

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

Daivyd Silva de Oliveira

**DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS DA CULTURA DO
ARROZ IRRIGADO SOB FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES
ORGÂNICOS**

**Santa Maria, RS
2021**

Daivyd Silva de Oliveira

**DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS DA CULTURA DO ARROZ
IRRIGADO SOB FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS**

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

Orientador: Prof. Dr. Enio Marchesan

Santa Maria-RS

2021

Oliveira, Daivyd Silva de
Desenvolvimento e rendimento de grãos da cultura do
arroz irrigado sob fontes e doses de fertilizantes
orgânicos / Daivyd Silva de Oliveira.- 2021.
67 p.; 30 cm

Orientador: Enio Marchesan
Coorientador: Alessandro Dal'Col Lúcio
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2021

1. Adubação orgânica 2. Cama de aviário 3. Incubação 4.
Oryza sativa L. I. Marchesan, Enio II. Dal'Col Lúcio,
Alessandro III. Título.

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

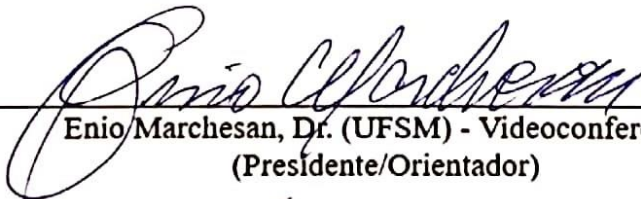
Declaro, DAIVYD SILVA DE OLIVEIRA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

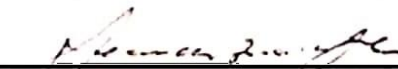
Daivyd Silva de Oliveira

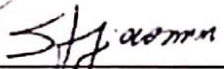
**DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS DA CULTURA DO
ARROZ IRRIGADO SOB FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES
ORGÂNICOS**

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

Aprovado em 09 de setembro de 2021:


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


Leandro de Souza Silva, Dr. (UFSM) - Videoconferência


Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM) - Videoconferência


Benjamin Dias Osório Filho, Dr. (UERGS) - Videoconferência


Cledimar Rogério Lorenzi, Dr. (UFSC) - Videoconferência

Santa Maria-RS

2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Manoel e Jucilene Oliveira que me incentivaram, apoiaram, ensinaram a ter humildade, perseverança e buscar a realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela proteção, amparo e luz durante esta caminhada, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus familiares, em especial à minha mãe Jucilene Oliveira, meu pai Manoel Oliveira, ao meu irmão Dejour Oliveira e prima Vitória Domingos, os quais estiveram sempre presentes e compartilharam deste momento comigo.

À minha noiva Edvania Oliveira pelo companheirismo, auxílio e incentivo durante os momentos mais difíceis dessa trajetória.

Aos amigos Gabriel Donato, Gabriela Milanesi, Thays Corrêa, Liliane Machado, Jessica Taynara, Suany Pinheiro, Max Laurentino, Robson Medeiros, Alian Cavalcante, por todo o apoio, incentivo e momentos vividos.

Ao meu orientador, professor Enio Marchesan, pelos ensinamentos, amizade, exemplo de profissionalismo e de conduta para a minha formação pessoal e profissional.

Aos professores, Leandro Souza da Silva, Alessandro Dal'col Lúcio, Sandro José Giacomini pelo auxílio em diversas fases da tese.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade na realização do curso de Doutorado.

À CAPES pela concessão de bolsas de estudo e auxílio financeiro para realização da pesquisa.

Aos bolsistas de iniciação científica Uashington da Silva Riste, Oscar Jaboski Groth e Tiago Bernardo Weise pelo auxílio incansável na realização dos trabalhos de tese.

Aos colegas de pós-graduação Camille Flores, Alisson Fleck, Bruno Aramburu, João Angelo, Lucas Lopes, Caren da Rosa e Luiz Siqueira pela convivência, troca de experiências, e auxílio na condução dos trabalhos.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Arroz irrigado, Ângelo Taschetto, Anna Karsburg, Augusto Serafin, Bruno Ceretta, Eduardo Cassanego, Gilmar do Monte, Júlian Pfeifer, Mariana Wruck, Matias Prochnow, Sabrina Dick, Zanandra Zanini, ao Eng. Agr. Robson Giacomeli e aos funcionários Ary Baptista, Robson e Sthevan Lorenzoni muito obrigado pelo acolhimento, amizade e por toda a ajuda para que obtivéssemos êxito na conclusão dessa etapa.

Aos colegas Francisco Hélio, Pâmela Oruoski e Raíssa Schwalbert por toda ajuda e compreensão.

Às famílias Wegner Flores, Donato e Milanesi pelo acolhimento em território Gaúcho, e por toda ajuda quando necessitei.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização do meu trabalho, e não estão citados.

Meus sinceros agradecimentos!

*“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

DESENVOLVIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO SOB FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS

AUTOR: Daivyd Silva de Oliveira

ORIENTADOR: Enio Marchesan

O arroz representa grande importância socioeconômica para o estado do Rio Grande do Sul, possibilitando ao Brasil estar entre os maiores produtores da cultura no mundo. Porém, nos últimos anos o setor orizícola esteve passando por problemas de rentabilidade diminuída atingindo principalmente os pequenos produtores, os quais precisam de alternativas para agregar valor ao seu produto e tornar sua produção mais rentável. Com isto, o sistema de cultivo de arroz orgânico surge como uma alternativa de melhoria para os produtores mais atingidos pela baixa rentabilidade dessa cultura. No entanto, uma problemática que limita o rendimento do arroz produzido de forma orgânica é o fornecimento de nutrientes para as plantas, principalmente o nitrogênio, sendo necessárias informações de fontes e doses de fertilizantes para o cultivo do arroz orgânico. Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi identificar fontes e doses de fertilizantes orgânicos que substituam os fertilizantes minerais possibilitando renda ao produtor, além de avaliar o rendimento e qualidade de grãos, como também a disponibilidade dos nutrientes por esses fertilizantes. Foram conduzidos dois ensaios experimentais, um de incubação, realizado em laboratório e um a campo, realizado em duas safras agrícolas. O ensaio de incubação foi instalado para monitorar a mineralização do N após a aplicação dos fertilizantes orgânicos no solo durante 90 dias. Foram aplicados oito tratamentos, dos quais um foi composto por uma testemunha, sem adição de fertilizante (T1), 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ da cama de aves peletizada (T2, T3 e T4) e 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ da cama de aves farelada (T5, T6 e T7), além de um tratamento adicional com fertilizante mineral (T8) na dose de 120, 80 e 110 kg N, P₂O₅ e K₂O ha⁻¹. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. As avaliações de N mineral do solo (NH₄⁺ + NO₃⁻) foram realizadas no momento da instalação do experimento (tempo zero) e posteriormente, aos 10, 25, 55 e 90 dias de incubação. Os ensaios de campo foram conduzidos na área didático-experimental de várzea da UFSM nas safras 2019/20 e 2020/21, sendo que na primeira safra foram realizados dois experimentos, caracterizados em preparo anterior convencional (área 1) e com plantas de cobertura no inverno (área 2), e na safra 2020/21 (área 3) apenas em uma área de manejo anterior orgânico. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, bifatorial 3x2+2 tratamentos adicionais (Fator A= doses e Fator D= fontes) e quatro repetições. Foram aplicados oito tratamentos, sendo uma testemunha adicional sem adição de fertilizante (T1), 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ de cama de aviário peletizada (T2, T3 e T4) e 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ da cama de aviário farelada (T5, T6 e T7), além de um tratamento adicional com fertilizante mineral (T8) na dose de 120, 80 e 110 kg N, P₂O₅ e K₂O ha⁻¹. Foram realizadas avaliações de crescimento da planta, rendimento e qualidade de grãos e mineralização do nitrogênio. Os resultados demonstram que as variáveis de crescimento e rendimento obtiveram acréscimo com o aumento das doses de fertilizantes. A dose de 120 kg N ha⁻¹ fornecida pelo fertilizante mineral oferece maior rendimento de grãos. Com relação as fontes de fertilizantes, foi observado que as camas de aviário não apresentaram diferença significativa entre si, entretanto, entre estas, a dose de 7.500 kg ha⁻¹ do fertilizante farelado, que corresponde a 120 kg N ha⁻¹, oferece maior lucratividade. Em relação ao acúmulo de nutrientes, não houve diferença significativa entre os tratamentos no estágio V6. No entanto, o tratamento com fertilizante inorgânico obteve maior acúmulo de NPK comparado aos demais tratamentos nos estádios R1 e R4 nas três áreas de cultivo. Em relação à qualidade física de grãos, não houve diferença significativa entre os

tratamentos. Independentemente da dose, o fertilizante farelado proporciona maior mineralização líquida de N, enquanto que o peletizado proporciona maior imobilização desse nutriente. Com isto, os fertilizantes orgânicos na mesma concentração de nitrogênio que o fertilizante mineral (120 kg N ha⁻¹) apresentam rendimento de grãos 13,4% menor; enquanto que doses entre 40 e 120 kg de N ha⁻¹ fornecidas por fertilizantes orgânicos não interferem na qualidade de grãos. A dose de 120 kg N ha⁻¹ fornecida pelo fertilizante mineral oferece maior rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., cama de aviário, adubação orgânica, incubação.

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND YIELD OF THE CULTURE OF RICE IRRIGED UNDER SOURCES AND DOSES OF ORGANIC FERTILIZERS

AUTHOR: Daivyd Silva de Oliveira

ADVISOR: Enio Marchesan

Rice represents great socioeconomic importance for the state of Rio Grande do Sul, allowing Brazil to be among the largest producers of the crop in the world. However, in recent years the rice sector has been experiencing problems of reduced profitability, mainly affecting small producers, who need alternatives to add value to their product and make their production more profitable. With this, the organic rice cultivation system appears as an alternative for improvement for producers most affected by the low profitability of this culture. However, a problem that limits the yield of organically produced rice is the supply of nutrients to the plants, mainly nitrogen, requiring information on sources and doses of fertilizers for the cultivation of organic rice. In view of the above, the objective of the research was to identify sources and doses of organic fertilizers that replace mineral fertilizers allowing income to the producer, in addition to evaluating the yield and quality of grains, as well as the availability of nutrients by these fertilizers. Two experimental tests were carried out, one of incubation, carried out in the laboratory and one in the field, carried out in two agricultural seasons. The incubation test was installed to monitor N mineralization after application of organic fertilizers to the soil for 90 days. Eight treatments were applied, one of which was composed of a control, without addition of fertilizer (T1), 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹ of the pelleted poultry litter (T2, T3 and T4) and 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹ of poultry litter (T5, T6 and T7), in addition to an additional treatment with mineral fertilizer (T8) at a dose of 120, 80 and 110 kg N, P₂O₅ and K₂O ha⁻¹. The experimental design used was completely randomized, with three replications. Soil mineral N assessments (NH₄⁺ + NO₃⁻) were performed at the time of installation of the experiment (time zero) and later, at 10, 25, 55 and 90 days of incubation. The field trials were carried out in the UFSM didactic-experimental floodplain area in the 2019/20 and 2020/21 harvests, and in the first harvest two experiments were carried out, characterized in conventional previous preparation (area 1) and with cover crops in the winter (area 2), and in the 2020/21 season (area 3) only in an area of previous organic management. The experimental design used was randomized blocks, bifactorial 3x2+2 additional treatments (Factor A= doses and Factor D= sources) and four replications. Eight treatments were applied, being an additional control without addition of fertilizer (T1), 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹ of pelleted poultry litter (T2, T3 and T4) and 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹ of poultry litter (T5, T6 and T7), in addition to an additional treatment with mineral fertilizer (T8) at a dose of 120, 80 and 110 kg N, P₂O₅ and K₂O ha⁻¹. Evaluations of plant growth, grain yield and quality and nitrogen mineralization were carried out. The results show that the growth and yield variables increased with the increase in fertilizer doses. The dose of 120 kg N ha⁻¹ provided by the mineral fertilizer offers higher grain yield. Regarding the fertilizer sources, it was observed that the poultry beds did not show a significant difference between them, however, among them, the dose of 7,500 kg ha⁻¹ of the mash fertilizer, which corresponds to 120 kg N ha⁻¹, offers greater profitability. Regarding the accumulation of nutrients, there was no significant difference between treatments at stage V6. However, the treatment with inorganic fertilizer obtained greater accumulation of NPK compared to the other treatments in the stages R1 and R4 in the three areas of cultivation. Regarding the physical quality of grains, there was no significant difference between treatments. Regardless of the dose, the mash fertilizer provides greater net N mineralization, while the pelleted fertilizer provides greater immobilization of this nutrient. As a result, organic

fertilizers with the same nitrogen concentration as mineral fertilizers (120 kg N ha⁻¹) have a 13.4% lower grain yield; while doses between 40 and 120 kg of N ha⁻¹ provided by organic fertilizers do not interfere with grain quality. The dose of 120 kg N ha⁻¹ provided by the mineral fertilizer offers higher grain yield.

Keywords: *Oryza sativa* L., poultry litter, organic fertilization, incubation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Concentrações de amônio (NH_4^+) (A) e nitrato (NO_3^-) (B) em solo alagado decorrente de doses de nitrogênio fornecidas por cama de aviário peletizada (P), farelada (F) e fertilizante mineral (M). Santa Maria, RS. 2021.....35
- Figura 2. N mineralizado (A) e percentual de N mineralizado em relação ao N total adicionado (B) em solo alagado decorrente de doses de nitrogênio fornecidas por cama de aviário peletizada (P), farelada (F) e fertilizante mineral (M). Santa Maria, RS. 2021.35
- Figura 3. Estatura de plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.....54
- Figura 4. Interceptação de radiação solar no dossel da cultura do arroz irrigado nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.55
- Figura 5. Massa seca de plantas de arroz irrigado nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.....56
- Figura 6. Índice de área foliar de plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.....57
- Figura 7. Acúmulo de nitrogênio em plantas de arroz irrigado nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.58
- Figura 8. Acúmulo de fósforo em plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.....59
- Figura 9. Acúmulo de potássio em plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.....60
- Figura 10. Número de panículas m^{-2} (A), número de grãos panícula^{-1} (B), massa de mil grãos (C) e esterilidade de espiguetas (D) de plantas de arroz irrigado, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (—●—), área 2 (--○--) e área 3 (·▼·). Santa Maria, RS. 2021. ..61
- Figura 11. Rendimento de grãos de arroz irrigado submetido a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (—●—), área 2 (--○--) e área 3 (·▼·). Santa Maria, RS. 2021.62

Figura 12. Grãos inteiros (A), grãos quebrados (B), grãos gessados (C) e grãos barriga branca (D) de plantas de arroz irrigado, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (●), área 2 (○) área 3 (▼). Santa Maria, RS. 2021.63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do solo na profundidade de 0,0-0,1 m.....	27
Tabela 2. Características química das fontes de fertilizantes orgânicos.....	28
Tabela 3. Composição dos tratamentos e descrição dos contrastes ortogonais durante a incubação. Santa Maria, RS. 2021.	28
Tabela 4. Contrastes ortogonais para N mineralizado sob diferentes fertilizantes. Santa Maria, RS. 2021.....	36
Tabela 5. Características químicas dos solos das áreas experimentais nas safras 2019/20 e 2020/21 na profundidade de 0,0-0,2 m.	39
Tabela 6. Contrastes ortogonais para as variáveis estatura de plantas (EP), interceptação de radiação solar no dossel (IRSD), massa seca da parte aérea (MSPA) e índice de área foliar (IAF) de plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4 de desenvolvimento, em três áreas de cultivo, sob diferentes fertilizantes. Santa Maria, RS. 2021.	64
Tabela 7. Contrastes ortogonais para as variáveis acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido vegetal de plantas de arroz, nos estádios V6, R1 e R4 de desenvolvimento, e grãos inteiros (GI), grãos quebrados (GQ), grãos gessados (GG) e grãos barriga branca (GBB) em três áreas de cultivo, sob diferentes fertilizantes. Santa Maria, RS. 2021.....	64
Tabela 8. Contrastes ortogonais para as variáveis número de panículas ⁻¹ (NP), número de grãos panícula ⁻¹ (IRSD), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE) e rendimento de grãos (RG) de arroz em três áreas de cultivo, sob diferentes fertilizantes. Santa Maria, RS. 2021.	65
Tabela 9. Relação custo dos fertilizantes X rendimento de grãos.	66

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Agricultura orgânica	17
2.2 Nutrição de plantas em sistemas de arroz orgânico	18
2.3 Desafios da produção orgânica de arroz	20
Referências bibliográficas	21
3 CAPÍTULO I (ARTIGO CIENTÍFICO)	26
Introdução	26
Material e métodos	27
Resultados e discussão	29
Conclusões	32
Referências bibliográficas	32
4 CAPÍTULO II (ARTIGO CIENTÍFICO)	37
Introdução	37
Material e métodos	38
Resultados e discussão	41
Conclusões	51
Referências bibliográficas	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de arroz está mais concentrada nas lavouras irrigadas do Sul do país, sendo o Rio Grande do Sul o estado com maior produção, representando grande importância para a economia do país. Atualmente, é a segunda cultura mais importante do estado, ficando atrás somente da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (IRGA, 2021). Entretanto, o setor orizícola brasileiro vem passando por problemas de redução da rentabilidade, devido ao aumento do custo de produção, afetando principalmente os pequenos produtores. Desta maneira, é necessário o desenvolvimento de alternativas que possibilitem agregar valor ao arroz, sendo o cultivo orgânico uma dessas alternativas.

A agricultura, quando realizada de forma inadequada, pode gerar pressões sobre os ecossistemas naturais, sendo que, quanto menos impactante e mais produtivo for o agroecossistema, mais sustentável será a produção de alimentos. Neste cenário, a agricultura orgânica surge como uma alternativa à produção de alimentos sem a utilização de fertilizantes minerais e defensivos químicos, o que vem de encontro a maior procura da população por alimentos orgânicos (ORLANDO et al., 2020).

A agricultura orgânica está rapidamente ganhando reconhecimento em todo o mundo como um meio promissor de oferecer alimentos sem uso de defensivos químicos e garantir a sustentabilidade ambiental. Atualmente, os produtos orgânicos, incluindo arroz orgânico, possuem uma grande demanda, devido ao seu potencial de buscar preços diferenciados no mercado global (HAZRA et al., 2018), e o Brasil vem ganhando espaço nesse cenário.

Entretanto, o manejo de nutrientes continua sendo um desafio-chave na agricultura orgânica. No sistema de produção de arroz orgânico, a não sincronia entre a demanda e a disponibilidade de nutrientes pelos fertilizantes orgânicos, geralmente causa estresse nutricional nos estágios críticos de crescimento. Como a liberação de nutrientes de fontes de esterco orgânico é mais lenta que a dos fertilizantes inorgânicos, a capacidade do sistema orgânico de fornecer nutrientes (nitrogênio em particular) depende em grande parte do tempo e padrão da mineralização e de sua sincronia com a demanda da cultura (BERRY et al., 2002; SACCO et al., 2015).

