

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Tese

Mecanismos de resistência de arroz a *Oryzophagus oryzae*
(Coleoptera: Curculionidae) e associação com níveis de dano

Juliano de Bastos Pazini

Pelotas, 2020

Juliano de Bastos Pazini

Mecanismos de resistência de arroz a *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) e associação com níveis de dano

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Fitossanidade (área de conhecimento: Entomologia)

Orientador: Dr. Anderson Dionei Grützmacher
Coorientador: Dr. José Francisco da Silva Martins

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

P348m Pazini, Juliano de Bastos

Mecanismos de resistência de arroz a *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) e associação com níveis de dano / Juliano de Bastos Pazini ; Anderson Dionei Grützmacher, orientador ; José Francisco da Silva Martins, coorientador. — Pelotas, 2020.

182 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Bicheira-da-raiz. 2. *Oryza sativa*. 3. Interação planta-inseto. 4. Antibiose. 5. Manejo Integrado de Pragas. I. Grützmacher, Anderson Dionei, orient. II. Martins, José Francisco da Silva, coorient. III. Título.

CDD : 632.9

Banca examinadora:

Daniel Bernardi, Dr.
(Universidade Federal de Pelotas)

Fernando Felisberto da Silva, Dr.
(Universidade Federal do Pampa)

José Alexandre Freitas Barrigossi, Dr.
(Embrapa Arroz & Feijão)

José Francisco da Silva Martins, Dr.
(Embrapa Clima Temperado)

Anderson Dionei Grützmacher, Dr. (Orientador)
(Universidade Federal de Pelotas)

Aos meus queridos pais, Antônio Pazini e Maria Neli de Bastos Pazini,
por sempre acreditarem em mim e por terem abdicado de seus sonhos
em prol das realizações e da felicidade de seus filhos

Dedico

Agradecimentos

À DEUS pela saúde, pela cura, por todas as graças recebidas, pela força concedida nos momentos difíceis, por ser meu companheiro nos momentos de solidão e por iluminar meu caminho, principalmente, nos momentos de indecisão. (*Provérbios 18:10: “O nome de Jeová é uma torre forte. O justo corre para dentro dela e recebe proteção”*).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro básico e indispensável, concedido por meio de bolsa de estudo e taxa de bancada (GD: 140328/2016-5).

Ao Programa de Pós-graduação em Fitossanidade (PPGFs), da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), por oportunizar meu aperfeiçoamento profissional por meio da realização do curso de Doutorado.

À Embrapa Clima Temperado por apoiar o projeto de Tese, disponibilizando seus recursos humanos e estruturais, que foram fundamentais para executar as pesquisas, principalmente, os experimentos de campo.

Ao meu orientador, Dr. Anderson Dionei Grützmacher, pela confiança, transparência e dedicação na orientação, demonstradas desde minha inserção em sua equipe de pesquisa, há seis anos. Agradeço-lhe pela amizade, conselhos, ensinamentos e oportunidades de aperfeiçoamento profissional e pessoal ao longo desses anos.

Ao meu coorientador, Dr. José Francisco da Silva Martins, pela confiança e por dedicar valiosa parte de seu tempo para me orientar na concepção e execução dos trabalhos científicos, primando pela honestidade, qualidade e aplicabilidade das informações. Agradeço-lhe pela amizade, apoio e ensinamentos, que iniciaram ainda durante minha graduação, há dez anos. Considero-me um privilegiado pela minha formação ter como base os ensinamentos de um dos mais respeitados entomologistas em arroz da região neotropical.

Aos professores do PPGFs (FAEM-UFPeI), em especial aos professores Dr. Daniel Bernardi, Dr. Dori Edson Nava, Dr. Flávio Roberto Mello Garcia, Dr. Uemerson Silva da Cunha e Dr. Moisés João Zotti, pelos valiosos ensinamentos.

À minha namorada e companheira de vida, Aline Costa Padilha, por todo amor e carinho. Obrigado por me encorajar frente aos desafios pessoais e profissionais, cada vez mais intensos. Tu és o firme esteio da minha vida. Agradeço-lhe, também, pelo apoio na elaboração dos experimentos do Doutorado, nos quais dedicou atenção e tempo para ouvir, discutir e aconselhar.

Aos meus colegas, hoje amigos, estagiários da Embrapa Clima Temperado, Flávio Amaral Bueno, Gustavo Timm Treptow, Ivan Marques Pereira, José Otomar de Souza Aguilhera e Valdecir dos Santos, pelo diligente e caprichoso auxílio nas árduas atividades de campo, na Estação Experimental Terras Baixas. Também, sou grato pelos agradáveis momentos que compartilhamos durante esses anos de trabalho.

Aos funcionários da Embrapa Clima Temperado, Elton Rogério Nolasco Fonseca, Claudinei Bonemann Rosso, Jaime Damasceno Mota, José Roberto Lopes de Lima, Telmo Luiz de Araújo, Jussara Zanolla e Nara Eliane Moreira Rocha, por todo o empenho e disponibilidade sempre demonstrados para auxiliar nas atividades de pesquisa dessa Tese.

Aos professores da UFPel, Dr. Leandro José Dallagnol (Laboratório de Interação Planta-Patógeno), do Departamento de Fitossanidade (DFs) (FAEM), Dra. Juliana Aparecida Fernando (Laboratório de Anatomia Vegetal), do Departamento de Botânica, do Instituto de Biologia (IB) e Dr. Fábio Classen Chaves (Laboratório de Cromatografia e Espectrometria de Massas), do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial (DCTA) (FAEM), que gentilmente disponibilizaram seus laboratórios, mas, principalmente, pela atenção e tempo que dedicaram a me orientar durante a execução das análises bioquímicas e anatomofológicas dessa Tese.

Ao Dr. Keilor da Rosa Dorneles, Dra. Rosane Lopes Crizel, Dra. Thaize Debatin Wehrmeister e Dr. Enio Júnior Seidel, pela fundamental ajuda nas análises bioquímicas, anatomofológicas e estatísticas que compõem os artigos científicos dessa Tese.

Ao pesquisador da Embrapa Arroz & Feijão, Dr. José Alexandre Freitas Barrigossi, pelo apoio incondicional e encorajamento pessoal e profissional, principalmente relacionados à busca da viabilização de estágio de Doutorado Sanduíche no Exterior.

Ao pesquisador da Embrapa Algodão, Dr. Giovani Greigh de Brito, pela parceria de trabalho durante o período do Doutorado, apoiando-me nos experimentos de campo, interpretação e discussão dos principais resultados dessa Tese.

Ao professor da FAEM-UFPel, Daniel Bernardi, pelos valiosos conselhos e incentivos diante dos desafios da Pós-Graduação, mas, principalmente, pela amizade desenvolvida.

Aos membros da banca examinadora, que cordialmente aceitaram o convite para integrá-la, principalmente àqueles que se deslocaram de longe, mesmo diante do atual contingenciamento de recursos.

Aos meus amigos, alguns, inclusive, colegas de curso de Pós-Graduação em Fitossanidade e de Laboratório de Manejo Integrado de Pragas (LabMIP-UFPel), Deise Cagliari, Diogo Balbé Helgueira, Diogo da Silva Moura, Keilor da Rosa Dorneles, Mariane D'ávila Rosenthal, Matheus Rakes, Rafael Antônio Pasini, Renan Ricardo Zandoná, Paulo César Pazdiora e Tiago Scheunemann, pelos agradáveis momentos de convivência.

Aos amigos do futebol, em especial ao Wagner Oliveira Morales (“presidente”), pelos momentos de diversão e esparecimento, aos sábados.

Aos meus queridos pais, Antônio Pazini e Maria Neli de Bastos Pazini, por serem fonte genuína e inesgotável de amor e apoio.

Aos meus queridos irmãos, Bruna de Bastos Pazini e Eduardo de Bastos Pazini, pelo carinho e incentivo em inúmeras ocasiões. Ao Eduardo, meu agradecimento especial pela companhia durante semanas nas épocas de suas férias escolares, mas, principalmente, por compreender, desde criança, minha ausência, convivendo com a saudade em diversos momentos, inclusive em ocasiões importantes de sua vida.

Por fim, à minha segunda família “Costa e/ou Padilha”, composta por José Valdemar, Marilda Aparecida, Luciano, Roke, Maria Roseli, Antônio e Zenaide, pelo apoio e sinceros votos de sucesso pessoal e profissional.

“Só não consegue o seu objetivo quem acredita que as coisas são fáceis. Todas as coisas são difíceis. Todas as coisas têm que ser lutadas. Continue trabalhando, continue apostando na sua intuição, continue com os pés no chão... Se importe com aquilo que você vive, o seu dia-a-dia. Pelo menos foi assim que eu consegui, de camelô a ser banqueiro”.

Senor Abravanel (“Silvio Santos”)

Resumo

PAZINI, Juliano de Bastos. **Mecanismos de resistência de arroz a *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) e associação com níveis de dano**. 2020. 183f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

Cultivares resistentes a insetos são essenciais à melhoria do manejo de pragas na agricultura, como para *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae), espécie altamente prejudicial aos arrozais irrigados por inundação do continente Sul-americano. O grau de benefício, porém, depende do tipo de resistência. Com base nisso, o objetivo do presente estudo foi caracterizar os tipos de resistência de cultivares de arroz ao gorgulho-aquático *O. oryzae*, com ênfase na identificação dos mecanismos reguladores de antixenose (AX) ou antibiose (AB) e na quantificação de seus impactos na produção de grãos, em condições naturais de campo. A caracterização de efeitos de antixenose e antibiose foram realizados em seis cultivares de arroz selecionadas: “BRS Atalanta (“Atal”), BRS Firmeza (“Firm”), BRS Ligeirinho (“Lige”), BRS Pampa CL (“Pamp”), BRS Querência (“Quer”) e Dawn (“Dawn”). Os resultados evidenciaram inexistência de antixenose interferente na preferência de alimentação e oviposição do gorgulho-aquático no ato de seleção hospedeira e colonização do arrozal. Ademais, não houve redução da viabilidade de ovos e densidade de larvas que atingiram as raízes. Efeitos de antibiose foram constatados a partir do 25º Dia Após a Inundação da cultura (DAI), quando a densidade larval por amostra foi alta (até 24,54 larvas) em “Pamp”, intermediária (até 16,08 larvas) em “Quer” e “Lige” e baixa (até 8,83 larvas) em “Atal”, “Firm” e “Dawn”. “Atal”, “Firm” e “Dawn” ainda provocaram mortalidade e subnutrição das larvas que se alimentaram das raízes, prejudicando a emergência e o *fitness* dos descendentes (efeito transgeracional). As cultivares “Lige”, “Quer” e “Pamp”, porém, mostraram-se suscetíveis (SS). Os mecanismos reguladores de antibiose estão associados à presença de fatores de defesa nas raízes de natureza antinutricional, com impactos citotóxicos diretos às larvas. Isso, porque foram constatadas que as atividades das enzimas oxidoredutases (ascorbato peroxidase, peroxidase e polifenoloxidase) e concentrações de compostos fenólicos totais, dos ácidos fenólicos ferúlico e *p*-cumárico, e de lignina no esclerênquima foram significativamente maiores em “Dawn” (AB) do que em “Pamp” (SS), no início (15 DAI), pico (25 DAI) e declínio (35 DAI) da população larval no campo, independentemente do nível de infestação. O limite de tolerância ao dano larval se mostrou semelhante em cultivares de suscetibilidade contrastante, o qual foi de 10,8 e 9,8 larvas por planta em “Pamp” (SS) e “Atal” (AB), respectivamente, correspondendo ao dobro do nível de controle de larvas praticado no Brasil. Evidenciou-se o potencial da antibiose em assegurar produção mínima de grãos, já que interferiu negativamente no tamanho da população e no *fitness* larval, atenuando os danos radiculares. Assim, as informações aqui obtidas cumprem etapa fundamental quanto ao avanço de conhecimento teórico da resistência de arroz a *O. oryzae*, com benefícios práticos capazes de oportunizar redução do uso de inseticidas, maior rentabilidade e segurança ambiental em arrozais irrigados por inundação.

