar.

13 Segundo SETYANTO et al. (2004), a densidade de plantas de arroz é um fator que
14 contribui para a emissão de CH₄, esses autores observaram haver correlação das variáveis
15 número de perfilhos, altura de plantas e biomassa da parte aérea com o fluxo de CH₄. No
16 entanto, segundo esses mesmos autores os perfilhos subdesenvolvidos, que continuam
17 emergindo em diferentes épocas durante o crescimento das plantas e muitas vezes acabam
18 improdutivos, não apresentaram correlação com o fluxo de CH₄ e a relação entre a altura de
19 plantas está relacionada à continuidade proporcional dos canais de aerênquima de plantas de
20 arroz. Demonstrando a importância dessas características não apenas para o desenvolvimento
21 da cultura, mas também no transporte de gases do solo para a atmosfera.

22 Mesmo com as contradições apresentadas na literatura, existem vários relatos de
23 correlação entre a produção de matéria seca de plantas de arroz e C orgânico exsudado para as
24 raízes. Sabendo que a exsudação de compostos orgânicos afeta as emissões de CH₄, se faz
25 necessário a compreensão de como os aspectos agrônômicos e fisiológicos interferem na

1 capacidade de exsudação radicular na cultura do arroz. Pois os processos de produção e emissão
2 de CH₄ estão relacionados com uma série de fatores estruturais e atividades metabólicas das
3 plantas de arroz, bem como a quantidade de matéria orgânica e as condições redox do solo.

4 Segundo AULAKH et al. (2000) existe uma continuidade dos canais de aerênquima nas
5 raízes, que funcionam como condutos para o transporte bidirecional de gases, através de uma
6 conexão direta com os canais de aerênquimas dos colmos, enquanto a região nodal apresenta
7 menos e menores lacunas de aerênquima, demonstrando um padrão desuniforme. Também
8 observaram uma continuidade de aerênquimas entre o colmo, a bainha e a folha, observando
9 maiores lacunas nas folhas em relação aos colmos. Grandes lacunas de aerênquima apresentam
10 correlações altamente significativas com a CTM de diferentes cultivares, sugerindo que a
11 grande variação na CTM de plantas de arroz durante diferentes estágios de crescimento está
12 relacionada a estas características estruturais (AULAKH et al., 2000).

13 As variações na taxa de produção e emissão de CH₄ dependem de variações nos
14 parâmetros que determinam o estado fisiológico da planta, como oferta de nutrientes,
15 temperatura, luz solar e água. O C produzido fotossinteticamente é alocado dentro da planta de
16 maneira razoavelmente uniforme e existe uma proporção entre o C destinado para produção da
17 biomassa da parte aérea com os destinados aos processos radiculares e conseqüentemente a
18 produção de CH₄ permanece constante ao longo do tempo SASS & CICERONE (2002).

19 A produção de CH₄ é determinada principalmente pela disponibilidade de substrato
20 disponível para os microorganismos. Cultivares de alta produtividade apresentam maior
21 biomassa de raízes e maior conteúdo de C orgânico dissolvido na solução do
22 solo. As emissões de CH₄ em áreas de arroz são determinadas pelo equilíbrio entre as
23 atividades das arqueas metanogênicas e as bactérias metanotróficas, que podem ocorrer devido
24 a oxidação do CH₄, sendo resultado do aumento do transporte de O₂ e promovendo o aumento

1 de organismos metanotróficos. Mudanças nas atividades de ambos os grupos microbianos
2 podem explicar alterações nas emissões de CH₄ (JIANG et al., 2017).

3 A oxidação de CH₄ e o crescimento metanotrófico são controlados pela disponibilidade
4 de CH₄ e O₂ (CONRAD, 2007). Segundo JIANG et al. (2017) a maior biomassa radicular e
5 porosidade das raízes facilitam o transporte de O₂ para a rizosfera, estimulando a oxidação de
6 CH₄ (MA et al., 2010).

7 **MEDIDAS MITIGATÓRIAS**

8 O preparo do solo, os métodos de semeadura e o manejo da água definem os sistemas
9 de cultivo utilizados em arroz irrigado. O entendimento dos diferentes fatores responsáveis pela
10 produção, emissão e consumo de CH₄ ajudam na formulação de estratégias de mitigação. O
11 manejo de fatores como o manejo da água, C orgânico do solo, adubação e cultivares de arroz
12 tem sido estudado e documentado para a mitigação da emissão de CH₄ a partir de lavouras de
13 arroz (MALYAN et al., 2016). As emissões de CH₄ são controladas por vários fatores,
14 disponibilidade hídrica, as características do solo e características fisiológicas das cultivares
15 utilizadas (LE MER & ROGER, 2001; SASS & CICERONE, 2002).

16 Embora a lavoura de arroz sob inundação represente menos de 20% do CH₄ emitido
17 globalmente, seu papel de destaque, deve-se ao fato da cultura do arroz ser uma das poucas
18 fontes de CH₄ onde é possível modificar o padrão de emissão (AGOSTINETTO et al., 2002).
19 As estratégias para reduzir a emissão de CH₄ em lavouras de arroz podem ser planejadas para
20 reduzir a produção de CH₄, aumento da oxidação de CH₄ e redução do transporte de CH₄ pela
21 da planta. Técnicas potenciais incluem manejo da irrigação, manejo de fertilizantes, seleção de
22 cultivares e, possivelmente, o uso de inibidores seletivos (LE MER & ROGER, 2001).

23 **Adubação e manejo do solo (pré e pós cultivo do arroz)**

24 Fertilizantes com fósforo e potássio são amplamente utilizados juntamente com o N-
25 fertilizante para aumentar o rendimento de grãos. Os nutrientes vegetais que ocorrem

1 naturalmente ou são aplicados como fertilizantes na lavoura de arroz afetam as emissões de
2 gases de efeito estufa (GEE) do solo, influenciando o crescimento da planta de arroz
3 (desenvolvimento de aerênquima e formação exsudatos radiculares), na comunidade
4 microbiana do solo (metanogênicos e metanotróficos) e/ou alterando diferentes propriedades
5 físico-químicas do solo (DATTA et al., 2013).

6 A adubação nitrogenada em lavouras de arroz irrigado estimula a produção de CH₄, pois
7 inibe a sua oxidação no solo. Segundo DATTA et al. (2013) a adubação nitrogenada diminui a
8 relação C:N do solo e aumenta a atividade microbiana do solo, levando a uma maior produção
9 de CH₄ no solo. Porém, ZANG et al. (2011) relatam que altas concentrações de NH₄⁺ no solo
10 pode estimular a atividade metanotrófica, e a adubação nitrogenada também pode facilitar o
11 transporte de gás por plantas de arroz e aumentar a disponibilidade de substratos de C para
12 microrganismos metanogênicos (CHATTERJEE et al., 2018). A teoria de que altas
13 concentrações de NH₄⁺ pode estimular a atividade metanotrófica é consistente com os
14 resultados obtidos por PITTELKOW et al. (2013), que observaram aumento na emissão de CH₄
15 até as doses de 150 e 200 kg ha⁻¹ de N, com redução na emissão de CH₄ com adubação
16 nitrogenada acima dessas doses.

17 Em relação a adubação fosfatada em lavouras de arroz, DATTA et al. (2013)
18 observaram que a adubação fosfatada pode inibir a emissão de CH₄, podendo estimular a
19 absorção de CH₄ no solo (ZANG et al., 2011) e inibir a atividade metanogênica acetoclástica
20 na rizosfera do arroz irrigado, que conduz à inibição da emissão de CH₄ a partir do solo (LE
21 MER & ROGER, 2001). DATTA et al. (2013) também observaram que aplicação de
22 fertilizante potássico reduz significativamente a emissão de CH₄ a partir de lavouras de arroz,
23 esses autores registram que as adubações com P e K estimulam a população bacteriana
24 metanotrófica, que podem ser as responsáveis pela redução na emissão de CH₄ em áreas
25 adubadas com P e K.

1 Em sistemas avaliando adubação com os nutrientes N, P e K em comparação com
2 tratamentos sem aplicação de fertilizante ou com deficiência de P e K, AHMAD et al. (2009)
3 observaram aumento na emissão de CH₄, enquanto DATTA et al. (2013) obtiveram os menores
4 valores de emissão de CH₄ em comparação aos tratamentos com adubação de N, P e K isolados
5 e do sem aplicação de fertilizante. Outro fator que também influencia a emissão de CH₄ em
6 áreas alagadas é a disponibilidade de substratos fermentativos no solo, com elevação da taxa de
7 produção de CH₄ com a adição de restos culturais ou pela adubação verde (AGOSTINETTO et
8 al., 2002). A palha de arroz é constituída por vários tipos de constituintes orgânicos, tais como
9 celulose, hemicelulose, lipídios, proteínas, lignina e a contribuição de cada constituinte em
10 aumentar a emissão de CH₄ é variável. As taxas de emissão de CH₄ são muito sensíveis ao
11 modo de manejo da palha no solo (HUSSAIN et al., 2015).

12 As práticas agrícolas convencionais para a cultura do arroz na região Sul do Brasil
13 consistem principalmente em operações de preparo do solo na primavera, antes da semeadura
14 do arroz, incorporando no solo tanto a biomassa de arroz do cultivo anterior quanto a biomassa
15 de cultivo de inverno, sendo o azevém (*Lolium multiflorum* L.) a principal cultura de inverno
16 nessas áreas (BAYER et al., 2015). Em sistemas que incluem preparo convencional do solo, a
17 aração é realizada pouco antes da semeadura do arroz, incorporando a palha de arroz e os
18 resíduos da safra de inverno ao solo e atuando como fonte de C lábil para a produção de CH₄.
19 Por outro lado, com o cultivo mínimo, o solo é manejado no outono ou inverno, quando os
20 resíduos de arroz são incorporados ao solo em condições não degradadas. Assim, parte do C
21 lábil é convertida em CO₂, diminuindo o potencial de emissão de CH₄ quando a área é inundada
22 na safra seguinte (BAYER et al., 2013).

23 ZSCHORNACK et al. (2016) avaliando o impacto de plantas de cobertura na entressafra
24 do arroz irrigado na emissão de CH₄, observaram aumento do fluxo e consequentemente da
25 emissão acumulada de CH₄ pela inserção de plantas de cobertura no sistema de cultivo, em

1 comparação ao solo mantido sob pousio. As emissões dos tratamentos com azevém e
2 azevém+cornichão foram aproximadamente 90% superiores do que as observadas no solo
3 mantido em pousio. Esses autores relatam que as emissões de CH₄ estão diretamente
4 relacionadas com a quantidade e a qualidade do resíduo aplicado.

5 ZSCHORNACK et al. (2011), ao avaliar o efeito da adição de resíduos de azevém e de
6 serradela (leguminosa) em área de arroz irrigado, não verificaram diferença na emissão
7 acumulada de CH₄ entre os dois tipos de resíduos, observaram ainda que o manejo desses
8 resíduos afetou o início das emissões, e no solo em que não se incorporou o resíduo vegetal os
9 fluxos de CH₄ se mantiveram muito baixo durante 14 dias a mais que ao solo em que se
10 incorporou o resíduo, porém com valores inferiores aos dos solos com resíduos incorporados.

11 Maiores fluxos de CH₄ após a incorporação de resíduos agrícolas em comparação com
12 sua manutenção na superfície contribuem para a compreensão de porque as emissões de CH₄ de
13 lavouras de arroz em plantio direto são menores do que os sistemas convencionais
14 (ZSCHORNACK et al., 2011), resultados semelhantes aos de BAYER et al. (2015), que
15 observaram que a antecipação do preparo do solo da primavera para o outono pode reduzir as
16 emissões de CH₄ em 24% dos sistemas de arroz irrigado, pois o tratamento de manejo na
17 primavera teve uma atividade metanogênica mais alta, e é possível que os tratamentos de
18 preparo do solo também tenham afetado a atividade das bactérias oxidantes de CH₄, essa
19 mudança na atividade metanotrófica pode mascarar efeito dos tratamentos na metanogênese.
20 WASSMANN et al. (2000) sugeriram que para a redução da emissão de GEE a incorporação
21 de resíduos durante o pousio deve ser realizada 60 dias antes da semeadura do arroz.

22 A tabela 1 traz diferentes manejos de adubação e de cobertura do solo utilizadas para
23 mitigação na emissão de CH₄ em lavouras de arroz irrigado.

24

25

1 **Manejo da água**

2 O manejo da água durante a produção de arroz é um dos principais fatores que controlam
3 a emissão de CH₄. Várias opções de gerenciamento de água, como distintos períodos de
4 drenagem no meio da safra, alternância de umedecimento e secagem do solo e irrigação
5 intermitente, minimizam as emissões de CH₄ em comparação com o arroz irrigado com lâmina
6 de água constante e podem ser escolhidas como prática sob condições variáveis de solo e clima,
7 sem reduzir a produtividade das culturas (HUSSAIN et al., 2015).

8 Sistemas alternativos de irrigação, como a irrigação intermitente, baseiam-se no
9 conceito de que menos água pode ser usada em lavouras de arroz e altos rendimentos ainda
10 podem ser mantidos (MOTERLE et al., 2013; AVILA et al., 2015; LIANG et al., 2016)
11 e segundo SURYAVANSHI et al. (2013) em lavouras de arroz inundado permanente,
12 as emissões de CH₄ são muito mais altas do que as de lavouras de arroz que são submetidas a
13 drenagem no meio da safra.

14 A drenagem no meio da safra de arroz pode ser uma ferramenta eficaz para reduzir a
15 emissão de CH₄, essa drenagem no meio da safra de arroz é de curto prazo (5 a 20 dias), sendo
16 realizada antes do período máximo de perfilhamento da cultura do arroz, para reduzir o número
17 de perfilhos improdutivos, e a duração é regulada por métodos convencionais determinados
18 regionalmente (HUSSAIN et al., 2015; MALYAN et al., 2016).

19 SURYAVANSHI et al. (2013) comparando o manejo da água com drenagem no meio
20 da safra com o manejo de irrigação permanente observaram uma redução de 38,4% na emissão
21 de CH₄, enquanto que ZSCHORNACK et al. (2016) comparando uma área drenada com a de
22 irrigação contínua, observaram que os baixos fluxos de CH₄ nos períodos de solo drenado
23 reduziram as emissões acumuladas de CH₄ em 55 e 96%, nos tratamentos com cultivos de
24 cobertura e com pousio, respectivamente. Como as emissões de CH₄ são muito influenciadas

1 pela duração e pelo período de drenagem, essa prática de manejo pode ser aprimorada para
2 reduzir as emissões (HUSSAIN et al., 2015).

3 Sendo que os resultados distintos em relação as emissões de CH₄ em função da
4 drenagem do solo está relacionado com o período em que o solo permaneceu drenado,
5 resultando em maior entrada de oxigênio no solo, alterando as condições eletroquímicas do
6 solo, bem como da comunidade microbiana, podendo resultar na redução de metanogênicas e
7 aumento de metanotróficas, as quais oxidam o CH₄.

8 O manejo da água com irrigação e secagem do solo alternados foi desenvolvida pelo
9 Instituto Internacional de Pesquisa do Arroz (IRRI) como alternativa ao manejo da água com
10 irrigação contínua, a irrigação com secagem alternada resulta em uma redução significativa
11 da emissão de CH₄, porém com uma grande variação de N₂O. A drenagem da água e as
12 condições aeróbicas resultantes no solo permitem a oxidação do CH₄ evitando a produção
13 de CH₄ (HUSSAIN et al., 2015).

14 MOTERLE et al. (2013) não observaram diferença na emissão de CH₄ na cultura do
15 arroz ao comparar o manejo da água fornecendo água por meio de irrigação após a drenagem
16 natural do solo com o manejo de irrigação permanente, porém, esses autores afirmam que as
17 condições climáticas podem afetar a umidade do solo e suspender a irrigação sozinha, podendo
18 não ser suficiente para promover a oxidação do solo. Enquanto que KATAYANAGI et
19 al. (2012) relataram que a irrigação e secagem alternados têm o potencial de reduzir em 73%
20 as emissões de CH₄ em comparação com o manejo de irrigação tradicional no cultivo do arroz.
21 SETYANTO et al. (2018) observaram uma redução de 35,1% na emissão de CH₄ com o manejo
22 de irrigação e secagem em comparação com irrigação contínua.

23 Outra forma de manejo da água visando a redução na emissão de CH₄ é a irrigação
24 intermitente, que envolve a repetição de supressão da irrigação, permitindo a drenagem natural
25 da água na lavoura. Esse método possui a vantagem de melhorar as condições oxidativas do

1 solo aumentando a atividade da raiz, maior capacidade de suporte do solo e, em última análise,
2 minimizando as entradas de água que resultam em condições anaeróbicas, aumentando a
3 difusão de O₂ nos solos e reduzindo a produção de CH₄ (HUSSAIN et al., 2015).

4 Segundo FENG et al., (2013) a irrigação intermitente reduz a emissão de CH₄ em
5 62% em comparação a irrigação contínua. LIU et al. (2019) observaram que a emissão
6 de CH₄ durante o cultivo do arroz diminuiu em 52,4% sob o manejo da água na drenagem no
7 meio da estação, em comparação com a inundação contínua, resultados semelhantes aos
8 observados por WU et al. (2019) em que a drenagem no meio da estação resultou em uma
9 redução de 52% na emissão de CH₄.

10 HADI et al. (2010) observaram que o Eh em área em foi aplicado o manejo de irrigação
11 intermitente foi maior que em áreas continuamente inundada, particularmente na fase tardia do
12 crescimento do arroz, afirmando que essa pode ser a razão para a redução na emissão de CH₄ de
13 plantas de arroz submetidas a irrigação intermitente, porém esses autores não observaram
14 mudanças significativas na população microbiana do solo. Como as emissões de CH₄ são
15 muito influenciadas pela duração e pelo período de drenagem, portanto, essa prática de manejo
16 pode ser melhorada para reduzir essas emissões, na tabela 2 pode-se observar as práticas de
17 manejo de irrigação e seu potencial de mitigação na emissão de CH₄.

18 **Cultivares**

19 A crescente demanda por arroz levou à seleção de cultivares com elevado potencial
20 produtivo, eficiente na utilização de N no solo e resistente a parasitas e doenças. Alguns estudos
21 tratam da seleção de cultivares de arroz com a formação de aerênquimas visando reduzir a
22 transferência de CH₄ do solo para a atmosfera (LE MER & ROGER, 2001). A seleção de
23 cultivares de arroz é uma opção agronômica que afeta as emissões de CH₄, as futuras políticas
24 e/ou demandas do consumidor podem influenciar na escolha de cultivares com base nos
25 equilíbrios de C no sistema de produção de arroz, em estudos com cultivares híbridas e

1 convencionais, as híbridas tem resultado em menor emissão de CH₄ do que as convencionais
2 (RECTOR et al., 2018). Segundo BHATTACHARYYA et al. (2019) cultivares de arroz com
3 menor espaço de aerênquimas apresentam menor potencial de emissão de CH₄, o que pode ser
4 devido à redução do transporte de CH₄ do solo para a atmosfera e a associação do número de
5 perfilhos e a razão do espaço poroso desempenham um papel importante na moderação
6 do transporte e emissão de CH₄.

7 Segundo SIMMONDS et al. (2015) interações complexas com seu ambiente faz com
8 que as cultivares de arroz apresentem alta plasticidade fenotípica, sendo que as condições
9 ambientais, crescimento das plantas e as características morfológicas são diferenças que
10 influenciam nos padrões de emissão de CH₄ entre cultivares híbridas e convencionais. As plantas
11 que mais se aproximam de seu limite de rendimento potencial emitem menos CH₄ para a
12 atmosfera sob um conjunto comum de condições climáticas e agrícolas, pois menores emissões
13 de CH₄ são observadas a partir de parcelas que contêm plantas de arroz com maior número de
14 espiguetas de grãos preenchidos (SASS & CICERONE, 2002).

15 Segundo SETYANTO et al. (2004), a densidade de plantas de arroz também é um fator
16 que contribui para a emissão de CH₄, pois observaram correlação do número de perfilhos, altura
17 de plantas e biomassa da parte aérea com o fluxo de CH₄. No entanto, segundo esses mesmos
18 autores os perfilhos subdesenvolvidos, que continuam emergindo em diferentes épocas durante
19 o crescimento das plantas e as vezes acabam improdutivos, não apresentam correlação com o
20 fluxo de CH₄ e a relação entre a altura de plantas está relacionada à continuidade proporcional
21 dos canais de aerênquima nas plantas de arroz. Por outro lado, SILVA et al. (2014) observaram
22 que o número de perfilhos por planta não foi relacionado à emissão total de CH₄ durante o ciclo
23 de crescimento do arroz, o que provavelmente ocorreu devido às grandes diferenças na
24 capacidade de perfilhamento entre as diferentes cultivares avaliadas. Porém esses autores

1 observaram que as características morfofisiológicas das cultivares de arroz não explicaram
2 completamente as diferenças de fluxos de CH₄ entre as cultivares.

3 Ao se comparar com baixo potencial produtivo com cultivares de alta produtividade,
4 resultados demonstram que as cultivares com maior potencial produtivo apresentam maior
5 alocação de fitoassimilados para as panículas (JIANG et al., 2016) e que elas diferirem em
6 relação aos parâmetros de crescimento das plantas (GOGOI et al., 2008), exsudação radicular
7 (LU et al., 2000), e em atividades de oxidação das raízes (ZHANG et al., 2009). Esses fatores
8 são determinantes no processo de produção e consumo de CH₄ no solo.

9 No contexto da emissão de CH₄, a rizosfera desempenha um papel importante, pois o
10 elevado potencial de oxidação da raiz, que é essencial para a oxidação do CH₄ (GUTIERREZ
11 et al., 2014; ZHENG et al., 2018). Cultivares com alto potencial de oxidação radicular podem
12 ser preferencialmente selecionados para baixas emissões de metano. A seleção de cultivares de
13 arroz com baixa emissão de CH₄ e maior eficiência de uso de recursos parece ser uma estratégia
14 promissora para minimizar as emissões de GEE nos solos de arroz irrigado. No entanto, o
15 mecanismo dos efeitos do exsudato e do aerênquima em condições de campo deve ser explorado
16 para avaliação prévia das cultivares (HUSSAIN et al., 2015; CHEN et al., 2019). A tabela 2
17 traz diferentes cultivares utilizadas para mitigação na emissão de CH₄ em lavouras de arroz
18 irrigado.

19 **CONCLUSÃO**

20 A produção de CH₄ é o resultado de processos do solo, que depende da quantidade da
21 matéria orgânica do solo, da magnitude do sistema redox e da disponibilidade de substratos
22 para os microrganismos. O processo de produção ocorre por meio de quatro etapas de
23 degradação da matéria orgânica: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A
24 emissão do CH₄ produzido no solo em áreas de arroz irrigado pode ser por meio dos processos

1 de difusão, ebulição e de transporte mediados pelas plantas. A emissão será resultado do
2 balanço entre a metanogênese e a metanotrofia.

3 As estruturas das plantas de arroz, bem como seus estádios fisiológicos regulam a
4 entrada de O₂, que através da porosidade do sistema radicular oxida o CH₄ a CO₂. Em
5 contrapartida, também servem como condutores para o fluxo de outros gases, como o CH₄.
6 Parâmetros morfológicos, anatômicos, microbiológicos e fisiológicos do arroz necessitam de
7 mais estudos detalhados, visando entender os mecanismos envolvidos na emissão de CH₄. A
8 adoção de diferentes práticas de manejo tem se mostrada satisfatória na redução da emissão de
9 CH₄ a partir de lavouras de arroz. A utilização de tecnologias de mitigação viáveis e de
10 cultivares adequadas ajuda na melhoria do rendimento sustentável na produção da cultura do
11 arroz irrigado.

12 REFERÊNCIAS

- 13 AGOSTINETTO, D. et al. Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado.
14 **Ciência Rural**, v.32, p.1073-1081, 2002. Available from:
15 <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782002000600026&script=sci_abstract>.
16 Accessed: Jul. 01, 2018. doi: 10.1590/S0103-84782002000600026.
- 17 AHMAD, S. et al. Greenhouse gas emission from direct seeding paddy field under different
18 rice tillage systems in central China. **Soil & Tillage Research**, v.106, p.54-61, 2009. Available
19 from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198709001664>>. Accessed:
20 Jun. 10, 2018. doi: 10.1016/j.still.2009.09.005.
- 21 AULAKH, M.S. et al. Pattern and amount of aerenchyma relate to variable methane transport
22 capacity of different rice cultivars. **Plant biology**, v.2, p.182–194, 2000. Available from:
23 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1055/s-2000-9161>>. Accessed: Jul. 15, 2018. doi:
24 10.1055/s-2000-9161.

- 1 AVILA, L.A. et al. Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent
2 irrigation. **Agronomy Journal**, v.107, p.442-448, 2015. Available from:
3 <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/107/2/442>>. Accessed: Dec. 12, 2018.
4 doi: 10.2134/agronj14.0080.
- 5 BALAKRISHNAN et al. Crop improvement strategies for mitigation of methane emissions
6 from rice. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.30, p.451-462, 2018. Available from:
7 <<http://ejfa.me/index.php/journal/article/view/1707/1115>>. Accessed: Mar. 04, 2018. doi:
8 10.9755/ejfa.2018.v30.i6.1707.
- 9 BAYER, C. et al. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled
10 greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. **Soil &**
11 **Tillage Research**, v.145, p.118-125, 2015. Available from:
12 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198714001809>>. Accessed: Jul. 10,
13 2018. doi: 10.1016/j.still.2014.09.001.
- 14 BAYER, C. et al. Strategies to mitigate methane emissions in lowland rice fields in South
15 Brazil. **Better Crops**, v.97, p.27-29, 2013. Available from:
16 <[http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/583E6D994D59373685257B18005ACC3F](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/583E6D994D59373685257B18005ACC3F/$FILE/BC-2013-1.pdf)
17 [/\\$FILE/BC-2013-1.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/583E6D994D59373685257B18005ACC3F/$FILE/BC-2013-1.pdf)>. Accessed: Jul. 12, 2018.
- 18 BHATTACHARYYA, P. et al. Mechanism of plant mediated methane emission in tropical
19 lowland rice. **Science of the Total Environment**, v.651, p.84-92, 2019. Available from:
20 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971833585X>>. Accessed: Jan. 15,
21 2019. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.141.
- 22 BRYE, K. R. et al. Methane emissions as affected by crop rotation and rice cultivar in the Lower
23 Mississippi River Valley, USA. **Geoderma Regional**, v.11, p.8-17, 2017. Available from:
24 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009417301256>>. Accessed: May 15,
25 2018. doi: 10.1016/j.geodrs.2017.08.004.