De acordo com Hazra et al. (2018), o entendimento atual do sistema de arroz orgânico é relativamente carente e essa área não atraiu investimentos de pesquisa adequados. Com base na análise de restrições, um foco renovado é essencial para os aspectos anteriormente inexplorados, como sistema estratégico de suprimento de N, e outros como desenvolvimento de variedades responsiva a adubação orgânica, e gerenciamento integrado dos fatores bióticos. Com isto, algumas das estratégias de gerenciamento de culturas em potencial, como por

exemplo o gerenciamento integrado de nutrientes, precisam ser cuidadosamente avaliadas para melhorar a produtividade do sistema de arroz orgânico.

Nesse contexto, a produção de arroz orgânico pode ser uma solução em favor da sustentabilidade ambiental e econômica, evitando o uso de herbicidas, reduzindo o impacto na qualidade da água e proporcionando principalmente aos pequenos agricultores uma alternativa com base no preço mais alto pago pelo mercado por produtos orgânicos (ORLANDO et al., 2020).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Agricultura orgânica

Existe um consenso geral de que a produção e o consumo de alimentos estão relacionados a efeitos negativos sobre o ambiente e que esses devem se tornar mais sustentáveis. Considerando a notável parcela das atividades agrícolas no impacto ambiental de produtos alimentícios, nos últimos anos, várias pesquisas avaliaram os processos agrícolas sob uma perspectiva ambiental (ROY et al., 2009; RENZULLI et al., 2015).

Nesse contexto, nos últimos anos a agricultura orgânica tem aumentado em muitas partes do mundo; entretanto, apesar desse crescimento e do aumento não muito significativo da pesquisa, políticas públicas, mídia e atenção pública, apenas uma pequena parte do total da terra agrícola está sob agricultura orgânica. De acordo com Willer & Lernoud (2012), na década de 2000, o total de terras agrícolas orgânicas do mundo mais que dobrou, de 14,9 milhões de ha para 37,0 milhões de ha, o que representou cerca de 0,9% da área agrícola mundial em 2010.

As pequenas quotas de mercado nos países industrializados podem ser atribuídas aos preços pelos quais os alimentos orgânicos são comercializados (perspectiva do consumidor), como também pelos rendimentos mais baixos e variáveis, demanda limitada por produtos orgânicos e os desafios da conversão em produção orgânica (perspectiva do produtor) (DE PONTI et al., 2012), sendo os principais motivos que inibem esse sistema de produção. Com isso, a agricultura orgânica é vista como uma inovação e um desafio para esse setor. Os agricultores familiarizados com a agricultura convencional e de alto quantidade de insumos percebem a conversão para o sistema orgânico como difícil de se implementar, arriscada e incerta em termos de desempenho produtivo (ORLANDO et al., 2020). Dessa forma, o sucesso da agricultura orgânica dependerá do seu desempenho, se ela poderá ser ou se tornar economicamente competitiva com a agricultura convencional, e isto dependerá da produtividade, da demanda por produtos e dos preços ao consumidor (DE PONTI et al., 2012).

O rendimento médio das culturas de cereais na agricultura orgânica é menor do que o obtido nas práticas de produção convencionais (BHATTACHARYYA et al., 2003; RAUTARAY et al., 2003). Isto se deve principalmente a dificuldades no manejo de nutrientes às plantas e à falta de opções eficazes de controle de plantas daninhas, pragas e doenças. Entre os cereais, o arroz demonstrou melhor desempenho quando cultivado na agricultura orgânica (ZHANG et al., 2005; DELMOTTE et al., 2011), e para esse fim, o cultivo anaeróbico oferece vantagem adicional na agricultura orgânica quando comparado com outras culturas de campo (HAZRA et al., 2014).

Um entendimento aprimorado sobre a produção de arroz orgânico envolvendo estresse de nutrientes para plantas, dinâmica de nutrientes do solo, interação solo-planta-microrganismos e dinâmica de pragas é essencial para abordar adequadamente os motivos que ocasionam a menor expansão desse sistema. Além disso, as técnicas de produção requerem otimização para oferecer a máxima colheita, mantendo os padrões de qualidade do arroz orgânico (HAZRA et al., 2018).

O arroz é uma cultura de rápido crescimento e requer grande quantidade de nutrientes para as plantas, sendo que essa demanda muda consideravelmente conforme a variedade, estádios de desenvolvimento e com maior requerimento para aquelas de alto rendimento. Como a agricultura orgânica é normalmente operada em um sistema que permite apenas o uso de insumos e nutrientes orgânicos (STOCKDALE et al., 2001), fornecer a quantidade de nutrientes essencial durante todo o período de cultivo se torna mais complicado.

Em sistemas de arroz orgânico, o esterco e outros resíduos agrícolas são usados para melhorar os nutrientes do solo em vez de fertilizantes químicos (LUTTIKHOLT, 2007). Ling et al. (2010) mostraram que os fertilizantes orgânicos podem aumentar o acúmulo de nitrogênio nas plantas de arroz em diferentes estágios, o número de grãos por panícula e o peso de mil grãos, aumentando assim o rendimento da cultura.

Devido ao início relativamente tardio da pesquisa de arroz orgânico, ainda há uma falta sistemática de pesquisas sobre variedades de arroz, práticas de manejo de fertilizantes orgânicos e, especialmente, os mecanismos de captação e utilização do nitrogênio pelas plantas (HUANG et al., 2016), sendo necessários avanços nas pesquisas para esse sistema de produção.

2.2 Nutrição de plantas em sistemas de arroz orgânico

O manejo de nutrientes no cultivo de arroz orgânico continua sendo um dos fatores que mais limitam o rendimento da cultura. Esta espécie necessita de uma grande demanda de nutrientes para o seu desenvolvimento por ser uma cultura de crescimento acelerado. Uma série de produtos orgânicos, incluindo cinzas (MITTRA et al., 2005), cama de aves (USMAN et al., 2003), esterco bovino (SAHA et al., 2010; BHATTACHARYYA et al., 2003), vermicomposto (BHADORIA et al., 2003), incorporação de composto e palha (RASOOL et al., 2007) e esterco suíno (XU et al., 2008) foram avaliados em sistema de arroz inundado, demonstrando resultados promissores e confirmando sua utilização nos cultivos de arroz orgânico.

De acordo com Orlando et al. (2020), para o gerenciamento estratégico de nutrientes sob arroz orgânico, é sempre melhor ter fontes diversas, em vez de confiar no único componente, sendo também difícil atender à demanda total de nutrientes de uma fonte. Isso

exige uma abordagem integrativa que aproveite fontes de nutrientes como: resíduos de culturas, adubo orgânico, atividade biológica do solo, culturas leguminosas em rotação e fixação biológica de nitrogênio; por isso, a importância do manejo de entressafra no arroz.

Os materiais orgânicos diferem significativamente em relação a relação C:N, conteúdo e taxa de liberação de nutrientes, o que torna o monitoramento da transformação dos insumos orgânicos fornecidos essenciais no ecossistema do arroz (MONACO et al., 2008).

Na produção de arroz orgânico, é muito complicado fornecer nitrogênio disponível com precisão devido à composição dos fertilizantes orgânicos, que podem ter taxas de mineralização e disponibilidade de nitrogênio muito variadas. O N do fertilizante orgânico deve ser mineralizado para NH_4^+ , que pode ser nitrificado para NO_3^- , através de processos microbianos antes de estar disponível para a absorção das plantas.

Pesquisas anteriores mostraram que em relação ao custo de pesagem, considerações de manejo, taxas de mineralização e proporções de macronutrientes, a cama de aves peletizada é preferível a outros tipos de fertilizantes na produção de arroz orgânico no estado da Califórnia (WILD et al., 2011; SIMS; PLACE, 1968); no entanto, esse produto precisa ser testado nas condições aqui do Brasil e talvez não tenha o mesmo comportamento. Em um estudo de incubação de laboratório realizado por Wild et al. (2011), a mineralização orgânica de N do fertilizante peletizado ocorreu em duas fases após ser adicionada ao solo do campo em condições anaeróbicas. Um rápido período de mineralização ocorreu durante os primeiros 9 dias e foi seguido por uma fase mais lenta de mineralização até o dia 36°. Após esse período, muito pouco nitrogênio do fertilizante foi mineralizado. No entanto, a quantidade total de N mineralizado após 60 dias foi de apenas 27% do fertilizante. Estudos realizados em condições aeróbicas mostraram uma maior taxa de mineralização do N no fertilizante, variando de 25 a 77% (CASTELLANOS; PRATT, 1981; HADAS et al., 1983; CABRERA et al., 1993).

Outras pesquisas mostram que diferentemente dos sistemas convencionais em que o N inorgânico está disponível imediatamente para a absorção das plantas (PENG; CASSMAN, 1998), a disponibilidade de fertilizante orgânico é menos previsível devido às taxas variáveis de mineralização, que dependem das propriedades do fertilizante orgânico e de outros fatores como temperatura e umidade (WILD et al., 2011; HADAS et al., 1983).

Semelhante ao nitrogênio (N), as informações sobre o fornecimento de fósforo (P) e potássio (K) na produção de arroz orgânico também são escassas, e pouca pesquisa foi dedicada para avaliar a disponibilidade no solo de P e K ao arroz no sistema orgânico (CLARK et al., 1998). Insumos com altos teores de P e K são muito relatados na agricultura orgânica, e isto ocorre devido à abundância de esterco animal com menores relações N:P e N:K (GOSLING;

SHEPHERD 2005; BORDA et al., 2011), demonstrando a disponibilidade de fertilizantes para o cultivo orgânico. Entretanto, para o cultivo orgânico de arroz o foco maior ainda é o fornecimento do nitrogênio e mais pesquisas devem ser realizadas para melhorar esse cenário.

2.3 Desafios da produção orgânica de arroz

A falta de entendimento das estratégias de manejo para os sistemas de cultivo de arroz orgânico, o correspondente potencial e variabilidade de rendimento são restrições para incentivar a conversão de agricultores convencionais. Essa condição faz do cultivo orgânico de arroz uma atividade de nicho, realizada por poucos agricultores pioneiros com uma abordagem de autoajuda (ORLANDO et al., 2020).

Nesse contexto, o arroz orgânico é caracterizado, por grandes variações de rendimento e, em média, por reduções de rendimento de cerca de $\frac{1}{3}$ em relação ao convencional (SINAP, 2015); mas, por outro lado, pelo menor número de insumos utilizados, pela aplicação de fertilizantes orgânicos em vez dos minerais e uma proibição de produtos químicos no controle de pragas e doenças. Portanto, sem uma avaliação abrangente de todas as operações realizadas ao longo do ciclo de vida da planta, não é possível concluir quais sistemas de produção, entre o orgânico e o convencional apresentam o melhor desempenho ambiental (BACENETTI et al., 2016).

Mudar da agricultura convencional para a orgânica pode ter menos impactos ambientais negativos devido à não utilização de fertilizantes sintéticos e pesticidas químicos (BATÁRY et al., 2012; MENG et al., 2017). No entanto, a agricultura orgânica geralmente apresenta rendimentos mais baixos em comparação à agricultura convencional (de 5% a 34%, dependendo das características do sistema e do local) (DE PONTI et al., 2012; SEUFERT et al., 2012). É difícil concluir que o sistema de agricultura orgânica é melhor ou pior que o sistema de agricultura convencional sem uma avaliação abrangente em relação à produtividade e ao impacto ambiental (HE et al., 2018).

O perfil ambiental do arroz orgânico depende dos métodos de produção, das condições do local (como carbono do solo, plantas daninhas, pragas e outros organismos) e dos rendimentos. Os dois últimos, em particular, podem mudar com o tempo, à medida que o sistema de cultivo orgânico se ajusta a um novo estado estacionário, o que pode alterar o perfil ambiental do arroz orgânico. A utilização a longo prazo de diferentes métodos de cultivo afetará gradualmente os sistemas agrícolas e mudará, por exemplo, propriedades do solo (como o nível de P, K e carbono orgânico do solo) e o nível de biodiversidade (como o nível de inimigos naturais e ervas daninhas), pragas, doenças e biodiversidade associada) (MÄDER et al., 2002).

Nesses processos, o rendimento também pode mudar. No entanto, leva tempo para o sistema de agricultura orgânica atingir um novo estado estacionário a partir do início de práticas orgânicas (MACRAE et al., 1990; HOKAZONO; HAYASHI, 2012). Assim, o perfil ambiental dos produtos orgânicos pode mudar ao longo do tempo e, portanto, é importante avaliar o impacto ambiental dos sistemas orgânicos durante um período de tempo e compará-lo com um sistema de produção convencional (HE et al., 2018), com intuito de identificar sua viabilidade.

Diante do exposto, se ainda observa que os principais desafios do sistema de produção de arroz orgânico são a falta de informações em relação a fertilidade e nutrição de plantas, além do controle de plantas daninhas. Com isso, pesquisas devem ser intensificadas para poder ter respaldo na conversão dos produtores à uma agricultura mais sustentável e rentável.

Referências bibliográficas

BACENETTI, J. et al. Organic production systems: Sustainability assessment of rice in Italy. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.225, p.33-44, 2016.

BERRY, P. M. et al. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen. **Soil Use and Management**, v.18, p.248-255, 2002.

BHADORIA, P. B. S. et al. Relative efficacy of organic manures on rice production in lateritic soil. **Soil Use and Management**, v.19, n.1, p.80-82, 2003.

BHATTACHARYYA, P. et al. Evaluation of MSW compost as a component of integrated nutrient management in wetland rice. **Compost Science & Utilization**, v.11, n.4, p.343-350, 2003.

BORDA, T. et al. Effect of agronomic management on risk of suspended solids and phosphorus losses from soil to waters. **Journal of Soils and Sediments**, v.11, p.440-451, 2011.

BATÁRY, P. et al. Responses of plant, insect and spider biodiversity to local and landscape scale management intensity in cereal crops and grasslands. **Agriculture, Ecosystems Environment**, v.146, p.130-136, 2012.

CABRERA, M. L. et al. Nitrogen transformations in surface applied poultry litter-Effect of litter physical characteristics. **Soil Science Society of America Journal**, v.57p.1519-1525, 1993.

CASTELLANOS, J. Z.; PRATT, P. F. Mineralization of manure nitrogen-Correlation with laboratory indexes. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, n.2, p.354-357, 1981.

DE PONTI, T. et al. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. **Agricultural Systems**, v.108, p.1-9, 2012.

DELMOTTE, S. et al. On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. **European Journal of Agronomy**, n.35, p.223-236, 2011.

GOSLING, P. & SHEPHERD, M. Long-term changes in soil fertility in organic arable farming systems in England, with particular reference to phosphorus and potassium. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.105, n.2, p.425-432, 2005.

IRGA - Instituto Rio Grandense de Arroz. www.irga.rs.gov.br. Acesso: 15 Jun. 2021.

HADAS, A. et al. Effect of pelleting, temperature, and soil type on mineral nitrogen release from poultry and dairy manures. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.1129-1133, 1983.

HAZRA, K. K. et al. Organic rice: potential production strategies, challenges and prospects. **Organic Agriculture**, v.8, n.1, p.39-56, 2018.

HAZRA, K. K. et al. Long-term effect of pulse crops inclusion on soil–plant nutrient dynamics in puddled rice (*Oryza sativa* L.) - wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping system on an Inceptisol of Indo-Gangetic plain zone of India. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.100, n.1, p.95-110, 2014.

HE, X. et al. Environmental life cycle assessment of long-term organic rice production in subtropical China. **Journal of Cleaner Production**, v.176, p.880-888, 2018.

HOKAZONO S. & HAYASHI, K. Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: a comparison among three rice production systems in Japan. **Journal of Cleaner Production**, v.28, p.101-112, 2012.

HUANG, L. et al. Relationships between yield, quality and nitrogen uptake and utilization of organically grown rice varieties. **Pedosphere**, v.26, n.1, p.85-97, 2016.

LING, Q. H. et al. Effect of different dosages of Sanan bio-organic fertilizer on organic rice production, quality and utilization of nitrogen absorption. **Chinese Rice**, v.1, p.17-22, 2010.

LUTTIKHOLT, L. W. M. Principles of organic agriculture as formulated by the international federation of organic agriculture movements. **NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences**, v.54, n.4, p.347-360, 2007.

MACRAE, R. J. et al. Farm-scale agronomic and economic conversion from conventional to sustainable agriculture. **Advances in Agronomy**, v.43, p.155-198, 1990.

MÄDER, P. et al. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, v.296, n.5573, p. 1694-1697, 2002.

MENG, F. Q. et al. Environmental impacts and production performances of organic agriculture in China: a monetary valuation. **Journal of Environmental Management**, v.188, p.49-57, 2017.

MITTRA, B. N. et al. Fly ash - a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system. **Fuel**, v.84, n.11, p.1447-1451, 2005.

MONACO, S. et al. Changes in chemical and biochemical soil properties induced by 11-yr repeated additions of different organic materials in maize-based forage systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v.40, p.608-615, 2008.

ORLANDO, F. et al. Participatory approach for developing knowledge on organic rice farming: Management strategies and productive performance. **Agricultural Systems**, v. 178, p. 102739,2020.

PENG, S. & Cassman, K. G. Upper thresholds of nitrogen uptake rates and associated nitrogen fertilizer efficiencies in irrigated rice. **Agronomy Journal**, v.90, n.2, p.178-185, 1998.

RENZULLI, P. A. et al. 2015. **Life Cycle Assessment in the Cereal and Derived Products Sector**. In: Notarnicola, B.; Salomone, R.; Pett,i L.; Renzulli, P. A.; Roma, R.; Cerutti, A. K. *Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector Case Studies, Methodological Issues and Best Practices*. p. 185-249.

RAUTARAY, S. K. et al. Effect of fly ash, organic wastes and chemical fertilizers on yield, nutrient uptake, heavy metal content and residual fertility in a rice - mustard cropping sequence under acid lateritic soils. **Bioresource Technology**, v.90, n.3, p.275-283, 2003.

RASOOL, R. et al. Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice-wheat system. **Soil and Tillage Research**, v.96, n.1, p.64-72, 2007.

ROY, P. et al. Life cycle inventory (LCI) of different forms of rice consumed in households in Japan. **Journal of Food Engineering**, v.91, n.1, p.49-55, 2009.

SACCO, D. et al. Six-year transition from conventional to organic farming: effects on crop production and soil quality. **European Journal of Agronomy**, v.69, p.10-20, 2015.

SAHA, S. et al. Expression of soil chemical and biological behavior on nutritional quality of aromatic rice as influenced by organic and mineral fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, n.15, p.1816-1831, 2010.

SEUFERT, V. et al. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, v.485, p.229-232, 2012.

SIMS, J. L. & Place, G. A. Growth and nutrient uptake of rice at different growth stages and nitrogen levels. **Agronomy Journal**, v.60, p.692-696, 1968.

STOCKDALE, E. A. et al. Agronomic and environmental implications of organic farming systems. **Advances in Agronomy**, v.70, p.261-327, 2001.