Palavras-chave: Bicheira-da-raiz. *Oryza sativa*. Interação planta-inseto. Antibiose. Manejo Integrado de Pragas.

Abstract

PAZINI, Juliano de Bastos. **Mechanisms of rice resistance to *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and its association with injury levels**. 2020. 183f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

Host-plant resistance to insects is considered one of the key strategies to improve pest management in agriculture, as for *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae), a highly harmful specie in flooded rice paddies from South American. The degree of benefits will depend on the resistance category. Thus, the goal of this study was to characterize the rice resistance categories to the South American rice water weevil *O. oryzae*. Particular attention was carried out on the detection of antixenosis (AX) or antibiosis (AB) mechanisms and their impacts on grain yield, under field conditions. The characterization of antixenosis and antibiosis effects was performed in six selected rice cultivars: “BRS Atalanta (“Atal”), BRS Firmeza (“Firm”), BRS Ligeirinho (“Lige”), BRS Pampa CL (“Pamp”), BRS Querência (“Quer”), and Dawn (“Dawn”). Our results showed no antixenosis effects on the host-plant selection process (preference) for oviposition or feeding by the rice water weevil. Also, there was no reduction of the egg viability and larval density that reached roots. In the other hand, antibiosis effects were observed from the 25th Day After Rice Flooding (DAF), when the larval density per sample was high in “Pamp” (until 24.54 larvae), intermediate in “Quer” and “Lige” (until 16.08 larvae) and low in “Atal”, “Firm”, and “Dawn” (until 8.83 larvae). “Atal”, “Firm”, and “Dawn” also caused mortality and malnutrition on larvae, impairing the adult offspring's emergence and fitness (transgenerational effect). “Lige”, “Quer”, and “Pamp” cultivars were classified as susceptible (SS). In this study, antibiosis mechanisms were associated with antinutritional defense factors that led to direct cytotoxic impacts on larvae. We found that the activity of oxidoreductase enzymes (ascorbate peroxidase, peroxidase, and polyphenoloxidase), the concentrations of total phenolic compounds, ferulic and *p*-cumaric phenolic acids, and lignin in cells from root sclerenchyma were higher in “Dawn” (AB) than in “Pamp” (SS), at the beginning (15 DAF), peak (25 DAF), and decline (35 DAF) of the larval population in the rice field, regardless of the infestation level. The tolerance limit to larval damage in cultivars of contrasting susceptibility was similar: 10.8 and 9.8 larvae per plant in “Pamp” (SS) and “Atal” (AB), respectively; these values represent twice the economic threshold adopted for larvae in Brazil. The potential of antibiosis ensuring minimum grain yield was evidenced, since it negatively affected population size and larval fitness, mitigating root damage. Thus, the information obtained in this study accomplished a fundamental step regarding the theoretical knowledge of the rice resistance to *O. oryzae*, generating practical benefits capable of providing a reduction in insecticides use, higher profitability, and more environmental safety conditions in flooded rice paddies.

Keywords: Rice water weevil. *Oryza sativa*. Plant-insect interaction. Antibiosis. Integrated Pest Management.

Lista de Figuras

Artigo 1

- Figura 1. Emergência diária de adultos F₁ do gorgulho-aquático Sul-Americano [(a)=Todos; (b)= Machos; (c)= Fêmeas, na safra (1); [(d)= Todos; (e)= Machos; (f)= Fêmeas, na safra (2)] de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2). Os símbolos representam as médias de seis repetições (vaso com quatro amostras padrão de solo e raízes). Os parâmetros da equação são apresentados no Material Suplementar 1 63
- Figura 2. Emergência acumulada normalizada de adultos F₁ do gorgulho-aquático Sul-Americano [(a)= Todos; (b)= Machos; (c)= Fêmeas, na safra (1); [(d)= Todos; (e)= Machos; (f)= Fêmeas, na safra (2)] de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2). Os símbolos representam as médias de seis repetições (vaso com quatro amostras padrão de solo e raízes). Os parâmetros da equação são apresentados no Material Suplementar 1 65

Artigo 2

- Figura 1. Anatomia foliar de cultivares de arroz resistente ["Dawn"= (a), (c)] e suscetível [{"BRS Pampa CL"}= (b), (d)] ao gorgulho-aquático Sul-Americano (RWW), aos 25 Dias Após a Inundação (DAI). (A) e (b) Microscopia de luz (seção transversal). (C) e (d) Microscopia eletrônica de varredura da superfície adaxial. P= papilas; cv= células protuberantes do tipo "verruga"; cb= células buliformes; X= xilema; F= floema; E= endoderme; Setas indicam os estômatos. Barras de escala= (a) 10 µm [1000 x], (b) 10 µm [1200 x], (c) e (d) 200 µm..... 128
- Figura 2. Anatomia radicular de cultivares de arroz resistente ["Dawn" = (a), (b), (c), (d)] e suscetível [{"BRS Pampa CL"} = (e), (f), (g)] ao gorgulho-aquático Sul-Americano (RWW), aos 25 Dias Após a Inundação (DAI). (a) e (e) Visão geral, quadro mostrando a diferenciação entre as camadas radiculares; (b) e (f) Células do esclerênquima organizadas em 3 camadas e 1 camada nas cultivares resistente e suscetível, respectivamente; (c), (d) e (g) Detecção de

lignina nas células do esclerênquima por métodos histoquímicos (cor avermelhada) [(c) Planta da cultivar “Dawn” infestada e (d) não infestada]. Pa= parênquima; Ep= epiderme; Ex= exoderme; Es= esclerênquima. Barras de escala= (a) e (e) 100 µm [10 x], (b) 50 µm [20 x], (c), (d), (f) e (g) 50 µm [40 x]
 129

Artigo 3

Figura 1. Visão geral do experimento (1). (A), (B) e (C) Construção das gaiolas circulares com aço galvanizado (88 cm de diâmetro x 30 cm de altura) aparafusado em varas de madeira (110 cm de comprimento x 2,5 cm de largura x 2,5 cm de altura); (D) Condição após o transplante de dez mudas de arroz uniformes nas gaiolas (setas brancas indicam as mudas transplantadas em circunferência medindo ~48 cm de diâmetro, equidistantes 15 cm; seta vermelha indica abertura com tela para entrada da água de irrigação); (E) e (F) Cobertura das gaiolas feita de tela *voile*, amarrada no topo de uma vara de madeira (130 cm de comprimento x 2,5 cm de largura x 2,5 cm de altura), imediatamente após o transplante das mudas. 163

Figura 2. Visão geral do experimento (2). (A) Gaiolas (parcelas experimentais) compostas de dez plantas de arroz uniformes (condição de início da elevação da lâmina d’água de irrigação, antes das liberações dos casais do gorgulho-aquático); (B) e (C) Liberação dos casais em cópula do gorgulho-aquático na água de irrigação, ao centro da gaiola (seta amarela); (D) Condição de início das amostragens de larvas, em cinco plantas, aos 30 Dias Após a Inundação (DAI); (E) e (F) Condição pós-amostragens de larvas, com cinco plantas igualmente distribuídas (setas amarelas), entre as fases final do emborrachamento e floração (E) e maturação dos grãos (colheita) (F). ... 164

Figura 3. Densidade de lesões de alimentação foliar dos gorgulhos-aquáticos (A, D) e densidade de larvas planta⁻¹ (B, E) em relação a densidade de infestação de casais do gorgulho-aquático gaiola⁻¹, e densidade das larvas planta⁻¹ em relação a densidade de lesões de alimentação foliar dos gorgulhos-aquáticos planta⁻¹ (C, F), na cultivar BRS Pampa CL, no campo, nas safras 2017/18 (1) (A, B, C) e 2018/19 (2) (D, E, F). As linhas sólidas azuis indicam a relação linear entre as variáveis [(A): $y = 2,91 + 1,33 * x$; (B): $y = -0,10 + 2,57 * x$; (C): $y =$

-3,08 + 1,72*x; (D): $y = 2,77 + 1,37*x$; (E): $y = 0,49 + 2,82*x$; (F): $y = -2,78 + 1,36*x$]. 165

Figura 4. Densidade de larvas planta⁻¹ (A) e densidade de lesões de alimentação foliar dos gorgulhos-aquáticos (B) em relação a densidade de infestação de casais do gorgulho-aquático gaiola⁻¹, e densidade das larvas planta⁻¹ em relação a densidade de lesões de alimentação foliar dos gorgulhos-aquáticos planta⁻¹ (C), na cultivar BRS Atalanta, no campo, na safra 2018/19 (2). As linhas sólidas verdes indicam a relação linear entre as variáveis [(A): $y = 3,54 + 1,59*x$; (B): $y = 1,88 + 1,88*x$; (C): $y = -0,42 + 1,15*x$]. 167

Figura 5. Tamanho (mm) (A) e peso (mg) (B) corporal de larvas de *O. oryzae* coletadas aos 30 Dias Após a Inundação (DAI) nas raízes das cultivares de arroz BRS Pampa CL (Pamp) e BRS Atalanta (Atal), no campo, na safra 2018/19. (*) Representa diferença significativa ($P < 0,05$) entre as cultivares pelo teste de Kruskal-Wallis [(A): $H = 37,57$, $g = 1$, $P = < 0,001$, $CV\% = 12,72$; (B): $H = 17,33$, $g = 1$, $P = < 0,001$, $CV\% = 24,83$]. 170

Figura 6. Relação da produção de grãos planta⁻¹ das cultivares de arroz BRS Pampa CL (A, B) e BRS Atalanta (C) e densidade larval de *O. oryzae* planta⁻¹, no campo, nas safras 2017/18 (A) e 2018/19 (B, C) $\{[y = m + (1 - m) * z^{Pi - T}]\}$. As linhas sólidas azuis (A, B) e verde (C) indicam a relação não-linear entre as variáveis [(A): $y = 0,97^{Pi - 10,83}$; (B): $y = 0,98^{Pi - 8,37}$; (C): $y = 0,45 + (1 - 0,45) * 0,91^{Pi - 9,80}$]. 171

Lista de Tabelas

Artigo 1

Tabela 1. Cultivares de arroz avaliadas quanto à resistência ao gorgulho-aquático Sul-americano (RWW) em experimentos de campo nas safras 2016/17 e 2017/18	56
Tabela 2. Número e dimensão (mm ²) das lesões de alimentação (raspagens) provocados pelos adultos do gorgulho-aquático Sul-americano em folhas de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2)	57
Tabela 3. Densidade de ovos e larvas de 1 ^o ínstar por planta e razão de eclosão de larvas do gorgulho-aquático Sul-americano em seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2)	58
Tabela 4. Número, tamanho e peso de larvas do gorgulho-aquático Sul-americano contabilizadas aos 15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI) nas raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2)	59
Tabela 5. Tempo para o surgimento (dias) das primeiras pupas do gorgulho-aquático Sul-americano nas raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2).....	62
Tabela 6. Razão de emergência, razão sexual e peso de adultos do gorgulho-aquático Sul-americano que emergiram (F ₁) de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2)	67