- 1 BUTTERBACH-BAHL, K. et al. Impact of gas transport through rice cultivars on methane
2 emission from rice paddy fields. **Plant Cell Environmental**, v.20, p.1175-1183, 1997.
3 Available from: <[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-142.x)
4 [142.x](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-142.x)>. Accessed: Jul. 10, 2018. doi: 10.1046/j.1365-3040.1997.d01-142.x.
- 5 CHATTERJEE, D. Comparative assessment of urea briquette applicators on greenhouse gas
6 emission, nitrogen loss and soil enzymatic activities in tropical lowland rice. **Agriculture,**
7 **Ecosystems & Environment**, v.252, p.178-190, 2018. Available from:
8 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917304590>>. Accessed: Nov. 13,
9 2018. doi: 10.1016/j.agee.2017.10.013.
- 10 CHEN, Y. et al. Rice root morphological and physiological traits interaction with rhizosphere
11 soil and its effect on methane emissions in paddy fields. **Soil Biology and Biochemistry**, v.129,
12 p.191-200, 2019. Available from:
13 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071718303985>>. Accessed: Jan. 12,
14 2019. doi: 10.1016/j.soilbio.2018.11.015.
- 15 CONRAD, R. Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen
16 concentrations in methanogenic soil and sediments. **FEMS Microbiology Ecology**, v.28,
17 p.569–578, 1999. Available from: <[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1574-](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1574-6941.1999.tb00575.x)
18 [6941.1999.tb00575.x](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1574-6941.1999.tb00575.x)>. Accessed: May 09, 2018. doi: 10.1111/j.1574-6941.1999.tb00575.x.
- 19 CONRAD, R. Microbial ecology of methanogens and methanotrophs. **Advances in**
20 **Agronomy**, v.96, p.1-63, 2007. Available from:
21 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211307960058>>. Accessed: Mar. 04,
22 2019. doi: 10.1016/S0065-2113(07)96005-8.
- 23 CONRAD, R.; KLOSE, M. Anaerobic conversion of carbon dioxide to methane, acetate and
24 propionate on washed rice roots. **FEMS Microbiology Ecology**, v.30, p.147-155, 1999.

- 1 Available from: <[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1574-](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1574-6941.1999.tb00643.x)
2 [6941.1999.tb00643.x](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1574-6941.1999.tb00643.x)>. Accessed: May 09, 2018. doi: 10.1111/j.1574-6941.1999.tb00643.x.
- 3 DATTA, A. et al. Effect of inorganic fertilizers (N, P, K) on methane emission from tropical
4 rice field of India. **Atmospheric Environment**, v.66, p.123-130, 2013. Available from:
5 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012008515>>. Accessed: Aug. 04,
6 2018. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.09.001.
- 7 DUBEY, S.K. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: a review.
8 **Applied Ecology and Environmental Research**, v.3, p.1-27, 2005. Available from:
9 <http://aloki.hu/pdf/0302_001027.pdf>. Accessed: Jul. 12, 2018.
- 10 FAGNANI, E. et al. Sulfetos volatilizáveis por acidificação e metais extraídos simultaneamente
11 na avaliação de sedimentos de água doce. **Química Nova**, v.34, p.1618-1628, 2011. Available
12 from: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422011000900022&script=sci_abstract&tlng=pt)
13 [40422011000900022&script=sci_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422011000900022&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Accessed: Jul. 20, 2019. doi:
14 10.1590/S0100-40422011000900022.
- 15 FAZLI, P. et al. Characteristics of methanogens and methanotrophs in rice fields: a review
16 **Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology**, v.21, p.3-17, 2013. Available
17 from: <<http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/28088/>>. Accessed: Jan. 20, 2019.
- 18 FENG, J. et al. Impacts of cropping practices on yield-scaled greenhouse gas emissions from
19 rice fields in China: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.164, p.220-
20 228, 2013. Available from:
21 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880912003842>>. Accessed: Dec. 18,
22 2018. doi: 10.1016/j.agee.2012.10.009.
- 23 GOGOI, N. et al. Selection of rice genotypes for lower methane emission. **Agronomy for**
24 **Sustainable Development**, v.28, p.181-186, 2008. Available from:

- 1 <<https://link.springer.com/article/10.1051%2Fagro%3A2008005>>. Accessed: Mar. 04, 2019.
2 doi: 10.1051%2Fagro%3A2008005.
- 3 GUTIERREZ, J. et al. Importance of rice root oxidation potential as a regulator of CH₄
4 production under waterlogged conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v.50, p.861-868,
5 2014. Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00374-014-0904-0>>.
6 Accessed: Mar. 04, 2019. doi: 10.1007%2Fs00374-014-0904-0.
- 7 HADI, A. et al. Effect of water management on greenhouse gas emissions and microbial
8 properties of paddy soils in Japan and Indonesia. **Paddy and Water Environment**, v.8, p.319-
9 324, 2010. Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10333-010-0210-x>>.
10 Accessed: May 15, 2018. doi: 10.1007/s10333-010-0210-x.
- 11 HUSSAIN, S. et al. Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emissions: a
12 review. **Environmental Science and Pollution Research**, n.22, p.3342-3360, 2015. Available
13 from: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3760-4>>. Accessed: Jul. 12,
14 2018. doi: 10.1007/s11356-014-3760-4.
- 15 JACKSON, M.B; ARMSTRONG, W. Formation of aerenchyma and the processes of plant
16 ventilation in relation to soil flooding and submergence. **Plant Biology**, v.1, p.274-287, 1999.
17 Available from: <[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1438-
18 8677.1999.tb00253.x](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1438-8677.1999.tb00253.x)>. Accessed: Dec. 18, 2018. doi: 10.1111/j.1438-8677.1999.tb00253.x.
- 19 JIANG, Y. et al. Effect of rice panicle size on paddy field CH₄ emissions. **Biology and Fertility**
20 **of Soils**, v.52, p.389-399, 2016. Available from:
21 <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00374-015-1084-2>>. Accessed: Mar. 03, 2019.
22 doi: 10.1007%2Fs00374-015-1084-2.
- 23 JIANG, Y. et al. Higher yields and lower methane emissions with new rice cultivars. **Global**
24 **Change Biology**, v.23, p.4728-4738, 2017. Available from:

- 1 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.13737>>. Accessed: Mar. 03, 2019. doi:
2 10.1111/gcb.13737.
- 3 KATAYANAGI, K. et al. Validation of the DNDC-rice model by using CH₄ and N₂O flux data
4 from rice cultivated in pots under alternate wetting and drying irrigation management. **Journal**
5 **of Soil Science and Plant Nutrition**, v.58, p.360-372, 2012. Available from:
6 <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.2012.682955>>. Accessed: May 09,
7 2018. doi: 10.1080/00380768.2012.682955.
- 8 KLUDZE, H.K. et al. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. **Soil**
9 **Science Society of America Journal**, v.57, p.386-391, 1993. Available from:
10 <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/57/2/SS0570020386>>. Accessed:
11 Jul. 15, 2018. doi: 10.2136/sssaj1993.03615995005700020017x.
- 12 LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils:
13 A review. **European Journal of Soil Biology**, v.37, p.25-50, 2001. Available from:
14 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556301010676>>. Accessed: Jul. 20,
15 2018. doi: 10.1016/S1164-5563(01)01067-6.
- 16 LIANG, K. et al. Grain yield, water productivity and CH₄ emission of irrigated rice in response
17 to water management in south China. **Agricultural Water Management**, v.163, p.319–331,
18 2016. Available from:
19 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377415301335>>. Accessed: Jul. 09,
20 2018. doi: 10.1016/j.agwat.2015.10.015.
- 21 LIESACK, W. et al. Microbiology of flooded rice paddies. **FEMS Microbiology Reviews**,
22 v.24, p.625-645, 2000. Available from:
23 <<https://academic.oup.com/femsre/article/24/5/625/590295>>. Accessed: Jul. 12, 2018. doi:
24 10.1111/j.1574-6976.2000.tb00563.x.

- 1 LIU, X. et al. Effect of mid-season drainage on CH₄ and N₂O emission and grain yield in rice
2 ecosystem: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v.213, p.1028-1035, 2019.
3 Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418317931>>.
4 Accessed: Jan. 20, 2019. doi: 10.1016/j.agwat.2018.12.025.
- 5 LIU, Y.; WHITMAN, W.B. Metabolic, Phylogenetic, and Ecological Diversity of the
6 Methanogenic Archaea. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v.1125, p.171-189,
7 2008. Available from:
8 <<https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1196/annals.1419.019>>. Accessed: May
9 20, 2018. doi: 10.1196/annals.1419.019.
- 10 LU, Y. et al. Dynamics of dissolved organic carbon and methane emissions in a flooded rice
11 soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.2011-2017, 2000. Available from: <
12 <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/64/6/2011>>. Accessed: Mar. 03,
13 2019. doi: 10.2136/sssaj2000.6462011x.
- 14 MA, K. et al. Microbial mechanism for rice variety control on methane emission from rice field
15 soil. **Global Change Biology**, v.16, p.3085-3095, 2010. Available from:
16 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2486.2009.02145.x>>. Accessed: May
17 09, 2018. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02145.x.
- 18 MALYAN, S.K. et al. Methane production, oxidation and mitigation: A mechanistic
19 understanding and comprehensive evaluation of influencing factors. **Science of The Total**
20 **Environment**, v.572, p.874-896, 2016. Available from:
21 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716316369>>. Accessed: Jul. 20,
22 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.182.
- 23 MEIJIDE, A. et al. Seasonal trends and environmental controls of methane emissions in a rice
24 paddy field in Northern Italy. **Biogeosciences**, v.8, p.3809-3821, 2011. Available from:

- 1 <<https://www.biogeosciences.net/8/3809/2011/>>. Accessed: Dec. 18, 2018. doi: 10.5194/bg-8-
2 3809-2011.
- 3 MINAMIKAWA, K. et al. Methane emission from paddy fields and its mitigation options on a
4 field scale. **Microbes and Environments**, v.21, p.135-147, 2006. Available from:
5 <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsme2/21/3/21_3_135/_article>. Accessed: Jul. 20, 2018.
6 doi: 10.1264/jsme2.21.135.
- 7 MOTERLE, D.F. et al. Methane efflux in rice paddy field under different irrigation
8 managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.431-437, 2013. Available from:
9 <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000200014>.
10 Accessed: Jun. 10, 2018. doi: 10.1590/S0100-06832013000200014.
- 11 NOUCHI, I. et al. Mechanism of methane transport from the rhizosphere to the atmosphere
12 through rice plants. **Plant Physiology**, v.94, p.59-66, 1990. Available from:
13 <<http://www.plantphysiol.org/content/94/1/59>>. Accessed: May 09, 2018. doi:
14 10.1104/pp.94.1.59.
- 15 PANDEY, A. et al. Organic matter and water management strategies to reduce methane and
16 nitrous oxide emissions from rice paddies in Vietnam. **Agriculture, Ecosystems and**
17 **Environment**, v.196, p.137-146, 2014. Available from:
18 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914003302>>. Accessed: Jul. 15,
19 2018. doi: 10.1016/j.agee.2014.06.010.
- 20 PITTELKOW, C.M. et al. Yield-scaled global warming potential of annual nitrous oxide and
21 methane emissions from continuously flooded rice in response to nitrogen input. **Agriculture,**
22 **Ecosystems and Environment**, v.177, p.10-20, 2013. Available from:
23 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880913001618>>. Accessed: Jul. 20,
24 2018. doi: 10.1016/j.agee.2013.05.011.

- 1 QIN, Y. et al. Methane and nitrous oxide emissions from organic and conventional rice
2 cropping systems in Southeast China. **Biology and Fertility of Soils**, v.46, p.825-834, 2010.
3 Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-010-0493-5>>. Accessed:
4 May 09, 2018. doi: 10.1007/s00374-010-0493-5.
- 5 RECTOR, C. et al. N₂O emissions and global warming potential as affected by water
6 management and rice cultivar on an Alfisol in Arkansas, USA. **Geoderma Regional**, v.14, p.1-
7 12, 2018. Available from:
8 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009418300221>>. Accessed: Jan. 20,
9 2019. doi: 10.1016/j.geodrs.2018.e00170.
- 10 SASS, R. L.; CICERONE, R. J. Photosynthate allocations in rice plants: Food production or
11 atmospheric methane? **PNAS**, v.99, p.11993–11995, 2002. Available from:
12 <<https://www.pnas.org/content/99/19/11993>>. Accessed: Jul. 15, 2018. doi:
13 10.1073/pnas.202483599.
- 14 SETYANTO, P. et al. The effect of rice cultivars on methane emission from irrigated rice field.
15 **Indonesian Journal of Agricultural Science**, v.5, p.20-31, 2004. Available from:
16 <<http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/ijas/article/view/665>>. Accessed: Jul. 15. doi:
17 10.21082/ijas.v5n1.2004.p20-31.
- 18 SETYANTO, P. et al. Alternate wetting and drying reduces methane emission from a rice paddy
19 in Central Java, Indonesia without yield loss. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**,
20 v.64, p.23-30, 2018. Available from:
21 <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00380768.2017.1409600>>. Accessed: Jun. 15,
22 2018. doi: 10.1080/00380768.2017.1409600.
- 23 SHANG, Q. et al. Net annual global warming potential and greenhouse gas intensity in Chinese
24 double rice cropping systems: a 3-year field measurement in long-term fertilizer experiments.
25 **Global Change Biology**, v.17, p.2196–2210, 2011. Available from:

- 1 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2486.2010.02374.x>>. Accessed: May
2 15, 2018. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02374.x.
- 3 SILVA, L. S. et al. Dinâmica da emissão de metano em solos sob cultivo de arroz irrigado no
4 Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.473-481, 2011. Available from:
5 <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000200016&script=sci_abstract&tlng=pt)
6 06832011000200016&script=sci_abstract&tlng=pt>. Accessed: Jul. 25, 2018. doi:
7 10.1590/S0100-06832011000200016.
- 8 SILVA, L.S. et al. The impact of different rice cultivars on soil methane emissions. In:
9 OELBERMANN, M. (Ed.) **Sustainable agroecosystems in climate change mitigation**.
10 Wageningen Academic Publishers, 2014. Cap.5, p.85-98.
- 11 SILVA, M.I.; BORTOLI, A.L. Modelagem e simulação do processo de formação do biogás.
12 **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**,
13 v.6, p.1-7, 2018. Available from: <<https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/view/2078>>.
14 Accessed: May 09, 2018. doi: 10.5540/03.2018.006.01.0391.
- 15 SILVA, P.M.U. **Estudo da hidrólise no processo de codigestão anaeróbia de resíduos**
16 **sólidos orgânicos**. 2016. 59f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) –
17 Centro de Ciências Ambientais, Universidade Estadual da Paraíba.
- 18 SIMMONDS, M.B. et al. Seasonal methane and nitrous oxide emissions of several rice cultivars
19 in direct-seeded systems. **Journal of Environmental Quality**, v.44, p.103-114, 2015.
20 Available from: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/44/1/103>>.
21 Accessed: May 15, 2018. doi: 10.2134/jeq2014.07.0286.
- 22 SOUZA, E.L. **Emissão de óxido nitroso e metano em área de cultivo com arroz irrigado**
23 **com diferentes manejos da palha pós-colheita**. 2013. 139f. Tese (Doutorado em Ciência do
24 Solo) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

- 1 SURYAVANSHI, P. et al. Pattern of methane emission and water productivity under different
2 methods of rice crop establishment. **Paddy and Water Environment**, v.11, p.321-329, 2013.
3 Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10333-012-0323-5>>. Accessed:
4 Jun. 15, 2018. doi: 10.1007/s10333-012-0323-5.
- 5 TEIXEIRA, A.R. et al. Influência da redução do tamanho de partículas na taxa de hidrólise de
6 esgoto bruto doméstico. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, p.405-415,
7 2008. Available from: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-
8 41522008000400009&script=sci_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522008000400009&script=sci_abstract)>. Accessed: Jul. 20, 2018. doi: 10.1590/S1413-
9 41522008000400009.
- 10 TOKIDA, T. et al. The contribution of entrapped gas bubbles to the soil methane pool and their
11 role in methane emission from rice paddy soil in free-air (CO₂) enrichment and soil warming
12 experiments. **Plant and Soil**, v.364, p.131-143, 2013. Available from:
13 <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1356-7>>. Accessed: Aug. 04, 2018. doi:
14 10.1007/s11104-012-1356-7.
- 15 TOWPRAYOON, S. et al. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained
16 irrigated rice fields. **Chemosphere**, v.59, p.1547-1556, 2005. Available from:
17 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565350500250X>>. Accessed: Jul. 20,
18 2018. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.02.009.
- 19 VAN BODEGOM, P. M. et al. Diffusive gas transport through flooded Rice systems. **Journal**
20 **of Geophysical Research**, v.106, p.20861-20873, 2001. Available from:
21 <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2001JD900176>>. Accessed: May
22 09, 2018. doi: 10.1029/2001JD900176.
- 23 VIDAL JUNIOR, B. C. et al. Influence of Feedstock Particle Size on Lignocellulose
24 Conversion - A Review. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.164, p.1405-1421,

- 1 2011. Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-011-9221-3>>.
2 Accessed: Jul. 12, 2018. doi: 10.1007/s12010-011-9221-3.
- 3 WANG, B. et al. Role of rice in mediating methane emission. **Plant and Soil**, v.189, p.107-
4 115, 1997. Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1004219024281>>.
5 Accessed: Jun. 15, 2018. doi: 10.1023/A:1004219024281.
- 6 WASSMANN, R. et al. Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. III.
7 Mitigation options and future research needs. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.58,
8 p.23-36, 2000. Available from: <
9 <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009874014903>>. Accessed: May 09, 2018. doi:
10 10.1023/A:1009874014903.
- 11 WU, X. et al. Combined effects of straw and water management on CH₄ emissions from rice
12 fields. *Journal of Environmental Management*, v.231, p.1257-1262, 2019. Available from: <
13 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718312763>>. Accessed: Mar. 04,
14 2019. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.011.
- 15 XU, Y. et al. Effects of water-saving irrigation practices and drought resistant rice variety on
16 greenhouse gas emissions from a no-till paddy in the central lowlands of China. **Science of the**
17 **Total Environment**, v.505, p.1043–1052, 2015. Available from:
18 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714015186>>. Accessed: Jun. 20,
19 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.10.073.
- 20 YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Manila: The International Rice Research
21 Institute, 1981. 269p.
- 22 YU, K. et al. Major biogeochemical processes in soils - a microcosm incubation from reducing
23 to oxidizing conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, p.1406-1417, 2007.
24 Available from: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/71/4/1406>>.
25 Accessed: Dec. 12, 2018. doi: 10.2136/sssaj2006.0155.

- 1 ZANG, Y. et al. Quantifying methane emissions from rice paddies in Northeast China by
2 integrating remote sensing mapping with a biogeochemical model. **Biogeosciences**, v.8,
3 p.1225-1235, 2011. Available from: <[https://www.biogeosciences.net/8/1225/2011/bg-8-](https://www.biogeosciences.net/8/1225/2011/bg-8-1225-2011-discussion.html)
4 [1225-2011-discussion.html](https://www.biogeosciences.net/8/1225/2011/bg-8-1225-2011-discussion.html)>. Accessed: May 09, 2018. doi: 10.5194/bg-8-1225-2011.
- 5 ZHANG, H. et al. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with
6 shoot growth in “super” rice. **Field Crops Research**, v.113, p.31-40, 2009. Available from:
7 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429009000963>>. Accessed: Mar. 03,
8 2019. doi: 10.1016/j.fcr.2009.04.004.
- 9 ZHENG, H. et al. Low methane emission in rice cultivars with high radial oxygen loss. **Plant**
10 **and Soil**, v.431, p.119-128, 2018. Available from:
11 <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-018-3747-x>>. Accessed: Mar. 04, 2019. doi:
12 10.1007/s11104-018-3747-x.
- 13 ZISKA, L. H. et al. Long-term growth at elevated carbon dioxide stimulates methane emission
14 in tropical paddy rice. **Global Change Biology**, v.4, p.657-665, 1998. Available from:
15 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-2486.1998.00186.x>>. Accessed: Mar.
16 03, 2019. doi: 10.1046/j.1365-2486.1998.00186.x.
- 17 ZOU, J. et al. A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice
18 paddies in China: Effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. **Global**
19 **Biogeochemical Cycles**, v.19, GB2021, 2005. Available from:
20 <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004GB002401>>. Accessed: Jul. 20,
21 2018. doi: 10.1029/2004GB002401.
- 22 ZSCHORNACK, T. et al. Impacto de plantas de cobertura e da drenagem do solo nas emissões
23 de CH₄ e N₂O sob cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1163-
24 1171, 2016. Available from: <<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100->

1 204X2016000901163&script=sci_abstract>. Accessed: Jun. 15, 2018. doi: 10.1590/s0100-
2 204x2016000900016.
3 ZSCHORNACK, T. et al. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from flood-
4 irrigated rice by no incorporation of winter crop residues in to the soil. **Revista Brasileira de**
5 **Ciência do Solo**, v.35, p.623-634, 2011. Available from:
6 <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000200031>.
7 Accessed: Jun. 15, 2018. doi: 10.1590/S0100-06832011000200031.

- 1 Tabela 1. Manejos de adubação e de cobertura do solo utilizadas como medidas mitigatórias na
 2 emissão de CH₄ em lavouras de arroz irrigado

Tratamento	Emissão de CH₄ (kg ha⁻¹)	Mitigação (%)	Localização	Referência
Manejo de palha				
Incorporção de resíduos	356,0	Controle	Brasil	Zschornack et al. (2011)
Resíduos em superfície	111,0	68,8		
Sem manejo da palha	431,3	Controle	Brasil	Souza (2013)*
Incorporação rolo-faca pós-colheita	290,2	32,7		
Incorporação grade pós-colheita	260,9	39,5		
Retirada da palha pós-colheita	321,2	25,5		
Cultivo de azevém 30 dias pós-colheita	438,3	-1,6		
Sem manejo da palha, grade em agosto	338,7	21,5		
Incorporação da palha grade pós-colheita e grade em agosto	335,9	22,1		
Incorporação da palha rolo-faca pós-colheita e grade em agosto	330,1	23,5		
Semeadura Convencional	417,0	Controle	Brasil	Bayer et al. (2015)***
Plantio direto	316,0	24,2		
Adubação				
Adubação NPK	233,7	Controle	India	Datta et al. (2013)
Sem adubação	190,9	18,3		
Abubação com N	451,3	-93,1		
Adubação com P	260,7	-11,6		
Adubação com K	277,4	-18,7		
Adubação NPK	539,4	Controle	China	Shang et al. (2011)
Sem adubação	441,2	18,2		
Adubação NP	491,0	9,0		
Adubação NK	455,7	15,5		
Adubação Organomineral	827,0	-53,3		
Adubação organomineral reduzida	750,8	-39,2		
Arroz convencional	63,9	Controle	China	Qin et al. (2010)
Arroz orgânico	79,2	-24,0		
Adubação nitrogenada (kg ha⁻¹)				
0	81,0	Controle	Estados Unidos	Pittelkow et al. (2013)**
80	116,0	-43,2		
140	118,0	-45,7		
200	121,0	-49,4		
260	104,0	-28,4		
150	173,0	Controle	China	Zou et al. (2005)
300	73,0	57,8		
450	42,0	75,7		

- 3 *média de 2 safras. **média de 3 safras. ***média de 7 safras.

- 1 Tabela 2. Manejos de irrigação, cultivares e rotação de cultura utilizados como medidas
 2 mitigatórias na emissão de CH₄ em lavouras de arroz irrigado

Tratamento	Emissão de CH₄ (kg ha⁻¹)	Mitigação (%)	Localização	Referência
Manejo da irrigação				
Inundação contínua	153,5	Controle	China	Liang et al. (2016)
Umedecimento e secagem do solo (0,15 m)	63,0	59,0		
Umedecimento e secagem do solo (0,30 m)	63,5	58,6		
Inundação contínua	853,0	Controle	Vietnã	Pandey et al. (2014)
Umedecimento e secagem do solo (0,15 m)	261,0	69,4		
Inundação contínua	450,0	Controle	Indonésia	Setyanto et al. (2018)
Umedecimento e secagem do solo (0,15 m)	292,0	35,1		
Umedecimento e secagem do solo (0,25 m)	278,0	38,2		
Inundação contínua	381,9	Controle	Brasil	Moterle et al. (2013)*
Irrigação Intermitente	313,5	17,9		
Cultivares				
Fengyuanyou299	481,7	Controle	China	Xu et al. (2015)
Hanyou3	498,7	-3,5		
Cheniere	155,8	Controle	Estados Unidos	Brye et al. (2017)*
CLXL745	114,2	26,7		
Taggart	177,0	-13,6		
Memberano	61,1	Controle	Indonésia	Setyanto et al. (2004)
Cisadane	94,8	-55,2		
IR 64	37,7	38,3		
Way Apoburu	58,9	3,6		
Rotação de cultura				
Arroz	172,1	Controle	Estados Unidos	Brye et al. (2017)*
Soja	126,0	26,8	Unidos	

- 3 *média de 2 safras.

2.2. CAPÍTULO 2

Nas normas da Archives of Agronomy and Soil Science

Emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global de cultivares de arroz sob manejos de irrigação

Resumo

O cultivo de arroz irrigado é importante fonte de emissão de gases de efeito estufa. Entre os principais gases de efeito estufa pode-se citar o dióxido de carbono, metano, e óxido nítrico, sendo que a emissão de cada um deles varia em função do manejo da lavoura, da cultivar e do manejo da irrigação. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo quantificar o potencial de aquecimento global parcial medido através das emissões de CH₄ e N₂O em cultivares convencionais e híbridas sob manejos de irrigação, bem como a relação com o rendimento de grãos (PAGp/ Produtividade de Grãos (PG)). Para tal, um experimento a campo foi conduzido, durante as safras agrícolas 2016/17 e 2017/18, no delineamento experimental em blocos casualizados, em arranjo fatorial (2x4), referente ao manejo da água e cultivares de arroz, com quatro repetições. O manejo da água foi por irrigação permanente e irrigação intermitente e avaliadas quatro cultivares de arroz, uma convencional (IRGA 424 RI) e três híbridas (XP 113, Titan CL e Lexus CL). O potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp) pode ser reduzido em até 18% em função da cultivar utilizada e 11,8% através da adoção do manejo de irrigação intermitente. Mais de 90% do PAGp é função da emissão de metano, devendo as ações de manejo da lavoura de arroz serem direcionadas a mitigação desse gás.

Palavras-chave: Metano, *Oryza sativa*, Óxido Nítrico.

Introdução

O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre devido à concentração de determinados gases na atmosfera, podendo ocorrer de forma natural e/ou antrópica. Em relação a emissão de gases de efeito estufa (GEE) de forma antrópica, solos de áreas de arroz têm contribuído significativamente, principalmente através da emissão de metano (CH₄) e óxido nítrico

(N₂O). Quando se separa a contribuição de cada GEE, a agricultura representa cerca de 60% e 50% do total das emissões antrópicas de N₂O e CH₄, respectivamente (Tubiello et al., 2013).