USMAN, M. et al. Effect of organic and inorganic manures on growth and yield of rice variety basmati 2000. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.5, p.481-483, 2003.

WILD, P. L. et al. Nitrogen availability from poultry litter and pelletized organic amendments for organic rice production. **Agronomy Journal**, v.103, n.4, 1284-1291, 2011.

WILLER, H. & LERNOUD, J. **Current statistics on organic agriculture worldwide**. H. Willer, J. Lernoud, L. Kilcher (Eds.), *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends*. International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). p 35-120. 2012.

XU, M. G. et al. Effects of organic manure application with chemical fertilizers on nutrient absorption and yield of rice in Hunan of Southern China. **Agricultural Science in China**, v.7, n.10, p.1245-1252, 2008.

ZHANG, S. Y. et al. Environmental impact of organic farming on the yield composition and quality of rice production. **Journal of Jilin Agricultural Science**, v.30, p.13-16, 2005.

3 CAPÍTULO I (ARTIGO CIENTÍFICO)

MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO SOB DOSES E FONTES DE FERTILIZANTES

INTRODUÇÃO

A produção de arroz (*Oryza sativa* L.) ocupa cerca de 1,7 milhões de hectares no Brasil, dos quais em torno de 56 % são áreas de terras baixas, tendo aproximadamente 945 mil hectares de arroz cultivados na safra 2020/21 no estado do Rio Grande do Sul. O estado é o maior produtor nacional, responsável por 8,52 milhões de toneladas de arroz e rendimento médio de 9.010 kg ha⁻¹ na safra 2020/21, representando grande importância socioeconômica ao país. O uso apropriado de fertilizantes no estado é fundamental para o alcance de altas produtividades, sendo que os fertilizantes inorgânicos representam em média 7,7% do custo de produção da cultura (CONAB, 2021; IRGA, 2021).

Porém, devido ao aumento do custo de produção nos últimos anos, o setor orizícola brasileiro vem passando por problemas de redução da rentabilidade, no qual os fertilizantes inorgânicos estão entre os cinco itens de maior participação nesse custo. Desta maneira, é necessário o desenvolvimento de alternativas que possibilitem agregar valor a esta cultura e diminuir o custo com insumos, sendo a utilização de fertilizantes orgânicos e/ou sistema orgânico de produção algumas das alternativas a serem melhor estudadas. Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA, 2021), na safra 2020/21 o Brasil foi o maior produtor de arroz orgânico da América Latina, com 2.740 ha de área cultivada, produção de 12.400 toneladas de grãos e produtividade média de 4.500 kg ha⁻¹.

Nesse contexto, pesquisadores demonstram que fertilizantes orgânicos em lavouras de arroz irrigado por inundação desempenham papel crucial, tanto no suprimento de nutrientes às plantas a curto prazo, quanto no acúmulo destes no solo (KNOBLAUCH et al., 2012; NISHIKAWA, et al., 2014). Além disso, quando bem manejados, aumentam o rendimento de grãos, o que os torna importantes fontes de renda e valor agregado, visto que muitas vezes são recursos disponíveis nas fazendas e podem ser utilizados na produção orgânica (LIANG et al., 2017; MUSHTAQ et al., 2019).

A fertilização com cama de aviário deve considerar os requisitos da cultura e a velocidade de decomposição e liberação de nutrientes do esterco, bem como sua concentração destes nutrientes. A maioria faz parte de compostos orgânicos que precisam ser mineralizados para se tornarem disponíveis às plantas. Em vista disso, um dos principais obstáculos ao uso de

adubos orgânicos na produção de arroz é a nutrição da cultura, principalmente o fornecimento de N ao sistema de produção (JAVIER et al., 2002; MASUNGA et al., 2016).

Em solos inundados, as pesquisas sobre a liberação de nutrientes do esterco de aves para o solo são escassas. Portanto, compreender a dinâmica de liberação dos nutrientes se torna necessário para estabelecer as quantidades adequadas a fim de elevar a produtividade e reduzir os impactos ambientais no solo e na água. Além disso, é importante analisar a qualidade de grãos do arroz obtidos com a adubação orgânica em comparação com a adubação mineral (SCHMIDT; KNOBLAUCH, 2020).

Diante do exposto, o objetivo dos ensaios foi avaliar a mineralização do nitrogênio pelas fontes de fertilizantes orgânicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo consistiu na incubação de dois tipos de resíduos de cama de aviário peletizado e farelado em um solo classificado como Planossolo Háplico Eutrófico arênico, coletado na camada de 0-0,10 m, com características químicas descritas na Tabela 1. A incubação foi conduzida durante 90 dias em condições controladas de temperatura e umidade, no Laboratório da área didático-experimental de várzea, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em parceria com o Laboratório de Biotransformações do C e do N (LABCEN), do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Tabela 1. Características químicas do solo na profundidade de 0,0-0,1 m.

Safr	Local	pH	Mg	Ca	PMehlich	CTC	K	S	MO	V	Argila
		água	-----(cmolc dm^{-3})-----				----	-----(mg dm^{-3})-----	-----%		
Incubação	--	5,9	2,7	6,5	8,6	15,1	33,0	5,7	1,8	61,5	21,0

*V = Saturação por bases; MO = Matéria orgânica; CTC pH7 = Capacidade de troca de cátions.

Após a coleta, o solo foi peneirado em peneira de 4 mm, submetido à retirada manual de pedras e resíduos culturais e homogeneizado. Em seguida, o solo foi subamostrado e armazenado em temperatura ambiente durante 15 dias, até o início da incubação. Nas subamostras foram realizadas análises químicas do solo cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. As análises químicas seguiram a metodologia de Tedesco et al. (1995). Foram utilizadas duas fontes de fertilizantes orgânicos provenientes de cama de aviário, uma na forma peletizada e outra farelada. As características destes fertilizantes seguem na Tabela 2.

Tabela 2. Características química das fontes de fertilizantes orgânicos.

Variável	Peletizado	Farelado
Cálcio - Ca (%)	5,5	5,1
Potássio - K ₂ O (%)	2,5	2,9
Magnésio - Mg (%)	1,0	0,9
Nitrogênio - N (%)	2,0	1,6
Fósforo - P ₂ O ₅ (%)	4,0	4,0
pH (água)	6,6	6,5
Relação C/N	10,27	12,29
Umidade (%)	6,49	27,0

Um experimento de incubação foi instalado para monitorar a mineralização do N após a aplicação dos materiais orgânicos no solo. Foram aplicados oito tratamentos, dos quais um foi composto por uma testemunha, sem adição de fertilizante (T1), 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ da cama de aves peletizada (T2, T3 e T4) e 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ da cama de aves farelada (T5, T6 e T7), além de um tratamento adicional com fertilizante mineral (T8) na dose de 120, 80 e 110 kg N, P₂O₅ e K₂O ha⁻¹, conforme Tabela 3. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições.

Tabela 3. Composição dos tratamentos e descrição dos contrastes ortogonais durante a incubação. Santa Maria, RS. 2021.

Tratamentos			Coeficientes dos contrastes					
	Fonte	Doses	C1	C2	C3	C4	C5	C6
T1	-	Testemunha	7	0	0	0	0	-1
T2		40 kg N ha ⁻¹	-1	1	0	0	0	-1
T3	Peletizado	80 kg N ha ⁻¹	-1	0	1	0	0	-1
T4		120 kg N ha ⁻¹	-1	0	0	1	-1	-1
T5		40 kg N ha ⁻¹	-1	-1	0	0	0	-1
T6	Farelado	80 kg N ha ⁻¹	-1	0	-1	0	0	-1
T7		120 kg N ha ⁻¹	-1	0	0	-1	-1	-1
T8	Mineral	120 kg N ha ⁻¹	-1	0	0	0	2	7

As unidades experimentais foram montadas em recipientes de vidro com 8,5 cm de diâmetro e 500 ml de capacidade e acondicionadas em incubadora na ausência de luz a uma temperatura de 25°C. Cada unidade experimental recebeu uma amostra de 212 g de solo seco, com umidade ajustada para 70 % da capacidade de campo. As quantidades de fertilizantes aplicadas em cada recipiente da fonte peletizada foram de 0,98, 1,97 e 2,96 g, e da fonte farelada

foram 2,7, 5,5 e 8,3 g, referente às doses de 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹, em base úmida. Foram montados cinco conjuntos com 8 tratamentos e três repetições, totalizando 120 unidades experimentais.

O experimento foi instalado no dia 8 de setembro de 2020, e 10 dias após a incubação (DAI) foi aplicada uma lâmina de água de aproximadamente 0,02 m. Aos 15 DAI foi feita a primeira aplicação de ureia para o tratamento que recebeu fertilizante mineral. Tanto a aplicação da lâmina de água quanto a de ureia foram feitas com o intuito de simular a aplicação feita em uma lavoura de arroz irrigado. Posteriormente, aos 55 DAI foi realizada a segunda aplicação de ureia nos mesmos tratamentos.

As avaliações de N mineral do solo (NH₄⁺ + NO₃⁻) foram realizadas no momento da instalação do experimento (tempo zero) e posteriormente, aos 10, 25, 55 e 90 DAI. Em cada uma das cinco amostragens realizadas, um conjunto era analisado e posteriormente descartado. Em cada amostragem, o N mineral do solo foi extraído por agitação com KCl 1 mol L⁻¹ durante 30 minutos, seguido da decantação, filtração e destilação dos extratos em destilador de arraste de vapores do tipo semi-micro Kjeldahl na presença de óxido de magnésio e liga de Devarda, titulando-se o destilado com H₂SO₄ (TEDESCO et al., 1995). Em cada amostragem também foi determinada a umidade gravimétrica do solo, secando-se as amostras em estufa a 105 °C durante 24 horas.

O percentual de N mineralizado em relação ao N total que foi adicionado em cada solo com os fertilizantes peletizado e farelado foi calculado diminuindo-se da variação ocorrida nos teores de N mineral a cada duas amostragens sucessivas nesses tratamentos a variação no N mineral ocorrida no solo das respectivas testemunhas. O resultado desse cálculo foi dividido pela quantidade de N total adicionado ao solo com os respectivos resíduos.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância pelo teste “F” a 5% de probabilidade de erro para ambos os experimentos. Quando significativos, os dados foram submetidos à análise de regressão e contrastes ortogonais a 5% de probabilidade de erro, fazendo o uso do programa estatístico SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As maiores concentrações do N-NH₄⁺ dos fertilizantes testados ocorreu até próximo dos 50 dias de incubação, aumentando proporcionalmente à quantidade de N aplicado em cada dose. Essa resposta ocorreu semelhante para todos os tratamentos, com exceção da testemunha que se comportou de forma estável em todo o período de incubação.

Nesse período inicial, de maneira geral, o fertilizante farelado obteve maior concentração do N-NH_4^+ , entretanto, após a adição da lâmina de água houve estabilidade na concentração até os 25 DAI, e depois desse período o fertilizante peletizado obteve concentrações superiores de N-NH_4^+ em relação ao farelado. Posteriormente, houve decréscimo na mineralização, chegando até os 90 DAI, sendo que a maior redução ocorreu no intervalo compreendido entre os 25 e 55 DAI, destacando-se o fertilizante peletizado com a maior mineralização do nitrogênio. Por outro lado, o tratamento com fertilizante mineral, após a aplicação da ureia, apresentou incremento na mineralização superior aos demais fertilizantes, mantendo elevada taxa de mineralização até os 90 DAI (Figura 1A).

De acordo com Knoblauch et al. (2012), em ensaio com doses de cama de aviário e fertilizante mineral na cultura do arroz irrigado, observaram que as maiores concentrações de N-NH_4^+ ocorreram entre 47 e 54 dias após a semeadura, diminuindo a partir desse período. De certa forma, esses resultados demonstram semelhança na dinâmica do NH_4^+ em campo e em laboratório através do experimento de incubação. Em relação ao fertilizante mineral, os autores observaram que as maiores concentrações de N-NH_4^+ ocorreram entre 25 e 56 dias após a semeadura, assemelhando-se aos resultados dessa pesquisa de incubação.

Em relação à concentração de N-NO_3^- , houve incremento até os 10 DAI para todos os tratamentos. A partir disto e após a adição da lâmina de água, os valores decaíram até os 25 DAI, se mantendo estável até o final do período de incubação, com exceção do tratamento com fertilizante mineral que apresentou aumento do N-NO_3^- nas posteriores épocas de avaliação (Figura 1B). De acordo com Knoblauch et al. (2012) as concentrações de nitrato disponibilizado pelas doses de cama de aves em ambiente alagado foram em torno de 20 mg kg^{-1} de solo seco, levemente inferiores aos resultados obtidos nesse experimento de incubação, mas que seguem a mesma tendência de redução após a formação de lâmina de água.

No solo, as formas passíveis de absorção de nitrogênio pelas plantas são o amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-). No entanto, devido ao processo de alagamento, o NO_3^- é rapidamente consumido pelos microrganismos anaeróbicos nos processos biológicos que envolvem a transferências de elétrons na respiração celular, causando redução da sua concentração no solo e favorecendo o acúmulo de NH_4^+ , sendo essa a forma predominante de nitrogênio às plantas em condições de anaerobiose, a qual se confirma com esse ensaio de incubação.

Para obtenção desse resultado, a variação ocorrida a cada duas amostragens sucessivas nas quantidades de N mineral nos tratamentos com fertilizantes foi diminuída dessa mesma variação ocorrida no tratamento testemunha (Figura 1A e B). O resultado desse cálculo foi dividido pela quantidade de N total adicionado ao solo com os respectivos resíduos (Tabela 2).

Valores negativos para esse cálculo indicam a ocorrência de imobilização líquida de N, enquanto valores positivos indicam mineralização líquida. Na Tabela 4 encontram-se as significâncias pelos contrastes.

Na figura 2B é possível observar que os tratamentos com fertilizantes orgânicos obtiveram mineralização líquida de N na fase inicial de decomposição (primeiros 10 DAI), entretanto, a partir daí a mineralização líquida passou a decair, atingindo imobilização líquida de N no 27º DAI com a dose intermediária do fertilizante farelado. Aos 34 DAI todos os tratamentos com fertilizante farelado obtiveram imobilização líquida de N e permaneceram até os 90 dias de incubação. Enquanto que para as doses do fertilizante peletizado, o processo de imobilização bruta não superou o de mineralização bruta, resultando em mineralização líquida de N durante todo o período de incubação. Isso indica que independente da dose de fertilizante peletizado houve mobilização líquida.

Diferentemente dos fertilizantes orgânicos, a fonte mineral obteve mineralização líquida de N do início do processo de decomposição até os 25 DAI. A partir desse momento houve decréscimo no N mineralizado, no entanto, muito superior às concentrações ofertadas pelos fertilizantes orgânicos, se mantendo até o final do período de incubação.

Geralmente, a adição de resíduos orgânicos ao solo com baixa relação C/N resulta em mineralização líquida de N (FLAVEL; MURPHY, 2006), uma vez que o fornecimento de N pelos resíduos excede a demanda metabólica de N pelos microrganismos decompositores, com o excesso de N sendo liberado para o solo (CHEN et al., 2014). No presente estudo, esse comportamento foi observado na fase inicial de decomposição dos dois fertilizantes orgânicos, onde apesar da baixa relação C/N dos materiais orgânicos, ocorreu imobilização líquida de N diferente entre eles. Isso reforça a afirmação de Mohanty et al. (2011) de que resíduos de relação C/N semelhantes podem mineralizar quantidades diferentes de N, já que a relação C/N não reflete as eventuais diferenças na composição bioquímica dos materiais orgânicos.

Apesar dos fertilizantes orgânicos possuírem relação C/N muito próximas, os dois resíduos diferiram quanto à dinâmica do N no solo durante a incubação. O farelado provocou a imobilização líquida de N de forma mais intensa e duradoura, apresentando menor mineralização quando comparado ao peletizado. Quanto à composição bioquímica, mesmo que não tenha sido avaliada, se espera que seja distinta entre dois resíduos orgânicos, justificando as diferenças observadas na dinâmica do N mineral após a adição de ambos no solo.

As proporções entre celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis podem afetar a estrutura e a atividade da população microbiana atuante na decomposição dos resíduos orgânicos, com reflexos nos processos de mineralização/imobilização de N (HADAS et al., 2004). A presença

de lignina ou C recalcitrante pode reduzir a taxa de mineralização de N (VIGIL; KISSEL, 1991), uma vez que restringe o crescimento microbiano.

CONCLUSÕES

Independentemente da dose, o fertilizante farelado proporciona maior mineralização líquida de N, enquanto que o peletizado proporciona maior imobilização desse nutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANERJEE, H. et al. Optimizing potassium application for hybrid rice (*Oryza sativa* L.) in coastal saline soils of West Bengal, India. **Agronomy**, v.8, n.1, p.1-14, 2018.

CHEN, B. et al. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.34, n.1, p.429-442, 2014.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> . Acesso em: 02 Ago. 2021.

FLAVEL, T. C.; MURPHY, D. V. Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendments to soil. **Journal of Environmental Quality**, v.35, n.1, p.183-193, 2006.

HADAS, A. et al. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, n.1, p.255-266, 2004.

HOSENEY, R. C. **Principios de ciencia y tecnologia de los cereals**. Zaragoza: Acribia, 1991. 321p.

IRGA - Instituto Rio Grandense de Arroz. www.irga.rs.gov.br. Acesso: 15 Jun. 2021.

ISMAEL, F.; Ndayiragije, A.; Fanguero, D. New fertilizer strategies combining manure and urea for improved rice growth in mozambique. **Agronomy**, v.11, n.1, p.783, 2021.

JAVIER, E. F. et al. Three-year effect of organic fertilizer use on paddy rice. **Philippine Journal of Crop Sciences**, v.27, p.11-15, 2002.

KNOBLAUCH, R. et al. Dinâmica do nitrogênio em solos alagados, contaminação da água de irrigação e rendimento de grãos de arroz em decorrência da aplicação de fertilizantes nitrogenados químicos e orgânicos. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.25, n.1, p.67-72, 2012.

KUMAR, M.; SINGH, S.K.; BOHRA, J.S. Cumulative effect of organic and inorganic sources of nutrients on yield, nutrients uptake and economics by rice–wheat cropping system in indo-gangetic plains of India. **Soil Science Plant Anal**, v.51, n.1, p.658-674, 2020.

LIANG, X. et al. Composition of phosphorus species and phosphatase activities in a paddy soil treated with manure at varying rates. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.237, p.173-180, 2017.

MANIVANNAN, R. et al. Nutrient uptake, nitrogen use efficiency and yield of rice as influenced by organics and fertilizer nitrogen in lowland rice soils. **Plant Archives**, v.20, n.1, p.3713-3717, 2020.

MARCHEZAN, E. et al. Ocorrência de grãos gessados em três cultivares de arroz. **Scientia Agrícola**, v.49, p.87-91, 1992.