Artigo 2

Tabela 1. Cultivares de arroz avaliadas em <i>screening</i> de campo quanto à resistência ao gorgulho-aquático Sul-americano (RWW), nas safras 2016/17 e 2017/18	124
Tabela 2. Comparações aos pares de variáveis para antixenose sobre o gorgulho-aquático Sul-americano - “número de lesões de alimentação (raspagens) (média entre 5, 8 e 11 DAI)” e “número de ovos (média entre 5, 8 e 11 DAI)” -	

	entre seis cultivares de arroz (consideradas como fatores), em <i>screening</i> de campo, nas safras 2016/17 e 2017/18.....	125
Tabela 3.	Comparações aos pares de variáveis para antibiose sobre o gorgulho-aquático Sul-americano - “número de larvas (média entre 15, 25 e 35 DAI)”, “peso de larvas (média entre 15, 25 e 35 DAI)”, “tempo necessário para a emergência de 50% da população de adultos (F ₁) (TE50%)” e “peso de adultos (F ₁) (média entre machos e fêmeas)” - entre seis cultivares de arroz (consideradas como fatores), em <i>screening</i> de campo, nas safras 2016/17 e 2017/18.....	126
Tabela 4.	Atividade média (\pm EP) das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), peroxidase (POX) e polifenol oxidase (PPO) em raízes de arroz de cultivares suscetível (Ss) e resistente (Rr) apresentando infestação natural do gorgulho-aquático Sul-americano (RWW), aos 15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI).....	130
Tabela 5.	Concentração média (\pm EP) de compostos fenólicos solúveis totais (TSPC), dos ácidos fenólicos 4-hidroxibenzóico (4-HX), ferúlico (FER) e p-cumárico (P-CM) e de derivados lignina-ácido tioglicólico (LTGA) em raízes de arroz de cultivares suscetível (Ss) e resistente (Rr) apresentando infestação natural do gorgulho-aquático Sul-americano (RWW), aos 15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI).....	131
Tabela 6.	Atividade média (\pm EP) das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), peroxidase (POX) e polifenol oxidase (PPO) em raízes de arroz de cultivares suscetível (Ss) e resistente (Rr) apresentando diferentes níveis de infestação do gorgulho-aquático Sul-americano (RWW), aos 25 Dias Após a Inundação (DAI)	132
Tabela 7.	Concentração média (\pm EP) de compostos fenólicos solúveis totais (TSPC), dos ácidos fenólicos 4-hidroxibenzóico (4-HX), ferúlico (FER) e p-cumárico (P-CM) e de derivados lignina-ácido tioglicólico (LTGA) em raízes de arroz de cultivares suscetível (Ss) e resistente (Rr) apresentando diferentes níveis de infestação do gorgulho-aquático Sul-americano (RWW), aos 25 Dias Após a Inundação (DAI).....	133

Artigo 3

Tabela 1. Resumo dos parâmetros estimados das regressões lineares ajustadas para densidade das larvas planta ⁻¹ (LARV) e para densidade de lesões de alimentação dos gorgulhos-aquáticos planta ⁻¹ (LESO) em função da densidade de infestação dos gorgulhos-aquáticos, em casais gaiola ⁻¹ (ADUL), e para densidade das larvas planta ⁻¹ (LARV) em função da densidade de lesões de alimentação dos gorgulhos-aquáticos planta ⁻¹ (LESO), em duas cultivares de arroz [(y= a + b*x); Figs. 3 e 4], no campo, nas safras 2017/18 (1) e 2018/19 (2).....	167
Tabela 2. Resumo dos parâmetros estimados das regressões não-lineares ajustadas para produção de grãos planta ⁻¹ (PROD) de duas cultivares de arroz em função da densidade larval de <i>O. oryzae</i> planta ⁻¹ (LARV) {[y= m + (1 - m)*z ^{Pi - T}]; Fig. 6}, no campo, nas safras 2017/18 (1) e 2018/19 (2).	171
Tabela 3. Redução na produção de grãos estimada [y= m + (1 - m)*z ^{Pi - T}], em gramas (g) e porcentagem (%), associada à adição de larvas a partir do limite de tolerância ao dano significativo de larvas de <i>O. oryzae</i> , em duas cultivares de arroz, no campo, nas safras 2017/18 (1) e 2018/19 (2).....	172
Tabela 4. Média (±EP) de variáveis vegetativas e reprodutivas - volume radicular (VOLU, cm ³), números de perfilhos (PERF), de panículas (PANI) e de grãos por panículas (GRAO), e massa de mil grãos (1000GRAO, g) - de duas cultivares de arroz sob níveis distintos de infestação larval de <i>O. oryzae</i> , no campo, nas safras 2017/18 (1) e 2018/19 (2).....	173

Sumário

1. Introdução Geral	19
2. Artigo 1. Resistência de cultivares de arroz ao gorgulho-aquático Sul-americano (Col.: Curculionidae): antixenose ou antibiose?	26
Resumo.....	28
Palavras-chave.....	29
Introdução	29
Material e Métodos.....	32
Resultados	37
Discussão.....	41
Agradecimentos	47
Referências	48
Material Suplementar 1	68
Material Suplementar 2	88
3. Artigo 2. Fatores anatomorfológicos e bioquímicos da resistência de arroz ao gorgulho-aquático Sul-americano (Col.: Curculionidae)	92
Resumo.....	93
Palavras-chave.....	94
Introdução	94
Material e Métodos.....	97
Resultados	104
Discussão.....	108
Agradecimentos	115
Referências	116
4. Artigo 3. Impacto do dano de <i>Oryzophagus oryzae</i> (Col.: Curculionidae) em cultivares de arroz de suscetibilidade contrastante	134
Resumo.....	136
Palavras-chave.....	136
Introdução	137
Material e Métodos.....	140
Resultados	145

Discussão.....	150
Agradecimentos	153
Referências citadas.....	154
5. Considerações finais	175
Referências	177

1. Introdução Geral

Ao longo da história, o arroz (*Oryza spp.*) tem sido um dos alimentos mais importantes para nutrição humana mundial. É base alimentar de mais de três bilhões de pessoas, fornecendo cerca de 20% da energia e 15% da proteína *per capita* necessárias ao homem (KHUSH, 2005). Por conta disso, é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo (FAOSTAT, 2019). Nesse sentido, elevações na produtividade da cultura do arroz foram observadas com intensidade no decorrer da segunda metade do século 20, porém, atualmente, a manutenção e o impulsionamento desses índices têm sido considerados altamente desafiadores (KARKI; RIZAL; QUICK, 2013). Por outro lado, o arroz se destaca no cenário atual como objeto valioso de pesquisa, que objetiva o incremento de sua produtividade, uma vez que esse cereal é tido por órgãos governamentais, dentre as espécies cultivadas, como àquela de maior potencial de aumento dos índices produtivos, visando o combate à fome no mundo (SHEEHY; MITCHELL, 2011; KARKI; RIZAL; QUICK, 2013).

O Brasil é o maior polo de produção do cereal fora do continente asiático (FAOSTAT, 2019), com cerca de 10,4 milhões de toneladas produzidas na última safra, do Norte ao Sul do país, basicamente por meio de dois sistemas de cultivo: arroz irrigado por inundação controlada (~1,6 milhão de hectares) em solos de várzeas subtropicais e tropicais (“irrigado”) e, arroz de terras altas (~0,3 milhão de hectares), predominantemente, em solos de cerrado, com aproveitamento das águas das chuvas (“sequeiro”) (CONAB, 2019). O sistema de cultivo de arroz em várzea, irrigado por inundação, concentra-se nos estados da região Sul do Brasil, Rio Grande de Sul (74,3%) e Santa Catarina (10,7%), mas, também, é economicamente representativo para outros estados da nação, como Roraima (0,8%), Mato Grosso do Sul (0,8%),

Goiás (1,2%) e Tocantins (8%). Desse sistema de cultivo advém mais de 92% da produção nacional de arroz, devido a maior estabilidade produtiva garantida pela irrigação por inundação controlada e ao maior potencial produtivo das cultivares, que apresentaram média de 7.144,0 kg ha⁻¹, na safra 2018/19 (CONAB, 2019). No entanto, salienta-se, que tais índices de produtividade ainda estão aquém do potencial produtivo das cultivares modernas de arroz, que podem alcançar até 14.000,0 kg ha⁻¹ (REUNIÃO, 2018).

Dentre os fatores deletérios à orizicultura irrigada, que impedem melhor aproveitamento do potencial de produtividade das cultivares, inclui-se o ataque dos insetos (LING; WEILIN, 2016), que ocasionam perdas anuais de 10 a 35% na produção de grãos (MARTINS; GRÜTZMACHER; CUNHA, 2004). Diversas espécies de insetos danificam os arrozais irrigados no Brasil, desde a semeadura até a fase de formação de grãos (GRÜTZMACHER, 1994). Cerca de 16 espécies encontram-se devidamente relatadas compreendendo a fauna de insetos prejudiciais à cultura irrigada, das quais seis são consideradas de importância primária: *Rhopalosiphum rufiabdominale* (Sasaki) (Hemiptera: Aphididae), *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae), *Tibraca limbativentris* Stal (Hemiptera: Pentatomidae), *Oebalus* spp. (Hemiptera: Pentatomidae) e *Pseudaletia* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) (MARTINS; GRÜTZMACHER; CUNHA, 2004; SANTOS, 2006; REUNIÃO, 2018).

O gorgulho-aquático do arroz, *O. oryzae*, é um dos insetos-praga mais prejudiciais à cultura do arroz irrigado por inundação na região Sul do Brasil, onde tem se estimado ocorrência crônica em 65% da área cultivada (GUEDES et al., 2015). Além disso, há relatos que destacam a ocorrência desse inseto em arrozais distribuídos pela América do Sul, como na Argentina, Bolívia, Paraguai e Uruguai (WIBMER; O'BRIEN, 1986). Os insetos adultos surgem nos arrozais por ocasião do acúmulo de água oriunda das chuvas ou da própria irrigação por inundação. Na colonização das plantas, acasalam e ovipositam em lacunas do aerênquima de bainhas foliares submersas na água de irrigação (MOREIRA, 2002). Cerca de sete dias após a oviposição, eclodem as larvas (vulgarmente conhecidas como “bicheira-da-raiz”), que deixam as bainhas, fixando-se às raízes pelos espiráculos dorso-abdominais, onde alimentam-se por cerca de 25 dias.

Os adultos são economicamente importantes em áreas de arroz pré-germinado, onde podem destruir grande quantidade de plântulas, em virtude do ataque à radícula e ao coleóptilo (MARTINS; CUNHA, 2007). Por outro lado, em lavouras implantadas em solo seco, raramente promovem prejuízos, já que apenas se alimentam do mesófilo foliar, ocasionando lesões semelhantes a raspagens. Independente do sistema de cultivo, os principais danos, porém, sempre decorrem do ataque voraz de larvas às raízes das plantas de arroz. Em lavouras implantadas em solo seco com posterior inundação, as larvas podem causar perdas de produtividade de 10%. Em áreas de arroz pré-germinado, onde a semeadura é efetuada em solo já inundado e a infestação larval inicia mais cedo, isto é, em plantas mais sensíveis ao ataque do inseto, as perdas de produtividade podem ser de até 18% (MARTINS; CUNHA, 2015).