Neste contexto, o cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) é uma importante fonte de emissão de GEE. Segundo Smith et al. (2014) o cultivo do arroz contribuiu com cerca de 11% das emissões globais de CH₄ em 2010. Apesar de não ser a maior fonte de emissão, é uma das poucas que pode ser manejada, pois a emissão de CH₄ ocorre devido à decomposição anaeróbica da matéria orgânica, sendo que seu potencial de aquecimento global (PAG) é 25 vezes maior que o do CO₂. As emissões de N₂O também são de grande importância, devido ao seu elevado PAG, o qual é 298 vezes maior do que o CO₂ (Bayer et al. 2015). Em solos cultivados com arroz irrigado por inundação, a submersão provoca mudanças nas condições de oxirredução do solo, promovendo alternância nos processos microbianos, principais responsáveis pela produção de CH₄ e N₂O no solo (Signor et al., 2013).

Com a crescente demanda para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, tem se buscado alternativas visando a redução do uso de água sem prejuízo à produtividade da cultura do arroz (Avila et al., 2015). O manejo da água tem sido reconhecido como uma prática importante que afeta as emissões de CH₄ e N₂O de lavouras de arroz. Visando manejo sustentável, podem ser citadas o uso de diferentes sistemas de irrigação e cultivares de arroz (Sartori et al., 2013). Em relação aos sistemas de irrigação, a por inundação na cultura do arroz requer o uso de grandes quantidades de água, podendo o desenvolvimento de práticas de gestão de água de irrigação eficientes, tais como o uso de inundações intermitentes, modificar os padrões de emissão de CH₄ e N₂O de solos de terras baixas (Hou et al., 2012).

Alternativamente a isso, a seleção de cultivares de arroz é uma opção agrônômica que afeta também as emissões de CH₄ e N₂O. Nesse sentido, as futuras políticas e/ou demandas do consumidor podem influenciar na escolha de cultivares com base nos equilíbrios de carbono no sistema de produção (Brye et al., 2017). Em estudos com cultivares híbridas e

convencionais, as híbridas têm resultado em menor emissão de CH₄ do que as cultivares convencionais (Rector et al., 2018) devido ao aumento das taxas de oxidação de CH₄ durante a última parte da estação de crescimento (Ma et al., 2010). No entanto, Simmonds et al. (2015) relataram que não houve diferença nas emissões de N₂O por área e escala entre uma cultivar híbrida e cultivares convencionais e que cultivares de arroz apresentam alta plasticidade fenotípica devido a interações com o ambiente, e as diferenças entre cultivares híbridas e convencionais nas emissões de CH₄ dependem das condições ambientais, crescimento das plantas e das suas características morfológicas. Rector et al. (2018) avaliando a emissão de N₂O e o PAG de cultivares de arroz sob diferentes manejos da irrigação, observaram diferença apenas no PAG em função das cultivares, com menores valores para a cultivar híbrida avaliada. Sendo assim, o estudo de diferentes manejos da irrigação e de cultivares são de grande importância, devido ao fato de servirem como alternativa para aumento de produtividade com menor emissão de gases, sem aumento de área plantada e de consumo de água.

Desta forma, objetivou-se quantificar as emissões de CH₄ e N₂O na cultura do arroz, em função de cultivares submetidas a diferentes manejos de irrigação, avaliando o rendimento de grãos e o PAG dos diferentes manejos.

Material e métodos

Manejo da cultura e delimitação experimental

O experimento foi conduzido a campo, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29°43'08.8"S, 53°43'18.6"W), nas safras 2016/17 e 2017/18. O clima do local é subtropical úmido (tipo Cfa na classificação de Köppen), precipitação média anual de 1.686 mm e temperatura média anual de 19,3°C. O solo onde foi conduzido o experimento é classificado como Planossolo Háptico Eutrófico arênico, com as seguintes características: pH_{água} (1:1) = 4,6; P_{melich} = 3,7 mg dm⁻³; K = 0,14 cmolc dm⁻³ e M.O. = 10 g kg⁻¹. O local de realização do experimento durante as entressafras de 2016 e 2017 foi

mantido em pousio e antes da semeadura realizado o aplainamento do terreno. Na safra anterior a implantação do experimento a área foi cultivada com arroz e os dois anos de experimento foram conduzidos no mesmo local.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial (2x4), referente ao manejo da água e cultivares de arroz, com quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram relacionados ao fator cultivar, foram compostos por quatro cultivares de arroz, sendo uma convencional (IRGA 424 RI) e três híbridos (XP 113, Titan CL e Lexus CL). Em relação ao fator manejo da água, foram aplicados dois tratamentos: irrigação permanente, onde o solo foi inundado no estágio de desenvolvimento V3, segundo a escala de Counce et al. (2000), mantendo lâmina de água de aproximadamente 10 cm até o estágio R8; e irrigação intermitente, onde o solo foi alagado em V3, mantendo-se a lâmina de água de aproximadamente 10 cm até o estágio V6, aplicando a intermitência de irrigação até o estágio R3, reiniciando a irrigação permanente até o estágio R8.

Na safra 2016/17 a semeadura do arroz foi realizada no dia 06/11/2016, e na safra 2017/18 em 01/11/2017. Em ambas as safras as densidades de semeadura utilizadas foram de 90 e 45 kg ha⁻¹, para a cultivar IRGA 424 RI e para as cultivares XP 113, Lexus CL e Titan CL, respectivamente, com espaçamento de 0,17 m entrelinhas e total de 18 fileiras, totalizando 13,77 m². A adubação de base foi com o fornecimento de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 05-20-20. A emergência de plantas ocorreu no dia 14/11/2016 e 10/11/2017, nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente. Nas duas safras, no estágio V3 realizou-se a primeira adubação nitrogenada de cobertura, fornecendo 100 kg ha⁻¹ de N, assim como adubação potássica de 40 kg ha⁻¹ de K₂O. No estágio V8/R0 foi realizada a segunda adubação nitrogenada de cobertura, com dose de 50 kg de N ha⁻¹, totalizando fornecimento de 170 kg N ha⁻¹ de N (ureia), 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 120 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl), em ambas as safras. Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações

técnicas da SOSBAI (2018).

Manejo da água

Iniciou-se a irrigação no estádio V3, sendo aos 17 e 14 dias após a emergência de plantas (DAE), nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente. O fornecimento de água por meio da irrigação foi realizado igualmente até o estádio V6, a partir deste estádio foi cessado o fornecimento de água por meio de irrigação no manejo intermitente.

Na safra 2016/17, devido às condições meteorológicas (Figura 1) foram realizadas três drenagens do solo (28/12/16, 05/01/17 e 17/01/17) para que o tratamento de irrigação intermitente não permanecesse com lâmina de água. A primeira drenagem foi realizada um dia após precipitação de 67,6 mm, porém devido a precipitações nos dias seguintes, o solo se manteve saturado, devido a presença de lâmina de água. Oito dias após primeira drenagem, realizou-se nova drenagem do solo, devido a precipitação acumulada de 80,4 mm durante este intervalo de dias. A terceira drenagem foi realizada após precipitação acumulada de 146,2 mm, não havendo precipitação acima de 1 mm na semana seguinte, permanecendo sem a presença de lâmina de água até o estádio R3.

Na safra 2017/18 nos tratamentos com manejo da irrigação intermitente foi realizada a irrigação do solo em apenas uma ocasião entre os estádios V6 e R3, com fornecimento de água em 09/01/2018, pois nesta data a umidade do solo se encontrava conforme proposto por Avila et al. (2015), sem a presença de lâmina de água. No estádio R3 (30/01/2017 e 23/01/2018, nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente) reiniciou-se o fornecimento de água aos tratamentos com manejo de irrigação intermitente, mantendo-se assim lâmina de água constante até o estádio R8, quando foi suprimido o fornecimento de água para ambos os manejos de irrigação.

Coleta de gases

As coletas de gases foram realizadas semanalmente, iniciando-se um e sete dias antes da entrada de água de irrigação nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente, com auxílio de sistema composto por uma base e uma câmara conforme método da câmara estática fechada, proposto por Mosier (1989), no horário das 9h às 12h. As dimensões das câmaras quadradas em aço galvanizado foram de 0,20 m de altura e 0,40 m de largura e de comprimento. Para a realização das avaliações durante o período de cultivo do arroz e por ocasião do crescimento das plantas foram inseridos extensores (0,50 x 0,40 x 0,40 m) junto a base (0,40 x 0,40 x 0,40 m) fixa a 0,10 m de profundidade, para adequar a altura da câmara às plantas de arroz. Durante o período de avaliações de emissão de GEE, as bases foram alocadas nas parcelas, de modo que três fileiras de semeadura do arroz estivessem no interior de cada base.

Foi realizada a circulação do ar em intervalo de 30 segundos para homogeneização da atmosfera interna, imediatamente antes das coletas. Visando o isolamento entre a atmosfera externa e interna, cada câmara foi encaixada à calha da base, e em seguida foi adicionada água para selá-la. As amostras de ar do interior das câmaras foram coletadas com seringas de polipropileno de 20 mL, em quatro instantes após a colocação da câmara sobre a base: 0, 8, 16 e 24 min. Após cada coleta, as amostras foram transferidas para tubos de vidro previamente evacuados e levadas ao laboratório para serem analisadas.

A determinação da concentração de CH₄ e N₂O foi realizada por meio de cromatografia gasosa (Shimadzu GC – 2014 modelo Greenhouse). Os fluxos (F) de N₂O e CH₄ foram calculados (Equação 1) considerando a variação das concentrações dos gases dentro da câmara durante o período que permaneceu fechada, o volume da câmara, a área do solo ocupada e o peso molecular dos gases. As emissões acumuladas foram calculadas a partir da média dos fluxos de N₂O e CH₄ entre duas coletas consecutivas, multiplicando-se o valor resultante pelo intervalo de tempo, em dias, decorrido entre as duas coletas.

$$F = \frac{dC}{dt} \frac{\bar{M}PV}{RT} \frac{1}{A} \quad (1)$$

Onde: dC/dt é a mudança na concentração de CH_4 ou de N_2O ($mmol\ mol^{-1}$) no intervalo de tempo t (min); \bar{M} é o peso molecular do respectivo gás ($g\ mol^{-1}$); P é a pressão (atm) no interior da câmara (assumida como 1,0 atm); V e T correspondem ao volume da câmara (L) e a temperatura interna (K) e R é a constante universal dos gases ($L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}$).

O potencial de aquecimento global parcial (PAGp) foi calculado para o período do cultivo do arroz, de acordo com Bayer et al. (2015), através da conversão das emissões de CH_4 e de N_2O para CO_2 equivalente ($kg\ CO_2\ equiv.\ ha^{-1}$), segundo a equação 2.

$$PAGp = (CH_4 \times 25) + (N_2O \times 298) \quad (2)$$

Onde: CH_4 e N_2O correspondem às emissões acumuladas de cada gás durante uma safra ($kg\ ha^{-1}$); 25 e 298 são valores de PAG para o CH_4 e o N_2O .

Os dados climáticos foram obtidos da Estação Automática de Meteorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM, distante 500 m do local do experimento.

Colheita de grãos

A colheita do experimento foi realizada quando os grãos de arroz estavam com umidade entre 20 e 24%, realizada de forma manual na área útil ($4,21\ m^2$) de cada parcela experimental. A massa foi trilhada e corrigida para umidade de 13% para determinar a produtividade de grãos. Na safra 2016/17 a colheita da cultivar Titan CL foi realizada em 08/03/2017, enquanto a colheita das cultivares XP 113, Lexus CL e IRGA 424 RI foram em 17/03/2017. Na safra 2017/18 a colheita das cultivares Titan CL, XP 113 e Lexus CL foi em 12/03/2018 e a cultivar IRGA 424 RI em 16/03/2018. Foi calculado também a relação entre o PAGp e a produtividade de grãos ($PG - kg\ ha^{-1}$), conforme a equação 3.

$$PAGpPG = PAGp/PG \quad (3)$$

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância até 5% de probabilidade, e quando significativo ao teste de Tukey até 5% de probabilidade para a comparação de médias, utilizando-se do programa estatístico SISVAR.

Resultados e discussão

Não houve interação entre os fatores para nenhuma das variáveis analisadas, havendo efeito isolado para as cultivares e o manejo da água em ambas as safras.

Emissão de Metano

Na safra 2016/17 os fluxos de CH₄ variaram de 0,17 a 7,47 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e entre -0,06 e 7,02 kg ha⁻¹ dia⁻¹ ao longo do ciclo de cultivo em função das cultivares na safra 2017/18. Em relação ao manejo da água, a variação foi de 0,04 a 6,36 kg ha⁻¹ dia⁻¹ na safra 2016/17 e entre 0,03 e 6,74 kg ha⁻¹ dia⁻¹ na safra 2017/18. Na safra 2017/18, houve fluxo negativo de CH₄ após a colheita do arroz, conforme resultados já relatados por Meijide et al. (2017).

O potencial redox é um dos principais fatores que controlam a formação de CH₄ em solos alagados, e essa intensificação ocorre após a redução do nitrato e dos compostos de Mn (III e IV) e de Fe (III), que leva cerca de 20 dias para ocorrer, dependendo das características do solo (Silva et al., 2011). Atingido o máximo potencial redox e a formação do CH₄ pela mineralização da matéria orgânica presente no solo, o qual aumenta a disponibilidade de carbono lábil do solo e serve de substrato para as bactérias metanogênicas (Cai et al., 1997).

Os primeiros picos de emissão foram aos 33 e 28 dias após a irrigação (DAI) nas safras 2016/17 (Figura 2 A) e 2017/18 (Figura 2B), respectivamente. A diferença de fluxos de CH₄ em relação as cultivares no período inicial de cultivo pode estar relacionada a população inicial de plantas, que nas cultivares híbridas é inferior a cultivar IRGA 424 RI, e o início da irrigação coincide com o início do perfilhamento da cultura do arroz. A capacidade das plantas de arroz em transportar o CH₄ aumenta com maior número e tamanho dos perfilhos,

folhas e raízes, e também das estruturas envolvidas no transporte de CH₄ do solo para a atmosfera. Na fase inicial de perfilhamento, as estruturas morfológicas não estão totalmente desenvolvidas, por este motivo, o potencial da planta em transportar CH₄ até a atmosfera é baixo, independente do potencial de emissão das cultivares ou das condições de redução do solo. As emissões de CH₄ são maiores quando as condições anaeróbicas permitem a formação de CH₄, mas também quando a planta está plenamente desenvolvida, de modo que a via principal do transporte de CH₄ para a atmosfera esteja disponível (Meijide et al., 2017).

Em ambas as safras houve redução no fluxo de CH₄ após o primeiro pico, porém na safra 2017/18 a redução foi inferior a safra anterior, provavelmente em decorrência das drenagens do solo realizadas na safra 2016/17, pois na safra 2017/18 não foi realizada a drenagem do solo e a intermitência se deu pela supressão da irrigação, porém em ambas as safras houve registro de novo pico próximo ao estágio R4, principalmente para a cultivar Lexus CL. Neste estágio as plantas se encontram com seus maiores índices de área foliar (SOSBAI, 2018), contribuindo para maior passagem dos gases do solo para a atmosfera. Os aerênquimas totalmente desenvolvidos em plantas de arroz em fase de florescimento têm maior capacidade de transporte de CH₄ do solo para a atmosfera (Kludze et al., 1993). Além disso, uma fração do carbono fotoassimilado é translocado para raízes no estágio reprodutivo, e eles fornecem uma fonte de carbono lábil para as bactérias metanogênicas (Zschornack et al., 2018). A intensa atividade fotossintética da planta perto do seu florescimento aumenta a liberação de exudatos radiculares, que servem como fonte de carbono. Em iguais condições de redução do solo, a disponibilidade de substrato para as bactérias metanogênicas são os fatores que determinam a intensidade das taxas de fluxos de CH₄ (Wassmann; Aulakh, 2000).

Em relação ao manejo da irrigação, na safra 2016/17 durante todo o ciclo da cultura, o tratamento de irrigação intermitente teve menores fluxos de CH₄, pois mesmo com as precipitações que fizeram com que o solo não fosse plenamente aerado, a camada superficial

do solo nas parcelas em que foram realizadas as drenagens tiveram quantidade maior de oxigênio, podendo resultar em alterações nos processos de oxiredução do solo e na atividade dos microorganismos metanogênicos. Houve tendência de maior fluxo de CH₄ no tratamento com irrigação intermitente em relação ao tratamento com irrigação permanente apenas aos 97 DAI (Figura 2C), e redução na emissão aos 70 DAI, essa diminuição pode ser atribuída à aeração temporária do solo ocasionada pela secagem parcial do mesmo que, por sua vez, suprime a atividade metanogênica e pode aumentar a atividade metanotrófica aeróbica (Tarlera et al., 2016). Por outro lado, na safra 2017/18 após o período de intermitência, ou seja, quando o solo passou a estar com lâmina de água constante, o processo de oxirredução do solo resultou em aumento no fluxo de CH₄, sendo que nas coletas aos 84 e 94 DAI foi observado maior fluxo de CH₄ no tratamento de irrigação intermitente (Figura 2D).

Em anos sujeitos a altas precipitações, existe a possibilidade do sistema de irrigação intermitente não mitigar a emissão de CH₄ em relação à irrigação permanente, devido à manutenção do solo em condições reduzidas (Moterle et al., 2013). Além disso, plantas de arroz sob condições aeróbicas de solo podem mostrar aerênquimas menos desenvolvidos comparados àquelas sob condições anaeróbicas (Kludze et al., 1993), o que pode diminuir ainda mais o transporte e emissões de CH₄.

Em relação a emissão total de CH₄ (Figuras 2E e F) no ciclo da cultura do arroz nas safras 2016/17 e 2017/18, as cultivares XP 113 (343,91 e 324,98 kg CH₄ ha⁻¹) e Titan CL (361,63 e 318,03 kg CH₄ ha⁻¹) foram as que apresentaram menores valores, seguidas das cultivares IRGA 424 RI (425,42 e 377,30 kg CH₄ ha⁻¹) e Lexus CL (474,17 e 404,79 kg CH₄ ha⁻¹). Diversos autores observaram maiores emissões de CH₄ na cultura do arroz em cultivares convencionais em comparação com cultivares híbridas (Rogers et al., 2014; Simmonds et al., 2015; Smartt et al., 2016; Brye et al., 2017). Entretanto, no presente estudo nas safras 2016/17 e 2017/18, a cultivar híbrida Lexus CL foi a que emitiu a maior quantidade de CH₄,

não se diferenciando da cultivar convencional IRGA 424 RI na segunda safra. Diferenças nas emissões entre cultivares podem estar relacionadas com mudanças nas características fisiológicas das plantas associadas à intensidade das condições anaeróbias (Kludze et al., 1993) ou relacionadas às diferenças nas comunidades microbianas associadas à rizosfera de cultivares convencionais e híbridas (Ma et al., 2010). Além disso, diferenças nas cultivares podem estar relacionadas a outras diferenças fisiológicas, como capacidade de perfilhamento, desenvolvimento radicular e formação de tecido de aerênquima (Cai et al., 1997).

A média de emissão de CH₄ dos dois anos das cultivares XP 113 (334,45 kg ha⁻¹), Titan CL (339,83 kg ha⁻¹), IRGA 424 RI (401,36 kg ha⁻¹) e Lexus CL (439,48 kg ha⁻¹), bem como dos tratamentos com irrigação permanente (403,84 kg ha⁻¹) e intermitente (353,72 kg ha⁻¹) estão na mesma faixa que outros estudos realizados na região Sul do Brasil. Moterle et al. (2013) avaliando aplicação de irrigação permanente (381,90 kg ha⁻¹) e irrigação intermitente (313,5 kg ha⁻¹). Camargo et al. (2018) estudando diferentes manejos da água, tiveram resultados que variaram de 237 (duas intermitências no ciclo do arroz) a 623 (irrigação permanente) kg CH₄ ha⁻¹, enquanto Zschornack et al. (2018) observaram variação de CH₄ entre 250,9 e 671,5 kg CH₄ ha⁻¹. Além disso, Bayer et al. (2015) avaliando sete safras da cultura de arroz obtiveram emissão média por safra de 367 kg CH₄ ha⁻¹.

Emissão de Óxido Nitroso

Foram observados os maiores picos aos 16 e 7 DAE nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente. Esses picos foram de 62,60; 54,98; 51,91 e 44,32 g de N₂O ha⁻¹ dia⁻¹ para os solos com as cultivares Lexus CL, Titan CL, XP 113 e IRGA 424 RI, respectivamente, na safra 2016/17 (Figura 3A). Na safra 2017/18, os picos foram de 106,96; 98,24; 92,16 e 89,71 g de N₂O ha⁻¹ dia⁻¹ para solos com as cultivares IRGA 424 RI, Lexus CL, XP 113 e Titan CL, respectivamente (Figura 3B). O alto fluxo de N₂O pode estar relacionado com as precipitações que ocorreram antes da coleta de ar, as quais totalizaram em 58,2 e 18,8 mm, aos quatro e um dia antes da coleta nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente.

A precipitação seguida de dias secos pode potencializar perdas de N na forma de N_2O , pois nos períodos sem chuva as condições aeróbicas favorecem a nitrificação do N aplicado, formando NO_3^- , o qual pode ser utilizado posteriormente, em condições de baixa disponibilidade de O_2 , como receptor de elétrons pelas bactérias anaeróbicas facultativas responsáveis pelo processo de desnitrificação. Porém, Tarlera et al. (2016) não relacionaram os picos de emissão de N_2O antes do início da irrigação com eventos de precipitação. Em ambas as safras após a segunda adubação nitrogenada não foi observado aumento no fluxo de N_2O , sendo observado fluxo negativo nas áreas com as cultivares Lexus CL, XP 113 e IRGA 424 RI, assim como durante o período de intermitência. Os fluxos de N_2O foram variáveis ao longo da estação de crescimento e foram geralmente baixos, mesmo no tratamento com irrigação intermitente, onde era esperado maior emissão de N_2O que com irrigação permanente. A emissão acumulada de N_2O nas safras 2016/17 e 2017/18 foram cerca de 79 e 45% (média de 62% nas duas safras), respectivamente, emitidos antes do início da irrigação.

Durante o período de cultivo houve emissões negativas tanto para o tratamento com irrigação permanente quanto para o intermitente, sendo que os maiores influxos foram aos 97 e aos 56 DAI (safra 2016/17), respectivamente (Figura 3C) e aos 63 e 84 DAI (safra 2017/18), respectivamente (Figura 3D). Assim como nos resultados de Tarlera et al. (2016), a emissão acumulada de N_2O não foi significativamente diferente com a aplicação do tratamento de irrigação intermitente. Inúmeros fatores estão envolvidos no controle das emissões de N_2O dos solos, o que contribui para a enorme variação espaço-temporal nas emissões em testes de campo. Como consequência da variação espaço-temporal, tem sido relatado que o poder dos testes estatísticos de tais experimentos é baixo (Bakken et al., 2012).

Nas duas safras os valores de emissão de N_2O acumulados em função do manejo da água não se diferenciaram, havendo diferença apenas em função das cultivares de arroz. Possivelmente o fato de se ter pré-determinado as datas para a coleta de CH_4 não tenha

favorecido a detecção da liberação de N_2O nestes tratamentos, cuja dinâmica e condições de produção é bastante distinta do CH_4 . Conforme Rector et al. (2018), o esquema semanal de amostragem de gás pode mascarar potenciais fluxos significativos e/ou diferenças de combinação de tratamento que podem ter ocorrido em escalas temporais menores, pois os fluxos de N_2O são temporalmente variáveis em lavouras de arroz (LaHue et al., 2016).

Na safra 2016/17 as cultivares com menores emissões totais de N_2O foram a IRGA 424 RI e a XP 113, porém a XP 113 não se diferenciou da Lexus CL e Titan CL. A emissão total no ciclo das culturas foram de 887,63; 1164,39; 1212,02 e 1357,18 g de N_2O ha^{-1} para as cultivares IRGA 424 RI, XP 113, Titan CL e Lexus CL (Figura 3E). Por outro lado, na safra 2017/18 a cultivar IRGA 424 RI foi a que apresentou maior emissão total de N_2O , 1665,6 g de N_2O ha^{-1} , porém não se diferenciou das cultivares Lexus CL (1489,1 g de N_2O ha^{-1}) e Titan CL (1507,9 g de N_2O ha^{-1}), que também não se diferenciaram da cultivar com menor emissão de N_2O , a XP 113, que emitiu o total de 1336,4 g de N_2O ha^{-1} (Figura 3F).

Assim como nos resultados encontrados no presente estudo, Rector et al. (2018) observaram que os fluxos semanais de N_2O e a emissão acumulada não foram afetadas pelo manejo de água. Também não observaram diferenças na emissão acumulada em relação a cultivares de arroz convencionais e híbridas. No presente estudo não houve diferença entre as cultivares XP 113 e IRGA 424 RI na safra 2016/17 e entre as cultivares Titan CL, Lexus CL e IRGA 424 RI na safra 2017/18. Simmonds et al. (2015) também relataram não haver diferença nas emissões de N_2O entre cultivar híbrida e de linhagem pura.

Potencial de Aquecimento Global parcial (PAGp), Produtividade e PAGp/PG

Para a variável PAGp (calculado em CO_2 eq) houve diferenças tanto em função das cultivares, quanto em função do manejo da água em ambas as safras, havendo participação média de 96,64 e 94,19% do CH_4 no PAGp em relação as cultivares e de 96,66 e 95,21% em relação ao manejo da água, nas safras 2016/17 (Figura 4A) e 2017/18 (Figura 4B), respectivamente. A grande contribuição do CH_4 no PAG em relação ao N_2O foi observada em vários outros

trabalhos (Bayer et al., 2015; Tarlera et al., 2016; Camargo et al., 2018; Zschornack et al., 2018). Esses resultados demonstram a grande importância do CH₄ emitido em lavouras de arroz e a necessidade de adição de medidas mitigatórias para a emissão do mesmo, a utilização de cultivares e manejos da água de irrigação no presente estudo demonstraram ser eficazes como medidas mitigatórias tanto na emissão de CH₄ quanto para o PAGp.

As cultivares com menores PAGp foram a XP 113 e Titan CL, com a emissão de 8944,78 e 9402 kg CO₂ eq ha⁻¹, respectivamente, na safra 2016/17 e 8522,69 e 8400,13 kg CO₂ eq ha⁻¹, respectivamente, na safra 2017/18. Ao comparar a média das cultivares com menor PAGp com a média das cultivares com maior PAGp, observa-se redução de 21,60 e 14,41% no PAGp nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente. Em relação ao manejo da irrigação observou-se menor PAGp quando realizou-se a drenagem do solo e a intermitência de irrigação, com valores 12,40 e 11,28% menores se comparados a irrigação permanente.