MASUNGA, R. H. et al. Nitrogen mineralization dynamics of different valuable organic amendments commonly used in agriculture. **Applied Soil Ecology**, v.101, 185-193, 2016.

MITRAN, T.; MANI, P. K. Effect of organic amendments on rice yield trend, phosphorus use efficiency, uptake, and apparent balance in soil under long-term rice-wheat rotation. **Journal of Plant Nutrition**, v.40, n.1, p.1312-1322, 2017.

MOHANTY, M. et al. Modelling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study. **Ecological Modelling**, v.222, n.1, p.719-726, 2011.

MUSHTAQ, M. et al. Humification of poultry waste and rice husk using additives and its application. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v.8, p.15-22, 2019.

NISHIKAWA, T.; LI, K.; INAMURA, T. Nitrogen uptake by the rice plant and changes in the soil chemical properties in the paddy rice field during yearly application of anaerobically-digested manure for seven years. **Plant Production Science**, v.17, p.237-244, 2014.

PLETT, D. C. et al. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity, **Journal of Experimental Botany**, v.71, n.15, p. 4452–4468, 2020.

ROLLON, R. J. C.; GOLIS, J. M.; SALAS, E. Impacts of soil nutrient management practices on soil fertility, nutrient uptake, rice (*Oryza sativa* L.) productivity, and profitability. **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, v.9, n.2, p.75-84, 2021.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHMIDT F. & KNOBLAUCH, R. Extended use of poultry manure as a nutrient source for flood-irrigated rice crop. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.55, e00708, 2020.

SOFIATTI, V. et al. Efeito de regulador de crescimento, controle de doenças e densidade de semeadura na qualidade industrial de grãos de arroz. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.418- 423, 2006.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

VIGIL, M.; KISSEL, D. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. **Soil Science Society of America**, v.55, n.1, p.757-761, 1991.

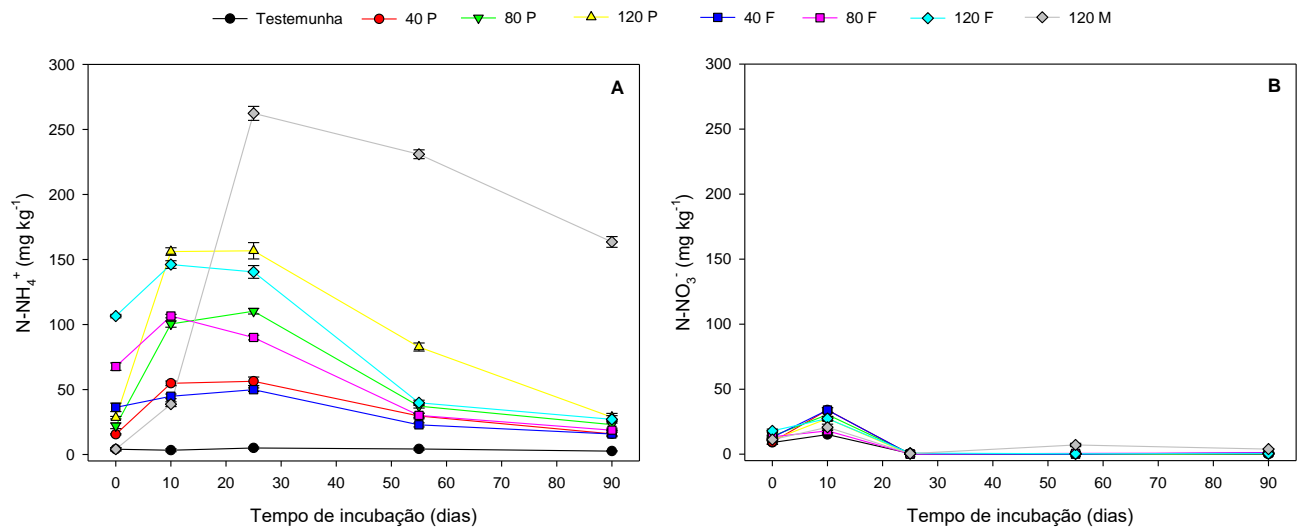


Figura 1. Concentrações de amônio (NH_4^+) (A) e nitrato (NO_3^-) (B) em solo alagado decorrente de doses de nitrogênio fornecidas por cama de aviário peletizada (P), farelada (F) e fertilizante mineral (M). Santa Maria, RS. 2021.

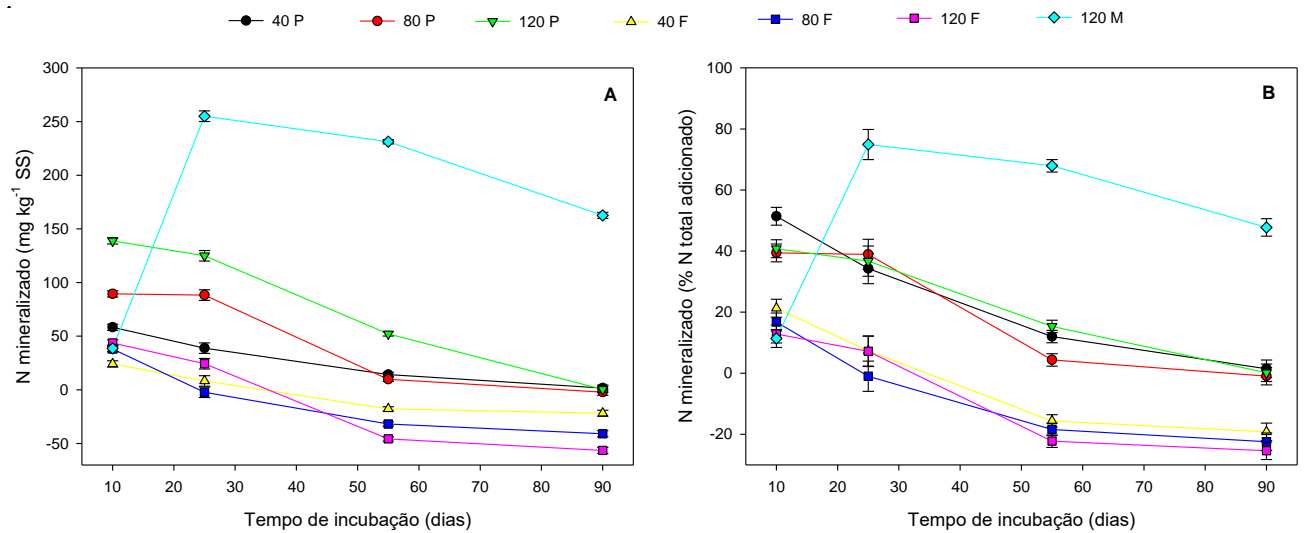


Figura 2. N mineralizado (A) e percentual de N mineralizado em relação ao N total adicionado (B) em solo alagado decorrente de doses de nitrogênio fornecidas por cama de aviário peletizada (P), farelada (F) e fertilizante mineral (M). Santa Maria, RS. 2021.

Tabela 4. Contrastes ortogonais para N mineralizado sob diferentes fertilizantes. Santa Maria, RS. 2021.

Contrastes	Estimativa do contraste				
	Dias após incubação				
	0	10	25	55	90
C1	*	*	*	*	*
C2	ns	*	*	*	*
C3	ns	*	*	*	*
C4	ns	*	*	*	*
C5	ns	*	*	*	*
C6	ns	*	*	*	*
CV%	18,7	15,2	20,1	11,7	13,8

*significativo pelo teste F a 5%; ns não significativo pelo teste F a 5%.

4 CAPÍTULO II (ARTIGO CIENTÍFICO)

RENDIMENTO, ACÚMULO DE NUTRIENTES NO TECIDO E QUALIDADE FÍSICA DE GRÃOS DE ARROZ IRRIGADO SOB FONTES E DOSES DE FERTILIZANTES PARA PRODUÇÃO ORGÂNICA

INTRODUÇÃO

Em um contexto atual, no qual muitos países encontram dificuldade em produzir alimentos para atender sua demanda interna, o Brasil ocupa o papel de ser um dos maiores fornecedores de alimentos do mundo. Entre as culturas mais importantes no Brasil, destaca-se o agronegócio do arroz (*Oryza sativa* L.), e a produção desta cultura está concentrada em lavouras irrigadas no Sul do país, sendo o Rio Grande do Sul o estado com maior produção, representando segurança alimentar ao País (FAO, 2020; IRGA, 2021).

Entretanto, nos últimos anos, o setor orizícola vem passando por problemas de rentabilidade devido ao elevado custo de produção, atingindo principalmente os pequenos produtores, os quais precisam de alternativas para agregar valor ao seu produto e tornar sua produção mais rentável. Dessa forma, a produção de tipos especiais de arroz como sistema de cultivo de arroz orgânico surge como uma alternativa de melhoria de rentabilidade do arroz em pequenas propriedades.

De acordo com o IRGA (2021), o Brasil foi considerado o maior produtor de arroz orgânico da América Latina, com 2.740 ha de área cultivada, produção de 12.400 toneladas de grãos e produtividade média de 4.500 kg ha⁻¹ (safra 2020/2021), cultivados em 12 assentamentos rurais de 11 municípios do estado do Rio Grande do Sul.

No entanto, apesar de ter uma rápida expansão em alguns países nas últimas duas décadas (VAN BRUGGEN et al., 2016), a agricultura orgânica ainda está a passos lentos na maioria dos países em desenvolvimento, tendo como exemplo a considerável lacuna na produção de arroz entre os sistemas de produção convencional e orgânico, um dos principais gargalos que dificultam sua adoção em maior escala pelos produtores. Um exemplo disso é resultado da produtividade média obtida nesse ano no RS, onde o rendimento da lavoura de arroz convencional em uma área de 945.971 ha foi de 9.010 kg ha⁻¹ enquanto a de arroz orgânico foi de 4.500 kg ha⁻¹ em 2.740 ha (IRGA, 2021).

Em meio aos fatores que afetam a produtividade no sistema orgânico, como a competição com plantas daninhas (HOKAZONO; HAYASHI, 2012), ataque de pragas (KIRITANI, 2007), falta de variedades com menor exigência em fertilidade (VAN BUEREN et

al., 2011) e, conseqüentemente, com menor necessidade de aporte de nutrientes (WILD et al., 2011; HAZRA et al., 2014), a questão nutricional é a que exerce maior redução do potencial produtivo do arroz, evidenciando a necessidade de estudos.

Dessa forma, entre os nutrientes mais limitantes da cultura do arroz irrigado, o nitrogênio (N) é o de maior relevância, principalmente em sistemas de produção orgânica (BERRY et al., 2002; WILD et al., 2011; HUANG et al., 2016). No sistema orgânico, promover a sincronia entre a oferta e a demanda desse nutriente à planta é extremamente difícil (Jarvis et al., 1996). Pesquisas apontam que a liberação de N de compostos orgânicos durante o período de crescimento das plantas de arroz é geralmente menor, e a taxa de liberação depende principalmente da taxa de mineralização, que por sua vez é influenciada por diversos fatores (VAN BUEREN et al. 2011; ROBERTSON; GROFFMAN, 2015), inclusive pela fonte de fertilizante.

De acordo com Khan et al. (2018) em experimento conduzido com doses de cama de aviário e vermicomposto, observaram aumento nos componentes de rendimento da cultura do arroz com a elevação de doses dos fertilizantes orgânicos. Abduh et al. (2020) também observaram aumento no rendimento de grãos com o incremento de doses de fertilizantes orgânicos, confirmando assim a eficiência desses fertilizantes para o cultivo do arroz irrigado.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo identificar fontes e doses de fertilizantes orgânicos que propiciem obtenção de tetos produtivos maiores e com isso maior rentabilidade da cultura do arroz irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos nas safras agrícolas 2019/20 e 2020/21, na área didático-experimental de várzea do Grupo de Pesquisa em Arroz Irrigado (GPai) da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Na safra 2019/20, os ensaios foram conduzidos em duas áreas caracterizadas como: cultivo anterior convencional (área 1) e cultivo anterior orgânico com planta de cobertura no inverno (área 2). Na safra 2020/21 o ensaio foi conduzido em apenas uma área com manejo orgânico (área 3). As características químicas dos solos conforme as áreas de cultivo estão descritas na Tabela 5. O clima é, segundo a classificação de Köppen, subtropical úmido (Cfa), sem estação seca, com temperatura média do ar no mês mais quente superior a 22°C (MORENO, 1961). O solo da área é classificado como Planossolo Háptico Eutrófico arênico (SANTOS et al., 2018).

Tabela 5. Características químicas dos solos das áreas experimentais nas safras 2019/20 e 2020/21 na profundidade de 0,0-0,2 m.

Safr	Local	pH	Ca	Mg	S	P-	K	CTC	MO	V	Argila
		água 1:1	Mehlich -----(mg dm^{-3})-----					pH7 (cmolc dm^{-3})	-----%-----		
2019/20	Área 1	5,6	7,1	3,3	9,7	16,5	56,0	14,5	2,1	79,0	27,0
	Área 2	5,4	3,6	1,3	5,1	35,7	48,0	8,5	2,3	58,9	24,0
2020/21	Área 3	5,5	4,1	2,5	5,0	39,1	50,0	8,3	2,4	57,2	24,0

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em arranjo bifatorial 3x2+2 tratamentos adicionais, com quatro repetições. O fator A foi composto por duas fontes de fertilizantes (cama de aviário peletizada e farelada, Tabela 2) e o fator D por doses (40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ de cada fertilizante, referentes às quantidades de 2,0; 4,0 e; 6,0 t ha⁻¹ do fertilizante peletizado e 2,5; 5,0 e; 7,5 t ha⁻¹ do fertilizante farelado).

Dessa forma, os tratamentos foram compostos por uma testemunha, sem adição de fertilizante (T1), 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ da cama de aviário peletizada (T2, T3 e T4) e 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹ da cama de aviário farelada (T5, T6 e T7), além de um tratamento adicional com fertilizante mineral (T8) na dose de 120, 80 e 110 kg N, P₂O₅ e K₂O ha⁻¹ (Tabela 3), respectivamente, totalizando 32 parcelas experimentais. Os fertilizantes utilizados no T8 foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. A parcela experimental foi composta por 18 linhas, as quais foram espaçadas em 0,17 m, tendo como dimensões 3,06 x 5 m, totalizando uma área de 15,3 m².

A semeadura na safra 2019/20 foi realizada no dia 30 de novembro de 2019, com a cultivar BRS Pampa na densidade de 100 kg ha⁻¹, e na safra 2020/21 foi realizada no dia 05 de novembro de 2020, com a cultivar IRGA 431 na densidade de 100 kg ha⁻¹. O solo foi previamente preparado no sistema de plantio convencional, o qual foi realizado manejos como gradagem com a finalidade de reduzir o banco de sementes de plantas daninhas na camada superficial do solo e também nivelamento para melhor eficiência da irrigação. Na safra 2019/20 na área 1 e safra 2020/21, o solo foi preparado através de gradagem, ficando em pousio durante o inverno. Próximo à semeadura, o solo foi gradeado e aplainado por três vezes com intuito de diminuir o banco de sementes de plantas daninhas e arroz espontâneo, por ser uma área de arroz sob arroz. Na área 2, o solo foi gradeado após a colheita do arroz de manejo orgânico, e posteriormente semeado trevo-persa como cultura de cobertura. Próximo à semeadura a área

foi gradeada por duas vezes, incorporando a matéria verde do trevo ao solo, e em seguida aplainada, finalizando o processo de preparo.

Os fertilizantes orgânicos foram aplicados na semeadura do arroz, em superfície, em ambas as safras. Foram considerados o baixo teor de matéria orgânica do solo e alta expectativa de resposta da cultura à adubação para a escolha das doses a serem utilizadas. Os fertilizantes minerais foram aplicados na semeadura e em cobertura: o superfosfato triplo em uma única aplicação (semeadura), a ureia fracionada em duas aplicações (70% em V3/V4 e 30% em R0) e o cloreto de potássio fracionado em duas aplicações (70% na semeadura e 30% em V3/V4).

Em pós-emergência (estádios S3/V1), foi estabelecida uma lâmina de água de 0,05m, depois estabilizada para 0,10m conforme o desenvolvimento das plantas, com o intuito de suprimir a emergência de plantas daninhas.

As variáveis analisadas foram: estatura de plantas, onde foi utilizada uma régua “T” graduada medindo-se a estatura do dossel vegetativo das plantas em cinco pontos de cada unidade experimental nos estádios fenológicos V6, R1 e R4. A radiação fotossinteticamente ativa incidente sob o dossel, que foi aferida com o auxílio de sensor específico de fótons LI-191 R, marca LI-COR, conectado a um radiômetro portátil, nos estádios V6, R1 e R4, posicionando-se o sensor acima do dossel e no nível da superfície da lâmina de água. O índice de área foliar foi calculado em cinco plantas por unidade experimental através da mensuração do comprimento e largura de cada folha nos estádios V6, R1 e R4, sendo posteriormente multiplicado por 0,75 como fator de correção, segundo metodologia proposta por Yoshida (1981). A massa seca foi determinada através da coleta de 1 m linear em cada unidade experimental nos estádios V6, R1 e R4, onde as plantas foram seccionadas rente ao solo. As amostras foram levadas à estufa de ventilação forçada de ar a uma temperatura de 65°C até atingirem massa constante, posteriormente foram pesadas e os dados obtidos transformados para kg ha⁻¹.

Também foram avaliados os componentes de rendimento: número de panículas por m², determinado através da contagem sequencial do número de panículas demarcadas em 1 m linear da segunda linha de semeadura de cada unidade experimental, posteriormente transformado para panículas m⁻², realizada no estágio R9; número de grãos por panícula, determinado pela contagem do número total de grãos de 10 panículas coletadas no metro linear demarcado; massa de mil grãos, determinada pela pesagem de oito amostras de 100 grãos por parcela, obtendo-se a média dos valores e transformando-os em massa de mil grãos; esterilidade de espiguetas, estimada nas 10 panículas coletadas e calculada a percentagem de esterilidade através da contagem dos espiguetas estéreis; e o rendimento de grãos, realizado através da

colheita de uma área útil de 4,25 m² (0,85 x 5 m) em cada unidade experimental, quando os grãos estavam apresentando umidade média de 22%. Após trilha, limpeza e pesagem dos grãos, os dados foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos para kg ha⁻¹. E avaliação econômica dos fertilizantes.

Também foi realizado uma análise da relação custo dos fertilizantes utilizados no estudo X rendimento de grãos de arroz. Dentro desta análise, foram realizados o custo do ponto de equilíbrio (CPE) e o rendimento de ponto de equilíbrio (RPE), calculados através das equações 1 e 2.

$$CPE = \frac{\text{custo } ha^{-1}}{sc \text{ } ha^{-1}} \quad (1)$$

$$RPE = \frac{\text{custo } ha^{-1}}{\text{custo } sc} \quad (2)$$

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância pelo teste “F” a 5% de probabilidade de erro. Quando significativos, os dados foram submetidos à análise de regressão e contrastes ortogonais a 5% de probabilidade de erro, fazendo o uso do programa estatístico SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre os fatores doses e fontes de fertilizantes para nenhuma das variáveis analisadas, sendo apresentados os resultados dos fatores isoladamente. Neste caso, houve diferença significativa para as doses de fertilizantes na maioria das variáveis analisadas; no entanto, não houve diferença significativa entre as fontes de fertilizantes utilizadas.