Várias práticas culturais utilizadas nos arrozais são referidas como favoráveis à redução da ocorrência e dos danos causados por *O. oryzae* (MARTINS; PRANDO, 2004). Entretanto, no Sul do Brasil, o emprego de inseticidas químicos tem sido o método de controle preferencialmente adotado pelos orizicultores (GUEDES et al., 2015). A exemplo disso, estima-se que, a cada safra nessa região, a área cultivada com sementes tratadas com inseticidas visando o controle preventivo das larvas, basicamente por meio de fipronil (pirazol), supere, de longe, 700 mil hectares (OLIVEIRA; FIUZA, 2013). Mesmo em menor escala, há, ainda, relatos da utilização de piretroides, neonicotinoides ou diamidas, pulverizados no dossel ou aplicados diretamente na água de irrigação, para o controle de adultos ou larvas, respectivamente (HICKEL et al., 2013). Diante disso, *O. oryzae* pode ser considerada a espécie de inseto-praga alvo da maior parcela dos inseticidas atualmente utilizados em arrozais, no Sul do Brasil.

As recomendações técnicas da pesquisa para a prática adequada do controle químico de *O. oryzae*, no Brasil, além de acessíveis, são amplamente difundidas no setor orizícola (GOMES; MAGALHÃES JÚNIOR, 2004; MARTINS; CUNHA, 2007; MARTINS; CUNHA, 2015; REUNIÃO, 2018). Mesmo assim, são frequentes os casos de descumprimento dos critérios preconizados pelo Manejo Integrado de Pragas (MIP), principalmente relacionados à utilização de inseticidas em áreas sem histórico de ocorrência do inseto ou sem base em monitoramentos (MARTINS et al., 2009; MARTINS et al., 2016). Esse cenário de dependência e de uso abusivo e inadequado

de inseticidas no controle de *O. oryzae*, não apenas pode acarretar aumento desnecessário dos custos de produção, como provocar diversos problemas, tais como resíduos nos alimentos, intoxicação de aplicadores, aparecimento de populações do inseto resistentes e contaminação ambiental, principalmente de recursos hídricos e de artrópodes não alvo (GRÜTZMACHER et al., 2008, MARTINS et al., 2017a,b; PAZINI et al., 2017; TELÓ et al., 2017). Assim, a sustentabilidade do agroecossistema orizícola é dependente do emprego de táticas com ênfase à racionalização do uso de inseticidas, como a resistência de plantas (SAAD et al., 2018).

O princípio da resistência de plantas decorre do fato de que, no ecossistema natural, há milhões de anos, insetos fitófagos e plantas convivem entre si, formando uma complexa interrelação, em constante coevolução, cada qual procurando superar as barreiras impostas à sobrevivência (WAR et al., 2012). Isso significa que a herbivoria pode ser evitada ou reduzida a partir de mecanismos de defesa permanentemente presentes nas plantas (constitutivos) ou desencadeados em resposta à herbivoria (induzidos) (SMITH, 2005; BENTO; NARDI, 2009; GILL et al., 2010; WAR et al., 2012; STENBERG; MUOLA, 2017; SILVA; PANIZZI, 2019). Com base nisso, a resistência de plantas hospedeiras à artrópodes é amplamente categorizada em antixenose ou não-preferência, que é a resistência que interfere no comportamento dos insetos na seleção do hospedeiro, antibiose, que é a resistência que interfere nos processos fisiológicos do inseto, e tolerância, que é a resistência que se expressa em plantas que, embora atacadas, não sofrem perda de produção ou qualidade do produto (PAINTER, 1951).

A resistência de plantas é considerada uma tática potencialmente valiosa para o manejo de gorgulhos-aquáticos e mitigação dos prejuízos aos arrozais (MARTINS; GRÜTZMACHER; CUNHA, 2004). Desde a década de 1960 tem sido empreendido considerável esforço por parte de cientistas de instituições de pesquisa em todo o mundo, visando a identificação e o desenvolvimento de genótipos resistentes ao inseto, os quais já detectaram resistência dos tipos antixenose, antibiose e tolerância para *O. oryzae* e *Lissorhoptus oryophilus* Kuschel (Coleoptera: Curculionidae), gorgulho-aquático de ocorrência crônica nos arrozais dos Estados Unidos, Ásia e Europa (HIM, 1980; SMITH; ROBINSON, 1982; N'GUESSAN; QUISENBERRY, 1994; N'GUESSAN et al., 1994a, b, c, d; MARTINS; TERRES, 1995; HEINRICHS; QUISENBERRY, 1999; MARTINS et al., 2001; STOUT et al., 2001; STOUT; RIGGIO,

2002; SILVA et al., 2003; MARTINS et al., 2004; NEVES et al., 2011; LUPI et al., 2013; VYAVHARE et al., 2016; SAAD et al., 2018; LIMA et al., 2019).

No entanto, desde o princípio dos estudos de resistência de plantas de arroz a gorgulhos-aquáticos, quando algumas cultivares, dentre elas a “Dawn”, foram diagnosticadas pela primeira vez apresentando baixa infestação de larvas (HIM, 1980; SMITH; ROBINSON, 1982), há pouca compreensão da reação da planta resistente frente à ocupação e ataque do inseto, tampouco há conhecimento da natureza dos fatores de defesa das plantas condicionantes da antixenose ou antibiose. Até o presente, basicamente por meio de índices de infestação de *O. oryzae*, no campo, como número de larvas por amostra de solo e raízes, genótipos de arroz têm sido tradicionalmente selecionados quanto à resistência do tipo antixenose e antibiose, sem a precisa diferenciação dos tipos de resistência, visto que essa variável de infestação somente revela efeitos isolados ou conjuntos de antixenose e antibiose (LIMA et al., 2019). Essa realidade pouco se altera nos estudos de resistência de plantas de arroz com a espécie *L. oryzaephilus* (SAAD et al., 2018).

Por outro lado, há um conhecimento mais aprofundado sobre as causas da resistência de plantas de arroz para outros insetos economicamente importantes. Inúmeros fatores de defesa reguladores de antixenose e antibiose em genótipos de arroz já foram identificados e associados à resistência contra diferentes espécies de broca-do-colmo [(Lepidoptera: Crambidae) e (Lepidoptera: Pyralidae)] e de cigarrinhas (Hemiptera: Delphacidae), destacando-se alguns fatores de natureza anatomorfológica (MARTINS et al., 1981; HEINRICHS, 1994; NASCIMENTO; BARRIGOSI, 2014; TABARI et al., 2017, CORREA et al., 2018, SHARMITHA et al., 2019) e bioquímica (RANI; JYOTHSNA, 2010; CHEN et al., 2012; DUAN et al., 2014; LING; WEILIN, 2016; JANNOEY et al., 2017; GUO; LIAO; CHUANG, 2019).

Quantas categorias de resistência de plantas a insetos e quais mecanismos de defesa inseridos nas categorias estão envolvidos nas interações entre uma espécie vegetal e uma espécie de inseto? Essa é uma pergunta fundamental que deve ser considerada em estudos de resistência de plantas a insetos em cooperação com programas de melhoramento genético. Conhecer a(s) categoria(s) e mecanismo(s) envolvido(s) na resistência, a exemplo de traços morfológicos ou químicos da resistência, oportunizará aos entomologistas e melhoristas, em trabalho conjunto, a incorporação dessas características, viabilizando um desenvolvimento mais rápido e

aprimorado de cultivares elite resistentes ao inseto alvo do estudo (SANDOYA et al., 2010).

O uso de cultivares resistentes é um componente essencial do MIP, devido à total compatibilidade com as demais medidas de controle (STOUT; DAVIS, 2009; SANCHES et al., 2017; VENDRAMIM; ROSALES, 2019), como sua associação com inseticidas químicos. Nesse sentido, Eigenbrode; Trumble (1994) comentaram que o Nível de Dano Econômico (NDE), que é a densidade populacional da praga que causa prejuízos à cultura iguais ao custo de adoção de medidas de controle, e o Nível de Controle (NC), que é a densidade populacional da praga em que medidas de controle devem ser tomadas para impedir que atinja o NDE, são afetados diretamente por uma cultivar resistente, podendo, ainda, distinguir-se em cada uma das três categorias de resistência de plantas (PAINTER, 1951; STERN et al., 1959). Por exemplo, cultivares resistentes do tipo antixenose e antibiose podem, não somente reduzir os índices populacionais das pragas, como também, manter, por mais tempo, a densidade de insetos abaixo do NC. Além disso, uma cultivar portadora de antibiose, por interferir na alimentação e no *fitness* da praga em seu estágio prejudicial, pode reduzir o dano ocasionado às plantas por unidade de inseto, influenciando diretamente no aumento do NDE. Dessa forma, antixenose e antibiose podem exercer efeitos sobre o NC e NDE. A resistência do tipo tolerância também pode interferir diretamente sobre NDE, aumentando-o significativamente, já que impacta sobre o dano ocasionado às plantas por unidade de inseto e sobre a perda de produção por unidade de dano. Em síntese, um NDE mais elevado permitirá a adoção de NC igualmente mais elevado, resultando menor número de aplicações de inseticidas, o que torna menos onerosa a produção final e reduz os riscos de poluição ambiental (HEINRICHS et al., 1985; SHARMA; ORTIZ, 2002; SMITH, 2005; MARCHI-WERLE et al., 2017).

Para *O. oryzae*, atualmente, é preconizado que danos significativos são ocasionados nos arrozais a partir de uma infestação média superior a cinco larvas por amostra de solo e raízes (REUNIÃO, 2018). Essa recomendação, porém, foi convencionada no início da década de 1990, para as cultivares IRGA 414 e Bluebelle, que apresentam diagnóstico de suscetibilidade ao inseto (BOTTON et al., 1996), isto é, a influência que a resistência de plantas pode exercer sobre níveis de infestação e de danos de *O. oryzae* (MARTINS; PRANDO, 2004) foram desconsiderados. Além do mais, desde então, inúmeras alterações tecnológicas foram implementadas no

sistema de produção de arroz brasileiro (MARTINS; PRANDO, 2004), com destaque à substituição de cultivares dos tipos tradicional ou intermediária, a exemplo da “Bluebelle”, por cultivares modernas ou híbridas, a exemplo da “BRS Pampa CL” (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2018). Cultivares modernas ou híbridas apresentam vigoroso sistema radicular, elevados índices de perfilhamento e produção e que, ainda, respondem amplamente a fertilização nitrogenada, componente chave na recuperação de raízes danificadas pela bicheira-da-raiz (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2004; REUNIÃO, 2018). Conseqüentemente, é grande a possibilidade de tais elementos terem interferido na relação entre níveis populacionais ou de danos de *O. oryzae* às plantas de arroz e índices de perda de produção. Isso salienta a necessidade de validar ou revisar o atual nível de infestação larval causador de danos significativos aos arrozais, a fim de subsidiar ações para o controle de *O. oryzae* em harmonia com critérios do MIP.

Sendo assim, os estudos aqui descritos caracterizam a predominante categoria de resistência das plantas de arroz ao gorgulho-aquático *O. oryzae*. Ademais, identificam os fatores de defesa anatomorfológicos e bioquímicos presentes nas raízes de cultivares de arroz, esclarecendo a forma como influenciam sobre a densidade populacional e os danos das larvas nas plantas. Os achados dos estudos que compõem a presente Tese revelam novas informações, que preenchem algumas lacunas do conhecimento teórico quanto à resistência de arroz a *O. oryzae*. Tais resultados são traduzidos em benefícios práticos sem precedentes, principalmente pela utilidade para aplicação em programas de melhoramento genético visando o desenvolvimento de cultivares elites resistentes, bem como base para adoção de outras táticas de manejo integrado do gorgulho-aquático em arrozais brasileiros.