O PAGp demonstra como os GEE contribuem e as suas relações com o aquecimento global em comparação com o CO₂, desta forma, pode se comparar diferentes manejos que são adotados nos sistemas de produção. O PAGp está diretamente relacionado com as emissões de CH₄ e N₂O, sendo assim, os tratamentos com maior emissão destes gases tendem a ter maior PAGp, porém como observado nos resultados do presente estudo, na cultura do arroz as emissões de CH₄ são mais significativas para essa variável, devido à grande quantidade emitida em seu ciclo de cultivo. Além da preocupação com as emissões de CH₄ em áreas de arroz irrigado, a produtividade do arroz também precisa ser considerada (Tarlera et al., 2016).

As cultivares com maior e menor produtividade nas duas safras foram a XP 113 e a IRGA 424 RI, respectivamente. As cultivares Lexus CL e Titan CL não se diferenciaram em relação a produtividade de grãos em ambas as safras. A diferença de produtividade está relacionada com as características produtivas de cada cultivar, pois todas as cultivares foram submetidas a tratamentos com as mesmas condições (Figura 4C e D). Na safra 2016/17 não

houve diferença na produtividade em função do manejo da água, resultado semelhantes aos encontrados por Avila et al. (2015) e Zschornack et al. (2016), ambos na região Sul do Brasil. Por outro lado, Meijide et al. (2017) na região do Mediterrâneo observaram redução da produção com implantação de sistema de irrigação intermitente, assim como nos resultados da safra 2017/18. Isso demonstra que as condições locais e climáticas podem ser determinantes para produtividade de arroz em sistemas com irrigação intermitente, porém o efeito da irrigação após o período de intermitência também pode contribuir para o aumento do rendimento de grãos, pois o rendimento de grãos não é determinado apenas pelos regimes de irrigação, mas também pelas taxas de N aplicadas (Avila et al., 2015).

Segundo Sass e Cicerone (2002) sob conjunto comum de condições climáticas e agrícolas, menores emissões de CH₄ são observadas a partir de parcelas que contêm plantas de arroz com maior número de espiguetas de grãos preenchidos, indicando que as que mais se aproximam de seu limite de rendimento potencial emitem menos CH₄ para a atmosfera, resultando em menor índice de PAGp/PG. Para o cálculo do PAGp por unidade de rendimento (PAGp/PG) foi considerado o resultado da produtividade e da emissão de CO₂eq (CH₄+N₂O).

Em relação ao índice PAGp/PG, a cultivar XP 113 (0,65 e 0,66 kg CO₂ eq. kg arroz⁻¹ nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente) foi a que apresentou os melhores resultados, pois quanto menor este índice, menor o PAGp/PG e conseqüentemente maior a mitigação realizada para esta cultivar em relação as demais. Porém na safra 2017/18, a cultivar XP 113 não se diferenciou da cultivar Titan CL (0,69 kg CO₂ eq. kg arroz⁻¹). Ao comparar as cultivares Lexus CL (0,99 e 0,87 kg CO₂ eq. kg arroz⁻¹) e IRGA 424 RI (1,01 e 0,89 kg CO₂ eq. kg arroz⁻¹), nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente, que foram as cultivares com maiores índices PAGp/RG, mesmo possuindo maior PAGp, a cultivar Lexus CL devido ao seu maior potencial produtivo não se diferenciou da IRGA 424 RI. Sendo assim, o uso do

PAGp/RG pode servir como ferramenta de auxílio para se tomar decisão sobre a adoção de determinada prática de manejo.

Existem relatos na literatura de redução de PAGp por massa de grãos produzidas quando se utiliza cultivares híbridas em relação a convencionais, como os estudos realizados na China (Ma et al., 2010) e Estados Unidos (Rogers et al., 2014; Smartt et al., 2016). Smartt et al. (2016) observaram redução média de 44% do PAGp/PG ao comparar uma cultivar híbrida com duas cultivares convencionais, enquanto que no presente estudo na safra 2016/17 houve redução de 36% no PAGp/PG da cultivar híbrida XP113 em relação a cultivar IRGA 424 RI (Figura 4E). Na safra 2017/18 houve redução de 24,51% do PAGp/PG das médias das cultivares híbridas XP 113 e Titan CL em relação a cultivar IRGA 424 RI (Figura 4F).

Em relação ao manejo da irrigação, em ambas as safras houve redução do PAGp/PG quando foi realizada a intermitência da irrigação na cultura do arroz, fato observado até mesmo por haver redução na emissão de CH₄ quando realizada a intermitência de irrigação nas duas safras de cultivo. Porém, mesmo com o manejo de irrigação intermitente reduzindo a produtividade de grãos na safra 2017/18, o PAGp/PG para este tratamento se manteve inferior ao manejo de irrigação permanente. A utilização do PAGp/PG como parâmetro para avaliações mitigatórias serve para a identificação das práticas de manejo que mesmo com a emissão de grandes quantidades de GEE, resulta em maior produtividade e pode ser considerado como forma de mitigação do mesmo (Kim et al., 2013). De acordo com os resultados apresentados observa-se que o material genético e o manejo da irrigação são fatores que influenciam no PAG/PG, porém outros manejos do solo também são efetivos na mitigação do PAGp/PG (Bayer et al., 2015; Zschornack et al., 2018) em lavouras de arroz irrigado. Pode-se ressaltar que as características do local, como clima, solo e nível tecnológico também podem influenciar nesta variável.

Conclusões

O híbrido XP 113 emite menos metano e óxido nitroso, além de apresentar maior produtividade de grãos, o que garante, juntamente com a cultivar Titan CL menor Potencial de Aquecimento Global parcial e menor índice de PAGp/Produtividade de Grãos.

A irrigação intermitente, combinado com baixas precipitações, afeta negativamente a produtividade de grãos do arroz, porém resulta em menor emissão de metano, PAGp e PAGp/PG, nesse sentido, deve-se ter critérios mais precisos para avaliar o grau de intermitência. Não há diferença na emissão de óxido nitroso em função do manejo de irrigação.

Referências bibliográficas

- Avila LA, Martini LFD, Mezzomo RF, Reffati JP, Campos R, Cezimbra DM, Machado SLO, Massey JH, Carlesso R, Marchesan E. 2015. Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent irrigation. *Agron Jour.* 107:442-448.
- Bakken LR, Bergaust L, Liu B, Frostegård A. 2012. Regulation of denitrification at the cellular level: a clue to the understanding of N₂O emissions from soils. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 367:1226-1234.
- Bayer C, Zschornack T, Pedroso GM, Rosa CM, Camargo ES, Boeni M, Marcolin E, Reis CES, Santos, DC. 2015. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. *Soil Till Res.* 145:118-125.
- Brye KR, Rogers CW, Smartt AD, Norman RJ, Hardke JT, Gbur EE. 2017. Methane emissions as affected by crop rotation and rice cultivar in the Lower Mississippi River Valley, USA. *Geoderma Regional*, 11:8-17.
- Cai, Z, Xing G, Yan X, Xu H, Tsuruta H, Yagi K, Minami K. 1997. Methane and nitrous oxide emissions from paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management. *Plant Soil*, 196:7-14.

- Camargo ES, Pedroso GM, Minamikawa K, Shiratori Y, Bayer C. 2018. Intercontinental comparison of greenhouse gas emissions from irrigated rice fields under feasible water management practices: Brazil and Japan. *Soil Sci Plant Nutr.* 34:59-67.
- Counce PA, Keisling TC, Mitchell AJ. 2000. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. *Crop Sci.* 40:436-443.
- Hou H, Peng S, Xu J, Yang S, Mao Z. 2012. Seasonal variations of CH₄ and N₂O emissions in response to water management of paddy fields located in Southeast China. *Chemosphere.* 89:884-892.
- Kim SY, Lee CH, Gutierrez J, Kim PJ. 2013. Contribution of winter cover crop amendments on global warming potential in rice paddy soil during cultivation. *Plant Soil.* 366:273-286.
- Kludze HK, DeLaune RD, Patrick Jr WH. 1993. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. *Soil Sci Soc Am J.* 57:386-391.
- LaHue GT, Chaney RL, Adviento-Borbe MA, Linquist BA. 2016. Alternate wetting and drying in high yielding direct-seeded rice systems accomplishes multiple environmental and agronomic objectives. *Agric Ecosyst Environ.* 229:30-39.
- Ma K, Qiu, Q, Lu Y. 2010. Microbial mechanism for rice variety control on methane emission from rice field soil. *Glob Change Biol.* 16:3085–3095.
- Meijide A, Gruening C, Godeb I, Seufert G, Cescatti A. 2017. Water management reduces greenhouse gas emissions in a Mediterranean rice paddy field. *Agric Ecosyst Environ.* 238:168-178.
- Moterle DF, Silva LS, Moro VJ, Bayer C, Zschornack T, Avila LA, Bundt AC. 2013. Methane efflux in rice paddy field under different irrigation managements. *Rev Bras Ciênc Solo.* 37:431-437.
- Mosier AR. 1989. Chamber and isotope techniques. In: Andreae MO, Schimel DS. (Eds.). *Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop.* Berlin: Wiley, p. 175-187.
- Rector C, Brye KR, Humphreys J, Norman RJ, Gbur EE, Hardke JT, Willet C, Evans-White MA. 2018. N₂O emissions and global warming potential as affected by water management and rice cultivar on an Alfisol in Arkansas, USA. *Geoderma Regional,* 14:1-12.

- Rogers CW, Brye KR, Smartt AD, Norman RJ, Gbur EE, Evans-White MA. 2014. A Cultivar and previous crop effects on methane emissions from drill-seeded, delayed-flood rice production on a silt-loam soil. *Soil Sci.* 179:28-36.
- Sartori GMS, Marchesan E, Azevedo CF, Streck NA, Roso R, Coelho LL, Oliveira ML. 2013. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. *Ciênc Rural.* 43:397-403.
- Sass RL, Cicerone RJ. 2002. Photosynthate allocations in rice plants: Food production or atmospheric methane? *PNAS*, 99:11993–11995.
- Signor D, Cerri CEP, Conant R. 2013. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications two regions of sugarcane cultivation in Brazil. *Environ Res Lett.* 8:1-9.
- Silva LS, Griebeler G, Moterle DF, Bayer C, Zschornack T, Pocojeski E. 2011. Dinâmica da emissão de CH₄ em solos representativos do cultivo de arroz irrigado no Sul do Brasil. *Rev Bras Ciênc Solo*, 35:473-483.
- Simmonds MB, Anders M, Adviento-Borbe MA, van Kessel C, McClung A, Linnquist BA. 2015. Seasonal methane and nitrous oxide emissions of several rice cultivars in direct-seeded systems. *J of Environ Qual.* 44:103-114.
- Smartt AD, Brye KR, Rogers CW, Norman RJ, Gbur EE, Hardke JT, Roberts TL. 2016. Previous crop and cultivar effects on methane emissions from drill-seeded, delayed-flood rice grown on a Clay soil. *Appl Environ Soil Sci.* 2016:1-13.
- Smith P, Bustamante M, Ahammad H, Clark H, Dong H, Elsiddig EA, Haberl H, Harper R, House J, Jafari M, Masera O, Mbow C, Ravindranath NH, Rice CW, Abad CR, Romanovskaya A, Sperling F, Tubiello F. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- SOSBAI. 2018. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Cachoeirinha, RS: SOSBAI, 205 p.

- Tarlera S, Capurro MC, Irisarri P, Scavino AF, Cantou G, Roel A. 2016. Yield-scaled global warming potential of two irrigation management systems in a highly productive rice system. *Sci Agric*. 73:43-50.
- Tubiello FN, Salvatore M, Rossi S, Ferrara A, Filton N, Smith P. 2013. The Faostat database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environ Res Lett*. 8:1-11.
- Wassmann R, Aulakh MS. 2000. The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. *Biol Fert Soils*, 31:20-29.
- Zschornack T, Rosa CM, Pedroso GM, Marcolin E, Silva PRF, Bayer C. 2016. Mitigation of yield-scaled greenhouse gas emissions in subtropical paddy rice under alternative irrigation systems. *Nutr Cycl Agroecosys*. 105:61-73.
- Zschornack T, Rosa CM, Reis CES, Pedroso GM, Santos DC, Boeni M, Bayer C. 2018. Soil CH₄ and N₂O emissions from rice paddy fields in Southern Brazil as affected by crop management levels: a three-year field study. *Rev Bras Ciênc do Solo*. 42:1-14.

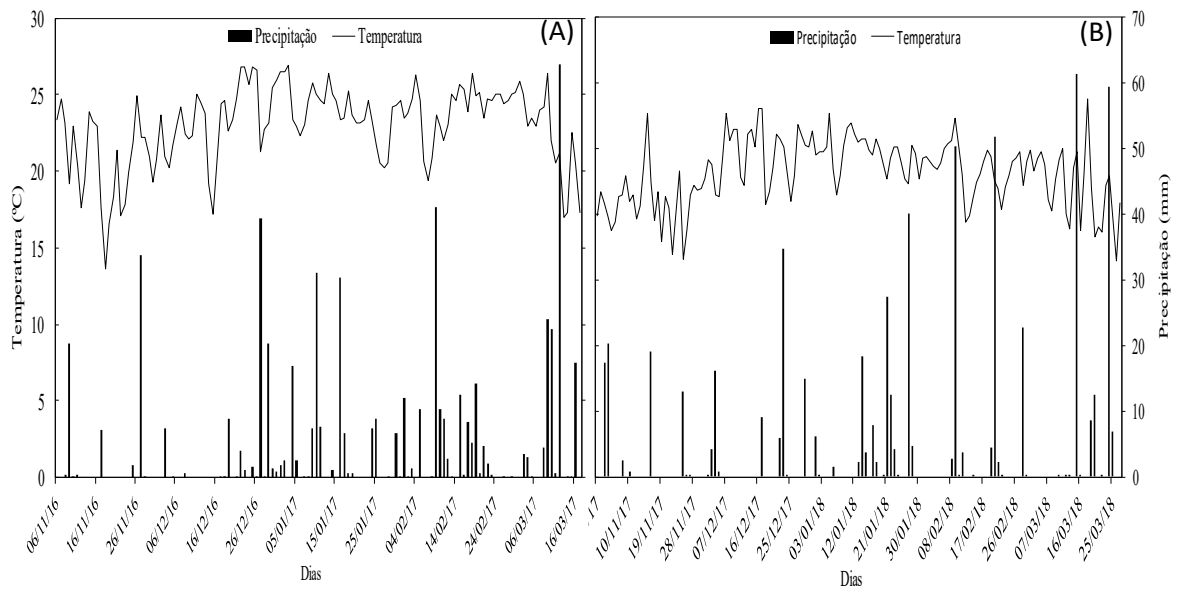


Figura 1 – Variação da temperatura média e precipitação pluviométrica, por decêndio, em Santa Maria, RS nas safras (A) 2016/17 e (B) 2017/18. Santa Maria – RS, 2019.

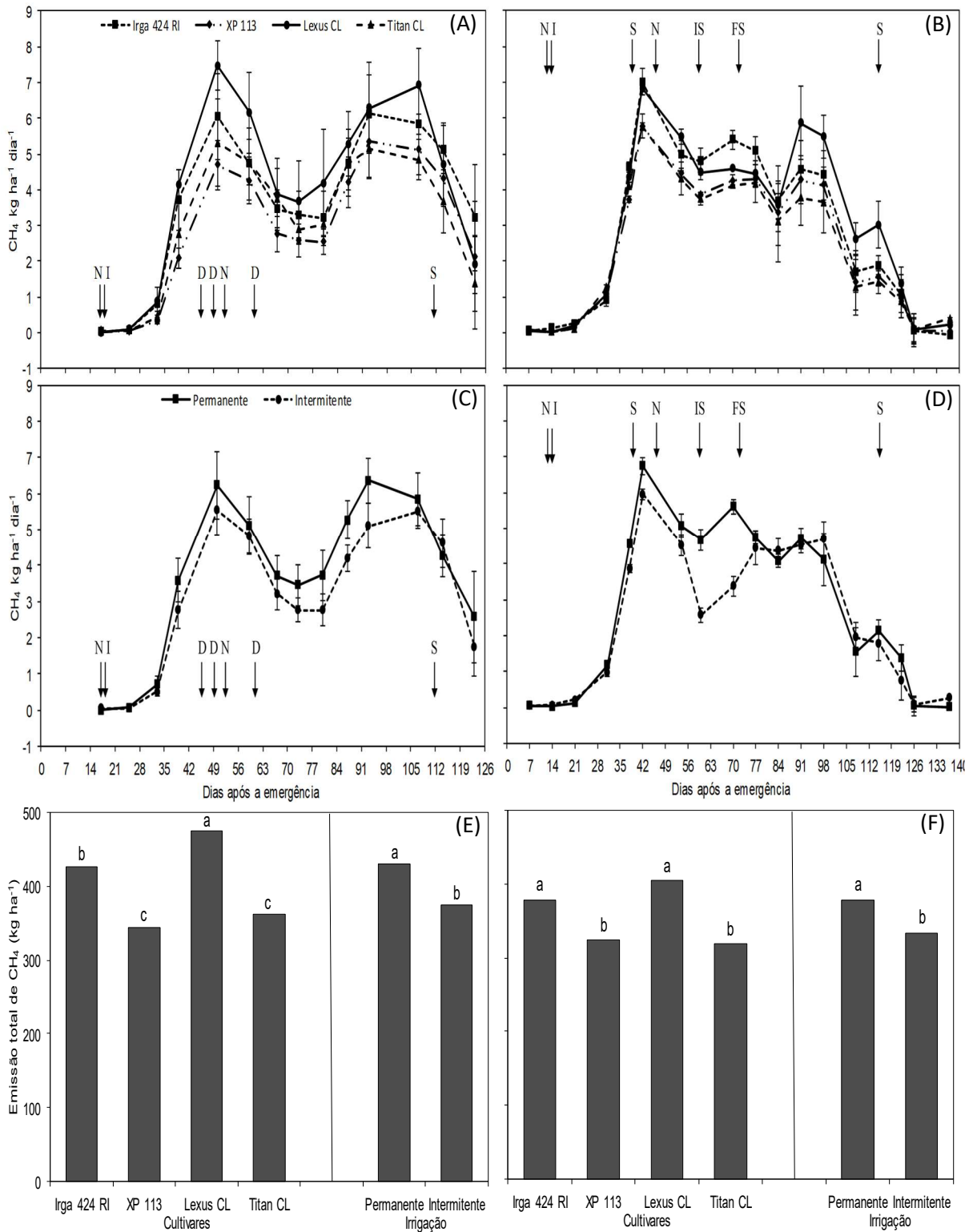


Figura 2 – (A, B, C e D) Fluxo médio diário e (E e F) emissão acumulada de CH₄ no solo sob (A e B) cultivares de arroz e (C e D) manejos da água no cultivo do arroz nas safras (A, C e D) 2016/17 e (B, D e F) 2017/18. As barras de erro representam os intervalos de confiança. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Santa Maria – RS, 2019. N - adubação nitrogenada, I - início da irrigação, D – drenagem, S - supressão da irrigação, IS – irrigação durante a supressão e FS - fim da supressão da irrigação.

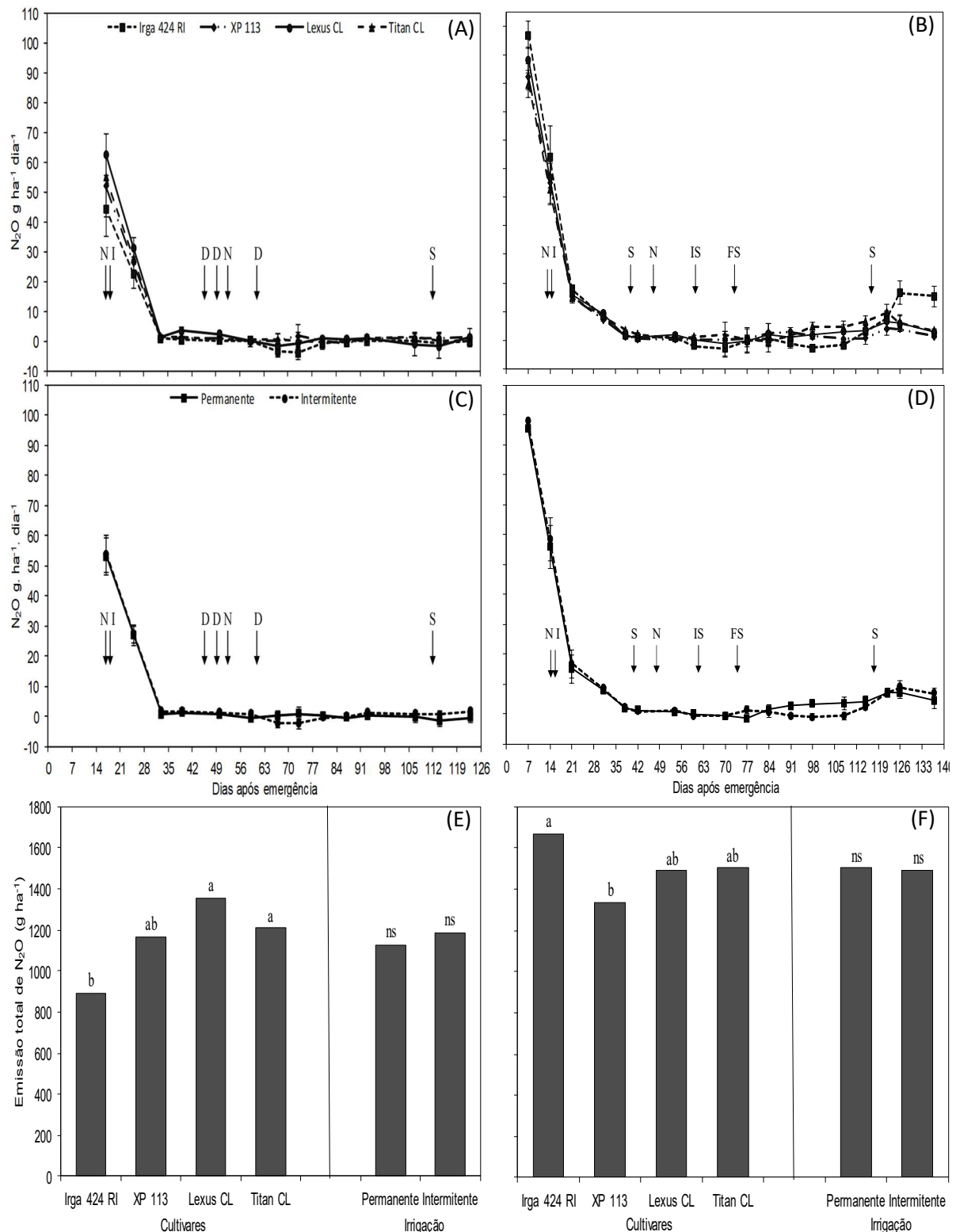


Figura 3 – (A, B, C e D) Fluxo médio diário e (E e F) emissão acumulada de N_2O no solo sob (A e B) cultivares de arroz e (C e D) manejos da água no cultivo do arroz nas safras (A, C e D) 2016/17 e (B, D e F) 2017/18. As barras de erro representam os intervalos de confiança. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Santa Maria – RS, 2019. N - adubação nitrogenada, I - início da irrigação, D – drenagem, S - supressão da irrigação, IS – irrigação durante a supressão e FS - fim da supressão da irrigação.

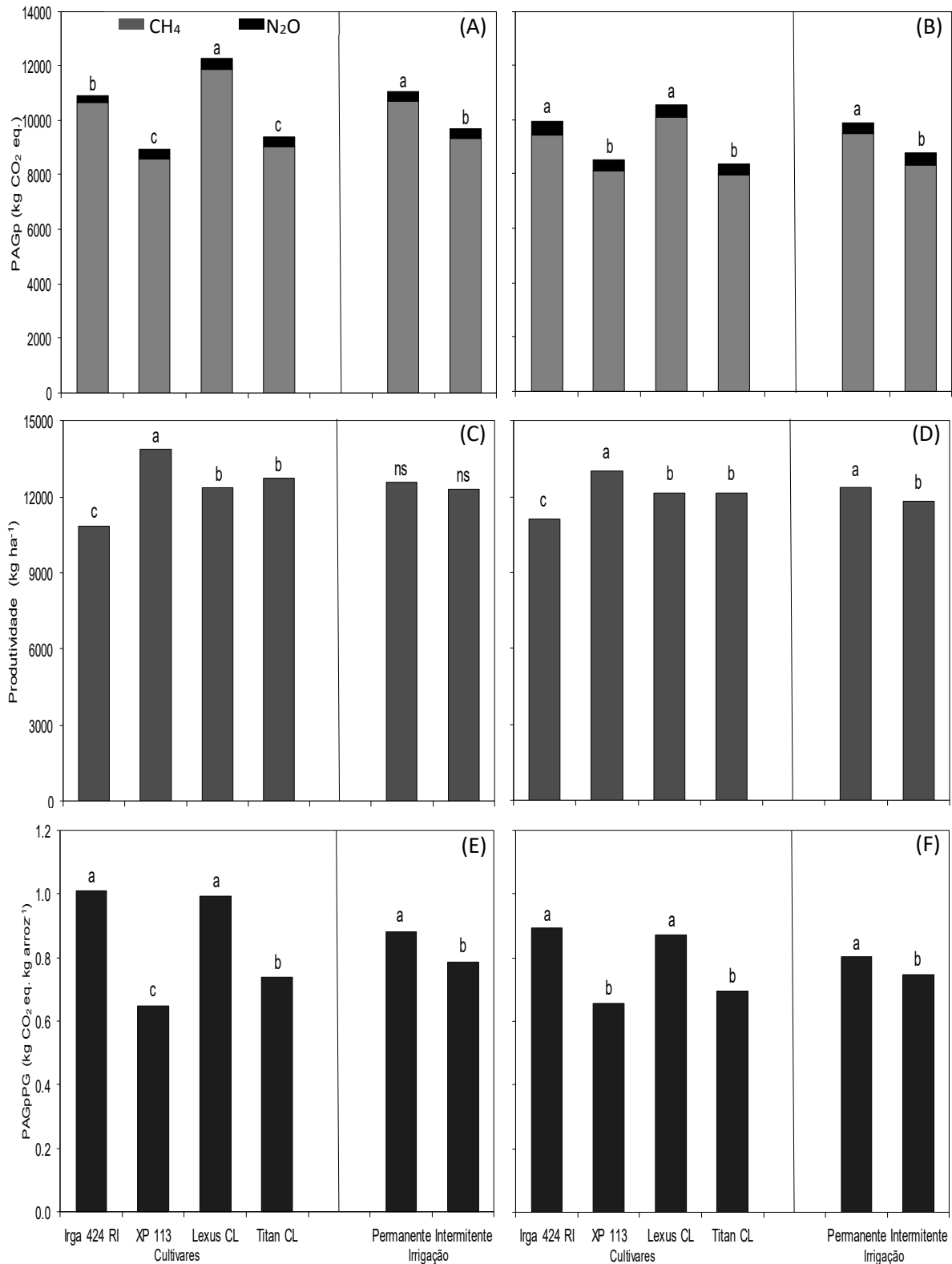


Figura 4 – (A e B) Potencial de aquecimento global parcial, (C e D) produtividade e índice PAGp/PG de cultivares de arroz e manejos da água no cultivo do arroz nas safras (A, C e E) 2016/17 e (B, D e F) 2017/18 em Santa Maria, RS. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. ^{ns} – não significativo. Santa Maria – RS, 2019.