Para a variável estatura de plantas (Figura 3A, B e C), os resultados demonstram que nas duas safras agrícola, de maneira geral, conforme foram aumentadas as doses de fertilizantes orgânicos houve acréscimo na estatura, sendo que a adubação mineral, representado pelas barras na figura de dispersão, diferiu dos demais tratamentos e proporcionou maior estatura nos diferentes estádios de avaliações (Tabela 6). Quanto as fontes, não houve diferença significativa.

As maiores doses dos fertilizantes orgânicos nas avaliações em R₄ proporcionaram acréscimo de 4,4, 6,7 e 5,4% em relação as menores doses nas três áreas, respectivamente, o que representa 4,2, 6,1 e 5,0 cm. Rollon et al. (2021), em experimento com fertilizantes orgânicos e inorgânicos, além da influência dos outros fatores e nutrientes essenciais para o

crescimento, atribuíram o acréscimo na altura das plantas ao aumento do potássio disponível no solo e melhoria do pH do solo, decorrente da aplicação dos fertilizantes orgânicos.

Por outro lado, o potássio está envolvido em vários processos bioquímicos (síntese de proteínas, metabolismo de carboidratos e ativação enzimática) e fisiológicos (regulação estomática e fotossíntese) que são responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das plantas (HASANUZZAMAN, et al., 2018). Além do potássio, outro nutriente que pode ter contribuído para a estatura das plantas foi o nitrogênio.

De acordo com Khan et al. (2018), em experimento com doses de cama de aviário e vermicomposto na cultura do arroz, observaram acréscimo na estatura de plantas com o aumento das doses. Já Ismael et al. (2021), em experimento com doses e combinações de fertilizantes mineral e orgânicos obtiveram estatura de plantas de 1,10 m com a dose de 4,5 t ha⁻¹ de cama de aviário.

Em relação à variável radiação solar incidente no dossel, de maneira geral e nas duas safras, os resultados evidenciam que a partir do aumento das doses de cama de aviário houve diminuição da percentagem de radiação que atingiu lâmina de água, o que significa que o aumento do fertilizante orgânico proporcionou melhor desenvolvimento vegetativo das plantas. O tratamento com fertilizante mineral proporcionou menor percentagem de radiação sob a lâmina de água quando comparados aos demais, diferindo entre eles (Tabela 6). Essa resposta possivelmente ocorreu por este tratamento ter possibilitado maior desenvolvimento da parte aérea das plantas de arroz e, conseqüentemente, menor incidência de luz sob a lâmina de água, resultando no fechamento de entrelinha com maior facilidade. As maiores dose dos fertilizantes orgânicos nas avaliações em R₄ proporcionaram acréscimo de 15,6, 14,8 e 15,6% em relação as menores doses nas três áreas, respectivamente, (Figura 4A, B e C).

A estatura de plantas (Figura 3) e o índice de área foliar (Figura 5) influenciaram na incidência de radiação solar sob o dossel da cultura, visto que os tratamentos que possibilitaram maiores aportes na altura das plantas e em sua área foliar propiciaram maior desenvolvimento do dossel vegetativo, resultando no fechamento das entrelinhas e maior interceptação da radiação solar incidente pelo dossel. Quando se relaciona estes resultados com a massa seca, também é perceptível seu acréscimo com o aumento na adição de fertilizante.

Em pesquisa com fontes de fertilizantes mineral e orgânico, Rollon et al. (2021), destacaram a importância da oferta de nutrientes pelas fontes de fertilizantes e seu reflexo no rendimento da cultura. Plantas submetidas a fontes de maior disponibilidade de nutrientes produziram mais perfilhos, tiveram maior crescimento foliar e interceptaram mais radiação

solar, resultando em maior produção de grãos, corroborando com os resultados obtidos nessa pesquisa.

Na figura 5A, B e C, observou-se resultados semelhantes nas duas safras agrícolas, onde houve acréscimo da massa seca da parte aérea conforme foram aumentadas as doses de fertilizantes orgânicos, sendo que a adubação mineral sobressaiu dos demais tratamentos, e diferiu entre eles (Tabela 6), resultando em acréscimo na massa seca nos diferentes estádios de avaliações. Em relação ao fator fontes, não houve diferença significativa para esta variável. As maiores doses dos fertilizantes orgânicos nas avaliações em R4 proporcionaram acréscimo de 13,5, 8,7 e 13,2% em relação as menores doses nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente, o que representa 2400, 1500 e 2000 kg ha⁻¹.

Os resultados obtidos nesse estudo se assemelham aos encontrados por Diwale et al. (2020), onde testaram fontes de fertilizantes orgânicos e obtiveram maior massa seca da parte aérea entre os tratamentos com a dose de 10 t ha⁻¹ de cama de aviário, o que comprova a eficácia desse fertilizante para a cultura do arroz.

A estatura de plantas (Figura 3), interceptação de radiação no dossel (Figura 4) e o índice de área foliar (Figura 6) contribuem diretamente para o aumento da massa seca da parte aérea. Os resultados podem ser justificados pela resposta das variáveis à oferta de nutrientes, obtendo acréscimo com aumento das doses e se destacando entre os demais tratamentos com o uso do fertilizante mineral.

Para Rollon et al. (2021), em sua pesquisa com fertilizantes orgânicos, afirmaram que o rendimento de grãos esteve fortemente associado ao crescimento da parte aérea e a correlação em seus resultados sugere que com o aumento do crescimento vegetativo, a produtividade de grãos também aumenta.

Para a variável índice de área foliar (Figura 6A, B e C) os resultados demonstram que de maneira geral, conforme foram aumentadas as doses de fertilizantes orgânicos houve acréscimo na área foliar com tendência linear crescente, sendo que a adubação mineral proporcionou maior IAF nos diferentes estádios de avaliações, diferindo entre os demais tratamentos (Tabela 6). Quanto as fontes, não houve diferença significativa. Essa resposta ocorreu em ambas as safras agrícola. As maiores doses dos fertilizantes orgânicos nas avaliações em R₄ proporcionaram acréscimo de 21,2, 11,3 e 16,8% em relação às menores doses nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

Possivelmente, o índice de área foliar foi afetado pela menor disponibilidade de nutrientes ofertados pelos fertilizantes orgânicos, principalmente o nitrogênio. Este, favorece o crescimento das plantas e aumenta os componentes da produtividade. É responsável pelo

incremento da área foliar da planta, o que aumenta a eficiência de intercepção da radiação solar, a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade de grãos. A carência de N é uma das que mais limitam a produtividade do arroz irrigado (SANTOS et al., 2017).

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, estes comprovam que não houve interação entre os fatores doses e fontes de fertilizantes para nenhuma das variáveis analisadas, sendo apresentados os resultados dos fatores isoladamente. Quanto às doses de fertilizantes, não houve diferença significativa nas variáveis de qualidade física dos grãos, como também entre as fontes de fertilizantes utilizadas.

Para a variável nitrogênio acumulado (Figura 7A, B e C) os resultados demonstram que nas duas safras agrícola, de maneira geral, conforme foram aumentadas as doses de fertilizantes orgânicos houve acréscimo no N acumulado, sendo que a adubação mineral, representado pelas barras na figura de dispersão e Tabela 7 referente aos contrastes ortogonais, proporcionou maior acúmulo de N no tecido nos diferentes estádios de avaliações.

Não houve diferença significativa para o acúmulo de N no estágio V6, o que pode estar atrelado à mineralização dos fertilizantes orgânicos, associado à avaliação realizada no estágio inicial de desenvolvimento da cultura. Quanto às fontes, não houve diferença significativa.

As doses de 120 kg N ha⁻¹ fornecidas pelos fertilizantes orgânicos nas avaliações em R₄ proporcionaram acréscimo de 20,6, 27,7 e 21,5% em relação às doses de 40 kg N ha⁻¹ nas três áreas, respectivamente, o que representa 28,4, 43,0 e 33,3 kg N acumulado ha⁻¹.

Schmidt & Knoblauch (2020) em experimento com cama de aviário e fertilizante mineral na cultura do arroz irrigado observaram que as plantas submetidas aos tratamentos com doses de cama de aviário acumularam nitrogênio com o aumento das doses. Os autores também observaram que o maior acúmulo de N foi obtido nas plantas de arroz cultivadas com fertilizante mineral (161 kg ha⁻¹), o que se assemelha aos resultados obtidos nessa pesquisa, em que o fertilizante mineral proporcionou maior acúmulo de N (166, 175 e 172 kg ha⁻¹) nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente. Já a maior dose desses fertilizantes orgânicos foi superior no acúmulo de nitrogênio (150, 152 e 125 kg N ha⁻¹) nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

Em um ensaio com fontes de fertilizantes orgânicos e inorgânicos nas doses de 120 kg ha⁻¹ em dois tipos de solos, Manivannan et al. (2020) observaram menores valores de N acumulado (60 kg N ha⁻¹) com o uso da cama de aviário e maiores acúmulos nos tratamentos com fertilizantes inorgânicos (em média 83 kg N ha⁻¹), seguindo a mesma tendência dos resultados obtidos nessa pesquisa, porém inferiores numericamente.

Já Ismael et al. (2021), em experimento com diferentes fontes de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, fornecendo 100 kg N ha⁻¹, obtiveram acúmulo de 40,1 kg N ha⁻¹ no tecido vegetal

com a fonte cama de aviário, enquanto que o fertilizante mineral acumulou 46,6 kg N ha⁻¹, sendo considerados baixos valores acumulados. Esses resultados foram inferiores aos obtidos nessa pesquisa, podendo estar relacionado com a mineralização do N pelo fertilizante, possibilitando condições de baixa absorção de N pelas plantas.

Na figura 8A, B e C observou-se resultados semelhantes nas duas safras agrícolas, onde houve acréscimo no acúmulo de fósforo conforme foram elevadas as doses de fertilizantes orgânicos, sendo que a adubação mineral (Tabela 7) sobressaiu dos demais tratamentos, proporcionando maior acúmulo de P nos diferentes estágios de avaliações. Em relação ao fator fontes, não houve diferença significativa para esta variável.

As doses 120 kg N ha⁻¹ fornecidas pelos fertilizantes orgânicos nas avaliações em R4 proporcionaram acréscimo de 16,5, 16,2 e 18,0% em relação às doses de 40 kg N ha⁻¹ nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente, o que representa 10,1, 9,9 e 9,9 kg P ha⁻¹. De acordo com Kumar et al. (2020), o aumento da absorção de P pode ser devido a materiais orgânicos formando quelatos com Al³⁺ e Fe³⁺ levando mais P disponível para absorção pela planta. Essa disponibilidade pode ter ocorrido conforme aumento das doses de fertilizantes.

Em experimento com diferentes fontes de fertilizantes orgânicos e inorgânicos fornecendo 100 kg N ha⁻¹, Ismael et al. (2021) obtiveram acúmulo de 5,95 kg de P ha⁻¹ no tecido vegetal com a fonte cama de aviário, enquanto que o fertilizante mineral acumulou 8,46 kg de P ha⁻¹, resultados abaixo dos obtidos nessa pesquisa.

Já Manivannan et al. (2020), em pesquisa com fontes de fertilizantes orgânicos e inorgânicos em dois tipos de solos, obtiveram acúmulo médio de P de 15 kg ha⁻¹ no tratamento com cama de aviário na dose de 120 kg N ha⁻¹, enquanto que o tratamento com fertilizante inorgânico o P acumulado foi em média 22 kg ha⁻¹, diferindo dos resultados obtidos nessa pesquisa.

Em relação ao acúmulo de potássio (Figura 9A, B e C), os resultados demonstram que de maneira geral, conforme foram aumentadas as doses de fertilizantes orgânicos houve acréscimo no acúmulo de K com tendência linear, sendo que a adubação mineral proporcionou maior acúmulo nos diferentes estágios de avaliações (Tabela 7). Quanto às fontes, não houve diferença significativa, apresentando essas respostas em ambas as safras agrícola. As maiores doses dos fertilizantes orgânicos nas avaliações em R4 proporcionaram acréscimo de 13,5, 15,3 e 13,7% em relação às menores doses nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente, o que representa 28,9, 31,2 e 28,6 kg K acumulado ha⁻¹.

De acordo com Mitran et al. (2017), acréscimos de potássio em plantas de arroz com uso de fertilizantes orgânicos podem ocorrer devido à maior disponibilidade de K por esses materiais, ou por uma boa disseminação das raízes, as quais resultam em maior absorção.

No arroz, o K promove o crescimento da raiz, evita o acamamento da cultura e aumenta o tamanho e peso do grão e o enchimento do grão (Banerjee et al., 2018). Assim, uma deficiência de K limitaria severamente a produção de grãos, diminuiria o peso dos grãos e produziria maior número de grãos não preenchidos.

Rollon et al. (2021), em experimento com fertilizantes orgânicos obtiveram acúmulo de potássio entre 71,9 e 190,9 kg ha⁻¹, variando conforme a dose aplicada, o que está um pouco abaixo dos resultados obtidos nessa pesquisa, mas que segue a mesma tendência com o aumento das doses.

Ismael et al. (2021), em experimento com diferentes fontes de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, fornecendo 100 kg N ha⁻¹, obtiveram acúmulo de 17,2 kg K ha⁻¹ no tecido vegetal com a fonte cama de aviário, enquanto que o fertilizante mineral acumulou 20,1 kg K ha⁻¹, resultados bem inferiores aos obtidos nessa pesquisa.

Na Figura 10A, observa-se o resultado do número de panículas por m², onde houve diferença significativa para o fator doses de fertilizantes orgânicos, ajustando-se ao modelo linear, apresentando acréscimo com o aumento das doses nas três áreas de condução dos ensaios experimentais. Os maiores valores para essa avaliação ocorreram nas maiores doses dos fertilizantes orgânicos (417, 414 e 454 panículas m²). O tratamento com fertilizante mineral (120 kg N ha⁻¹) diferiu entre os demais (Tabela 8) possibilitou maior número de panículas por m² nas áreas 1, 2 e 3 (538, 520 e 556 panículas m²), proporcionando aumento de 17, 14 e 16% respectivamente, em relação ao tratamento com maior dose dos fertilizantes orgânicos. No que se refere aos fertilizantes, de maneira geral, para todas as variáveis relacionadas aos componentes de rendimento de grãos, não houve diferença significativa entre as fontes peletizada e a farelada, apresentando resposta semelhante em ambos os anos de cultivo.

Schmidt & Knoblauch (2020), testando doses de cama de aviário em comparação à adubação com fertilizantes mineral observaram que o número de panículas por m² foi menor com uso do fertilizante orgânico. Os autores também observaram acréscimo significativo nesta variável com o aumento das doses de cama de aviário, o que corrobora com os resultados obtidos nessa pesquisa.

Para o número de grãos panícula⁻¹ (Figura 10B), os resultados demonstram que de maneira geral, nas duas safras agrícolas, conforme foram aumentadas as doses de fertilizantes orgânicos houve acréscimo para essa variável, com tendência linear crescente e maior número

de grãos panícula⁻¹ na dose de 120 kg N ha⁻¹. A adubação mineral diferiu dos demais tratamentos (Tabela 8) proporcionando 74, 75 e 88 grãos panícula⁻¹, sendo 8,5, 14,1 e 20,2% maior em relação ao tratamento com maior dose dos fertilizantes orgânicos nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

Essa resposta pode ser justificada pelo resultado de rendimento de grãos, já que o número de grãos panícula⁻¹ é uma variável que tem relação direta com o rendimento. Rollon et al. (2021) em experimento com fertilizantes orgânicos e inorgânicos observaram aumento de grãos com a adição de fertilizantes orgânicos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Schmidt & Knoblauch (2020), onde observaram acréscimo no número de grãos panícula⁻¹ com o aumento das doses de cama de aviário, sendo o tratamento com fertilizante químico o que proporcionou maior número de grãos panícula⁻¹. Ismael et al. (2021), em pesquisa com fontes e doses de fertilizantes minerais e orgânicos, com a dose de 4,5 t ha⁻¹ de cama de aviário obtiveram 85 grãos panícula⁻¹, diferindo dos resultados encontrados nessa pesquisa.

Em relação a massa de mil grãos (Figura 10C), de acordo com os resultados, não houve diferença significativa entre as doses dos fertilizantes, como também nos tipos de fertilizantes e adubação mineral (Tabela 8), sendo observada essa resposta nas duas safras agrícolas. Khan et al. (2018) e Schmidt & Knoblauch (2020) também não observaram diferença na variável massa de mil grãos em suas pesquisas com doses de cama de aviário.

Na figura 10D observa-se a variável esterilidade de espiguetas, a qual não apresentou diferença significativa para o fator doses de fertilizantes, não havendo também diferença estatística entre as fontes. Entretanto, foi possível observar que o tratamento com fertilizante mineral diferiu estatisticamente (Tabela 8) proporcionando menor esterilidade, e essa resposta pode estar relacionada à menor disponibilidade de nutrientes pelos fertilizantes orgânicos.

De acordo com Rollon et al. (2021) uma proporção mais alta de espiguetas viáveis em plantas cultivadas com fertilizante mineral pode ser atribuída à maior eficiência no uso de nutrientes e maior disponibilidade de nitrogênio para as plantas. Plantas com maiores porcentagens de espiguetas viáveis são mais eficientes na partição de produtos fotossintéticos (carboidratos), resultando em maior rendimento econômico. De acordo com esses autores, as maiores porcentagens de esterilidade de espiguetas nesta pesquisa possivelmente ocorreram devido a menor oferta de nitrogênio pelas camas de aviário.

Os resultados encontrados nessa pesquisa corroboram com os obtidos por Schmidt & Knoblauch (2020), onde não encontraram diferença significativa na esterilidade de espiguetas com o uso de cama de aviário.

Em relação ao rendimento de grãos (Figura 11) foi observado que nas duas safras agrícolas, conforme foram aumentadas as doses de fertilizantes orgânicos houve acréscimo no rendimento. Com base nas equações de regressão, as doses de máxima eficiência técnica, foram de 173, 187 e 180 kg N ha⁻¹ nas duas safras, respectivamente. O tratamento com fertilizante mineral na dose de 120 kg N ha⁻¹ diferiu entre os demais tratamentos (Tabela 8), o qual proporcionou maior rendimento de grãos (9.850, 9.700 e 10.300 kg ha⁻¹), obtendo aumento de 14,1, 12,3 e 13,5%, quando comparado aos tratamentos com maiores doses dos adubos orgânicos nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente. Quanto as fontes, não houve diferença significativa.