2. Artigo 1

Resistência de cultivares de arroz ao gorgulho-aquático Sul-americano (Col.: Curculionidae): antixenose ou antibiose?*

Resistance of rice cultivars to the South American rice water weevil (Col.: Curculionidae): antixenosis or antibiosis?

Juliano de Bastos Pazini

Enio Júnior Seidel

Fernando Felisberto da Silva

José Francisco da Silva Martins

Anderson Dionei Grützmacher

*Artigo redigido nas normas da revista "Crop Protection" (versão em Português)

1 **Resistência de cultivares de arroz ao gorgulho-aquático Sul-americano (Col.:**
2 **Curculionidae): antixenose ou antibiose?**

3 Juliano de Bastos Pazini^{1*}, Enio Júnior Seidel², Fernando Felisberto da Silva³, Anderson Dionei
4 Grützmacher¹, José Francisco da Silva Martins⁴

5 ¹Federal University of Pelotas, Faculty of Agronomy “Eliseu Maciel”, Department of Plant
6 Protection. Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

7 ²Federal University of Santa Maria, Center of Exact and Natural Sciences, Department of
8 Statistic. Roraima Ave, Postal Code 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

9 ³Federal University of Pampa, São Gabriel Campus. 1847 Antonio Trilha Ave, Postal Code
10 97300-000, São Gabriel, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

11 ⁴Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Temperate Agriculture. BR 392, km
12 79, Monte Bonito, Postal Code 96010-971, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

13 *Corresponding author:

14 Juliano de Bastos Pazini

15 julianopazzini@hotmail.com; +55 53 3275-7376 | +55 55 99934-6181

16 **Declaração de contribuição dos autores**

17 J.F.S.M., A.D.G. e J.B.P. idealizaram a pesquisa. J.B.P. conduziu os experimentos e
18 coletou os dados de campo. E.J.S. analisou os dados. J.B.P. escreveu o manuscrito. F.F.S.
19 contribuiu amplamente na interpretação dos resultados e no aperfeiçoamento geral do
20 manuscrito. Todos os autores apresentaram contribuições nas versões anteriores do manuscrito.
21 Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito.

22 **Highlights**

23 • Avaliamos a resistência de cultivares de arroz a *O. oryzae*, uma das principais pragas do
24 arroz da América do Sul.

25 • “BRS Pampa CL”, recentemente introduzida na orizicultura brasileira, é suscetível a *O.*
26 *oryzae*.

27 • Os efeitos de antixenose e antibiose foram caracterizados; As cultivares resistentes não
28 inibiram a alimentação e a oviposição dos adultos, mas, causaram mortalidade e elevada
29 inibição do crescimento larval, com consequente efeito transgeracional sobre as fêmeas F₁.

30 • A antibiose é um mecanismo chave da resistência de arroz a *O. oryzae*.

31 **Resumo**

32 Resistência de plantas é estratégia fundamental para o manejo do gorgulho-aquático
33 *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae), importante praga dos arrozais
34 Sul-americanos. Realizou-se um estudo, sob condições naturais de infestação no campo
35 (*hotspot*), nas safras de 2016/17 e 2017/18, para caracterizar os efeitos de antixenose e antibiose
36 em cultivares de arroz a *O. oryzae*. Os experimentos foram instalados em delineamento
37 quadrado latino, onde seis cultivares (“BRS Atalanta”=“Atal”, “BRS Firmeza”=“Firm”, “BRS
38 Ligeirinho”=“Lige”, “BRS Pampa CL”=“Pamp”, “BRS Querência”=“Quer” e
39 “Dawn”=“Dawn”) compuseram os tratamentos, em parcelas inundadas contendo 100 plantas.
40 Evidenciou-se inexistência de antixenose nas seis cultivares sobre a preferência de alimentação
41 e oviposição do gorgulho-aquático, diagnosticada aos 5, 8 e 11 Dias Após a Inundação (DAI)
42 das parcelas. Não houve diferenças entre as cultivares quanto à viabilidade de ovos e densidade
43 larval, de 1º ínstar ou contabilizadas aos 15 DAI, nas raízes. Constataram-se diferenças
44 significativas aos 25 e 35 DAI, quando a densidade larval por amostra foi alta em “Pamp” (até
45 24,54), intermediária em “Quer” e “Lige” (até 16,08) e baixa em “Atal”, “Firm” e “Dawn” (até
46 8,83). As cultivares “Atal”, “Firm” e “Dawn” ocasionaram subnutrição e inibição do
47 crescimento larval. Esses efeitos, típicos de antibiose, resultaram em atraso no surgimento de
48 pupas e na emergência dos adultos F₁; o peso corporal das fêmeas F₁ ainda foi fortemente
49 diminuído. Assim, conclui-se que “Lige”, “Quer” e, principalmente, “Pamp” são suscetíveis,

50 condicionando, além de elevada população larval, um melhor desenvolvimento de *O. oryzae*; e
51 que antibiose, conforme detectado em “Atal”, “Firm” e “Dawn”, mas não antixenose, é um
52 mecanismo chave da resistência de arroz a *O. oryzae*.

53 **Palavras-chave:** *Oryza sativa*, *Oryzophagus oryzae*, interação planta-inseto, planta hospedeira,
54 *fitness*

55 **1 Introdução**

56 O gorgulho-aquático do arroz, *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera:
57 Curculionidae), é praga importante de arrozais irrigados por inundação na América do Sul, com
58 relatos da ocorrência da espécie na Argentina, Bolívia, Brasil, Paraguai e Uruguai (Wibmer &
59 O'Brien 1986). No Brasil, maior produtor de arroz fora do continente asiático (FAOSTAT
60 2016), é praga crônica na região Sul (Guedes et al. 2015), que é responsável por 82,7% da
61 produção do cereal do país (CONAB 2019).

62 Os estágios de larva e adulto de *O. oryzae* se alimentam de plantas de arroz, porém, são
63 as larvas, denominadas bicheira-da-raiz, que promovem as principais perdas econômicas. Os
64 gorgulhos-aquáticos se alimentam das folhas de arroz, provocando lesões longitudinais
65 semelhantes a raspagens. Acasalam e ovipositam em lacunas do aerênquima de bainhas foliares
66 submersas na água de irrigação (Moreira 2002). As larvas eclodem e deixam as bainhas,
67 fixando-se às raízes pelos espiráculos dorso-abdominais. Alimentam-se externamente das
68 raízes das plantas de arroz durante cerca de 25 dias, podendo causar danos significativos no
69 sistema radicular, que impactam sobre diversos componentes vegetativos e reprodutivos do
70 arrozal (Zou et al. 2004), como a redução de até 18% na produção de grãos (Martins & Cunha
71 2015). Após, empupam em casulos de lama aderidos às raízes, de onde emergem os adultos que
72 iniciam uma nova geração no arrozal ou migram aos sítios de hibernação.

73 Dentre as inúmeras táticas de supressão populacional de larvas e adultos de *O. oryzae*
74 (Martins et al. 2004), o uso intensivo de inseticidas químicos tem sido a medida de controle

75 preferencial (Guedes et al. 2015, Martins & Cunha 2015). A excessiva dependência de
76 inseticidas no controle de *O. oryzae* não somente eleva os custos de produção, como pode
77 provocar diversos problemas, tais como resíduos nos alimentos, intoxicação de aplicadores,
78 aparecimento de populações do inseto resistentes e contaminação ambiental, principalmente de
79 recursos hídricos e artrópodes não-alvo (Stout et al. 2001, Grützmacher et al. 2008, Martins et
80 al. 2017, Pazini et al. 2017, Teló et al. 2017). Assim, a sustentabilidade dos arrozais é
81 dependente do emprego de estratégias com ênfase à racionalização do uso de inseticidas (Saad
82 et al. 2018), como a resistência de plantas, que é um componente essencial de muitos programas
83 de manejo integrado de insetos (Stout & Davis 2009) e uma estratégia potencialmente valiosa
84 para o manejo de gorgulhos-aquáticos do arroz no mundo (Stout et al. 2001, Lupi et al. 2013,
85 Lima et al. 2019).

86 Em arroz, a resistência à gorgulhos-aquáticos tem sido categorizada, conforme os
87 critérios definidos originalmente por Painter (1951), em antixenose ou não-preferência
88 (resistência que interfere no comportamento dos insetos na seleção do hospedeiro), antibiose
89 (resistência que interfere nos processos fisiológicos do inseto [biologia]) e tolerância
90 (resistência que se expressa em plantas que, embora atacadas, não sofrem perda de produção
91 ou qualidade do produto). Antixenose afetou significativamente a oviposição de *Lissorhoptrus*
92 *oryzophilus* Kuschel (Coleoptera: Curculionidae) nas cultivares Cocodrie e Jefferson (Stout &
93 Riggio 2002). Efeitos de antibiose prejudicaram o crescimento larval de *L. oryzophilus* na
94 cultivar Nira (Smith & Robinson 1982), e a emergência de adultos de *O. oryzae* (descendentes)
95 na “BR IRGA 417” (Neves et al. 2011, Lima et al. 2019). Portanto, tanto a antixenose quanto
96 a antibiose correspondem a uma interação inseto-plantas e são capazes de reduzir a população
97 de gorgulhos-aquáticos. No entanto, constatam-se maiores benefícios na antibiose, visto que os
98 possíveis fatores antibióticos presentes nas plantas de arroz, como químicos e morfológicos,
99 além de provocarem a redução do crescimento ou mortalidade das larvas, podem prolongar as

100 consequências sobre o desempenho biológico ou *fitness* dos gorgulhos-aquáticos emergidos
101 (efeito transgeracional) (Vendramim et al. 2019), reduzindo o potencial de danos aos arrozais
102 na safra vigente, bem como o tamanho da infestação e os danos nas safras futuras.

103 Desde 1980, quando a cultivar Dawn foi referida pela primeira vez apresentando baixa
104 infestação de larvas de *O. oryzae* (Him 1980), há pouco entendimento sobre a reação da planta
105 resistente frente à colonização e ao ataque do inseto, tampouco das características específicas
106 das plantas de arroz responsáveis pelos efeitos de antixenose e/ou antibiose. Deve-se ressaltar,
107 porém, que não é fácil diferenciar antixenose e antibiose, principalmente se a antixenose
108 alimentar (fagodeterrência) manifestar-se em elevado grau, a ponto de igualmente provocar
109 alterações significativas na biologia do inseto ou mortalidade, nos casos de forte inanição
110 (Vendramim et al. 2019). A diferenciação dos efeitos de antixenose e antibiose torna-se mais
111 difícil em gorgulhos-aquáticos do arroz devido a complexidade para estudar a biologia desses
112 insetos em ambientes controlados (Lima et al. 2019). A simulação de condições naturais
113 favoráveis ao desenvolvimento de gorgulhos-aquáticos em ambientes controlados, para obtê-
114 los com idade e *status* reprodutivo conhecidos, é laboriosa (Zhang et al. 2004), principalmente
115 no período desde a fixação das larvas às raízes ao fim da fase pupal, quando o inseto não possui
116 vida livre e a presença de lama é essencial à sobrevivência (Ukishiro 1993).