2.3. CAPÍTULO 3

Nas normas da Journal of Agricultural Science

Características estruturais de cultivares de arroz sob manejos de irrigação

Resumo

O manejo da irrigação pode ocasionar alterações nas características morfológicas nas plantas de arroz. O objetivo deste trabalho foi avaliar as características estruturais de diferentes cultivares de arroz quando submetidas aos manejos de irrigação permanente e irrigação intermitente. O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia na Universidade Federal de Santa Maria e delineamento experimental em blocos ao acaso, com arranjo fatorial (2x4), referente ao manejo da água e cultivares de arroz, com quatro repetições. O manejo da água foi por irrigação permanente e intermitente com quatro cultivares de arroz, IRGA 424 RI, XP 113, Titan CL e Lexus CL. As avaliações foram realizadas na antese (estádio R4) da cultura do arroz. Foram avaliados número de colmos, estatura de plantas, massa seca da parte aérea, índice de área foliar, número, área e volume de aerênquimas e área e volume da fistula. A cultivar XP 113 apresenta menor área e volume de aerênquimas, bem como menor número de colmos por m² e massa seca da parte aérea, enquanto a cultivar Lexus CL apresenta maior massa seca da parte aérea, área e volume de aerênquimas e área e volume da fistula. O manejo da irrigação intermitente reduz a estatura de plantas, massa seca da parte aérea, área e volume de aerênquimas e área e volume da fistula.

Key-words: Área foliar, aerênquimas, manejo da água, *Oryza sativa*.

1. Introdução

A China é o maior produtor mundial de arroz e a área plantada do país corresponde a cerca de 19% da área global (An et al. 2018), com 144,50 milhões de toneladas colhidas, seguida pela Índia e Indonésia. O Brasil é o nono maior produtor mundial, com produção de cerca de 11,75 milhões de toneladas colhidas na safra 2017/18, e o Estado do Rio Grande do Sul (RS) é responsável por mais de 69% da produção brasileira (CONAB, 2018).

Toda a produção do RS é baseada no sistema de irrigação por inundação, onde ocorre a manutenção de lâmina contínua de água sobre a superfície do solo, a qual permanece por cerca de 80 a 100 dias, dependendo do ciclo da cultivar (Borin et al. 2016). Vários métodos de irrigação que visam a economia de água têm sido propostos para a cultura do arroz. A comparação da irrigação permanente e a intermitência, em estudos realizados na região Sul do Brasil, não demonstraram perdas significativas de produtividade com manejo de irrigação intermitente (Avila et al. 2014; Borin et al. 2016), por outro lado, em outras regiões, reduções no rendimento de grãos têm sido observadas com implantação de sistema de irrigação intermitente no Mediterrâneo (Mejjide et al. 2017). Estas reduções no rendimento de grãos são explicadas principalmente pela menor produção de matéria seca e na diminuição no crescimento foliar (Nguyen et al. 2009) quando utilizado o sistema de irrigação intermitente.

Dependendo do nível de intermitência da irrigação no arroz submetido as condições de alta demanda evapotranspirativa, poderá haver restrições hídricas às plantas, às quais tornar-se-ão dependentes do mecanismo de ajustamento estomático foliar, o qual, tende a minimizar a perda de água por transpiração ao mesmo tempo em que tenta manter a captura de carbono (CO₂), necessário para o seu crescimento e desenvolvimento (Lorenzoni 2014). Segundo Shao et al. (2015) o rendimento do arroz é uma função da produção de fotoassimilados pela fotossíntese e da sua translocação para os órgãos reprodutivos da planta. Praticamente toda matéria orgânica acumulada na planta tem origem no processo fotossintético (Anjos et al. 2014).

Em solos com condições de alagamento, devido a falta de oxigênio, as plantas de arroz desenvolvem espaços porosos, quando tais espaços se desenvolvem em tecidos parenquimáticos de origem do sistema fundamental (regiões corticais e medulares) classifica-se o tecido como aerênquima. Através dos aerênquimas o oxigênio é transportado da atmosfera até as raízes, suprindo as necessidades fisiológicas das plantas, sendo esse oxigênio liberado em partes na rizosfera do arroz (Armstrong 1980; Malik et al. 2003), desempenhando assim papel importante no transporte de gases entre a rizosfera e a atmosfera.

As trocas gasosas entre o solo e a atmosfera é realizada através de espaços aéreos internos das plantas. Como a inundação do solo afeta principalmente as raízes, as pesquisas têm focado seus estudos na formação de aerênquima

50 nas raízes. No entanto, a formação de aerênquima também ocorre no colmo e outros órgãos da parte aérea no arroz
51 (Steffens et al. 2011). Neste estudo, foi avaliado a área e o volume do aerênquima no colmo e possíveis efeitos do
52 regime de alagamento.

53 Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar as características estruturais de diferentes cultivares de arroz
54 quando submetidas aos manejos de irrigação permanente e irrigação intermitente.

55 2. Material e Métodos

56 O experimento foi conduzido a campo, na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade
57 Federal de Santa Maria (29°43'08.8"S, 53°43'18.6"W), nas safras 2016/17 e 2017/18. O clima do local é
58 subtropical úmido (tipo Cfa na classificação de Köppen) com precipitação média anual de 1.686 mm e temperatura
59 média anual de 19,3°C. O solo da é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico arênico, com as seguintes
60 características: $pH_{\text{água}}(1:1) = 4,6$; $P = 3,7 \text{ mg dm}^{-3}$; $K = 0,14 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e $M.O. = 10 \text{ g kg}^{-1}$.

61 O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial (2x4), referente ao manejo da água
62 e cultivares de arroz, com quatro repetições. Os tratamentos avaliados relacionados ao fator cultivar, foram
63 compostos por quatro cultivares de arroz, uma convencional (IRGA 424 RI) e três híbridos (XP 113, Titan CL e
64 Lexus CL). Em relação ao manejo da água, foram aplicados dois tratamentos: irrigação permanente, onde o solo
65 foi inundado no estádio V3, segundo a escala de Counce et al. (2000), mantendo lâmina de água de
66 aproximadamente 10 cm; e irrigação intermitente, onde o solo foi alagado em V3, mantendo-se a lâmina de água
67 de aproximadamente 10 cm até o estádio V6, aplicando a intermitência de irrigação até o estádio R3, quando se
68 reiniciou a irrigação permanente.

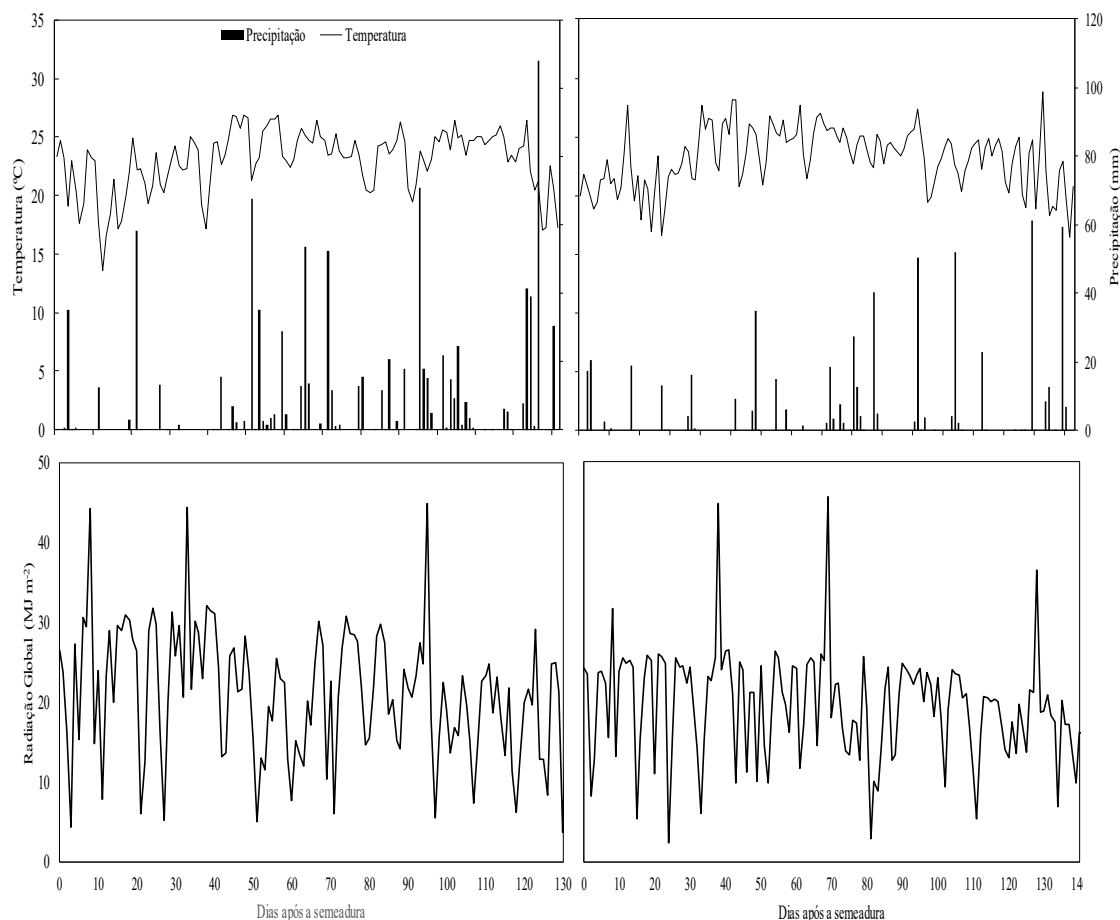
69 Na safra 2016/17 a semeadura do arroz foi realizada no dia 06 de novembro de 2016, e na safra 2017/18 em 01 de
70 novembro de 2017. Em ambas as safras as densidades de semeadura utilizadas foram de 90 e 45 kg ha^{-1} , para a
71 cultivar IRGA 424 RI e para as cultivares híbridas (XP 113, Lexus CL e Titan CL), respectivamente, com
72 espaçamento de 0,17 m entrelinhas e com total de 18 fileiras em cada parcela de área de 13,77 m^2 . A adubação de
73 base foi com o fornecimento de 400 kg ha^{-1} da fórmula 05-20-20. A emergência de plantas ocorreu no dia
74 14/11/2016 e 10/11/2017, nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente.

75 Nas duas safras, no estádio V3 realizou-se a primeira adubação nitrogenada de cobertura, com o fornecimento de
76 100 kg ha^{-1} de N, assim como adubação potássica de 40 kg ha^{-1} de K_2O . No estádio V8/R0 foi realizada a segunda
77 adubação nitrogenada de cobertura, com a dose de 50 kg de N ha^{-1} , totalizando o fornecimento de 170 kg ha^{-1} de
78 N (Ureia), 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Superfosfato simples) e 120 kg ha^{-1} de K_2O (KCl), em ambas as safras. Os demais
79 tratamentos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da SOSBAI (2018).

80 2.1 Manejo da água

81 O início da irrigação foi no estádio V3 em ambas as safras, sendo aos 17 e 14 dias após a emergência de plantas
82 (DAE), nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente. O fornecimento de água por meio da irrigação foi realizado
83 igualmente até o estádio V6, a partir deste estádio foi cessado o fornecimento de água por meio de irrigação no
84 manejo intermitente.

85 Na safra 2016/17, devido às condições meteorológicas (Fig. 1A-D) foram realizadas três drenagens do solo
86 (28/12/16, 05/01/17 e 17/01/17) para que o tratamento de irrigação intermitente não permanesse com lâmina de
87 água. A primeira drenagem foi realizada um dia após precipitação de 67,6 mm, porém devido a precipitações nos
88 dias seguintes, o solo se manteve saturado, devido a presença de lâmina de água. Oito dias após primeira drenagem,
89 realizou-se nova drenagem do solo, devido a precipitação acumulada de 80,4 mm durante este intervalo de dias.
90 A terceira drenagem foi realizada após precipitação acumulada de 146,2 mm, não havendo precipitação acima de
91 1 mm na semana seguinte, permanecendo sem a presença de lâmina de água até o estádio R3. Na safra 2017/18
92 nos tratamentos com manejo da irrigação intermitente foi realizada a irrigação do solo em apenas uma ocasião
93 entre os estádios V6 e R3, realizando o fornecimento de água em 09/01/2018, pois nesta data a umidade do solo
94 se encontrava conforme proposto por Avila et al. (2015). No estádio R3 (30/01/2017 e 23/01/2018, nas safras
95 2016/17 e 2017/18, respectivamente) reiniciou-se o fornecimento de água aos tratamentos com manejo de irrigação
96 intermitente.



97

98

99 **Figura 1.** Variação diária da (A e B) temperatura média, precipitação pluvial e (C e D) radiação solar global em
 100 Santa Maria, RS nas safras (A e C) 2016/17 e (B e D) 2017/18. Santa Maria – RS, 2019.

101 2.2 Coleta de plantas para avaliações

102 A avaliação de massa seca da parte aérea, estatura de plantas, número e diâmetro de colmos e índice de área foliar
 103 foram realizadas no estágio R4. Foi determinado o número de colmos em um metro linear em cada unidade
 104 experimental, sendo posteriormente transformados a colmos m^{-2} . A coleta de massa seca da parte aérea foi
 105 realizada por corte das plantas rente ao solo, sendo o corte realizado em um metro linear da segunda linha de
 106 semeadura em cada unidade experimental. O material coletado foi levado a estufa de circulação de ar forçado à
 107 $65^{\circ}C$ até obtenção de massa constante. Após os valores foram calculados para massa seca da parte aérea m^{-2} .
 108 A estatura de planta foi determinada por meio da medição de plantas, com auxílio de régua graduada. O diâmetro de
 109 colmo foi aferido em 10 colmos em sequência na linha de semeadura, com a utilização de paquímetro digital.

110 A determinação da área foliar foi realizada por meio da medição do comprimento e largura das folhas e,
 111 posteriormente, as folhas foram secas em estufa a $65^{\circ}C$ para a obtenção da matéria seca das folhas. O índice de
 112 área foliar (IAF) foi calculado realizando a amostragem de 20 folhas por parcela experimental, seguindo
 113 metodologia proposta por Yoshida (1981).

114 Para a análise anatômica, com ênfase ao aerênquima, foi realizada a coleta de três plantas por parcela, onde na
 115 mesma foi selecionado o colmo primário para avaliação. Foi realizado o corte logo acima da primeira coroa,
 116 selecionando-se, portanto, o primeiro entrenó. Logo após a coleta, os segmentos de entrenó foram subdivididos
 117 em amostras menores para fixação química. A fixação química ocorreu em solução de glutaraldeído a 3% em
 118 tampão fosfato de sódio 0,1M e pH 7,2. As amostras imersas em fixador foram submetidas a vácuo durante 24
 119 horas. Posteriormente, as amostras foram desidratadas em série etanólica. Após a desidratação, as amostras foram
 120 a pré-infiltração em solução com resina a base de hidroxietilmetacrilato (HEMA) e etanol absoluto, na proporção
 121 1:1, por 24 horas, posteriormente, as amostras foram imersas em HEMA por 24 horas. Blocos de resina contendo
 122 as amostras foram cortados em micrótomo Leica RM 2245, sendo feitas seções transversais aos colmos, com
 123 espessura de 5 μm . As seções resultantes foram afixadas a lâminas histológicas, as quais foram coradas com azul
 124 de toluidina a 0,05% em tampão benzoato de sódio. As lâminas histológicas foram analisadas em estereoscópio

125 Leica M80, equipado com câmera fotográfica digital Leica DFC 295 por meio da qual foram feitos registros
126 fotográficos com auxílio do software LAS 4.0. As imagens geradas foram analisadas por meio do software ImageJ.
127 Foram mensurados número, área e volume de aerênquimas e da fistula por colmo e por m².

128 2.3 Análise estatística

129 Os dados foram submetidos a análise de variância até 5% de probabilidade e quando significativo, ao teste de
130 Tukey até 5% de probabilidade para a comparação de médias, utilizando-se do programa estatístico SISVAR.

131 3. Resultados

132 Nas duas safras amostradas, o número de colmos m⁻² diferenciou-se apenas em função das cultivares avaliadas,
133 não havendo diferença entre os sistemas de irrigação utilizados. A cultivar IRGA 424 RI apresentou maior número
134 de colmos na safra 2016/17. Na safra 2017/18 a cultivar IRGA 424 RI não diferiu das cultivares Titan CL e Lexus
135 CL. A cultivar XP 113, apresentou a menor número de colmos por m² entre todos os materiais testados, nas duas
136 safras (Tabela 1).

137 Para estatura de plantas, a cultivar Lexus CL foi a com maior estatura na safra 2016/17. A cultivar Lexus CL não
138 se diferenciou da Titan CL na safra 2017/18. A cultivar IRGA 424 RI apresentou menor estatura em ambas as
139 safras, sem se diferenciar da XP 113 na safra 2016/17. Em relação ao manejo da irrigação, em ambas as safras,
140 observou-se maior estatura de plantas quando a irrigação foi mantida permanentemente.

141 Não houve diferença na produção de massa seca da parte aérea na safra 2016/17 entre as cultivares, assim como
142 para o manejo da irrigação. Na safra 2017/18 a cultivar XP 113 foi a que teve menor produção de massa seca da
143 parte aérea, e a intermitência de irrigação do arroz resultou em redução de 6,34% para esta variável em relação ao
144 tratamento com irrigação permanente.

145 Houve efeito isolado para as cultivares avaliadas nas duas safras em relação ao diâmetro de colmos, sendo que a
146 cultivar IRGA 424 RI apresentou colmos com menores diâmetros em ambas as safras, não se diferenciando das
147 Lexus CL e Titan CL na safra 2017/18. Não foi observada em nenhuma das duas safras diferença no diâmetro do
148 colmo entre as cultivares XP 113, Lexus CL e Titan CL.

149 **Tabela 1.** Número de colmos m⁻² (NC), estatura de plantas em cm (EP), massa seca da parte aérea em g m⁻²
150 (MSPA) e diâmetro de colmo em mm (DC) de cultivares de arroz no estádio R4 submetidas a irrigação permanente
151 e intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18. Santa Maria – RS, 2019

Tratamentos	Variáveis Analisadas			
	Safra 2016/17			
Cultivares	Número de colmos	Estatura de plantas	Massa seca da parte aérea	Diâmetro de colmo
Irga 424 RI	716 a*	99 c	1889,29 ^{ns}	6,30 b
XP 113	485 c	101 c	1895,29	8,02 a
Titan CL	563 b	106 b	2228,47	7,39 a
Lexus CL	494 bc	110 a	1877,12	8,02 a
Irrigação				
Permanente	583 ^{ns}	106 a	1988,94 ^{ns}	7,52 ^{ns}
Intermitente	546	102 b	1956,12	7,35
C.V. (%)	9,20	2,53	13,97	7,34
Safra 2017/18				
Cultivares	Número de colmos	Estatura de plantas	Massa seca da parte aérea	Diâmetro de colmo
Irga 424 RI	743 a	84 c	1573,09 b	7,76 b
XP 113	634 b	91 b	1425,51 b	8,50 a
Titan CL	654 ab	105 a	1729,85 a	8,42 ab
Lexus CL	674 ab	101 a	1727,87 a	8,36 ab
Irrigação				
Permanente	696 ^{ns}	97 a	1666,95 a	8,30 ^{ns}
Intermitente	657	94 b	1561,21 b	8,22
C.V. (%)	9,97	4,19	6,57	6,18

152 *Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (< 0,05).^{ns} Não significativo
153 na coluna à 5% de probabilidade de erro.

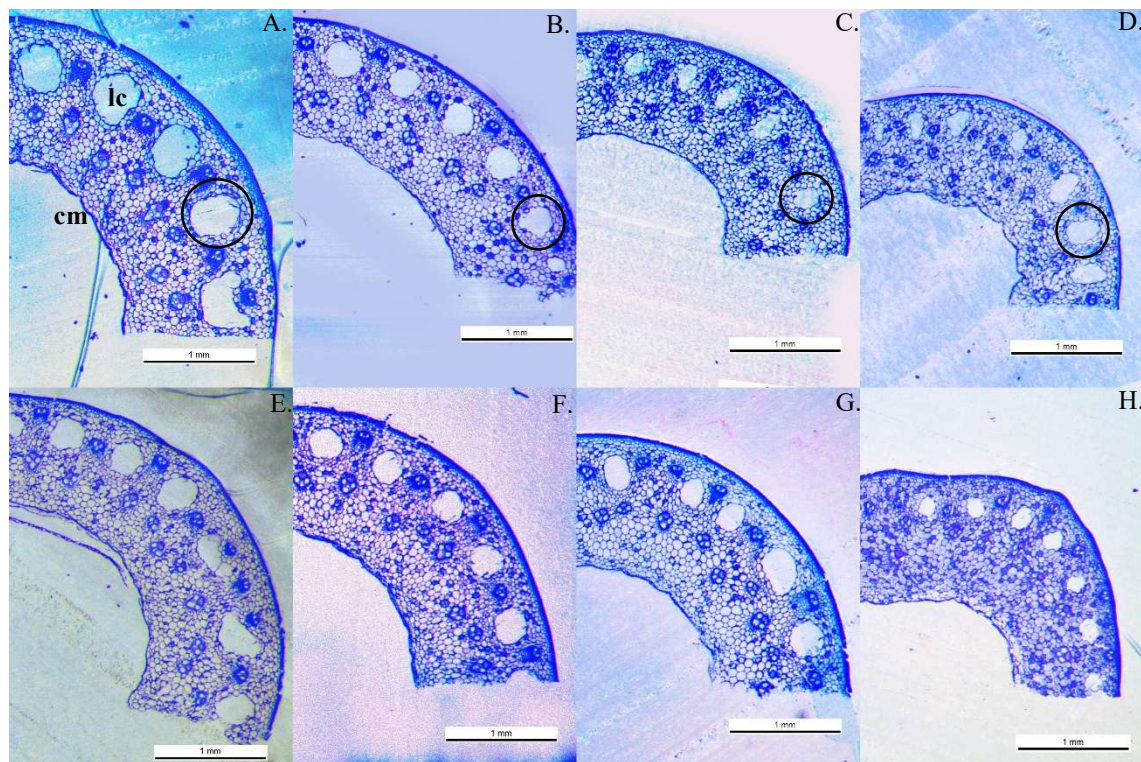
154 Conforme tabela 2, houve variação no número lacunas na região cortical, por colmo em relação as cultivares nas
 155 duas safras, porém não apresentou diferença em relação ao manejo da irrigação. A cultivar Lexus CL, nas safras
 156 2016/17 e 2017/18, foi a que apresentou maior área de aerênquima por colmo (Fig. 2A e E), sendo que na safra
 157 2016/17 a IRGA 424 RI apresentou menor área de aerênquima por colmo (Fig. 2D), porém na safra 2017/18 não
 158 houve diferença entre a IRGA 424 RI (Fig. 2H) e a XP 113 (Fig. 2G). Lexus CL também foi a cultivar que
 159 apresentou maior volume de aerênquimas, área e volume da fistula nas safras 2016/17 e 2017/18, porém a Lexus
 160 CL não se diferenciou das XP 113 e Titan CL para volume da fistula na safra 2017/18.

161 **Tabela 2.** Número de aerênquimas, área de aerênquimas (mm²), volume de aerênquimas (m³), área da fistula (mm²)
 162 e volume da fistula (m³) por colmo de cultivares de arroz no estágio R4 submetidas a irrigação permanente e
 163 intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18. Santa Maria-RS, 2019.

Tratamentos		Variáveis Analisadas			
Safr 2016/17					
Cultivares	Número de aerênquimas	Área de aerênquimas	Volume de aerênquimas	Área da fistula	Volume da fistula
IRGA 424 RI	24,5 b*	1,05 c	7,7 x 10 ⁻⁹ b	3,54 c	26,1 x 10 ⁻⁹ c
XP 113	24,8 b	1,52 b	10,2 x 10 ⁻⁹ b	6,24 b	39,9 x 10 ⁻⁹ b
Titan CL	26,5 a	1,56 b	10,4 x 10 ⁻⁹ b	7,39 a	49,8 x 10 ⁻⁹ b
Lexus CL	27,3 a	1,90 a	15,5 x 10 ⁻⁹ a	8,09 a	65,4 x 10 ⁻⁹ a
Irrigação					
Permanente	25,4 ^{ns}	1,63 a	12,5 x 10 ⁻⁹ a	6,32 ^{ns}	48,0 x 10 ^{-9ns}
Intermitente	26,1	1,39 b	9,4 x 10 ⁻⁹ b	6,31	42,6 x 10 ⁻⁹
C.V. (%)	4,06	13,15	27,33	12,21	20,86
Safr 2017/18					
Cultivares	Número de aerênquimas	Área de aerênquimas	Volume de aerênquimas	Área da fistula	Volume da fistula
IRGA 424 RI	27,5 a	0,89 c	6,5 x 10 ⁻⁹ c	3,97 d	27,9 x 10 ⁻⁹ b
XP 113	26,0 ab	0,92 c	6,2 x 10 ⁻⁹ c	5,46 b	38,0 x 10 ⁻⁹ a
Titan CL	24,0 bc	1,19 b	9,6 x 10 ⁻⁹ b	4,77 c	37,0 x 10 ⁻⁹ a
Lexus CL	25,0 c	1,58 a	10,8 x 10 ⁻⁹ a	5,67 a	40,8 x 10 ⁻⁹ a
Irrigação					
Permanente	25,5 ^{ns}	1,19 a	9,4 x 10 ⁻⁹ a	5,18 a	40,2 x 10 ⁻⁹ a
Intermitente	25,6	1,11 b	7,1 x 10 ⁻⁹ b	4,75 b	31,6 x 10 ⁻⁹ b
C.V. (%)	4,86	5,05	9,12	2,87	10,73

164 *Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (< 0,05).^{ns} Não significativo
 165 na coluna à 5% de probabilidade de erro.

166 Em relação ao manejo da irrigação houve diferença em ambas as safras apenas para as variáveis área e volume de
 167 aerênquimas por colmo, apresentando maiores valores no tratamento com irrigação permanente (Fig. 2 A, C, E e
 168 G). Para área e volume da fistula por colmo só houve diferença na safra 2017/18, com maiores valores para o
 169 manejo de irrigação permanente. Em relação ao número de aerênquimas por colmo não houve diferença em função
 170 do manejo da irrigação. A figura 2 apresenta o corte da seção transversal de colmo das plantas de arroz das
 171 cultivares Lexus CL (Fig. 2A e E) a, Titan CL (Fig. 2B e F), XP 113 (Fig. 2C e G) e IRGA 424 RI (Fig. 2D e H)
 172 sob os manejos de irrigação permanente (Fig. 2A, C, E e G) e intermitente (Fig. 2B, D, F e H).