A produtividade de arroz com a aplicação de cama de aviário não atingiu a produtividade do tratamento com fertilizante mineral; porém, os rendimentos máximos obtidos nas duas safras podem ser considerados elevados (8.317, 8.137 e 8.639 kg ha⁻¹), por serem semelhantes aos rendimentos médios do arroz produzido de forma convencional no estado do Rio Grande do Sul (8.418 e 9.010 kg ha⁻¹) nas duas últimas safras. Isso demonstra que quando utilizado em doses adequadas, a cama de aviário pode ser um fertilizante orgânico eficiente. Diwale et al. (2020), em experimento com fontes de fertilizantes orgânicos obtiveram maior rendimento de grãos entre os tratamentos com a dose de 10 t ha⁻¹ de cama de aviário, validando a eficiência desse fertilizante.

Os componentes de rendimento têm forte influência no rendimento de grãos da cultura do arroz, dessa maneira, o alto rendimento obtido no tratamento com fertilizante mineral pode ser justificado pela eficiência de disponibilidade de nutrientes pelo mesmo, conseqüentemente, melhor nutrição das plantas, refletindo nos componentes maior número de panículas m² (Figura 12A), grãos panícula⁻¹ (Figura 12B) e menor esterilidade de espiguetas (Figura 12D). Essas variáveis contribuíram diretamente para o rendimento de grãos. As variáveis de crescimento quando associadas ao rendimento de grãos são capazes de justificar os resultados obtidos, onde as mesmas apresentaram acréscimo com a adição de fertilizantes.

Esses resultados se assemelham aos obtidos por Schmidt & Knoblauch (2020), em que os maiores rendimentos foram obtidos com doses de cama de aviário que forneceram entre 130 e 190 kg N ha⁻¹, promovendo o rendimento de grãos em média de 8.000 a 8.800 kg ha⁻¹, afirmando que a cama de aviário quando usado em doses adequadas, pode ser um fertilizante orgânico eficiente no fornecimento de nutrientes para a cultura do arroz.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Rahman et al. (2016) testando fertilizante mineral e orgânico, a exemplo da cama de aviário, obtiveram maior rendimento no tratamento com fertilizante mineral. No entanto, o uso da cama de aviário proporcionou

rendimento de grãos de $5,8 \text{ t ha}^{-1}$ de média nas quatro épocas de desenvolvimento da pesquisa aplicando uma dose de 2 t ha^{-1} do fertilizante orgânico, ficando com o rendimento inferior ao dessa pesquisa utilizando a mesma dose de cama de aviário.

Para os parâmetros de qualidade física de grãos, os resultados demonstram que nas duas safras agrícola, de maneira geral, não houve diferença significativa entre as doses de fertilizantes orgânicos (Figura 12). No entanto, conforme foram aumentadas as doses, houve pequenos acréscimos na percentagem de grãos inteiros (A), e menor percentagem de grãos quebrados (B), grãos gessados (C) e grãos barriga branca (D), sendo que a adubação mineral, representado pelas barras na figura de dispersão e Tabela 7 dos contrastes ortogonais, proporcionou melhores resultados na qualidade física de grãos. Quanto às fontes de fertilizante, não houve diferença significativa entre as variáveis analisadas.

O nitrogênio desempenha um papel fundamental em muitos processos fisiológicos em plantas, rendimento e qualidade de grãos (PLETT et al., 2020). Possivelmente, esse comportamento ocorreu devido as doses dos fertilizantes terem suprido a necessidade de N pelas plantas de arroz necessária para não interferir nessas variáveis, não demonstrando diferença nas características físicas dos grãos.

Os grãos de arroz apresentam uma matriz proteica que envolve cada um dos grânulos de amido, em que esses pequenos grânulos juntos formam grânulos de amido composto (HOSENEY, 1991). Assim, quanto maior for a deposição de amido nos grãos, maior será o número de grânulos compostos presentes, proporcionando maior superfície proteica, o que acarretará em uma maior resistência dos grãos à quebra.

Um indicador indireto da translucidez dos grãos é a quantidade de grãos gessados e barriga branca. O gessamento é um processo que acarreta indesejável opacidade dos grãos, devido ao arranjo entre os grânulos de amido e proteína e se desenvolve sob condições adversas de clima e de cultivo, como, na colheita dos grãos imaturos, picadas de percevejos associadas à inoculação de fungos, doenças (bruzone e mancha parda), altas temperaturas após a floração, deficiências nutricionais e hídricas (Marchezan et al., 1992; Sofiatti et al., 2006). Devido estar ligado à maturação dos grãos, quando a colheita de grãos é realizada com teores de umidade acima de 24%, ela contribui para aumentar a ocorrência de grãos imaturos, o que constitui uma das principais causas do aparecimento de grãos gessados, o que não ocorreu nessa pesquisa.

Na tabela 9 apresenta-se uma relação custo dos fertilizantes utilizados nesse estudo X rendimento de grãos. Os valores dos fertilizantes são referentes as médias dos preços obtidos em meados de setembro de 2021. É importante destacar que outros custos como mão-de-obra, preço de sementes, preparo da área para cultivo, irrigação e controle de plantas daninhas, não

foram inclusos nesta relação. Portanto, foi utilizado apenas a comparação entre as fontes e doses dos fertilizantes, que foi o que, efetivamente diferenciou os custos entre os tratamentos. O preço de venda do saco de arroz convencional foi de R\$ 64,61 e do arroz orgânico R\$ 92,30, em torno de 30% acima do valor do saco de arroz produzido de forma convencional. Esses valores são referentes a setembro de 2021.

Feitas as médias das duas safras, observou-se que o maior rendimento de grãos foi promovido pelo fertilizante mineral (9.850 kg ha^{-1}), e quando subtraídos os custos dos fertilizantes da renda bruta, observa-se que o fertilizante mineral obteve menor lucratividade entre os tratamentos (R\$ 10.475,17). Em relação as doses, as duas maiores dos fertilizantes peletizado e farelado produziram 8.648 e 8.547 kg ha^{-1} , respectivamente. A dose de fertilizante orgânico com maior lucratividade no estudo foi 7.500 kg ha^{-1} do farelado (R\$ 14.540,26), enquanto que a dose menos lucrativa foi a de 6.000 kg ha^{-1} do peletizado (R\$ 12.634,21).

Após a análise do custo dos fertilizante X rendimento de grãos, foi observado que o ponto de equilíbrio referente às quantidades de 2,0; 4,0 e $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ do fertilizante peletizado foi de 6,97; 13,47 e $19,25 \text{ R\$ sc}^{-1}$, respectivamente. Já para o fertilizante farelado nas doses de 2,5; 5,0 e $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ foi de 2,61; 4,99 e $7,24 \text{ R\$ sc}^{-1}$, respectivamente. Enquanto que para o fertilizante mineral nas quantidades de 120 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 110 kg ha^{-1} K_2O foi de R\$ 11,44 sc^{-1} . Ou seja, para equiparar-se o rendimento com os custos desembolsados para aquisição dos fertilizantes, o saco de arroz deve ser vendido por estes valores mencionados.

Em relação ao rendimento do ponto de equilíbrio, para cobrir os custos desembolsados com os fertilizantes, nas quantidades de 2,0; 4,0 e $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ do fertilizante peletizado, foi preciso produzir 12; 24 e 36 sc ha^{-1} , respectivamente. Para o fertilizante farelado nas doses de 2,5; 5,0 e $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ foi necessário produzir 4; 9 e 13 sc ha^{-1} , respectivamente, e 39 sc ha^{-1} para o fertilizante mineral.

Com isto, pode-se observar que o fertilizante mineral proporciona menor lucratividade em relação aos demais tratamentos nas condições dessa pesquisa. Entre as fontes de fertilizantes orgânicos, as doses do peletizado foram menos rentáveis, pois com o aumento da dose, o custo foi maior e o retorno em rendimento de grãos menor, enquanto que o farelado foi o mais economicamente viável, tendo em vista que o mesmo, de maneira geral, proporcionou maior lucro após desconto dos custos com fertilizantes. Porém, deve-se levar em consideração outros custos, como por exemplo a aplicação desse fertilizante farelado, que devido sua umidade, é de difícil distribuição em comparação ao peletizado, e esse fator pode gerar acréscimo no custo de produção.

CONCLUSÕES

A dose de 120 kg N ha⁻¹ fornecida pelo fertilizante mineral proporciona maior rendimento de grãos.

Entre os fertilizantes orgânicos, a dose de 7.500 kg ha⁻¹ do fertilizante farelado, que corresponde a 120 kg N ha⁻¹, oferece maior lucratividade.

À fonte de fertilizante inorgânico proporciona maior acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido vegetal quando comparadas às fontes de fertilizantes orgânicos.

Doses entre 40 e 120 kg de N ha⁻¹ fornecidas por fertilizantes orgânicos não interferem na qualidade de grãos.

Os fertilizantes orgânicos na mesma concentração de nitrogênio que o fertilizante mineral apresentam rendimento de grãos 13,4% menor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUH, A. M. et al. Effect of plant spacing and organic fertilizer doses on methane emission in organic rice fields. **Environment and Natural Resources Journal**, v.18, n.1, p. 66-74, 2020.
- BERRY, P. M. et al. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen. **Soil Use and Management**, v.18, p.248-255, 2002.
- DIWALE, S. R. et al. Impact of different manures on soil properties and yield of rice in lateritic soil of Konkan. **The Pharma Innovation Journal**, v.9, n.9, p.557-563, 2020.
- FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/defalt.aspx>> Acesso em: 02 junho 2020.
- HASANUZZAMAN, M. et al. Potassium: A vital regulator of plant response and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v.31, n.1, p.1-29, 2018.
- HAZRA, K. K. et al. Long-term effect of pulse crops inclusion on soil–plant nutrient dynamics in puddled rice (*Oryza sativa* L.) - wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping system on an Inceptisol of Indo-Gangetic plain zone of India. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.100, n.1, p.95-110, 2014.

HOKAZONO, S.; HAYASHI, K. Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: a comparison among three rice production systems in Japan. **Journal of Cleaner Production**, v.28, p.101-112, 2012.

HUANG, L. et al. Relationships between yield, quality and nitrogen uptake and utilization of organically grown rice varieties. **Pedosphere**, v.26, n.1, p.85-97, 2016.

IRGA. **Instituto Rio Grandense de Arroz. Disponível em:** <www.irga.rs.gov.br> Acesso em: 15 de junho de 2021.

ISMAEL, F.; NDAYIRAGIJE, A.; FANGUEIRO, D. New fertilizer strategies combining manure and urea for improved rice growth in mozambique. **Agronomy**, 11, 783, 2021.

JARVIS, S. C. et al. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. **Advances in Agronomy**, v.57, p.187-235, 1996.

KHAN, F. H. Performance of vermicompost and poultry manure on rice yield and soil health. **Eco-friendly Agriculture Journal**, v.11, n.12, p.148-151, 2018.

KIRITANI, K. The impact of global warming and land-use change on the pest status of rice and fruit bugs (Heteroptera) in Japan. **Global Change Biology**, v.13, n.8, p.1586-1595, 2007.

MANIVANNAN, R. et al. Nutrient uptake, nitrogen use efficiency and yield of rice as influenced by organics and fertilizer nitrogen in lowland rice soils. **Plant Archives**, v.20, n.1, p.3713-3717, 2020.

RAHMAN, F. et al. Effect of organic and inorganic fertilizers and rice straw on carbon sequestration and soil fertility under a rice–rice cropping pattern, **Carbon Management**, v.7, n.1-2, p.41-53, 2016.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformations. In: Paul E. A. (ed) **Soil microbiology, ecology and biochemistry (Fourth edition)**. Academic Press, Burlington, Massachusetts, EUA, p. 421-446, 2015.

ROLLON, R. J. C. et al. Impacts of soil nutrient management practices on soil fertility, nutrient uptake, rice (*Oryza sativa* L.) productivity, and profitability. **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, v.9, n.2, p.75-84, 2021.

SANTOS, A. B. et al. Índices fisiológicos do arroz irrigado afetados pela inundação e fertilização nitrogenada. **Revista Ceres**, v.64, n.2, p.122-131, 2017.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHMIDT, F.; KNOBLAUCH, R. Extended use of poultry manure as a nutrient source for flood-irrigated rice crop. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.55, e00708, 2020.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

VAN BRUGGEN, A. H. C. et al. Plant disease management in organic farming systems. **Pest Management Science**, v.72, n.1, p.30-44, 2016.

VAN BUEREN, E. T. L. et al. The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: a review. **NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences**, v.58, n.3, p.193-205, 2011.

WILD, P. L. et al. Nitrogen availability from poultry litter and pelletized organic amendments for organic rice production. **Agronomy Journal**, v.103, n.4, 1284-1291, 2011.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. [s.l.] Int. Rice Res. Inst., 1981.

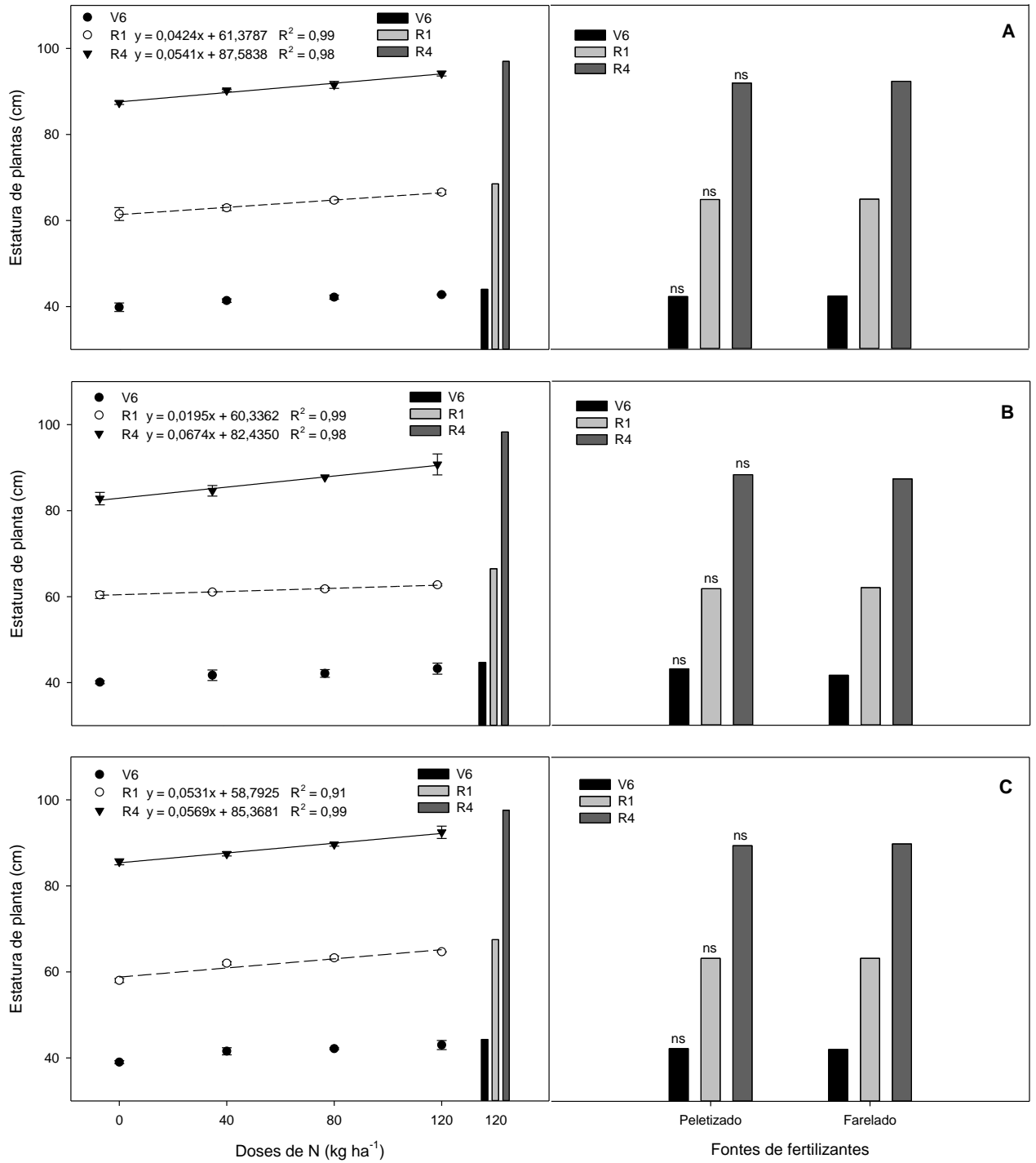


Figura 3. Estatura de plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.

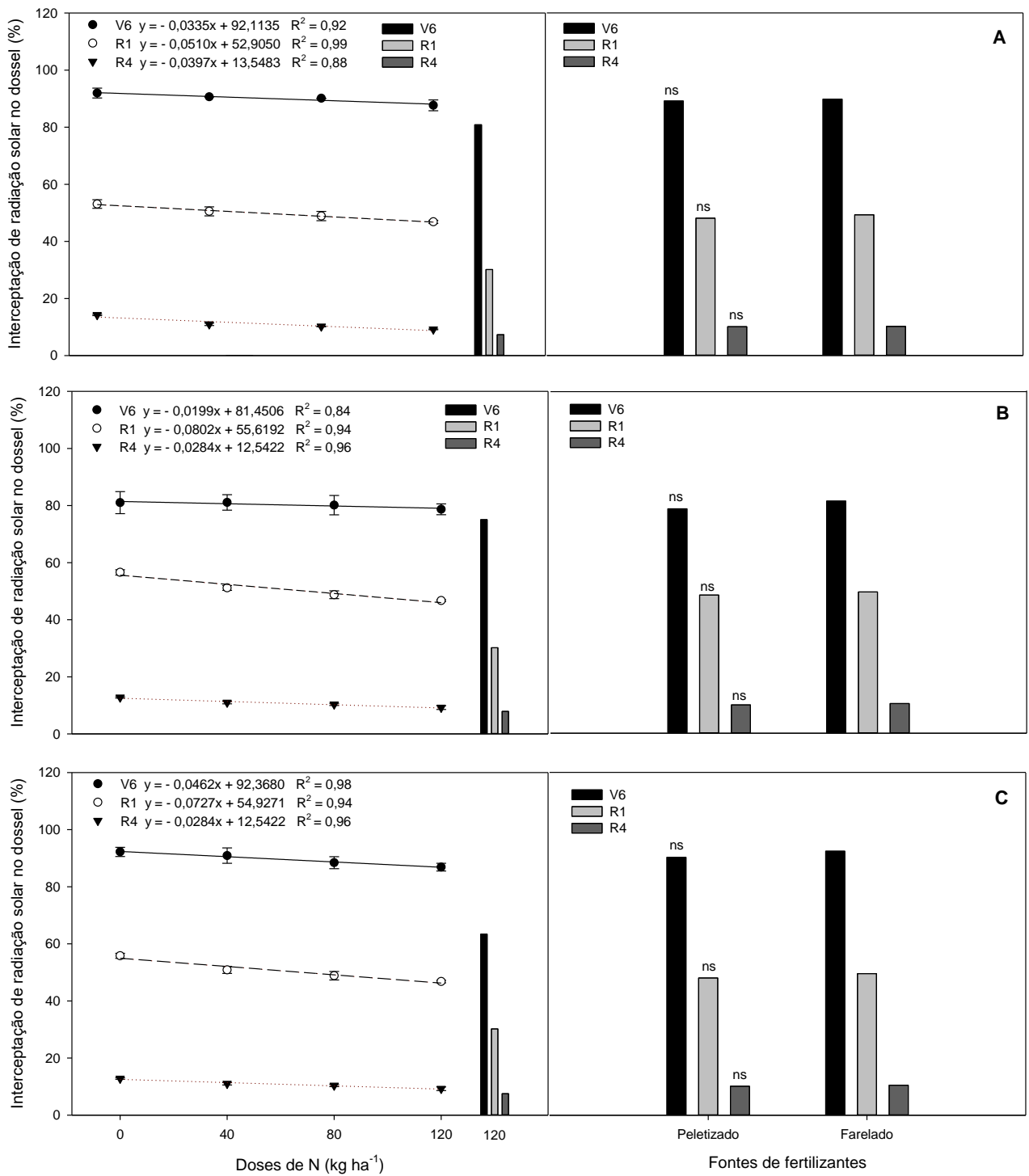


Figura 4. Intercepção de radiação solar no dossel da cultura do arroz irrigado nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.