117 O desenvolvimento de ensaios diretos no campo, para uma avaliação mais realista da
118 reação das plantas sob condições naturais de infestação de *O. oryzae*, pode ajudar na
119 caracterização de antixenose e antibiose. O número de larvas por amostra de solo e raízes tem
120 sido tradicionalmente utilizado em avaliações da resistência de gorgulhos-aquáticos no campo
121 (N'Guessan et al. 1994). Porém, essa variável somente expressa efeitos isolados ou interativos
122 de antixenose e antibiose, não possibilitando a correta distinção dos tipos de resistência (Lima
123 et al. 2019). Para tal, estimativas de oviposição nas bainhas foliares, do consumo vegetal e do
124 desempenho biológico em diferentes etapas da fase larval, que também se prolonga à fase pupal

125 e adulta - executáveis no campo, mas ainda não realizadas no Brasil - devem ser adequadamente
126 consideradas, tornando mais eficaz o estudo da resistência de arroz a *O. oryzae*.

127 O objetivo do presente estudo foi avaliar a resistência de cultivares de arroz quanto à
128 preferência para alimentação e oviposição, crescimento, desenvolvimento e desempenho
129 biológico do gorgulho-aquático Sul-Americano *O. oryzae*, para caracterizar os efeitos de
130 antixenose e antibiose, sob condições naturais de infestação no campo. Este estudo vem ao
131 encontro da imediata necessidade de melhor entender sobre o prevacente mecanismo de
132 resistência envolvido, ajudando no direcionamento de pesquisas futuras sobre as causas da
133 resistência, ainda desconhecidas, mas fundamentais para o desenvolvimento de cultivares elites
134 resistentes a *O. oryzae* em programas de melhoramento genético do arroz.

135 **2 Material e Métodos**

136 **2.1 Área do estudo**

137 Os experimentos foram realizados em dois anos agrícolas consecutivos [2016/17 (1) e
138 2017/18 (2)], em talhões nivelados localizados às margens de uma área de aproximadamente
139 100 hectares, na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, em
140 Capão-do-Leão, RS, Brasil (31°48'45"S; 52°27'59"W). O tipo de solo é Planossolo Háplico
141 eutrófico típico, comuns em arrozais irrigados por inundação no Sul do Brasil. O clima da
142 região é do tipo “Cfa”, subtropical, temperado quente, com chuvas bem distribuídas e estações
143 bem definidas, segundo classificação de Köppen-Geiger.

144 Os talhões dos experimentos desse local sofrem historicamente com elevada infestação
145 de *O. oryzae* e têm sido utilizados nos estudos de resistência de plantas de arroz ao inseto (Lima
146 et al. 2019). A proximidade da área junto a uma densa vegetação nativa inalterada e canais de
147 captação de água para irrigação, aliado as práticas culturais tradicionalmente adotadas nos
148 talhões, como a rotação arroz-pousio e ausência de aplicações de inseticidas há pelo menos 30
149 anos, tornaram o local favorável à proliferação do gorgulho-aquático (*hotspot*).

150 **2.2 Material vegetal e condições experimentais**

151 Seis cultivares comerciais de arroz foram selecionadas para compor os tratamentos
152 (Tabela 1). “BRS Atalanta” e “Dawn” foram incluídas como padrão de resistência a *O. oryzae*
153 (Martins et al. 2001, Silva et al. 2003), enquanto “BRS Ligeirinho” como padrão de
154 suscetibilidade (Cunha et al. 2006), sendo desconhecido o grau de resistência das três demais
155 cultivares. Os experimentos de múltipla escolha foram conduzidos em delineamento quadrado
156 latino (seis tratamentos e seis repetições), com a finalidade de controlar possíveis diferenças na
157 espessura da lâmina d’água de irrigação, assegurando semelhantes condições para a infestação
158 das parcelas pelo gorgulho-aquático (Stout et al. 2002, Büttow et al. 2017).

159 Nas duas safras, cada parcela conteve 100 plantas [cinco fileiras de plantas espaçadas
160 30 cm com 20 plantas espaçadas 20 cm (4,56 m²), afastadas 100 cm entre parcelas], que foram
161 produzidas em casa-de-vegetação. O transplante das mudas, aos 20 dias pós-emergência,
162 ocorreu na primeira quinzena de outubro, no campo com solo coberto por uma fina lâmina
163 d’água. A partir do terceiro dia pós-transplante, a lâmina d’água de irrigação foi aumentada
164 gradualmente, até estabilizar em 15 cm, para condicionar a infestação natural das parcelas pelo
165 gorgulho-aquático (Büttow et al. 2017). As parcelas não receberam fertilização, tampouco
166 aplicações de inseticidas, fungicidas e herbicidas (Kraus & Stout 2019). O controle de plantas
167 daninhas foi realizado por meio de arranquio manual.

168 **2.2 Antixenose**

169 **2.2.1 Não-preferência para alimentação e oviposição**

170 Para determinar o efeito das cultivares de arroz na preferência alimentar do gorgulho-
171 aquático, 30 plantas aleatoriamente escolhidas por parcela foram vistoriadas para contabilizar
172 o número de lesões de alimentação (raspagens) nas folhas. As lesões foram contabilizadas aos
173 5, 8 e 11 dias pós-estabilização da lâmina d’água de irrigação (DAI= Dias Após a Inundação)
174 nas parcelas. Ainda nesses períodos, seis amostras de plantas foram removidas, em semelhante

175 posição, de cada parcela, para avaliar a dimensão das lesões nas lâminas foliares e a densidade
176 de ovos nas bainhas foliares. A separação e a higienização das lâminas e bainhas foliares foram
177 cuidadosamente realizadas em laboratório. Cada lâmina foliar foi digitalizada em scanner HP
178 Photosmart C480 (HP Development Company, Barueri, Brasil), a 600 dpi, sendo o consumo da
179 área foliar (mm^2) calculado pelo QUANT *software* (Vale et al. 2003). As bainhas foliares, desde
180 o colar até a base da região de inserção das raízes, foram colocadas em frascos com tampa (600
181 mL) contendo álcool 75% para desclorofilação (Lanka et al. 2013). O número de ovos foi
182 contabilizado pela inspeção das bainhas em estereomicroscópio de dissecação Olympus SZ51
183 (Olympus Corporation, Tóquio, Japão).

184 **2.3. Antibiose**

185 **2.3.1 Densidade e *fitness* de imaturos**

186 A densidade de larvas de primeiro instar foi determinada em seis amostras de plantas,
187 que foram coletadas na mesma posição, em todas parcelas, aos 5 DAI. As plantas removidas
188 localizavam-se imediatamente ao lado das plantas onde se determinou o número de ovos, aos 5
189 DAI. Cada planta de arroz foi lavada e transferida para frascos cilíndricos (~500 mL) com água,
190 que foram armazenados em sala climatizada [temperatura: 28 ± 2 °C; fotoperíodo 14:10 (L:E)].
191 A contagem das larvas que eclodiram e se transferiram para as raízes foi realizada diariamente,
192 a partir do dia da colocação das plantas nos frascos, agitando-se as plantas para desprender as
193 larvas das raízes. Após cada avaliação, a água dos tubos foi substituída, sendo as contagens
194 registradas até que nenhuma larva fosse encontrada por três dias consecutivos. Estabeleceu-se
195 a razão de eclosão de larvas de primeiro instar com base no número de ovos contabilizados aos
196 5 DAI ($\text{Razão de eclosão} = \text{larvas 1}^{\circ} \text{instar} / \text{Ovos 5DAI}$). Essa metodologia, proposta por Lanka et
197 al. (2013) e utilizada recentemente por Saad et al. (2018), ao comparar o número de ovos com
198 o número de larvas de primeiro instar do gorgulho-aquático, permite avaliar a mortalidade de

199 larvas de primeiro instar decorrentes de obstrução à evasão ou consumo dos tecidos das bainhas
200 foliares.

201 Aos 15, 25 e 35 DAI, quatro amostras-padrão cilíndricas de solo e raízes foram
202 coletadas, em iguais posições, em cada parcela, de acordo com método descrito por Neves et
203 al. (2011), para contagem de larvas e pupas. Quatro amostras-padrão adicionais, em cada
204 parcela, foram coletadas somente para contagem de pupas, aos 40 e 45 DAI. De imediato à
205 coleta, as amostras foram desintegradas isoladamente, imersas em água, numa peneira de tela
206 de náilon, para separação e visualização das larvas e pupas de *O. oryzae* do solo e raízes e
207 contagem. As larvas de cada amostra foram coletadas e mantidas em tubos tipo Falcon (50 mL),
208 contendo água, até dois dias pós-coleta no laboratório (temperatura: 8 ± 2 °C), para medir o
209 comprimento (mm) e contabilizar por classe de tamanho (S) [S₁: pequenas (≤ 3 mm); S₂: médias
210 ($> 3 - 6$ mm); grandes (S₃: > 6 mm)] (Botton 1994). Logo após, o excesso de água em torno
211 das larvas foi retirado em papel filtro para registrar o peso individual (mg).

212 **2.3.2 Densidade e *fitness* de adultos**

213 A emergência dos adultos de *O. oryzae* (geração F₁) a partir das raízes das diferentes
214 cultivares de arroz foi determinada conforme descrito por Martins et al. (2001). Aos 30 DAI,
215 coletaram-se quatro amostras-padrão de solo e raízes, na mesma posição, de cada parcela. As
216 amostras de cada parcela foram agrupadas e submersas 10 cm em água, no interior de vaso
217 plástico (30 cm de diâmetro x 50 cm de altura), encobertos com tecido *voile*, para captura e
218 contagem de adultos do gorgulho-aquático, em casa de vegetação. A primeira contagem ocorreu
219 quatro dias após a coleta, prosseguindo em intervalos de quatro dias, até que nenhum adulto
220 fosse encontrado por três dias consecutivos nos vasos/repetições. As contagens ocorreram entre
221 13:00 e 15:00 h, quando a temperatura tendia a ser mais alta, induzindo o deslocamento dos
222 adultos ao topo dos vasos. A água dos vasos era periodicamente removida por meio de sifão
223 (mangueira de 80 cm e com tela em uma extremidade) e substituída. Calcularam-se a

224 emergência absoluta diária, a emergência acumulada normalizada (% de insetos por dia) e a
225 razão de emergência dos gorgulhos-aquáticos. A razão de emergência se baseou na contagem
226 de larvas por amostra aos 35 DAI ($Razão\ de\ emergência = \frac{Adultos}{Larvas_{35DAI}}$).

227 Os adultos retirados de cada vaso nas respectivas datas foram mantidos em laboratório
228 (temperatura: 8 ± 2 °C) por até dois dias, em microtubos de plástico (2 mL) para pesagem (mg).
229 Antes da pesagem, determinou-se a razão sexual dos adultos ($Razão$
230 $sexual = \frac{Fêmeas}{Fêmeas + Machos}$), conforme atributos taxonômicos descritos por Lima
231 (2011), em estereomicroscópio de dissecação Olympus SZ51 (Olympus Corporation, Tóquio,
232 Japão), para pesagem individual de machos e fêmeas (mg).