173

174 **Figura 2.** Seções transversais de colmos de cultivares de *Oryza sativa* (arroz) na região do primeiro entrenó visível
 175 (A e E) Lexus CL, (B e F) Titan CL, (C e G) XP 113 e (D e H) IRGA 424 RI submetidas ao manejo de irrigação
 176 (A, B, C e D) permanente e (E, F, G e H) intermitente. Santa Maria -RS, 2019. Os círculos destacam a diferença
 177 das dimensões de lacunas (lc) dos aerênquimas na região cortical entre as cultivares. Cavidade medular: cm.

178 Na tabela 3 podem ser observados o número, área e volume das lacunas principais da região cortical por m² e área
 179 e volume da cavidade medular por m². A cultivar IRGA 424 RI apresentou maior número de aerênquimas m² em
 180 ambas as safras, porém não se diferenciou da XP 113 na safra 2017/18. Em ambas as safras a cultivar Lexus CL
 181 foi a que apresentou maiores áreas e volumes de aerênquimas por m² e também da fístula por m², porém não se
 182 diferenciando da cultivar Titan CL para área (safra 2016/17) e volume (safras 2016/17 e 2017/18) de aerênquimas
 183 por m² e área (safra 2016/17) e volume (safras 2016/17 e 2017/18) da fístula por m² e nem das cultivares XP 113
 184 (volume de aerênquimas na safra 2016/17 e aérea e volume da fístula na safra 2017/18) e IRGA 424 RI (volume
 185 de aerênquimas na safra 2017/18).

186 **Tabela 3.** Número de aerênquimas, área de aerênquimas (mm²), volume de aerênquimas (m³), área da fístula
 187 (mm²), volume da fístula (m³) e espessura do córtex (mm) por m² de cultivares de arroz no estágio R4 submetidas
 188 a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18. Santa Maria-RS, 2019.

Tratamentos		Variáveis Analisadas			
Safra 2016/17					
Cultivares	Número de aerênquimas	Área de aerênquimas	Volume de aerênquimas	Área da fístula	Volume da fístula
IRGA 424 RI	17551 a*	758,7 b	5,6 x 10 ⁻⁶ ab	2537,3 b	18,8 x 10 ⁻⁶ b
XP 113	12017 c	736,1 b	4,8 x 10 ⁻⁶ b	3062,8 b	19,2 x 10 ⁻⁶ b
Titan CL	14901 b	880,3 ab	6,0 x 10 ⁻⁶ ab	4171,3 a	28,8 x 10 ⁻⁶ a
Lexus CL	13457 bc	940,3 a	7,7 x 10 ⁻⁶ a	3996,6 a	32,4 x 10 ⁻⁶ a
Irrigação					
Permanente	14723 ^{ns}	930,2 a	7,1 x 10 ⁻⁶ a	3575,4 ^{ns}	27,3 x 10 ⁻⁶ a
Intermitente	14240	727,6 b	4,9 x 10 ⁻⁶ b	3308,6	22,3 x 10 ⁻⁶ b
C.V. (%)	10,85	14,89	25,70	16,66	25,38
Safra 2017/18					
Cultivares	Número de aerênquimas	Área de aerênquimas	Volume de aerênquimas	Área da fístula	Volume da fístula

IRGA 424 RI	19362 a	681,9 c	4,8 x 10 ⁻⁶ b	2946,8 b	20,7 x 10 ⁻⁶ b
XP 113	17296 ab	564,7 c	4,0 x 10 ⁻⁶ b	3463,0 ab	24,4 x 10 ⁻⁶ ab
Titan CL	16198 b	803,8 b	6,5 x 10 ⁻⁶ a	3207,7 b	25,0 x 10 ⁻⁶ ab
Lexus CL	16424 b	1035,2 a	7,1 x 10 ⁻⁶ a	3758,5 a	27,2 x 10 ⁻⁶ a
Irrigação					
Permanente	17415 ^{ns}	810,2 a	6,4 x 10 ⁻⁶ a	3527,3 a	27,4 x 10 ⁻⁶ a
Intermitente	17225	732,6 b	4,8 x 10 ⁻⁶ b	3160,7 b	21,2 x 10 ⁻⁶ b
C.V. (%)	12,11	11,01	14,89	11,21	18,94

189 *Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (< 0,05).^{ns} Não significativo
190 na coluna à 5% de probabilidade de erro.

191 Não foi observada diferença no número de aerênquimas por m² em função do manejo da irrigação em ambas as
192 safras, bem como para área da fistula por m² na safra 2016/17. A irrigação permanente resultou em maior área e
193 volume de aerênquimas por m² em ambas as safras, assim como para volume da fistula por m². A irrigação
194 permanente resultou em maior área da fistula por m² apenas na safra 2017/18.

195 Na safra 2016/17 a cultivar IRGA 424 RI, submetida ao manejo de irrigação permanente, apresentou maior IAF.
196 Na safra 2017/18 a cultivar Lexus CL apresentou maior IAF para ambos os manejos de irrigação. Na segunda
197 safra, a cultivar IRGA 424 RI apresentou IAF em termos absolutos menor em relação a Lexus CL, valores estes
198 que não diferiram estatisticamente (Tabela 4). A cultivar IRGA 424 RI também foi a única a apresentar redução
199 do IAF em função do manejo da irrigação intermitente em ambas as safras. A cultivar Titan CL apresentou redução
200 do IAF com aplicação de irrigação intermitente apenas na safra 2016/17. A cultivar XP 113, na safra 2017/18, foi
201 a única a apresentar aumento do IAF com aplicação de irrigação intermitente.

202 **Tabela 4.** Índice de área foliar de cultivares de arroz no estádio R4 submetidas a irrigação permanente e
203 intermitente nas safras 2016/17 e 2017/18. Santa Maria-RS, 2019.

Cultivares	2016-17			2017-18		
	-----Irrigação-----			-----Irrigação-----		
	Permanente	Intermitente	Média	Permanente	Intermitente	Média
IRGA 424 RI	9,23 aA*	7,35 aB	8,29	9,31 aA	8,19 abB	8,75
XP 113	5,93 bA	6,02 bA	5,98	7,00 bB	7,86 bA	7,43
Titan CL	6,48 bA	5,55 bB	6,02	7,86 bA	7,87 bA	7,87
Lexus CL	6,28 bA	6,34 abA	6,31	9,80 aA	9,15 aA	9,48
Média	6,98	6,32		8,49	8,27	
C.V. (%)	8,58			5,88		

204 *Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste
205 Tukey (< 0,05).

206 4. Discussão

207 Os resultados de número de colmos são semelhantes aos obtidos por Wang et al. (2016). A não diferença
208 significativa do número de colmos m⁻² em função do manejo da irrigação pode estar relacionado com o período
209 em que foi aplicado o tratamento de irrigação intermitente, pela umidade do solo ou até mesmo pela capacidade
210 de perfilhamento das cultivares adotadas (Kaya-Alttop et al. 2019).

211 Durante o ciclo de cultivo foi observado que as cultivares Lexus CL e Titan CL apresentaram maior
212 desenvolvimento e crescimento inicial, pois segundo Liang et al. (2016) a resposta ao manejo da irrigação pode
213 ser diferente para cada cultivar. A retirada da lâmina de água no solo resultou em menor estatura das plantas
214 submetidas ao manejo de irrigação intermitente entre os estádios V6 e R3, com diferença de 0,04 e 0,03 m entre
215 as plantas irrigadas permanentes e as intermitentes, nas safras 2016/17 e 2017/18, respectivamente. Esses
216 resultados são similares aos obtidos por Zou et al. (2007), que observaram relação negativa entre o déficit de água
217 e a estatura de plantas de arroz. Plantas de maior estatura tendem a possuir maior produção de massa seca, como
218 observado no presente estudo. Rector et al. (2018) em estudos com duas cultivares, uma híbrida e uma
219 convencional, observaram que a biomassa da parte aérea não foi afetada pela prática de manejo da água, mas
220 diferiu entre as cultivares, com a cultivar híbrida produzindo 20% a mais que a cultivar convencional.

221 O crescimento vegetal em geral está relacionado ao processo primário de assimilação, absorção de CO₂ e de
222 minerais (Taiz & Zeiger 2013), sendo assim, a maior produção de massa seca da parte aérea das cultivares Titan
223 CL e Lexus CL no estágio R4, podem estar relacionadas com as taxas de fotossíntese dessas cultivares. As
224 cultivares Titan CL e Lexus CL também apresentaram maior volume de aerênquimas e da fistula, que servem
225 como condutores de gases no interior das plantas no processo de trocas gasosas entre o solo e a atmosfera (Wang
226 et al. 1997).

227 No estágio R4 as plantas de arroz se encontram em seu maior índice de área foliar, sendo assim, as cultivares com
228 menor estatura e número de colmos podem apresentar maior área foliar e até mesmo colmos mais vigorosos. As
229 plantas que apresentaram colmos com maiores diâmetros também apresentaram maior área da fistula, com a
230 cultivar Lexus CL apresentando maior área de fistula por colmo em relação às demais cultivares.

231 O tamanho da fistula, é primariamente afetado pelo diâmetro da região presumida em que a mesma irá se
232 desenvolver, usualmente internamente aos feixes vasculares mais profundos radialmente, e segundo Zhang et al.
233 (2016) plantas com maior área da fistula tendem a ser mais suscetíveis ao acamamento, bem como plantas com
234 maior espessura do córtex possuem maior resistência ao acamamento e também maior capacidade de
235 armazenamento de reservas, pois as células dentro do córtex também podem conter carboidratos armazenados ou
236 outras substâncias (Tripathi et al. 2014), que podem ser utilizados como locais de armazenamento para produtos
237 da fotossíntese.

238 Os tecidos periféricos são constituídos por elementos esclerenquimáticos que garantem a estabilidade do colmo à
239 medida que a fistula aumenta em diâmetro. Este reforço faz-se necessário para que o colmo mantenha-se ereto, em
240 condições de ampliação da fistula pela desintegração das paredes das células do córtex, a própria fistula pode ser
241 usada pela planta como um órgão de transporte de oxigênio da parte aérea para as raízes das plantas, constituindo
242 assim um grande aerênquima (Kraehmer et al. 2013).

243 O número e diâmetro de colmos desempenha importante papel na avaliação das características morfológicas e
244 estruturais de plantas, possuindo função de sustentação e também como órgão de reservas de carboidratos. Assim,
245 plantas com maior diâmetro de colmos, em geral, são mais resistentes ao acamamento (Bonfim-Silva et al. 2016),
246 influenciando na nutrição da planta assim como suas atividades metabólicas e no comprimento de panículas
247 (Huang et al. 2013). Os resultados apresentados demonstram que plantas com maior número de colmos possuem
248 colmos de menor diâmetro e também em geral possuem plantas com menor estatura, sendo que a relação destes
249 três componentes da planta, junto com o IAF, influenciaram diretamente na produção de massa seca.

250 Em relação ao número de aerênquimas por m², o número de colmos m² influenciou diretamente nesta variável em
251 ambas as safras, tanto para as cultivares quanto para o manejo da irrigação. A cultivar IRGA 424 RI apresentou,
252 na primeira safra, o menor número de aerênquimas por colmo e maior número de aerênquimas por m², pois a
253 mesma dentre as cultivares avaliadas foi a que apresentou maior perfilhamento, o número de colmos por m²
254 também influenciou na área e volume de aerênquimas por m² e área e volume da fistula por m². As variáveis
255 relacionadas aos espaços intercelulares no interior da planta são de importante avaliação pois podem estar
256 diretamente relacionadas com as trocas gasosas que ocorrem entre o solo e a atmosfera, mediadas pelas plantas de
257 arroz (Bhattacharyya et al. 2019), pois mesmo com menores áreas ou volumes dessas estruturas por planta, o maior
258 perfilhamento resulta em maior área e/ou volume dessas por unidade de área.

259 Investigações fisiológicas mostraram que a formação de aerênquima também pode resultar da estimulação por
260 outros fatores, como etileno, espécies reativas de oxigênio (ROS), sinalização de cálcio e degradação enzimática
261 da parede celular (Yamauchi et al. 2014). Embora o aerênquima seja prontamente formado quando algumas
262 espécies de plantas são expostas a condições anóxicas, em arroz, o mesmo se forma rapidamente inclusive em
263 ambientes bem arejados (Jackson et al. 1985).

264 O aerênquima nas plantas de arroz, de maneira geral, apresenta caráter específico para cada cultivar e manejo da
265 água, pois o aspecto morfológico e a distribuição dos mesmos são diferentes entre cultivares (Li et al. 2013;
266 Bhattacharyya et al. 2019). O aerênquima se desenvolve de acordo com o crescimento das plantas, sendo afetado
267 também pelas características da rizosfera do solo (Han et al. 2013). Desta forma, as cultivares podem apresentar
268 diferença na capacidade de transporte de gases, principalmente devido a variações na quantidade de aerênquima
269 por planta (Smartt et al. 2016), assim como por unidade de área.

270 O desenvolvimento de aerênquima não só aumenta o movimento de O₂ para tecidos submersos, mas também
271 promove a ventilação de gases para a atmosfera a partir desses tecidos, fornecem um benefício fotossintético pelo
272 fornecimento de CO₂ a partir da respiração da raiz e pelo transporte para os espaços intercelulares das folhas
273 (Tokida et al. 2013). Portanto, embora a função primária dos aerênquimas seja transportar O₂ para as raízes, outros

274 gases também podem ser transportados do solo para a atmosfera via aerênquima, como CO₂, N₂, N₂O e o CH₄
275 (Wang et al. 1997), que são gases que demandam uma grande quantidade de estudos relacionados a cultura do
276 arroz, devido ao potencial de aquecimento global dos mesmos.

277 Variações na taxa de produção (e emissão) de CH₄ dependem de variações nos parâmetros que determinam o
278 estado fisiológico da planta de arroz, como a oferta de nutrientes, temperatura, luz solar e água (Sass & Cicerone
279 2002). Esses autores também afirmam que o C produzido fotossinteticamente é alocado dentro da planta de arroz
280 de maneira razoavelmente uniforme e que existe proporção entre o C destinado para produção da biomassa da
281 parte aérea com o destinado aos processos radiculares e, conseqüentemente, a produção de CH₄ permanece
282 constante ao longo do tempo.

283 Em média, a área de aerênquimas representou 3,44% em relação a área do colmo, com menores valores sendo
284 observados para a cultivar XP 113 e para o manejo de irrigação intermitente, com 3,01 e 3,28% da área do colmo,
285 respectivamente, na safra 2016/17. Na safra 2017/18 a área de aerênquimas representou 2,13% da área do colmo,
286 também com menores valores para a cultivar XP 113 e para o manejo da irrigação intermitente.

287 Segundo Bhattacharyya et al. (2019) cultivares de arroz com menor espaço de aerênquimas apresentam menor
288 potencial de emissão de CH₄, o que pode ser devido à redução do transporte de CH₄ do solo para a atmosfera e a
289 associação do número de perfilhos e a razão dos espaços intercelulares desempenham um papel importante na
290 moderação do transporte e emissão de CH₄. Higuchi et al. (1984) afirmaram que o CO₂ dissolvido na água
291 absorvida, precipita na região cortical das raízes das plantas de arroz e pode mover-se para os entrenós no estado
292 gasoso. Como o CH₄ é menos solúvel em água e mais facilmente gaseificado do que o CO₂, também pode ser
293 assumido que o CH₄ absorvido pelas raízes pode ser gaseificado no córtex da raiz e transportado no estado gasoso
294 para o colmo através do aerênquima e do espaço intercelular.

295 Segundo Hollzschuh et al. (2010) as plantas que possuem maior capacidade de formar aerênquima teoricamente
296 transportam mais O₂ para a ponta das raízes. No sentido inverso, plantas com maior formação de aerênquimas
297 podem transportar mais CH₄ do solo para a atmosfera, pois o efeito da presença de plantas de arroz é fundamental
298 para o processo de emissão de CH₄, visto que 60 a 90% do gás que chega à atmosfera passa pelas plantas de arroz
299 e, na ausência de plantas de arroz, a quantidade emitida é insignificante, podendo o resultado ser em função das
300 diferenças na capacidade de transporte de metano entre cultivares de arroz (Le Mer & Roger 2001; Smartt et al.
301 2016).

302 A cultivar Lexus CL foi a que apresentou maior área e volume de aerênquimas por m² e também a com maior
303 emissão de CH₄ dentro das condições avaliadas, em contra partida, a XP 113 apresentou menor área e volume de
304 aerênquimas por m² e menor emissão de CH₄ dentro das condições avaliadas, também houve menor emissão de
305 CH₄ com aplicação do manejo de irrigação intermite, que também apresentaram menores dimensões de
306 aerênquimas em relação ao manejo de irrigação permanente (JAS Nunes unpubl. res.), esses resultados
307 demonstram que as dimensões dos aerênquimas podem ser determinantes nas trocas gasosas nas plantas de arroz,
308 bem como na emissão de gases do solo para a atmosfera.

309 O aumento do IAF na safra 2016/17 em relação a safra 2017/18 para todas as cultivares está relacionada ao maior
310 número de colmos na segunda safra, explicando o motivo pelo qual há maior IAF da cultivar Lexus CL apenas na
311 segunda safra, pois essa obteve aumento de 36,5% no número de colmos em relação a primeira safra. Liu et al.
312 (2013) afirmam que o aumento na porcentagem de perfilhos produtivos indica redução no crescimento vegetativo,
313 enquanto que Huang et al. (2013) indicam que diferença na capacidade de perfilhamento entre cultivares podem
314 ser determinados por fatores como a altura da planta, comprimento de panículas e fatores hormonais. A redução
315 do IAF pode reduzir a interceptação de radiação solar pela planta (Thakur et al. 2018), reduzindo a fotossíntese
316 por unidade de área foliar e afetando o fornecimento de energia necessária ao crescimento e desenvolvimento da
317 planta (Paranhos et al. 1991). O IAF no arroz deve ser mantido dentro de uma faixa apropriada para obter alto
318 rendimento de grãos, sendo o IAF ótimo na faixa entre 4,0 e 7,0 (Yoshida 1981).

319 Na média dos dois anos o IAF foi 5,7% menor quando se aplicou o manejo de irrigação intermitente, resultados
320 similares aos de Zheng et al. (2018). A cultivar XP 113, em contrapartida, apresentou aumento do IAF com a
321 aplicação do tratamento de irrigação intermitente na safra 2017/18. As cultivares que mais se aproximaram da
322 faixa apropriada de IAF, em ambas as safras, foram as cultivares XP 113 e Titan CL, que foram as com maiores
323 produtividades entre as cultivares avaliadas.

324 **5. Conclusões**

325 A cultivar XP 113 apresenta menor área e volume de aerênquimas, bem como menor número de colmos por m² e
 326 massa seca da parte aérea, enquanto a cultivar Lexus CL apresenta maior massa seca da parte aérea, área e volume
 327 de aerênquimas e área e volume da fistula.

328 Há redução do índice de área foliar quando as plantas de arroz são submetidas ao manejo de irrigação intermitente
 329 em todas as cultivares, com exceção da cultivar XP 113.

330 O manejo da irrigação intermitente reduz a estatura de plantas, massa seca da parte aérea, área (de aerênquimas e
 331 da fistula) e volume (de aerênquimas e da fistula).

332 **Referências**

- 333 An, N., Wei, W., Qiao, L., Zhang, F., Christie, P., Jiang, R., ... Fan, M. (2018). Agronomic and environmental
 334 causes of yield and nitrogen use efficiency gaps in Chinese rice farming systems. *European Journal of*
 335 *Agronomy*, 93, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.001>
- 336 Anjos, D.N., Vasconcelos, R.C., Mendes, H.T.A., & Cangussu, A.C.V. (2014). Trocas gasosas em plantas de
 337 feijoeiro submetidas a fitorreguladores, NPK e micronutrientes. *Enciclopédia Biosfera*, 10,1796-1802.
- 338 Armstrong, A.C. (1979). Aeration in higher plants. *Advances in Botanical Research*, 7, 225-332.
 339 [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60089-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60089-0)
- 340 Avila, L.A., Martini, L.F.D., Mezzomo, R.F., Refatti, J.P., Campos, R., Cezimbra, D.M., ... Marchesan, E. (2015).
 341 Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent irrigation. *Agronomy Journal*, 107,
 342 442-448. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0080>
- 343 Bhattacharyya, P., Dash, P.K., Swain, C.K., Padhy, S.R., Roy, K.S., Neogi, S., ... Mohapatra, T. (2019).
 344 Mechanism of plant mediated methane emission in tropical lowland rice. *Science of The Total Environment*,
 345 651, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.141>
- 346 Bonfim-Silva, E.M., Nunes, J.A.S., Silva, T.J.A., & Pacheco, A.B. (2016). Initial growth of millet under bulk
 347 density levels in Oxisol of the Cerrado. *International Journal of Current Research*, 8, 34793-34798.
- 348 Borin, J.B.M., Carmona, F.C., Anghinoni, I., Martins, A.P., Jaeger, I.R., Marcolin, E., ... Camargo, E.S. (2016).
 349 Soil solution chemical attributes, rice response and water use efficiency under different flood irrigation
 350 management methods. *Agricultural Water Management*, 176, 9-17.
 351 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.021>
- 352 CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. (2018). *Acompanhamento de safra brasileira: grãos*, v. 5 –
 353 safra 2017/18, n.10 – Décimo levantamento, julho 2018. Brasília, CONAB.
- 354 Counce, P.A., Keisling, T.C., & Mitchell, A.J. (2000). A uniform, objective, and adaptative system for expressing
 355 rice development. *Crop Science*, 40, 436-443. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>
- 356 Han, C., Zhong, W., Shen, W., Cai, Z., & Liu, B. (2013). Transgenic Bt rice has adverse impacts on CH₄ flux and
 357 rhizospheric methanogenic archaeal and methanotrophic bacterial communities. *Plant Soil*, 369, 297-316.
 358 <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1522-y>
- 359 Higuchi, T., Yoda, K., & Tensho, K. (1984). Further evidence for gaseous CO₂ transport in relation to root uptake
 360 of CO₂ in rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, 30, 125-136.
 361 <https://doi.org/10.1080/00380768.1984.10434676>
- 362 Holzschuh, M.J., Bohnem, H., & Anghinoni, I. (2010). Avaliação da porosidade e placa férrica de raízes de arroz
 363 cultivado em hipoxia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 1763-1769. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500028>
- 365 Huang, M., Yang, C., Qiumei, J., Jiang, L., Tan, J., & Li, Y. (2013). Tillering responses of rice to plant density
 366 and nitrogen rate in a subtropical environment of southern China. *Field Crops Research*, 149, 187-192.
 367 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.04.029>
- 368 Jackson, M.B., Fenning, T.M., & Jenkins, W. (1985). Aerenchyma (gas-space) formation in adventitious roots of
 369 rice (*Oryza sativa* L.) is not controlled by ethylene or small partial pressures of oxygen. *Journal of*
 370 *Experimental Botany*, 36, 1566-1572. <https://doi.org/10.1093/jxb/36.10.1566>

- 371 Kaya-Altop, E., Sahin, M., Jabran, K., Phillippo, C.J., Zandstra, B.H., & Mennan, H. (2019). Effect of different
372 water management strategies on competitive ability of semi-dwarf rice cultivars with *Echinochloa oryzoides*.
373 *Crop Protection*, 116, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.10.009>
- 374 Kraehmer, H., & Baur, P. (2013). *Weed anatomy*. Vol. I. 1st. edn. Ames, Willy-Blackwell.
- 375 Le Mer, J., & Roger, P. (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review.
376 *European Journal of Soil Biology*, 37, 25-50. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01067-6](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01067-6)
- 377 Li, Y., Zhang, R., Liu, G., Chen, C., He, Y., & Liu, X. (2013). Comparison of methane production potential,
378 biodegradability, and kinetics of different organic substrates. *Bioresource Technology*, 149, 565-569.
379 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.063>
- 380 Liang, K., Zhong, X., Huang, N., Lampayan, R.M., Pan, J., Tian, K., & Liu, Y. (2016) Grain yield, water
381 productivity and CH₄ emission of irrigated rice in response to water management in south China. *Agricultural*
382 *Water Management*, 163, 319-331. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.015>
- 383 Liu, L., Chen, T., Wang, Z., Zhang, H., Yang, J., & Zhang, J. (2013). Combination of site-specific nitrogen
384 management and alternate wetting and drying irrigation increases grain yield and nitrogen and water use
385 efficiency in super rice. *Field Crops Research*, 154, 226-235. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.016>
- 386 Lorençoni, R. (2014). Assimilação de CO₂ de genótipos modernos e tradicionais de arroz submetidos ao estresse
387 hídrico. *Revista de Agricultura*, 89, 127-140.
- 388 Malik, A.I., Colmer, T.D., Lambers, H., & Schortemeyer, M. (2003). Aerenchyma formation and radial O₂ loss
389 along adventitious roots of wheat with only the apical root portion exposed to O₂ deficiency. *Plant, Cell &*
390 *Environment*, 26, 1713-1722. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01089.x>
- 391 Mansoor, H., Muhammad, A., Nargis, N., & Al-Qurainy, F. (2010). Anatomical adaptations of *Cynodon dactylon*
392 (L.) Pers., from the salt range Pakistan, to salinity stress. I. Root and stem anatomy. *Pakistan Journal of*
393 *Botany*, 42, 279-289.
- 394 Meijide, A., Gruening, C., Goded, I., Seufert, G., & Cescatti, A. (2017). Water management reduces greenhouse
395 gas emissions in a Mediterranean rice paddy field. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 238, 168-178.
396 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.017>
- 397 Nguyen, H.T., Fischer, K.S., & Fukai, S. (2009). Physiological responses to various water saving systems in rice.
398 *Field Crops Research*, 112, 189-198. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.004>
- 399 Nunes, J.A.S. (2019). *Título*. (Unpublished doctoral dissertation). Universidade Federal de Santa Maria, Santa
400 Maria-RS, Brazil.
- 401 Paranhos, J.T., Dutra, L.M.C., Marchezan, E., & Aude, M.I.S. (1991). Índice de área foliar de três cultivares de
402 arroz irrigado. *Ciência Rural*, 21, 35-41. <https://doi.org/10.1590/S0103-84781991000100004>
- 403 Rector, C., Brye, K.R., Humphreys, J., Norman, R.J., Gbur, E.E., Hardke, J.T., ... Evans-White, M.A. (2018). N₂O
404 emissions and global warming potential as affected by water management and rice cultivar on an Alfisol in
405 Arkansas, USA. *Geoderma Regional*, 14, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00170>
- 406 Sass, R.L., & Cicerone, R.J. (2002). Photosynthate allocations in rice plants: Food production or atmospheric
407 methane?. *PNAS*, 99, 11993-11995. <https://doi.org/10.1073/pnas.202483599>.
- 408 Shao, G., Cui, J., Yu, S., Lu, B., Brian, B.J., Ding, J., & She, D. (2015). Impacts of controlled irrigation and
409 drainage on the yield and physiological attributes of rice. *Agricultural Water Management*, 149, 156-165.
410 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.002>
- 411 Smartt, A.D., Brye, K.R., Rogers, C.W., Norman, R.J., Gbur, E.E., Hardke, J.T., & Roberts, T.L. (2016). Previous
412 Crop and Cultivar Effects on Methane Emissions from Drill-Seeded, Delayed-Flood Rice Grown on a Clay
413 Soil. *Applied and Environmental Soil Science*, 2016, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2016/9542361>
- 414 SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. 2018. *Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa*
415 *para o sul do Brasil*. Bento Gonçalves, SOSBAI.
- 416 Steffens, B., Geske, T., & Sauter, M. (2011). Aerenchyma formation in the rice stem and its promotion by H₂O₂.
417 *New Phytologist*, 190, 369-378. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03496.x>
- 418 Taiz, L.; & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. 5th. edn. Porto Alegre, Artmed.