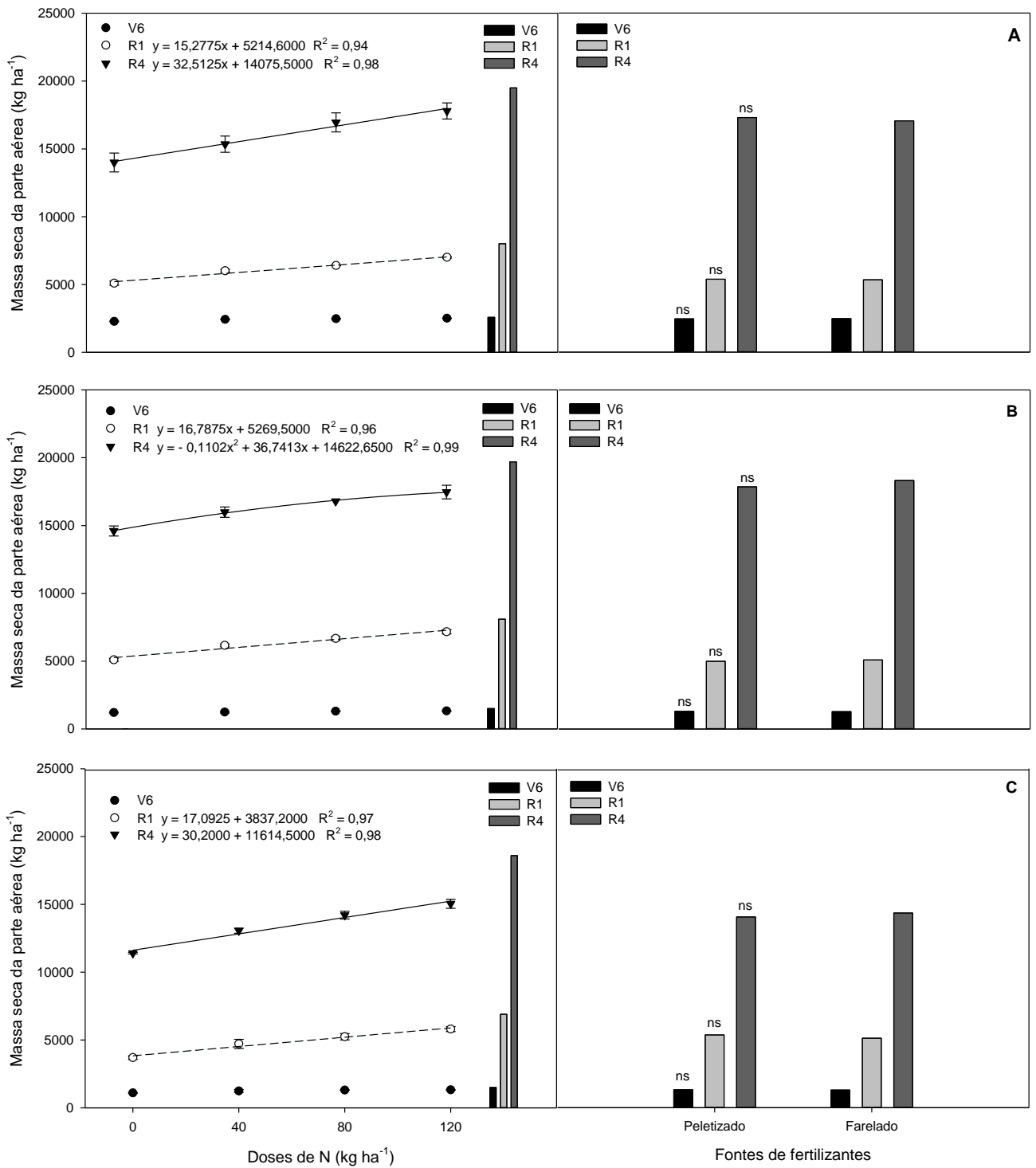


Figura 5. Massa seca de plantas de arroz irrigado nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.

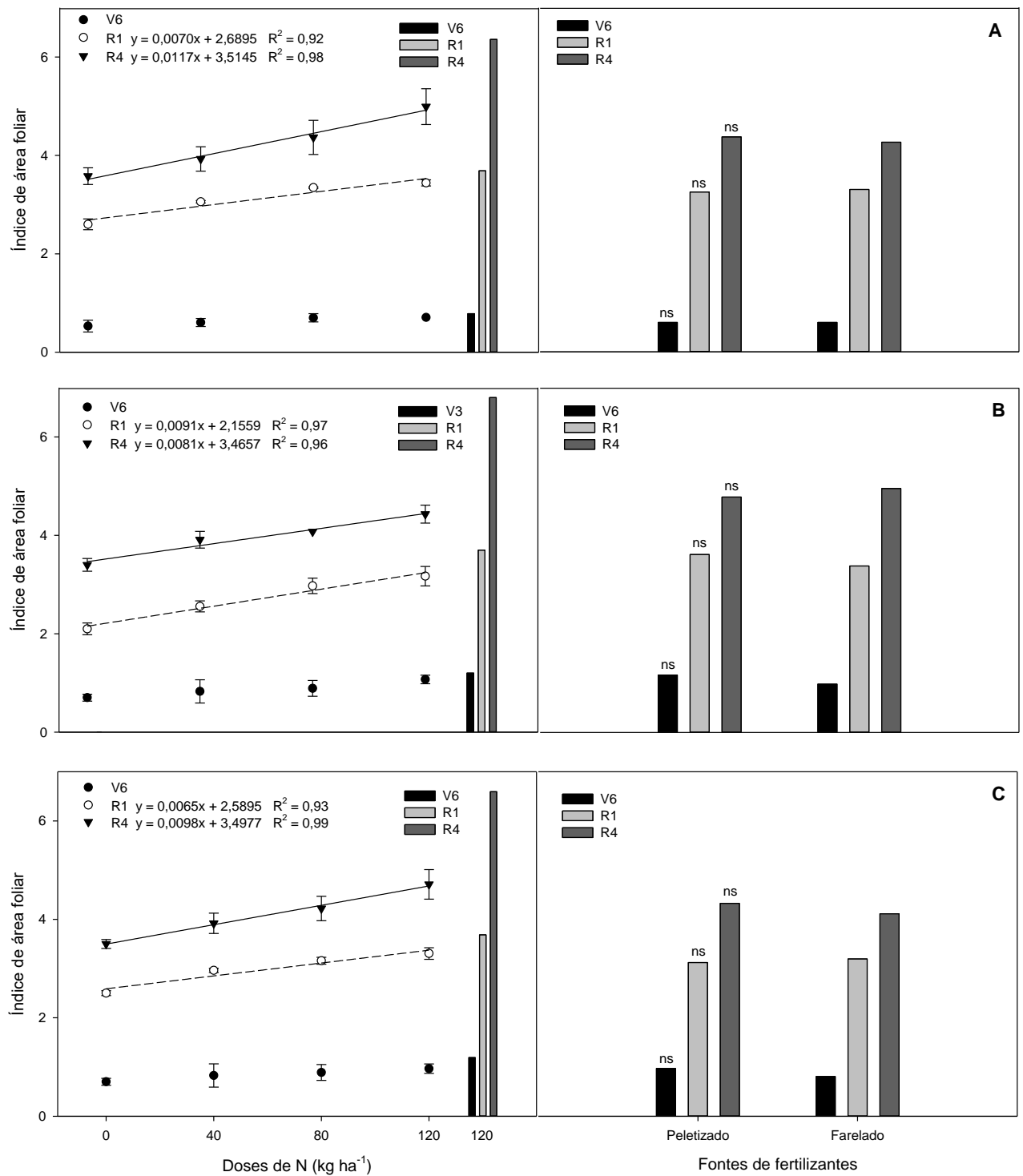


Figura 6. Índice de área foliar de plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.

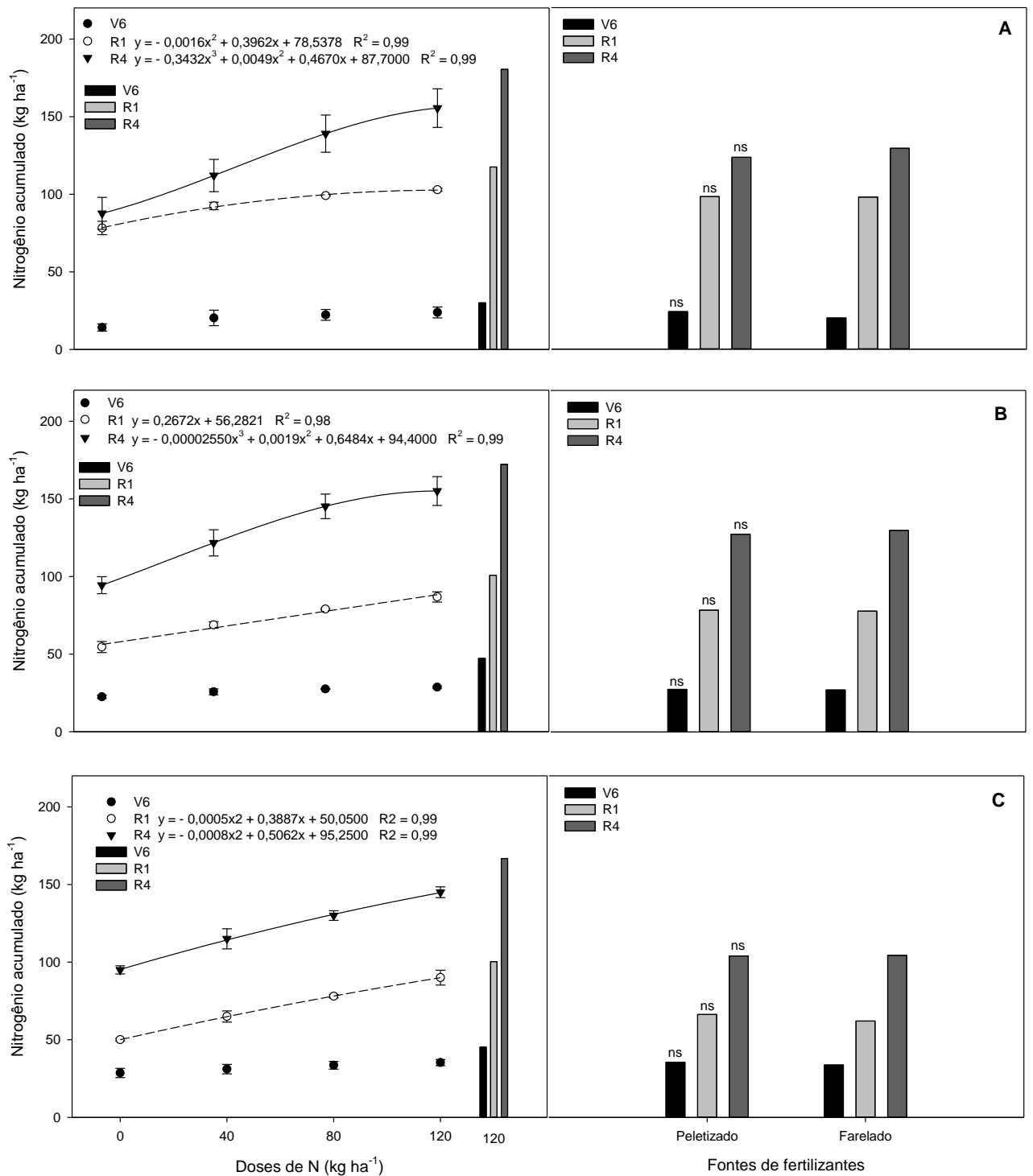


Figura 7. Acúmulo de nitrogênio em plantas de arroz irrigado nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.

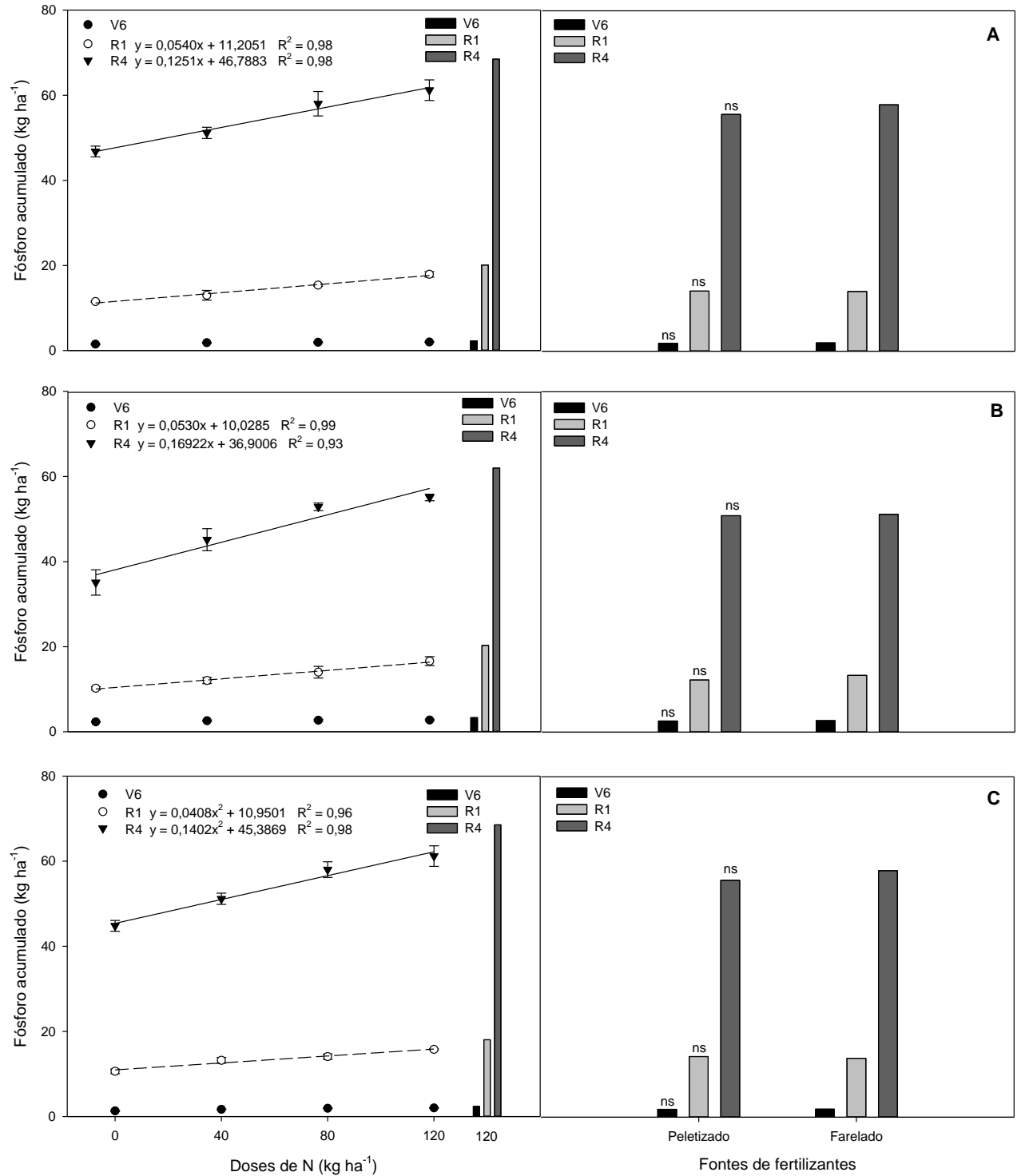


Figura 8. Acúmulo de fósforo em plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.

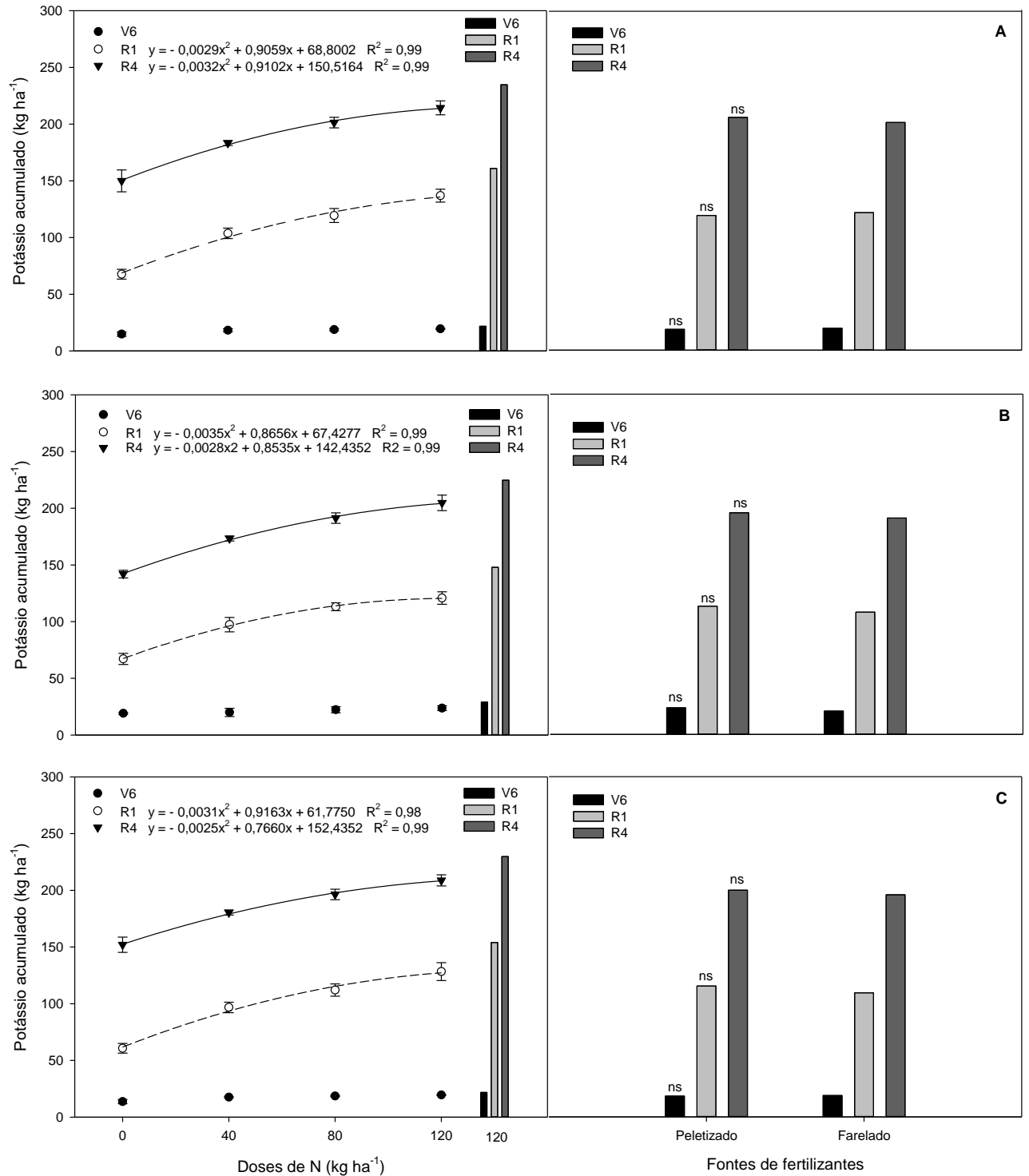


Figura 9. Acúmulo de potássio em plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (A), área 2 (B) e área 3 (C). Santa Maria, RS. 2021.