233 **2.4 Análise dos dados**

234 Todas as análises estatísticas dos dados obtidos nas duas safras foram efetuadas
235 separadamente pelo R *software* (R Development Core Team 2015). Os dados de número e
236 tamanho de lesões nas folhas, número de ovos e razão de eclosão, número e *fitness* de larvas e
237 pupas, razão sexual, razão de emergência e peso de adultos descendentes (total, machos e
238 fêmeas), em todas as datas de amostragem, foram submetidos aos testes de normalidade de
239 Shapiro-Wilk e de homocedasticidade de variâncias de Bartlett, sendo aplicadas as
240 transformações $\sqrt[3]{x}$, $\sqrt[4]{x}$ e $\sqrt{x+0,5}$ e Box-Cox aos dados das variáveis sem distribuição normal]
241 (Material Suplementar 1). Com isso, procedeu-se análise de variância (ANOVA), com Scott-
242 Knott *post-hoc* ($P < 0,05$), por meio dos pacotes “ExpDes” e “easyanova”. Os dados de
243 emergência dos adultos descendentes (total, machos e fêmeas) das cultivares ao longo do
244 tempo, foram submetidos à modelos não-lineares para determinar a emergência diária e
245 acumulada, conforme Jumbo et al. (2018) e Lopes et al. (2018) para insetos da ordem
246 Coleoptera. Para isso, utilizou-se o pacote “stats”. A significância dos parâmetros de cada
247 modelo foi medida pelo teste t ($P < 0,05$). Os parâmetros dos modelos de regressão entre as
248 cultivares foram considerados significativamente diferentes na ausência de sobreposição dos

249 limites do intervalo de confiança (IC 95%), foram obtidos pelo pacote “nlstools”. As premissas
250 de normalidade e homogeneidade de variância foram testadas para todos os parâmetros e não
251 houve necessidade de transformações nos dados.

252 **3 Resultados**

253 **3.1 Não-preferência para alimentação e oviposição**

254 Os resultados indicaram ausência de efeitos de antixenose sobre a preferência de
255 alimentação e oviposição dos adultos do gorgulho-aquático do arroz *O. oryzae*, nas folhas ou
256 bainhas das seis cultivares avaliadas. Nos experimentos de livre escolha para preferência
257 alimentar, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), não foram observadas diferenças significativas
258 no número e no tamanho das lesões de alimentação (“raspagens”) do gorgulho-aquático entre
259 as cultivares (Tabela 2; Material Suplementar 1.1). Quanto à preferência de oviposição, as
260 densidades médias de ovos colocadas pelas fêmeas nas bainhas das folhas de arroz não
261 apresentaram diferença significativamente nas seis cultivares (Tabela 3; Material Suplementar
262 1). Também, não foi constada diferença significativa para o número de ovos contabilizados nos
263 tempos avaliados isoladamente, aos 5, 8 e 11 DAI (Material Suplementar 2.1 e 2.2).

264 **3.2 Densidade e *fitness* de imaturos**

265 Nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), todas as larvas de 1º ínstar de *O. oryzae* eclodiram
266 dos ovos colocados aos 5 DAI. Não foram observadas diferenças significativas no número de
267 larvas de 1º ínstar e na razão de eclosão entre as seis cultivares (Tabela 3; Material Suplementar
268 1.2), demonstrando que as larvas de 1º ínstar atingiram normalmente as raízes das plantas.

269 Semelhante ao número de larvas de 1º ínstar, as densidades de larvas contabilizadas aos
270 15 DAI não diferiram significativamente entre as cultivares, porém, diferenças significativas
271 foram constatadas aos 25 e 35 DAI. Observou-se que o número de larvas foi elevado na cultivar
272 BRS Pampa CL, intermediário em “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho” e baixo em “BRS
273 Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn”, aos 25 e 35 DAI (Tabela 4; Material Suplementar 1.3).

274 De modo geral, houve diferenças significativas quanto ao crescimento larval nas
275 distintas cultivares de arroz, resultando em interação significativa entre “cultivar” e “classe de
276 tamanho” (S_1 , S_2 e S_3), aos 15, 25 e 35 DAI, nas duas safras (Tabela 4; Material Suplementar
277 1.5). Aos 15 DAI, o número e a frequência de larvas de tamanho pequeno (S_1) foram maiores
278 em “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn”, enquanto o número e a frequência de larvas de
279 tamanho médio (S_2) e grande (S_3) foram maiores em “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e
280 “BRS Ligeirinho”; além disso, larvas grandes (S_3) foram encontradas apenas nessas três
281 cultivares (Tabela 4; Material Suplementar 1.5). Aos 25 DAI, “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza”
282 e “Dawn” possuíam maior número de larvas de tamanho médio, enquanto “BRS Pampa CL”,
283 “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho” possuíam maior número de larvas de tamanho grande.
284 Um reduzido número e frequência de larvas pequenas foram encontrados somente em “Dawn”,
285 na primeira safra (1), e em “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn”, na segunda safra (2)
286 (Tabela 4; Material Suplementar 1.5). Aos 35 DAI, predominou a ocorrência de larvas de
287 tamanho grande entre as cultivares, principalmente em “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e
288 “BRS Ligeirinho”, que diferiram significativamente de “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza”, e
289 “Dawn” (Tabela 4; Material Suplementar 1.5). Larvas de tamanho médio praticamente não
290 foram encontradas em “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho”, no entanto,
291 cerca de 37% do total das larvas em “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn” ainda
292 apresentavam tamanho médio (Tabela 4; Material Suplementar 1.5).

293 O tamanho médio do total das larvas ($S_1+S_2+S_3$) contabilizadas aos 15, 25 e 35 DAI
294 variou entre as cultivares de arroz e foi significativamente maior nas cultivares BRS Pampa CL,
295 BRS Querência e BRS Ligeirinho do que nas cultivares BRS Atalanta, BRS Firmeza e Dawn
296 (Tabela 4; Material Suplementar 1.4). Conseqüentemente, o resultado quanto ao peso das larvas
297 em “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho” foi significativamente maior do

298 que em “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn”, em todos os períodos amostrais (15, 25 e
299 35 DAI) (Tabela 4; Material Suplementar 1.6).

300 O significativo atraso no crescimento larval observado entre as cultivares BRS Atalanta,
301 BRS Firmeza e Dawn teve consequências negativas no tempo para surgimento de pupas (Tabela
302 5). O tempo médio para o surgimento das pupas foi significativamente maior nessas cultivares,
303 onde as primeiras pupas foram detectadas nas raízes entre 27,50 e 29,17 DAI, equivalente a um
304 atraso de cerca de 4 dias quando comparado com as cultivares BRS Pampa CL, BRS Querência
305 e BRS Ligeirinho, onde as primeiras pupas ocorreram já entre 25 e 25,83 (Tabela 5; Material
306 Suplementar 1.7).

307 **3.3 Densidade e *fitness* de adultos**

308 O impacto dos efeitos de antibiose observado para as cultivares BRS Atalanta, BRS
309 Firmeza e Dawn sobre os estágios imaturos de *O. oryzae* também se estendeu à população
310 adulta descendente (F₁). Com isso, foram constatadas diferenças significativas na emergência
311 e no *fitness* dos adultos descendentes entre as cultivares, nas duas safras (Figs. 1 e 2; Material
312 Suplementar 1.8 e 1.9; Tabela 6).

313 O modelo Gaussiano de três parâmetros mostrou-se adaptado para as estimativas da
314 emergência diária dos adultos descendentes ($y = a \exp(-0.5((x - b)/c)^2)$; Fig. 1 a, b, c;
315 Material Suplementar 1.8); a = pico da emergência diária dos adultos, b = tempo, em dias,
316 necessário para ocorrer o pico da emergência diária, e c = desvio padrão do parâmetro b . Como
317 esperado, os picos da emergência diária dos adultos - total (Fig. 1 a, d), machos (Fig. 1 b, e) e
318 fêmeas (Fig. 1 c, f) - em “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho” foram
319 significativamente maiores do que em “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn” [conforme
320 ausência de sobreposição dos valores do intervalo de confiança à 95% (IC95%) no parâmetro
321 a do modelo de regressão] (Material Suplementar 1.8). Observou-se diferença significativa no
322 parâmetro b entre as cultivares, isto é, houve desuniformidade entre as cultivares em relação ao

323 tempo necessário para que o pico máximo de emergência diária de *O. oryzae* ocorresse
324 (Material Suplementar 1.8). De maneira geral, o tempo para atingir a emergência diária máxima
325 do gorgulho-aquático - total, machos e fêmeas - foi significativamente mais longo em “BRS
326 Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn” em comparação com as cultivares BRS Pampa CL, BRS
327 Querência e BRS Ligeirinho; no entanto, não foram constatadas diferenças nos padrões das
328 curvas de emergência diária (também demonstrado pela ausência de sobreposição dos valores
329 do IC95% no parâmetro b do modelo de regressão) entre machos (Fig. 1b, e) e fêmeas (Fig. 1c,
330 f) nas cultivares BRS Atalanta, BRS Firmeza e Dawn, indicando que, apesar do atraso na
331 emergência dos adultos provocado, machos e fêmeas emergiram sincronizadamente nessas
332 cultivares (Material Suplementar 1.8).

333 O modelo Sigmóide de três parâmetros ajustou-se adequadamente à emergência
334 acumulada dos adultos de *O. oryzae* ($y=a/(1+\exp(-(x-b)/c))$); Fig. 2; Material Suplementar
335 1.9); a = assíntota do modelo, ou emergência acumulada máxima, b = ponto de inflexão, ou dias
336 necessários para atingir 50% da emergência acumulada, e c = inclinação da curva/coeficiente
337 angular (*slope*). O padrão de emergência acumulada dos gorgulhos-aquáticos descendentes é
338 um resultado direto da emergência diária, assim, um significativo atraso na emergência
339 acumulada - total (Fig. 2 a, d), machos (Fig. 2 b, e) e fêmeas (Fig. 2 c, f) - também foi observado
340 nas cultivares BRS Atalanta, BRS Firmeza e Dawn (Material Suplementar 1.9). Os valores
341 estimados referentes ao ponto de inflexão dessas cultivares foram significativamente maiores
342 do que àqueles estimados para as cultivares BRS Pampa CL, BRS Querência e BRS Ligeirinho,
343 nas suas safras, conforme demonstrado pela ausência de sobreposição dos valores do IC95%
344 no parâmetro b do modelo de regressão para o total, machos e fêmeas; por exemplo, “Dawn”,
345 que não diferiu de “BRS Atalanta” e “BRS Firmeza”, apresentou 50% da emergência dos
346 adultos (total, machos e fêmeas) entre 24 e 30 dias, enquanto que na cultivar BRS Pampa CL,
347 que não diferiu significativamente de “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho”, 50% dos adultos

348 emergiram entre 16 e 21 dias. Todos os parâmetros dos modelos das curvas apresentadas nas
349 Figuras 1 e 2 foram disponibilizados em material suplementar (Material Suplementar 1.9).

350 A razão sexual de *O. oryzae* não apresentou diferença significativa entre as cultivares
351 (Tabela 6; Material Suplementar 1.10), porém, “Dawn” reduziu a razão de emergência de
352 adultos na primeira safra (1), ou seja, um menor número de adultos emergiu de “Dawn” a partir
353 da densidade larval diagnosticada aos 35 DAI, em 2016/17 (1) (Tabela 6; Material Suplementar
354 1.10). O peso corporal dos adultos foi afetado pelas cultivares, sendo que “BRS Atalanta”,
355 “BRS Firmeza” e “Dawn” provocaram forte diminuição do peso das fêmeas emergidas; no
356 entanto, o peso dos machos não foi significativamente afetado pelas cultivares (Tabela 6;
357 Material Suplementar 1.10).