- 419 Thakur, A.K., Mandal, K.G., Mohanty, R.K., & Ambast, S.K. (2018). Rice root growth, photosynthesis, yield and
420 water productivity improvements through modifying cultivation practices and water management.
421 *Agricultural Water Management*, 206, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.027>
- 422 Tokida, T., Cheng, W., Adachi, M., Matsunami, T., Nakamura, H., Okada, M., & Hasegawa, T. (2013). The
423 contribution of entrapped gas bubbles to the soil methane pool and their role in methane emission from rice
424 paddy soil in free-air [CO₂] enrichment and soil warming experiments. *Plant Soil*, 364, 131-143.
425 <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1356-7>
- 426 Tripathi, Y.C., Aggarwal, S., & Tewari, D. (2014). Pharmacognostical investigations of *Dicliptera roxburghiana*
427 grown in doon valley of the foothills of Himalaya. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*,
428 3, 1090-1097.
- 429 Wang, B., Neue, H.U., & Samonte, H.P. (1997). Role of rice in mediating methane emission. *Plant and Soil*, 189,
430 107-115. <https://doi.org/10.1023/A:1004219024281>
- 431 Wang, Z., Zhang, W., Beebout, S.S., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., & Zhang, J. (2016). Grain yield, water and
432 nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates.
433 *Field Crops Research*, 193, 54-69. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.006>
- 434 Yamauchi, T., Watanabe, K., Fukazawa, A., Mori, H., Abe, F., Kawaguchi, K., ... Nakazomo, M. (2014). Ethylene
435 and reactive oxygen species are involved in root aerenchyma formation and adaptation of wheat seedlings to
436 oxygen-deficient conditions. *Journal of Experimental Botany*, 65, 261-273.
437 <https://doi.org/10.1093/jxb/ert371>
- 438 Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. Manila, The International Rice Research Institute.
- 439 Zhang, W., Wu, L., Wu, X., Ding, Y., Li, G., Li, J., ... Wang, S. (2016). Lodging resistance of Japonica rice (*Oryza*
440 *Sativa* L.): morphological and anatomical traits due to top-dressing nitrogen application Rates. *Rice*, 9, 1-12.
441 <https://doi.org/10.1186/s12284-016-0103-8>
- 442 Zheng, J., Chen, T., Wu, Q., Yu, J., Chen, W., Chen, Y., & Xia, G. (2018). Effect of zeolite application on
443 phenology, grain yield and grain quality in rice under water stress. *Agricultural Water Management*, 206,
444 241-251. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.008>
- 445 Zou, G.H., Liu, H.Y., Mei, H.W., Liu, G., Yu, X., Li, M., ... Luo, L. (2007). Screening for drought resistance of
446 rice recombinant inbred populations in the field. *Journal of Integrative Plant Biology*, 49, 1508-1516.
447 <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00560.x>

2.4. CAPÍTULO 4

Nas normas da Revista Brasileira de Ciências Agrárias

COMPONENTES DE RENDIMENTO E QUALIDADE DE GRÃO DE CULTIVARES DE ARROZ SOB MANEJOS DE IRRIGAÇÃO

Resumo

O estudo de diferentes manejos de irrigação e de cultivares de arroz servem como alternativas para aumento de produtividade e qualidade de grãos. Objetivou-se quantificar os componentes de rendimento e qualidade de grãos de diferentes cultivares de arroz submetidas aos manejos de irrigação permanente e intermitente. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial (2x4), referentes ao manejo da água e cultivares de arroz, com quatro repetições. O manejo da água foi por irrigação permanente e intermitente. As cultivares de arroz utilizadas foram a IRGA 424 RI, Titan CL, Lexus CL e XP 113. Foram avaliados: número de grãos por panícula, esterilidade de espiguetas, massa de mil grãos, panículas por m², renda do benefício, grãos inteiros, área gessada, grãos gessados e grãos barriga branca. Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. A cultivar IRGA 424 RI possui menor porcentagem de área gessada, de massa de mil grãos e de grãos por panícula. A cultivar XP 113 possui maior número de grãos por panículas. As cultivares XP 113 e IRGA 424 RI possuem menor porcentagem de grãos gessados e barriga branca. O manejo da irrigação intermitente não reduz a esterilidade de espiguetas, massa de mil grãos, número de panículas por m² e qualidade de grãos.

Palavras-chave: Beneficiamento, Grão inteiro, Grãos por panícula, *Oryza sativa*

INTRODUÇÃO

O arroz é um dos cereais mais cultivado no mundo, sendo um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, servindo de base alimentar para mais de 3 bilhões de pessoas. A produção de cerca de 746,7 milhões de toneladas de grãos em casca corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana (SOSBAI, 2018). Sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social (Walter et al., 2008). No Brasil, o arroz é produzido em áreas inundadas e em áreas secas, com a maior parte da produção ocorrendo no Estado do

31 Rio Grande do Sul (RS), que é responsável, por mais de 69% da produção brasileira, com
32 produção de 8,2 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

33 A produção do RS é baseada no sistema de irrigação por inundação, com a manutenção de
34 lâmina contínua de água sobre a superfície do solo, a qual permanece entre 80 e 100 dias,
35 dependendo do ciclo da cultivar (Borin et al., 2016), esse sistema é utilizado pois apresenta
36 maior praticidade na execução, aumento na produtividade, melhoria na qualidade industrial de
37 grãos (Marchezan et al., 2004) e favorece o controle de plantas daninhas (Avila et al., 2014).
38 As características físicas dos grãos são de grande interesse de produtores e da indústria, pois
39 por meio destas características é possível melhorar a qualidade do produto, agregando valor
40 econômico (Nunes et al., 2014), pois os grãos quebrados produzidos durante o processo de
41 descascamento e brunimento reduzem o retorno econômico aos produtores (Abayawickrama et
42 al., 2017) e ao contrário de outros cereais que são transformados em subprodutos para consumo,
43 o arroz é consumido principalmente na forma de grãos inteiros, descascados e polidos, por isso,
44 a qualidade de grãos de arroz é fator extremamente importante no momento da comercialização
45 do produto (Marzari et al., 2007).

46 Entre as alternativas adotadas para redução do consumo de água, podem ser citadas o uso de
47 diferentes sistemas de irrigação, como com presença contínua de lâmina de água e com
48 irrigação intermitente, densidades de plantas, cultivares de diferentes ciclos, híbridas e
49 convencionais, diferentes momentos de supressão da irrigação e épocas de semeadura do arroz
50 (Sartori et al., 2013).

51 O estudo de diferentes manejos da irrigação e de cultivares é de grande importância devido
52 ao fato de servirem de alternativa para aumento de produtividade e qualidade de grãos sem
53 aumento de área plantada e do consumo de água. Desta forma, é necessário o uso de cultivares
54 com bom perfilhamento, alto número de grãos por panícula e elevado rendimento de grãos, sem
55 resultar em perdas nas características físicas do grão e que possuam maior eficiência do uso da
56 água, proporcionando alternativas no manejo da água em lavouras de arroz, entre elas a
57 irrigação intermitente. A época de supressão da irrigação da lavoura pode se tornar uma
58 alternativa para amenizar esse problema, porém, pode prejudicar a qualidade industrial dos
59 grãos de arroz (Londero et al., 2015).

60 Desta forma, objetivou-se quantificar os componentes de rendimento e qualidade de grãos
61 de diferentes cultivares de arroz submetidas aos manejos de irrigação permanente e irrigação
62 intermitente.

MATERIAL E MÉTODOS

63

64 O experimento foi conduzido a campo, na área experimental do Departamento de Fitotecnia
65 da Universidade Federal de Santa Maria (29°43'08.8"S, 53°43'18.6"W), nas safras 2016/2017
66 e 2017/2018. O clima do local é subtropical úmido (tipo Cfa na classificação de Köppen) com
67 precipitação média anual de 1.686 mm e temperatura média anual de 19,3°C. O solo da é
68 classificado como Planossolo Háplico Eutrófico arênico, com as seguintes características:
69 $\text{pH}_{\text{água}}(1:1) = 4,6$; $\text{P}_{\text{melich}} = 3,7 \text{ mg.dm}^{-3}$; $\text{K} = 0,14 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ e $\text{M.O.} = 10 \text{ g.kg}^{-1}$. O local de
70 realização do experimento durante as entressafras de 2016 e 2017 foi mantido em pousio e antes
71 da semeadura foi realizado o aplainamento do terreno. Na safra anterior a implantação do
72 experimento a área foi cultivada com arroz, os dois anos de experimento foi no mesmo local.

73 O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial (2x4),
74 referente ao manejo da água e cultivares de arroz, com quatro repetições. Os tratamentos
75 avaliados relacionados ao fator cultivar, foram compostos por quatro cultivares de arroz, uma
76 convencional (IRGA 424 RI) e três híbridos (XP 113, Titan CL e Lexus CL). Em relação ao
77 fator manejo da água, foram aplicados dois tratamentos: irrigação permanente, onde o solo foi
78 inundado no estádio de desenvolvimento V3, segundo a escala de Counce et al. (2000),
79 mantendo lâmina de água de aproximadamente 10 cm até o estádio R8; e irrigação intermitente,
80 onde o solo foi alagado em V3, mantendo-se a lâmina de água de aproximadamente 10 cm até
81 o estádio V6, aplicando a intermitência de irrigação até o estádio R3, reiniciando a irrigação
82 permanente até o estádio R8.

83 Na safra 2016/2017 a semeadura do arroz foi realizada no dia 06 de novembro de 2016, e na
84 safra 2017/2018 em 01 de novembro de 2017. Em ambas as safras as densidades de semeadura
85 utilizadas foram de 90 e 45 kg.ha^{-1} , para a cultivar IRGA 424 RI e para as cultivares híbridas
86 (XP 113, Lexus CL e Titan CL), respectivamente, com espaçamento de 0,17 m entrelinhas e
87 com total de 18 fileiras em cada parcela de área de 13,77 m^2 . A adubação de base foi com o
88 fornecimento de 400 kg.ha^{-1} da fórmula 05-20-20. A emergência de plantas ocorreu no dia
89 14/11/2016 e 10/11/2017, nas safras 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente.

90 Nas duas safras, no estádio V3 realizou-se a primeira adubação nitrogenada de cobertura,
91 com o fornecimento de 100 kg.ha^{-1} de N, assim como adubação potássica de 40 kg.ha^{-1} de K_2O .
92 No estádio V8/R0 foi realizada a segunda adubação nitrogenada de cobertura, com a dose de
93 50 kg.ha^{-1} de N, totalizando o fornecimento de 170 kg.ha^{-1} de N (ureia), 80 kg.ha^{-1} de P_2O_5

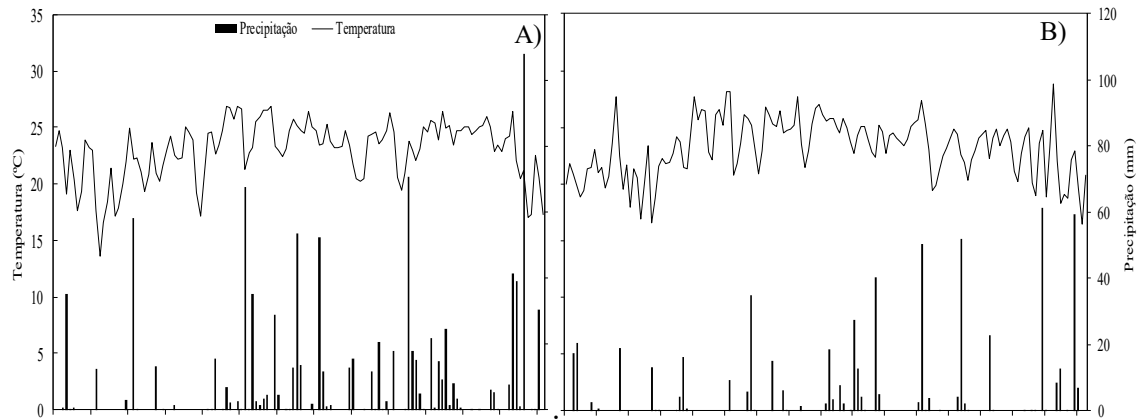
94 (superfosfato simples) e 120 kg.ha^{-1} de K_2O (KCl), em ambas as safras. Os demais tratos
95 culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas da SOSBAI (2018).

96 O início da irrigação foi no estágio V3 em ambas as safras, sendo aos 17 e 14 dias após a
97 emergência de plantas (DAE), nas safras 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente. O
98 fornecimento de água por meio da irrigação foi realizado igualmente até o estágio V6, a partir
99 deste estágio foi cessado o fornecimento de água por meio de irrigação no manejo intermitente.

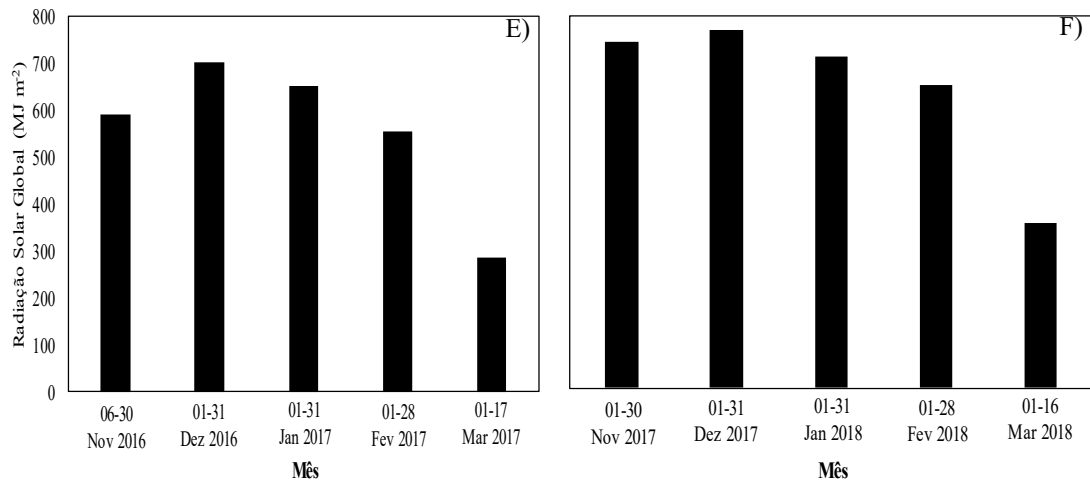
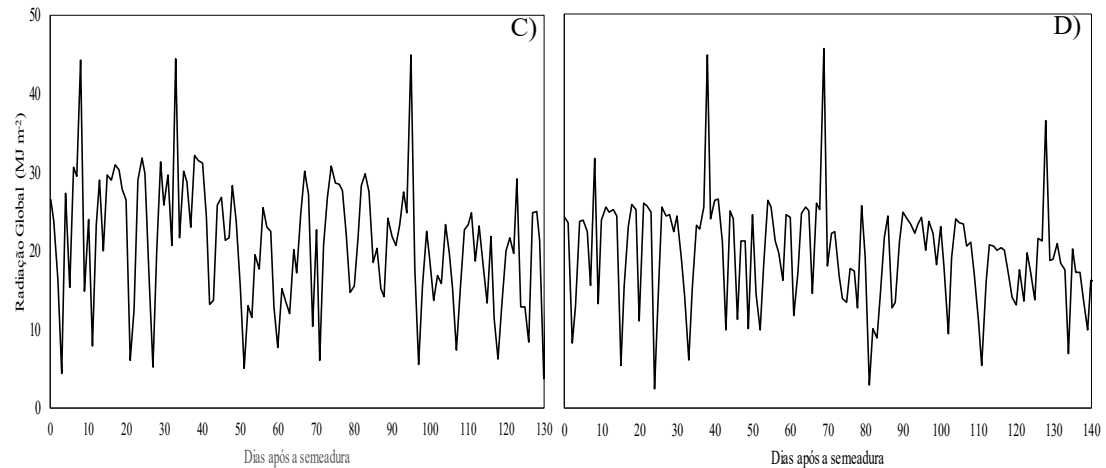
100 Na safra 2016/2017, devido às condições meteorológicas (Figura 1) foram realizadas três
101 drenagens do solo (28/12/16, 05/01/17 e 17/01/17) para que o tratamento de irrigação
102 intermitente não permanecesse com lâmina de água. A primeira drenagem foi realizada um dia
103 após precipitação de 67,6 mm, porém devido a precipitações nos dias seguintes, o solo se
104 manteve saturado, devido a presença de lâmina de água. Oito dias após primeira drenagem,
105 realizou-se nova drenagem do solo, devido a precipitação acumulada de 80,4 mm durante este
106 intervalo de dias. A terceira drenagem foi realizada após precipitação acumulada de 146,2 mm,
107 não havendo precipitação acima de 1 mm na semana seguinte, permanecendo sem a presença
108 de lâmina de água até o estágio R3.

109

110



111



112

113 Figura 1. Variação diária da (A e B) temperatura média, precipitação pluvial e (C e D) radiação solar global e (E e F) variação
 114 mensal da radiação solar global em Santa Maria, RS nas safras (A, C e E) 2016/2017 e (B, D e F) 2017/2018

115 Na safra 2017/2018 nos tratamentos com manejo da irrigação intermitente foi realizada a
 116 irrigação do solo em apenas uma ocasião entre os estádios V6 e R3, realizando o fornecimento
 117 de água em 09/01/2018, pois nesta data a umidade do solo se encontrava conforme proposto
 118 por Avila et al. (2015). No estágio R3 (30/01/2017 e 23/01/2018, nas safras 2016/2017 e
 119 2017/2018, respectivamente) reiniciou-se o fornecimento de água aos tratamentos com manejo

120 de irrigação intermitente, mantendo-se assim lâmina de água constante até o estágio R8, quando
121 foi suprimido o fornecimento de água para ambos os manejos de irrigação.

122 Na pré-colheita foi realizada a contagem do número de panículas m^{-2} e foi realizada a coleta
123 de 20 panículas por parcela. O número de grãos por panícula foi calculado pela razão entre o
124 número total de grãos formados e o número de panículas colhidas na amostra, sendo avaliados
125 também peso de mil grãos e esterilidade de espiguetas.

126 Na safra 2016/2017 a coleta da cultivar Titan CL foi realizada em 08/03/2017, enquanto a
127 colheita das cultivares XP 113, Lexus CL e IRGA 424 RI foram em 17/03/2017. Na safra
128 2017/2018 a colheita das cultivares Titan CL, XP 113 e Lexus CL foi em 12/03/2018 e a cultivar
129 IRGA 424 RI em 16/03/2018. A colheita do experimento foi realizada quando os grãos de arroz
130 estavam com umidade média de 22%, sendo realizada de forma manual na área útil (4,21 m^2)
131 de cada parcela experimental. Após a colheita foi realizado o beneficiamento de uma amostra
132 de 100 g de grãos de arroz com casca. Sendo realizado o descascamento e o brunimento da
133 amostra. Avaliou-se a porcentagem de grãos inteiros, área gessada, grãos gessados e barriga
134 branca, utilizando o analisador estatístico de arroz (S-21). Foram considerados grãos inteiros
135 aqueles que apresentaram comprimento igual ou superior a $3/4$ do comprimento mínimo da
136 classe à qual predomina, que é de 6 mm e grãos gessados aqueles que apresentaram igual ou
137 superior a 50% de área gessada (Londero et al., 2015).

138 Os dados foram submetidos a análise de variância até 5% de probabilidade e quando
139 significativo, para o efeito isolado de cada tratamento ou para interação entre os fatores, foram
140 submetidos ao teste de Tukey até 5% de probabilidade para a comparação de médias, utilizando-
141 se do programa estatístico SISVAR.

142 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

143 Para as variáveis grãos por panícula, esterilidade de espiguetas, massa de mil grãos e
144 panícula m^{-2} , em ambas as safras não houve interação entre os fatores analisados, sendo que na
145 safra 2016/2017 houve efeito isolado apenas das cultivares para massa de mil grãos e número
146 de panículas m^{-2} , para o número de grãos por panícula houve efeito isolado tanto das cultivares,
147 quanto do manejo da irrigação. Em ambas as safras não houve diferença para nenhum dos
148 tratamentos aplicados para a variável esterilidade de espiguetas. Por outro lado, na safra
149 2017/2018 houve efeito isolado apenas das cultivares para grãos por panículas e número de
150 panículas por m^2 , sendo que para massa de mil grãos houve efeito isolado tanto das cultivares,
151 quanto do manejo da irrigação (Tabela 1).

152 Tabela 1. Grãos por panícula, esterilidade de espiguetas (%), massa de mil grãos (g) e número de panículas por m² na ocasião
 153 da colheita de cultivares de arroz submetidas a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/2017 e 2017/2018

Tratamentos	Variáveis Analisadas			
	Safrá 2016/17			
Cultivares	Grãos por panícula	Esterilidade de espiguetas	Massa de mil grãos	Panículas m ⁻²
IRGA 424 RI	90 c*	8,46 ^{ns}	25,50 c	614 a
XP 113	148 a	8,71	27,00 b	477 b
Titan CL	123 b	7,01	27,09 b	549 ab
Lexus CL	112 b	8,42	29,03 a	487 b
Irrigação				
Permanente	122 a	7,92 ^{ns}	27,06 ^{ns}	547 ^{ns}
Intermitente	114 b	8,38	27,25	516
C.V. (%)	6,80	20,22	3,04	11,81
	Safrá 2017/18			
Cultivares	Grãos por panícula	Esterilidade de espiguetas	Massa de mil grãos	Panículas m ⁻²
IRGA 424 RI	84 c	6,34 ^{ns}	24,83 c	675 a
XP 113	122 a	9,30	26,67 b	577 b
Titan CL	119 b	9,12	26,29 b	591 ab
Lexus CL	120 b	8,82	28,00 a	606 ab
Irrigação				
Permanente	112 ^{ns}	8,15 ^{ns}	26,73 a	629 ^{ns}
Intermitente	111	8,63	26,17 b	595
C.V. (%)	6,75	8,11	1,40	10,14

154 *Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (< 0,05).^{ns} Não significativo na coluna
 155 (0,05)

156

157 A temperatura pode desempenhar papel significativo na qualidade de grãos da cultura do
 158 arroz, principalmente durante o estágio reprodutivo (Jabram et al. 2017). A planta de arroz é
 159 mais sensível a baixas temperaturas na fase de pré-floração, a segunda fase mais sensível é a
 160 floração. A ocorrência de altas temperaturas (superiores a 35°C) também pode causar
 161 esterilidade de espiguetas, a floração é a fase mais sensível do arroz a altas temperaturas. A
 162 segunda fase de maior sensibilidade é a pré-floração ou, mais especificamente, cerca de nove
 163 dias antes da emissão das panículas (Yoshida, 1981; SOSBAI, 2018).

164 Durante o período reprodutivo da cultura do arroz foram observadas temperaturas mínimas
 165 abaixo de 17°C em 14 datas na safra 2017/2018, enquanto que na safra 2016/2017 apenas em
 166 quatro datas foram apresentadas temperaturas inferiores a 17°C. Em nenhuma das duas safras

167 houve temperatura superior a 35°C durante o estágio reprodutivo, no entanto na safra
168 2017/2018 foram observadas temperaturas superiores a essa nos dias 15/11, 13/12 e 16/12/2017
169 e na safra 2016/2017 apenas em 25/12/2016. Esses dados podem explicar a maior esterilidade
170 de espiguetas e também o menor número de grãos por panículas na safra 2017/2018 em relação
171 a safra 2016/2017.

172 Em ambas as safras na cultivar XP 113 foi observado o maior número de grãos por panícula,
173 com 58 e 38 grãos por panícula a mais que a cultivar com menor número de grãos por panículas
174 nas safras 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente. Nas duas safras as cultivares Titan CL e
175 Lexus CL não diferenciaram entre si para esta variável, sendo a IRGA424 RI a cultivar com
176 menor número de grãos por panícula. A diferença na produtividade do arroz está relacionada
177 principalmente ao número de grãos por panícula, onde o híbrido pode apresentar em média 40%
178 a mais de grãos do que cultivares convencionais, e também pelo tamanho da panícula (Londero
179 et al., 2015).

180 No presente estudo a cultivar com maior número de panículas foi a que produziu menor
181 número de grãos por panícula, corroborando com Laenoi et al. (2018), porém, em relação ao
182 manejo da irrigação em ambas as safras do presente estudo não se observou diferença no
183 número de panículas m⁻², com maior número de grãos por panícula para a irrigação permanente
184 na safra 2016/2017, diferindo de Liang et al. (2016) que não observaram diferença no número
185 de grãos em função de cultivares convencionais e híbridas, bem como em função do manejo da
186 irrigação. Os resultados do presente estudo com os encontrados na literatura demonstram não
187 haver padrão em relação a essas variáveis em função de cultivares e do manejo da irrigação
188 (Liu et al., 2013; Wang et al., 2016).

189 O fato de não haver reduções significativas do número de panículas m⁻² em função do manejo
190 da irrigação, pode estar relacionado com o período em que foi aplicado o tratamento de irrigação
191 intermitente, pelo solo não ter ficado com umidade abaixo da capacidade de campo ou até
192 mesmo pela capacidade de perfilhamento das cultivares adotadas. O número de grãos por
193 panícula afeta direta e positivamente o rendimento de grãos e está correlacionado com a
194 esterilidade, massa de grãos e número de panículas m⁻², sendo a produtividade limitada
195 principalmente pelo número de espiguetas férteis por unidade de área.

196 Nas duas safras a cultivar Lexus CL foi a que apresentou maior massa de mil grãos, enquanto
197 que a mesma produziu menor número de panículas por m² juntamente com as cultivares XP
198 113 e Titan CL, porém na safra 2017/2018 a Lexus CL e a Titan CL não se diferenciaram da

199 IRGA 424 RI em número de panículas m^{-2} . Devido a maior densidade de semeadura da cultivar
200 IRGA 424 RI, já se esperava maior número de panículas por unidade de área, porém mesmo
201 com maior número de panículas a mesma não se diferiu das cultivares Titan CL e Lexus CL na
202 safra 2017/2018, demonstrando a alta capacidade de perfilhamento destas cultivares híbridas.