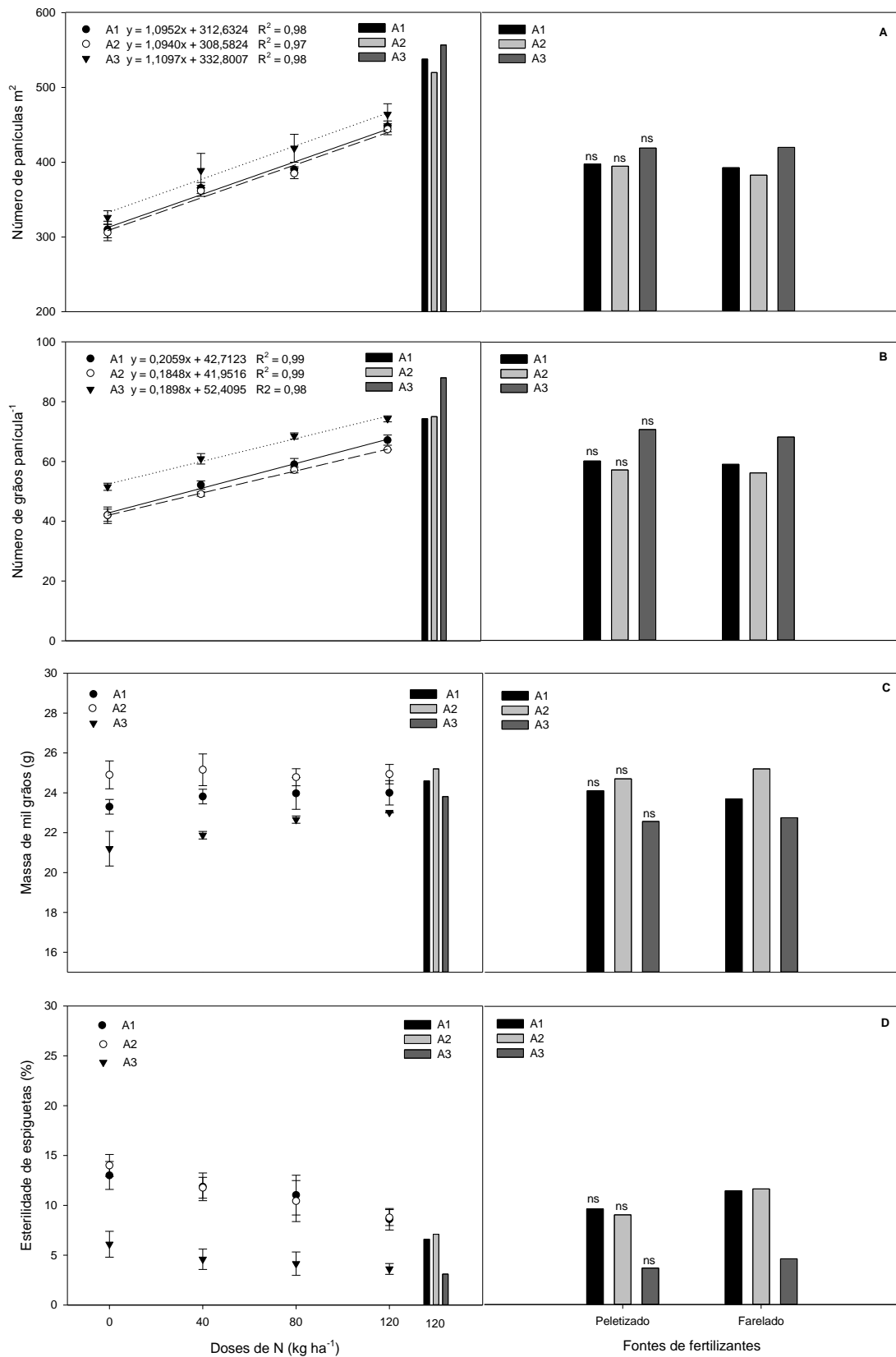


Figura 10. Número de panículas m^{-2} (A), número de grãos panícula^{-1} (B), massa de mil grãos (C) e esterilidade de espiguetas (D) de plantas de arroz irrigado, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (—●—), área 2 (--○--) e área 3 (·▼·). Santa Maria, RS. 2021.

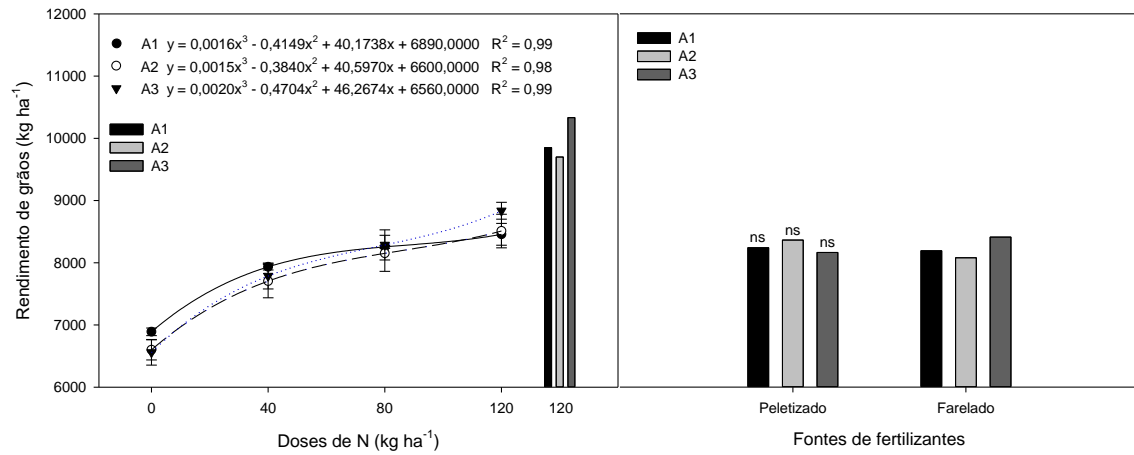


Figura 11. Rendimento de grãos de arroz irrigado submetido a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (—●—), área 2 (---○---) e área 3 (··▼··). Santa Maria, RS. 2021.

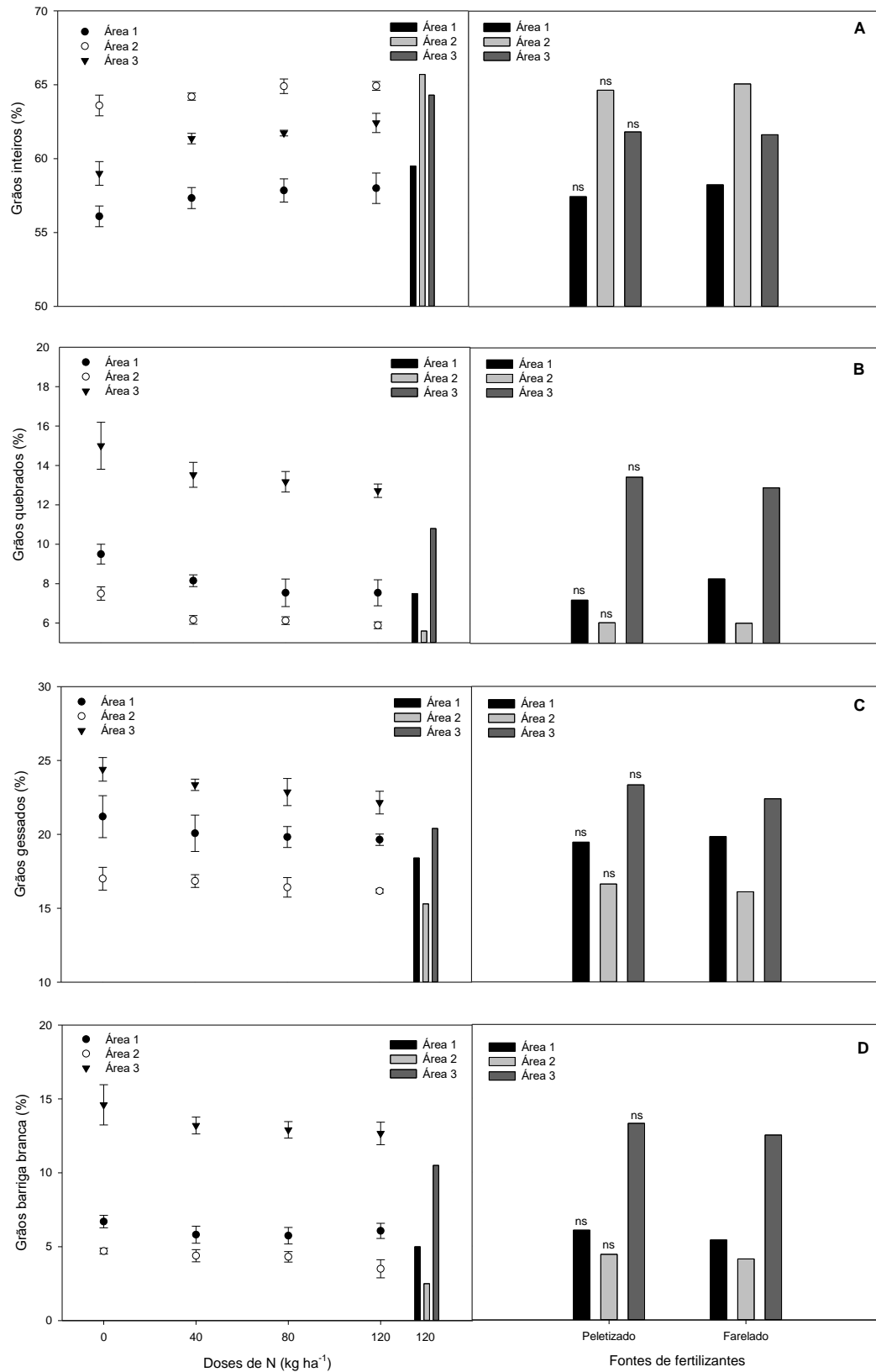


Figura 12. Grãos inteiros (A), grãos quebrados (B), grãos gessados (C) e grãos barriga branca (D) de plantas de arroz irrigado, submetidas a doses de nitrogênio por cama de aviário farelada e peletizada, e fertilizante mineral, cultivadas na área 1 (●), área 2 (○) área 3 (▼). Santa Maria, RS. 2021.

Tabela 6. Contrastes ortogonais para as variáveis estatura de plantas (EP), interceptação de radiação solar no dossel (IRSD), massa seca da parte aérea (MSPA) e índice de área foliar (IAF) de plantas de arroz nos estádios V6, R1 e R4 de desenvolvimento, em três áreas de cultivo, sob diferentes fertilizantes. Santa Maria, RS. 2021.

Contrastes	EP			IRSD			MSPA			IAF		
	V6	R1	R4	V6	R1	R4	V6	R1	R4	V6	R1	R4
Área 1												
C1	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*
C2	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*
C3	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*
CV%	9,8	13,8	7,8	11,0	8,9	10,2	8,9	17,2	18,7	15,7	13,2	16,2
Área 2												
C1	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*
C2	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*
C3	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*
CV%	8,3	10,7	9,1	8,1	13,2	7,4	9,8	13,8	15,3	17,9	8,9	17,5
Área 3												
C1	ns	*	*	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*
C2	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*
C3	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*	*
CV%	11,1	8,9	9,2	7,8	11,4	8,9	9,9	16,4	12,3	15,1	13,2	16,5

*significativo pelo teste F a 5%; ns não significativo pelo teste F a 5%.

Tabela 7. Contrastes ortogonais para as variáveis acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido vegetal de plantas de arroz, nos estádios V6, R1 e R4 de desenvolvimento, e grãos inteiros (GI), grãos quebrados (GQ), grãos gessados (GG) e grãos barriga branca (GBB) em três áreas de cultivo, sob diferentes fertilizantes. Santa Maria, RS. 2021.

Contrastes	Acúmulo de N			Acúmulo de P			Acúmulo de K			GI	GQ	GG	GBB
	V6	R1	R4	V6	R1	R4	V6	R1	R4				
Área 1													
C1	ns	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
C2	ns	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
C3	ns	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
CV%	12,1	10,8	13,2	15,7	9,8	11,3	14,1	11,1	12,3	14,1	9,1	11,2	13,2
Área 2													
C1	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
C2	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
C3	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*
CV%	12,3	14,1	9,1	11,3	8,9	11,1	13,2	15,7	10,8	13,2	9,5	9,8	11,3

Área 3														
C1	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*
C2	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*
C3	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*
CV%	13,2	15,7	9,8	11,3	9,1	11,3	14,1	12,3	14,1	14,1	9,1	11,2	13,2	

*significativo pelo teste F a 5%; ns não significativo pelo teste F a 5%.

Tabela 8. Contrastes ortogonais para as variáveis número de panículas⁻¹ (NP), número de grãos panícula⁻¹ (IRSD), massa de mil grãos (MMG), esterilidade de espiguetas (EE) e rendimento de grãos (RG) de arroz em três áreas de cultivo, sob diferentes fertilizantes. Santa Maria, RS. 2021.

Contrastes	NP	NGP	MMG	EE	RG
Área 1					
C1	*	*	ns	*	*
C2	*	*	ns	*	*
C3	*	*	ns	*	*
CV%	12,1	10,8	15,5	12,8	9,2
Área 2					
C1	*	*	ns	*	*
C2	*	*	ns	*	*
C3	*	*	ns	*	*
CV%	10,8	12,3	17,1	13,2	8,7
Área 3					
C1	*	*	ns	*	*
C2	*	*	ns	*	*
C3	*	*	ns	*	*
CV%	11,7	13,8	11,0	9,4	10,4

*significativo pelo teste F a 5%; ns não significativo pelo teste F a 5%.

Tabela 9. Relação custo dos fertilizantes X rendimento de grãos.

Fertilizante	Custo por tonelada (R\$)	Dose (kg ha ⁻¹)	Custo do adubo ha ⁻¹ (R\$ ha ⁻¹)	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	Lucratividade (R\$ ha ⁻¹)	
Safras 2019/20 e 2020/21							
Peletizado	555,00	2.000	1.110,00	7960	14.694,16	13.584,16	
		4.000	2.220,00	8243	15.216,58	12.996,58	
		6.000	3.330,00	8648	15.964,21	12.634,21	
Farelado	165,00	2.500	413,00	7893	14.570,48	14.157,98	
		5.000	825,00	8267	15.260,88	14.435,88	
		7.500	1.238,00	8547	15.777,76	14.540,26	
Ureia	3.040,00	266					
Mineral	SFT	4.380,00	195	2.253,00	9850	12.728,17	10.475,17
	KCl	3.280,00	180				

SFT= Superfosfato triplo; KCl= Cloreto de potássio; RRFM= Rendimento em relação ao fertilizante mineral; Preço do saco de arroz orgânico (50 kg): R\$ 92,30; Preço do saco de arroz convencional (50 kg): R\$ 64,61.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados verificados no presente estudo apontam que o fertilizante mineral continua sendo a melhor opção para o fornecimento de nutrientes na cultura do arroz irrigado. No entanto, os fertilizantes orgânicos utilizados na pesquisa demonstraram desempenho satisfatório no fornecimento dos nutrientes essenciais, e conseqüentemente rendimento de grãos aceitável quando consideradas às doses utilizadas no ensaio.

Às fontes de fertilizantes orgânicos peletizado e farelado obtiveram comportamentos semelhantes no que diz respeito ao suprimento de nutrientes para a cultura do arroz, constatando que o fornecimento de 120 kg N ha^{-1} possibilitou rendimento de grãos satisfatório para o sistema de produção orgânica de arroz.

Em relação à lucratividade dos fertilizantes orgânicos, o peletizado, devido ao seu elevado custo de aquisição proporcionou menor lucratividade com a dose de 120 kg N ha^{-1} , enquanto que o farelado, por ter baixo custo de aquisição proporcionou maior lucratividade com a mesma dose. É importante salientar que ambos os fertilizantes orgânicos promoveram rendimento de grãos semelhantes, o que evidencia maior rentabilidade com o uso do fertilizante farelado.

Independente das doses de N fornecidas pelos fertilizantes orgânicos, não foi verificado diferença na qualidade de grãos de arroz. Porém, foi possível observar que mesmo não apresentando diferença nas variáveis de qualidade de grãos, o fornecimento de N pelos fertilizantes foi suficiente para obtenção de rendimentos de grãos adequados às suas respectivas doses nas condições dessa pesquisa. Entretanto, continuaram com produtividade inferior quando comparados ao fertilizante mineral, o qual proporcionou melhor qualidade de grãos e acúmulo de N no tecido.

A maior concentração de NH_4^+ ocorreu para o fertilizante mineral, enquanto que para os fertilizantes orgânicos, nas doses de 40, 80 e 120 kg N ha^{-1} , as concentrações foram semelhantes em cada dose, se mantendo estáveis após aplicação da lâmina de água permanente, e decaindo a partir dos 26 dias após a incubação. Em relação ao NO_3^- , sua concentração nos primeiros 10 dias de incubação ficou em torno de $35\text{-}40 \text{ mg kg}^{-1}$, e após a aplicação de lâmina de água permanente, a concentração decaiu, ficando próximo de zero até o final da incubação. Isso demonstra que após aplicação da lâmina de água a forma de N disponível para as plantas que prevalece é o NH_4^+ , o que se espera em um ambiente anaeróbico.