203 Os resultados de massa de mil grãos na safra 2016/2017 do presente estudo diferem com os
204 resultados encontrados por Heinemann & Stone (2009), onde a massa de cem grãos não foi
205 afetada pela condição hídrica, que segundo os autores, serve com indicativo de que essa variável
206 é uma característica genotípica, porém na safra 2017/2018 este fator influenciou nesta
207 característica da planta. Houve variação de até 12,16 e 11,32% entre as cultivares para a variável
208 massa de mil grãos, nas safras 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente, e para o manejo da
209 irrigação na safra 2017/2018 a diferença foi 2,1%. Yao et al. (2012) avaliando duas cultivares
210 híbridas observaram que com a presença permanente de lâmina de água na lavoura do arroz a
211 variável massa de mil grãos foi influenciada apenas pelo fator cultivar.

212 Em relação a esterilidade de espiguetas os resultados estão de acordo com o publicado por
213 diversos autores que não observaram diferença na esterilidade de espiguetas em função de
214 cultivares de arroz e/ou manejo da água (Yao et al., 2012; Liang et al., 2016), porém são
215 divergentes aos de Liu et al. (2013) e Wang et al. (2016) em função do manejo da água e de
216 cultivares utilizadas. Podendo assim estar relacionada com as características de cada cultivar
217 específica. A redução do número médio de grãos por panícula e massa de mil grãos da primeira
218 para segunda safra, bem como o aumento médio de grãos estéreis, podem ser resultado da baixa
219 radiação solar global durante parte do mês de janeiro de 2018, que ocorreu cerca de 7, 14 e 16
220 dias antes da floração da cultivar Titan CL, das cultivares XP 113 e Lexus CL e da IRGA 424
221 RI, respectivamente, que foi de $3,50 MJ.m^{-2}$.

222 Na tabela 2 são apresentados os resultados de renda do benefício, grãos inteiros, área
223 gessada, grãos gessados e grãos barriga branca nas safras 2016/2017 e 2017/2018. Não houve
224 interação entre os tratamentos para nenhuma das variáveis. Na safra 2016/2017 não houve
225 influencia das cultivares apenas para a renda do benefício, porém em relação ao manejo da
226 irrigação essa foi a única variável em que se observou diferença entre os tratamentos, com
227 melhor resultado observado no tratamento de irrigação permanente. Na safra 2017/2018 não
228 houve diferença apenas para a variável de grãos gessados em função das cultivares avaliadas e
229 para a variável grãos inteiros em relação ao manejo da irrigação.

230

231 Tabela 2. Renda do benefício do grão (%), grãos inteiros (%), área gessada (%), grãos gessados (%) e grãos barriga branca
 232 (%) de cultivares de arroz submetidas a irrigação permanente e intermitente nas safras 2016/2017 e 2017/2018

Tratamentos		Variáveis Analisadas			
Safr 2016/2017					
Cultivares	Renda do benefício	Grãos inteiros	Área gessada	Grãos gessados	Grãos barriga branca
Irga 424 RI	70,04 ^{ns}	64,90 a*	20,21 c	0,19 c	2,32 b
XP 113	70,31	60,66 b	28,99 a	0,17 c	2,37 b
Titan CL	70,49	61,53 b	26,83 b	0,54 a	2,11 b
Lexus CL	69,15	59,85 b	30,05 a	0,35 b	3,16 a
Irrigação					
Permanente	70,42 a	61,68 ^{ns}	26,28 ^{ns}	0,30 ^{ns}	2,40 ^{ns}
Intermitente	69,57 b	61,79	26,76	0,32	2,58
C.V. (%)	1,40	2,26	4,48	25,05	18,61
Safr 2017/2018					
Cultivares	Renda do benefício	Grãos inteiros	Área gessada	Grãos gessados	Grãos barriga branca
Irga 424 RI	70,49 a	62,83 a	24,83 c	0,33 ^{ns}	1,20 b
XP 113	69,03 b	59,31 b	26,67 b	0,34	0,92 b
Titan CL	71,80 a	62,01 a	26,29 b	0,37	2,14 a
Lexus CL	70,62 a	56,75 b	28,00 a	0,47	1,82 a
Irrigação					
Permanente	70,75 ^{ns}	61,16 a	26,27 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,58 ^{ns}
Intermitente	70,22	59,29 b	24,97	0,39	1,46
C.V. (%)	1,43	3,10	6,91	30,95	27,62

233 *Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (< 0,05).^{ns} Não significativo na coluna
 234 (<0,05)

235

236 Na safra 2016/2017 não houve diferença para renda do benefício entre as cultivares
 237 avaliadas, com diferença significativa apenas em função do manejo da irrigação, com melhor
 238 rendimento para o tratamento com irrigação permanente. Porém na safra 2017/2018 a resposta
 239 dessa variável em relação aos tratamentos aplicados foi inversa, com diferença apenas em
 240 função das cultivares, sendo os melhores resultados para as cultivares Titan CL, Lexus CL e
 241 IRGA 424 RI.

242 Os resultados encontrados para renda do benefício em função das cultivares na safra
 243 2016/2017 corroboram com os obtidos por Massey et al. (2014). Por outro lado, em relação ao
 244 manejo da irrigação os resultados são discordantes com o da primeira safra de avaliação do
 245 presente estudo, porém semelhantes aos da safra 2017/2018, em que não houve diferença para

246 o manejo da irrigação. Esses mesmos autores também observaram que não houve redução da
247 porcentagem de grãos inteiros, com excessão de uma cultivar convencional, com o manejo da
248 irrigação intermitente. Já Jabram et al. (2017), relataram que o arroz com irrigação permanente
249 apresentou qualidade e características de grãos superiores ao arroz sob irrigação intermitente,
250 principalmente pela redução de grãos inteiros.

251 Outros autores mostram que o rendimento de grãos inteiros de híbridos é inferior em relação
252 as cultivares convencionais (Blanche et al., 2009; Londero et al., 2015), corroborando com os
253 resultados aqui apresentados, em que a cultivar IRGA 424 RI apresentou melhores resultados
254 de grãos inteiros em relação as cultivares híbridas, com excessão da cultivar Titan CL na safra
255 2017/2018. Isto pode estar ligado ao tamanho da panícula de cada cultivar, uma vez que
256 cultivares híbridas possuem panícula maior, o que causa maiores dificuldades no momento do
257 enchimento de grãos e na uniformidade das características de qualidade como grãos inteiros e
258 grãos gessados por panícula (Londero et al., 2015). A cultivar híbrida XP 113 não se diferenciou
259 da IRGA 424 RI na porcentagem de grãos gessados, porém foi superior na área gessada total,
260 resultando em menor porcentagem de grãos inteiros.

261 Grãos quebrados de arroz é uma característica indesejável, pois a mesma diminui a sua
262 qualidade, seu valor econômico e o rendimento de grãos no engenho. A área gessada é
263 determinante para a porcentagem de grãos inteiros e a mesma é determinada principalmente
264 pelos fotoassimilados acumuladas durante todo o período de desenvolvimento da cultura
265 (Londero et al., 2015). No entanto, existe a dependência de efeitos genéticos para que os
266 fotoassimilados sejam acumulados na fase de enchimento de grãos, podendo explicar a
267 diferença para grãos inteiros, área gessada, grãos gessados e grãos barriga branca em função da
268 cultivar utilizada. Wada et al. (2014) indicam que a taxa reduzida de fotossíntese também são
269 responsáveis pela formação de grãos gessados, diferindo dos resultados do presente estudo. A
270 cultivar Lexus CL apresentou maior porcentagem de área gessada e grãos barriga branca em
271 ambas as safras, porém não se diferenciou das cultivares XP 113 e Titan CL nas safras
272 2016/2017 e 2017/2018, respectivamente. Em relação a porcentagem de grãos gessados foi
273 observada diferença estatística apenas na safra 2016/2017, com menores valores para as
274 cultivares XP 113 e IRGA 424 RI e maiores valores para a cultivar Titan CL. Não houve
275 influencia do manejo da irrigação para essas três variáveis.

276

277

278

CONCLUSÕES

279

280

281

A cultivar IRGA 424 RI possui menor porcentagem de área gessada, de massa de mil grãos e de grãos por panícula em relação as demais cultivares. As cultivares IRGA 424 RI e Titan CL possuem maior porcentagem de grãos inteiros.

282

283

A cultivar XP 113 possui maior número de grãos por panículas. As cultivares XP 113 e IRGA 424 RI possuem menor porcentagem de grãos gessados e barriga branca.

284

285

O manejo da irrigação intermitente não reduz a esterilidade de espiguetas, massa de mil grãos, número de panículas por m² e qualidade de grãos.

286

LITERATURA CITADA

287

288

289

Abayawickrama, A.S.M.T.; Reinke, R.F.; Fitzgerald, M.A.; Harper, J.D.I.; Burrows, G.E. Influence of high daytime temperature during the grain filling stage on fissure formation in rice. *Journal of Cereal Science*, v.74, p.256-262, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.013>.

290

291

292

Avila, L.A.; Martini, L.F.D.; Mezzomo, R.F.; Reffati, J.P.; Campos, R.; Cezimbra, D.M.; Machado, S.L.O.; Massey, J.H.; Carlesso, R.; Marchesan, E. Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent irrigation. *Agronomy Journal*, v.107, n.2, p.442-448, 2014.

293

<http://dx.doi.org/10.2134/agronj14.0080>.

294

295

296

Blanche, S.B.; Utomo, H.S.; Wenefrida, I.; Myers, G.O. Genotype x environment interactions of hybrid and varietal rice cultivars for grain yield and milling quality. *Crop Science*, v.49, n.6, p.2011-2018, 2009. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2009.04.0175>.

297

298

299

Borin, J.B.M.; Carmona, F.C.; Anghinoni, I.; Martins, A.P.; Jaeger, I.R.; Marcolin, E.; Hernandez, G.C.; Camargo, E.S. Soil solution chemical attributes, rice response and water use efficiency under different flood irrigation management methods. *Agricultural Water Management*, v.176, p.9-17, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.021>.

301

302

303

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento de safra brasileira: grãos, v. 5 – safra 2017/18, n.10 – Décimo levantamento, julho 2018. – Brasília: Conab. 2018. 141 p.

304

305

306

Counce, P.A.; Keisling, T.C.; Mitchell, A.J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science*, v.40, n.2, p.436-443, 2000. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.402436x>.

307

308

309

Heinemann, A.B.; Stone, L.F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.39, n.2, p.134-139, 2009. <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/3819/4770>. 20 Jan. 2019.

- 310 Jabram, K.; Riaz, M.; Hussain, M.; Nasim, W.; Zaman, U.; Fahad, S.; Chauhan, B.S. Water-
311 saving technologies affect the grain characteristics and recovery of fine-grain rice cultivars in
312 semi-arid environment. *Environmental Science and Pollution Research*, v.24, n. 14, p.12971-
313 12981, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8911-y>.
- 314 Laenoi, S.; Rerkasem, B.; Lordkaew, S.; Prom-U-Thai, C. Seasonal variation in grain yield and
315 quality in different rice varieties. *Field Crops Research*, v.221, p.350-357, 2018.
316 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.006>.
- 317 Liang, K.; Zhong, X.; Huang, N.; Lampayan, R.M.; Pan, J.; Tian, K.; Liu, Y. Grain yield, water
318 productivity and CH₄ emission of irrigated rice in response to water management in south
319 China. *Agricultural Water Management*, v.163, p.319-331, 2016.
320 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.015>.
- 321 Liu, L.; Chen, T.; Wang, Z.; Zhang, H.; Yang, J.; Zhang, J. Combination of site-specific
322 nitrogen management and alternate wetting and drying irrigation increases grain yield and
323 nitrogen and water use efficiency in super rice. *Field Crops Research*, v.154, p.226-235, 2013.
324 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.016>.
- 325 Londero, G.P.; Marchesan, E.; Parisotto, E.; Coelho, L.L.; Soares, C.F.; Silva, A.L.; Aramburu,
326 B.B. Qualidade industrial de grãos de arroz decorrente da supressão da irrigação e umidade de
327 colheita. *Irriga*, v.20, n.3, p.587-601, 2015.
328 <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1642>. 20 Dez. 2018.
- 329 Marchezan, E.; Villa, S.C.C.; Marzari, V.; Korndörfer, G.H.; Santos, F.M. Aplicação de silício
330 em arroz irrigado: Efeito nos componentes da produção. *Bioscience Journal*, v.20, n.3, p.125-
331 131, 2004. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6550>. 15 Jan.
332 2019.
- 333 Marzari, V.; Marchezan, E.; Silva, L.S.; Villa, S.C.C.; Santos, F.M.; Teló, G. População de
334 plantas, dose de nitrogênio e aplicação de fungicida na produção de arroz irrigado. II. Qualidade
335 de grãos e sementes. *Ciência Rural*, v.37, n. 4, p.936-941, 2007.
336 <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000400003>.
- 337 Massey, J.H.; Walker, T.W.; Anders, M.M.; Smith, M.C.; Avila, L.A. Farmer adaptation of
338 intermittent flooding using multiple-inlet rice irrigation in Mississippi. *Agricultural Water*
339 *Management*, v.146, p.297-304, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.023>.
- 340 Nunes, J.A.S.; Ormond, A.T.S.; Caneppele, C.; Silva, S.L.S.; Job, M.T. Determinação do
341 ângulo de repouso, volume unitário, eixos ortogonais e esfericidade de trigo. *Acta Iguazu*, v.3,

- 342 n.2, p.77-86, 2014. <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/10520/7586>.
343 15 Jan. 2019.
- 344 Sartori, G.M,S.; Marchesan, E.; Azevedo, C.F.; Streck, N.A.; Roso, R.; Coelho, L.L.; Oliveira,
345 M.L. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de
346 semeadura. *Ciência Rural*, v.43, p.397-403, 2013. [http://dx.doi.org/10.1590/S0103-](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013000300004)
347 [84782013000300004](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013000300004).
- 348 SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz irrigado: recomendações técnicas
349 da pesquisa para o sul do Brasil. Bento Gonçalves, SOSBAI. 2018. 205 p.
- 350 Wada, H.; Masumoto-Kubo, C.; Gholipour, Y.; Nonami, H.; Tanaka, F.; Erra-Balsells;
351 Tsutsumi, K.; Hiraoka, K.; Morita, S. Rice chalky ring formation caused by temporal reduction
352 in starch biosynthesis during osmotic adjustment under foehn-induced dry wind. *Plos One*, v.9,
353 n.10, p.1-12, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110374>.
- 354 Walter, M.; Marchesan, E.; Avila, L.A. Arroz: composição e características nutricionais.
355 *Ciência Rural*, v.38, p.1184-1192, 2008. [http://dx.doi.org/10.1590/S0103-](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000400049)
356 [84782008000400049](http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000400049).
- 357 Wang, Z.; Zhang, W.; Beebout, S.S.; Zhang, H.; Liu, L.; Yang, J.; Zhang, J. Grain yield, water
358 and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction
359 with nitrogen rates. *Field Crops Research*, v.193, p.54-69, 2016.
360 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.006>.
- 361 Yao, F.; Huang, J.; Cui, K.; Nie, L.; Xiang, J.; Liu, X.; Wu, W.; Chen, M.; Peng, S. Agronomic
362 performance of high-yielding rice variety grown under alternate wetting and drying irrigation.
363 *Field Crops Research*, v.126, p.16-22, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.018>.
- 364 Yoshida, S. Fundamentals of rice crop science. Los Baños: IRRI. 1981. 269p.
365

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lavouras de arroz são consideradas como uma importante fonte de emissão de gases de efeito estufa para atmosfera, com destaque para as emissões de CH₄. Outro fator que merece destaque em lavouras de arroz é que as mesmas podem ser manejadas para a mitigação da emissão desses gases para a atmosfera. Vários trabalhos na literatura têm abordado as características morfofisiológicas de plantas de arroz como fatores determinantes na emissão de gases efeito estufa, porém não há um consenso de como estas características realmente influenciam no fluxo desses gases do solo para a atmosfera.

As emissões de CH₄ representaram no presente estudo mais de 95%, em média, do potencial de aquecimento global parcial, sendo assim, nas condições de realização do experimento, a participação do N₂O no potencial de aquecimento global parcial, independente dos tratamentos aplicados, foi inferior a 5%. Desta forma pode-se inferir que as medidas mitigatórias aplicadas em lavouras de arroz devem ser destinadas principalmente para a redução da emissão do CH₄, porém não se deve deixar de lado práticas para a mitigação da emissão do N₂O.

A utilização de diferentes cultivares podem ser efetivas na redução da emissão de N₂O e CH₄ e conseqüentemente do potencial de aquecimento global em lavouras de arroz, assim como o manejo da irrigação intermitente, que mitigou a emissão acumulada de CH₄ e não resultou em aumento significativo na emissão acumulada de N₂O, durante o ciclo de cultivo da cultura do arroz. Tem sido relatado que plantas de arroz podem atuar como uma via eficaz para o transporte de N₂O e CH₄ através de células de aerênquima em solos alagados e durante o dia o transporte de N₂O de raízes para a parte aérea ocorre com fluxo de transpiração e liberado devido a abertura dos estômatos (FERCH & ROMHELD, 2001). Maior área foliar com maior frequência estomática acompanhada de maior taxa de transpiração também é relatada como sendo variáveis importantes associadas ao transporte de CH₄.

O potencial de aquecimento global parcial está diretamente relacionado com as emissões de CH₄ e N₂O, sendo assim, os tratamentos que apresentam maior emissão destes gases, principalmente do CH₄, tendem a ter um maior potencial de aquecimento global parcial, pois como observado nos resultados do presente estudo, na cultura do arroz as emissões de CH₄ são mais significativas para essa variável, devido à grande quantidade emitida em seu ciclo de cultivo.

A cultivar XP 113 foi a que apresentou menores valores de potencial de aquecimento global parcial, em contrapartida, a Lexus CL foi a que apresentou maior potencial de

aquecimento global parcial, porém na safra 2017/18, não se diferenciou da cultivar IRGA 424 RI. A cultivar com maior produtividade nas duas safras foi a XP 113, enquanto a de menor produtividade foi a IRGA 424 RI. As cultivares Lexus CL e Titan CL não se diferenciaram em relação a produtividade de grãos. A diferença de produtividade está relacionada com o potencial produtivo de cada cultivar, pois todas foram submetidas as mesmas condições de tratamentos.

Mesmo com maior potencial de aquecimento global, a cultivar Lexus CL, não apresentou maior índice de potencial de aquecimento global por produtividade, devido a maior produtividade apresentada em relação a cultivar IRGA 424 RI, sendo que para esse parâmetro a cultivar que apresentou maior mitigação de emissão de CO₂ eq. por produtividade em ambas as safras foi a cultivar XP 113, que não se diferenciou da cultivar Titan CL, na safra 2017/18.

O manejo da irrigação de forma intermitente reduziu em média 11,4% o potencial de aquecimento global, podendo ser adotado com prática de manejo, pois na média das duas safras não resultou em redução significativa de produtividade. A mitigação do potencial de aquecimento global em relação as cultivares pode ser obtida com o cultivo das cultivares XP 113 e Titan CL, que emitiram menor quantidade de gases de efeito estufa em CO₂ eq. e foram as cultivares com maior produtividade na média dos dois anos.

Essas são as cultivares que apresentaram índice de área foliar mais próximo do considerado ideal para a cultura do arroz, fato que pode estar relacionado com sua maior produtividade. A cultivar XP 113 também apresentou menor número, área e volume de aerênquimas por m², e embora a função primária dos aerênquimas em plantas de arroz seja transportar O₂ para as raízes, neste processo outros gases, como CO₂, N₂, N₂O e CH₄, também são transportados (WANG et al., 1997). A cultivar Lexus CL foi a que apresentou maior área e volume de aerênquimas por m² e também a com maior emissão de CH₄ dentro das condições avaliadas.

Plantas com maior número de colmos por m² apresentaram colmos com menores diâmetros (IRGA 424 RI). De forma oposta, a cultivar XP 113, apresentou menor número de colmos por m² e maior diâmetro de colmo. A variação do diâmetro do colmo influenciou no número, área e volume de aerênquimas por colmo. Outras variáveis que foram influenciadas pelo diâmetro do colmo foram a área e o volume da fístula.

Segundo Hollzschuh et al. (2010) as plantas que possuem maior capacidade de formar aerênquima teoricamente transportam mais O₂ para a ponta das raízes, resultando assim, no consumo de CH₄. No sentido inverso, plantas com maior formação de aerênquimas podem transportar mais CH₄ do solo para a atmosfera, pois o efeito da presença de plantas de arroz é fundamental para o processo de emissão de CH₄, visto que 60 a 90% do gás que chega à

atmosfera passa pelas plantas de arroz e, na ausência de vegetação, a quantidade emitida é insignificante, podendo resultar em diferenças na capacidade de transporte de metano entre cultivares de arroz (LE MER; ROGER, 2001; SMARTT et al., 2016).

A cultivar IRGA 424 RI apresentou maior número de panículas por m², enquanto a cultivar XP 113 foi a que apresentou menor número de panículas por m². Pode ser observado, que a com maior número de panículas por m² resultou em menor número de grãos por panícula e a que apresentou menor número de panículas por m² foi a que se obteve maior número de grãos por panícula. Ao observar o número de grãos por panícula pode se observar que quanto maior o número de grãos por panícula, maior foi a produtividade.

Em relação a qualidade de grãos, de forma geral, a cultivar IRGA 424 RI apresenta características mais apreciadas pelo mercado consumidor, não apresentando valores inferiores para demais cultivares para rendimento do beneficiamento, grãos inteiros, área gessada, grãos gessados e grãos barriga branca.

O uso da irrigação intermitente não apresentou diferenças significativas para as variáveis relacionadas a qualidade de grãos de arroz, com exceção do rendimento do beneficiamento, na safra 2016/17, e dos grãos inteiros, na safra 2017/18, demonstrando que pode haver redução nos valores desses parâmetros quando da utilização da intermitência da irrigação em substituição com a irrigação contínua.

4. CONCLUSÕES

O híbrido XP 113 emite menos metano e óxido nitroso, além de apresentar maior produtividade de grãos, o que garante, juntamente com a cultivar Titan CL menor Potencial de Aquecimento Global parcial e menor índice de PAGp/Produtividade de Grãos.

A irrigação intermitente, combinado com baixas precipitações, afeta negativamente a produtividade de grãos do arroz, porém resulta em menor emissão de metano, PAGp e PAGp/PG, nesse sentido, deve-se ter critérios mais precisos para avaliar o grau de intermitência. Não há diferença na emissão de óxido nitroso em função do manejo de irrigação.

A cultivar XP 113 apresenta menor área e volume de aerênquimas, bem como menor número de colmos por m² e massa seca da parte aérea, enquanto a cultivar Lexus CL apresenta maior massa seca da parte aérea, área e volume de aerênquimas e área e volume da fístula.

Há redução do índice de área foliar quando as plantas de arroz são submetidas ao manejo de irrigação intermitente em todas as cultivares, com exceção da cultivar XP 113.

O manejo da irrigação intermitente reduz a estatura de plantas, massa seca da parte aérea, área (de aerênquimas e da fístula) e volume (de aerênquimas e da fístula).

A cultivar IRGA 424 RI possui menor porcentagem de área gessada, de massa de mil grãos e de grãos por panícula em relação as demais cultivares. As cultivares IRGA 424 RI e Titan CL possuem maior porcentagem de grãos inteiros.

A cultivar XP 113 possui maior número de grãos por panículas. As cultivares XP 113 e IRGA 424 RI possuem menor porcentagem de grãos gessados e barriga branca.

O manejo da irrigação intermitente não reduz a esterilidade de espiguetas, massa de mil grãos, número de panículas por m² e qualidade de grãos.

REFERÊNCIAS

- ARMSTRONG, A. C. Aeration in higher plants. **Advances in Botanical Research**, v. 7, p. 225-332, 1980.
- AVILA, L. A. et al. Rice water use efficiency and yield under continuous and intermittent irrigation. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 442-448, 2014.
- BORIN, J. B. M. et al. Soil solution chemical attributes, rice response and water use efficiency under different flood irrigation management methods. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 9-17, 2016.
- FERCH, N. J.; ROMHELD, V. Release of water-dissolved nitrous oxide by plants: Does the transpiration water flow contribute to the emission of dissolved N₂O by sunflower. In: HORST, W. J. et al. (eds) **Plant nutrition—food security and sustainability of agro-ecosystem**. Kluwer academic publishers, Netherland. p. 228–229. 2001.
- HOLZSCHUH, et al. Avaliação da porosidade e placa férrica de raízes de arroz cultivado em hipoxia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1763-1769, 2010.
- LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. **European Journal of Soil Biology**, v. 37, p. 25-50, 2001.
- LONDERO, G. P. et al. Qualidade industrial de grãos de arroz decorrente da supressão da irrigação e umidade de colheita. **Irriga**, v. 20, p. 587-601, 2015.
- MALIK, A.I. et al. Aerenchyma formation and radial O₂ loss along adventitious roots of wheat with only the apical root portion exposed to O₂ deficiency. **Plant, Cell & Environment**, v. 26, p. 1713-1722, 2003.
- MARCHEZAN, E. et al. Aplicação de silício em arroz irrigado: Efeito nos componentes da produção. **Bioscience Journal**, v. 20, p. 125-131, 2004.
- SARTORI, G. M, S. et al. Rendimento de grãos e eficiência no uso de água de arroz irrigado em função da época de semeadura. **Ciência Rural**, v. 43, p. 397-403, 2013.
- SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões de GEE. **Documento de análise: evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1970-2013): setor agropecuário/Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLOA)**. – São Paulo: Observatório do Clima, 2015. 57 p.

SIGNOR, D.; CERRI, C. E. P.; R CONANT, R. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications two regions of sugarcane cultivation in Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 8, p. 1-9, 2013.

SMARTT, et al. Previous Crop and Cultivar Effects on Methane Emissions from Drill-Seeded, Delayed-Flood Rice Grown on a Clay Soil. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2016, p. 1-13, 2016.

STEFFENS, B.; GESKE, T.; SAUTER, M. Aerenchyma formation in the rice stem and its promotion by H₂O₂. **New Phytologist**, v. 190, p. 369-378, 2011.

TUBIELLO, F. N. et al. The Faostat database of greenhouse gas emissions from agriculture. **Environ. Res. Lett.**, v. 8, p. 1–11, 2013.

WANG, B.; NEUE, H. U.; SAMONTE, H. P. Role of rice in mediating methane emission. **Plant and Soil**, v.189, p.107-115, 1997.

ZSCHORNACK, T. et al. Mitigation of yield-scaled greenhouse gas emissions in subtropical paddy rice under alternative irrigation systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 105, p. 61–73, 2016.