358 **4 Discussão**

359 O uso de cultivares resistentes se destaca como uma tática fundamentalmente importante
360 em programas de MIP (Stenberg & Muola 2017), que pode ser incorporada de maneira mais
361 intensa à cultura do arroz visando o manejo de *O. oryzae*, principalmente se associada ao
362 método químico (Lanka et al. 2015, Martins et al. 2018). Uma cultivar resistente pode interferir
363 negativamente na alimentação, crescimento e *fitness* do inseto. Em consequência disso, o tempo
364 para que a população do inseto atinja o nível de dano econômico pode ser maior, contribuindo
365 para redução da quantidade de inseticidas aplicada (Vendramim & Rosales 2019), que é o
366 método mais utilizado no controle de gorgulhos-aquáticos no mundo (Way 1990, Chen et al.
367 2005, Martins et al. 2017). Os resultados desse estudo, que foram obtidos a partir de infestação
368 natural no campo, com elevada similaridade nos dois anos, permitiu avaliar cultivares de arroz
369 para caracterizar precisamente os efeitos de antixenose e antibiose em *O. oryzae*. Além de
370 esclarecer as dúvidas sobre o mecanismo de resistência envolvido (Lima et al. 2019), nossos
371 resultados contribuíram para o direcionamento de estudos sobre as causas da resistência, ainda
372 desconhecidas (Vyavhare et al. 2016, Lima et al. 2019). Entende-se que o conhecimento dos

373 fatores condicionantes de antixenose ou antibiose poderá auxiliar programas de melhoria
374 genético de arroz no Brasil, que tradicionalmente têm destinado maior atenção ao
375 desenvolvimento de cultivares resistentes a doenças, a exemplo da brusone.

376 Antixenose indica a presença de defesas morfológicas ou químicas em plantas de uma
377 cultivar que, por afetar os receptores olfativos, visuais, táteis e/ou gustativos de artrópodes,
378 influenciam seu comportamento durante a seleção hospedeira (Smith 2005). No entanto, os
379 resultados obtidos em dois anos consecutivos, a partir dos testes de preferência para alimentação
380 e oviposição, não confirmaram a existência de antixenose nas cultivares de arroz avaliadas
381 sobre o gorgulho-aquático. Mesmo nas cultivares “Dawn” e “BRS Ligeirinho”, que são padrões
382 conhecidos de resistência e suscetibilidade, respectivamente, às larvas de *O. oryzae* (Silva et al.
383 2003, Cunha et al. 2006), não houve nenhuma interferência inibidora na seleção hospedeira. A
384 robustez dos nossos resultados permitiu relatar, pela primeira vez, que as plantas de arroz são
385 igualmente utilizadas pelo gorgulho-aquático para alimentação e oviposição, visto que até o
386 momento, em estudos de resistência de arroz a *O. oryzae*, apenas Silva et al. (2003) avaliaram
387 o comportamento de alimentação e oviposição do inseto, porém, não foram conclusivos quanto
388 à antixenose. Moreira (2002) descreveu que a densidade de ovos do gorgulho-aquático
389 relaciona-se diretamente com o número de perfilhos por planta, algo também não demonstrado
390 nesse estudo, visto que a variação existente é 2,3 vezes maior entre as cultivares com menor e
391 maior perfilhamento, “Dawn” e “BRS Pampa CL”, respectivamente (dados não mostrados).
392 Para adultos do gorgulho-aquático *L. oryzophilus*, contudo, efeitos significativos de antixenose
393 inibidoras da atividade de alimentação (Smith & Robinson 1982) e oviposição (Stout & Riggio
394 2002, Saad et al. 2018) já foram detectados em diferentes genótipos de arroz.

395 Embora se afirme que a antixenose e antibiose são altamente correlacionadas (Stout
396 2013), em virtude de os insetos adultos colonizarem plantas que sejam também adequadas ao
397 desenvolvimento de seus descendentes, nem sempre essa relação é simples e verdadeira para

398 diversos insetos de importância agrícola e florestal (Mazaheri et al. 2011, Stenberg & Muola
399 2017). No presente estudo, em condições naturais de infestação, essa situação pôde ser
400 facilmente observada, onde as preferências demonstradas pelo gorgulho-aquático na seleção
401 hospedeira não refletiram necessariamente a adequação das cultivares aos imaturos nas raízes.

402 Evidenciaram-se diferenças significativas entre as cultivares quanto ao número de larvas
403 que, independente da distribuição em classes de tamanho, foi menor em “BRS Atalanta”, “BRS
404 Firmeza” e “Dawn”, e maior em “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho”,
405 revelando resistência e suscetibilidade, respectivamente, a esses grupos de cultivares. Para
406 explicar o menor número de larvas de *L. oryzaophilus*, inferiu-se sobre a presença de fatores de
407 antixenose deterrentes à oviposição, que podem provocar menor incidência de larvas neonatas
408 nas bainhas foliares e, conseqüentemente, nas raízes (Stout & Riggio 2002); ademais, inferiu-
409 se que fatores antibióticos podem ser letais a ovos (N’Guessan et al. 1994) e às larvas neonatas
410 durante a alimentação e evasão dos tecidos das bainhas foliares, reduzindo a densidade que
411 incide as raízes (Smith & Robinson 1982). No entanto, nossos resultados refutaram essas
412 hipóteses para *O. oryzae*, visto que as larvas de primeiro instar alcançaram normalmente às
413 raízes de todas cultivares testadas, como demonstrado pela equidade entre as cultivares na razão
414 de eclosão e na densidade larval aos 15 DAI.

415 O maior percentual de larvas pequenas e médias e de menor peso em “BRS Atalanta”,
416 “BRS Firmeza” e “Dawn” e de larvas grandes e de maior peso em “BRS Pampa CL”, “BRS
417 Querência” e “BRS Ligeirinho”, continuamente observado aos 15, 25 e 35 DAI, parece ter
418 decorrido da presença nas raízes de fator(es) antibiótico(s) de inibição do crescimento, que
419 impactaram, também, na sobrevivência das larvas aos 25 e 35 DAI, quando diferenças
420 significativas na densidade larval entre as cultivares foram encontradas. O comportamento
421 semelhante de resistência e efeitos de antibiose sobre *O. oryzae* em “BRS Atalanta”, “BRS
422 Firmeza” e “Dawn” pode ser explicado pela proximidade da composição genética dessas

423 cultivares (Magalhães Júnior et al. 2004). “Dawn”, que resulta do cruzamento múltiplo de Texas
424 Patna 49/C.I. 9515//Century Patna 231, está presente em “BRS Atalanta”, já que é originada do
425 cruzamento múltiplo entre “Dawn” e “Hayayuki”; “BRS Firmeza” origina-se a partir do
426 cruzamento múltiplo entre a cultivares BR IRGA 411 e Bluebelle (C.I. 9122//Century Patna
427 231/C.I. 9214). Visto que a cultivar BR IRGA 411 é um produto do cruzamento simples entre
428 as cultivares 407 e Dawn, tanto “BRS Atalanta” como “BRS Firmeza” incorporam genes da
429 “Dawn”, que é referida como menos infestada por *O. oryzae* desde a década de 1980 (Him
430 1980) e atualmente utilizada como fonte de resistência ao inseto no Brasil (Martins et al. 2019).

431 Diante do impacto diferencial das cultivares na densidade e *fitness* das larvas de *O.*
432 *oryzae*, é importante enfatizar que variáveis radiculares medidas em plantas submetidas a
433 infestação larval indicaram que “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn” não apresentaram
434 significativa atividade inibidora de alimentação de raízes (antixenose alimentar ou
435 fagodeterrência), que também pode provocar alterações na biologia do inseto, visto que as
436 larvas são incapazes de migrarem para hospedeiros mais adequados (Vendramim et al. 2019).
437 Verificou-se, nessas cultivares, o desenvolvimento de novas raízes, resultando em raízes de
438 menor diâmetro, mas com maior comprimento total e número de pontas, comparado às plantas
439 sem infestação, que são os sintomas típicos da lesão alimentar causada pelas larvas de *O. oryzae*
440 em cultivares suscetíveis (Pazini, J. de B., dados não publicados).

441 Antibiose pode provocar distintos efeitos adversos na história de vida de artrópodes, que
442 podem ser letais. Tais efeitos, são agudos, quando ocorrem nos primeiros estádios da fase
443 imatura, ou crônicos, quando a letalidade se verifica nos estádios mais avançados ou mesmo
444 quando o inseto não consegue emergir das fases de pré-pupa ou pupa; ademais, podem ser
445 subletais, aumentando o período de crescimento/desenvolvimento ou reduzindo o peso (Smith
446 2005). Nesse sentido, alguns trabalhos relataram semelhantes efeitos de cultivares de arroz
447 sobre imaturos de *L. oryzaophilus*. Saad et al. (2018), em experimento de sobrevivência de

448 larvas, apesar de não encontrarem diferença significativa no percentual de sobrevivência larval
449 em quatro cultivares, maior densidade de larvas de tamanho médio e menor densidade de pupas
450 foram contabilizadas na cultivar Jefferson. Smith & Robinson (1982) detectaram que a cultivar
451 Nira abrigou 15% mais larvas pequenas e 12% e 3% menos larvas médias e grandes de *L.*
452 *oryzophilus*, respectivamente, do que a cultivar Early Wataribune.

453 Nossos resultados indicaram que as larvas de *O. oryzae* que sobreviveram aos efeitos
454 antibióticos diretos sofreram, além de debilitações relacionadas à redução do tamanho e peso
455 corporal, o retardamento da metamorfose e maior duração do período para desenvolvimento,
456 impactando severamente sobre pupas e adultos que emergiram. O prolongamento do período
457 para surgimento das pupas, variável empregada pela primeira vez em estudos de resistência de
458 arroz para gorgulhos-aquáticos, que ocorreu até quatro dias mais tarde em “BRS Atalanta”,
459 “BRS Firmeza” e “Dawn” do que em “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho”,
460 parece ter influenciado na emergência dos adultos descendentes.

461 Um menor número de adultos emergiu em “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn”
462 do que em “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho”, conforme se observa a
463 partir das taxas inferiores de emergência diária de *O. oryzae* em “BRS Atalanta”, “BRS
464 Firmeza” e “Dawn”. Esse resultado já era esperado, visto que o número de adultos emergidos
465 em cada etapa de avaliação está estreitamente associado à sobrevivência dos imaturos (Lopes
466 et al. 2018) nas cultivares de arroz. Com base nisso, não foi possível observar consistente
467 redução na densidade de adultos emergidos relacionado à densidade de larvas aos 35 DAI entre
468 as cultivares, tampouco alterações significativas na proporção de machos e fêmeas; somente
469 “Dawn”, no primeiro ano, apresentou ligeira diferença na razão de emergência de adultos.
470 Entretanto, houve significativo atraso na emergência acumulada de adultos (machos e fêmeas)
471 entre as cultivares. “BRS Firmeza” e “Dawn”, seguidas de “BRS Atalanta”, apresentaram o
472 ponto de inflexão da curva de emergência significativamente mais elevado do que em “BRS

473 Pampa CL”, “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho”, exigindo um período mais prolongado para
474 que a emergência de 50% e do total dos adultos descendentes fosse alcançada.

475 Recentemente, Lima et al. (2019) descreveram a ocorrência de diferenças significativas
476 no peso de adultos descendentes de *O. oryzae* que emergiram das cultivares IRGA 417, BRS
477 Atalanta e BRS Firmeza, porém, aferiram de modo unificado (machos+fêmeas). Nessa
478 perspectiva, nossos resultados evidenciaram que a distinção no peso dos adultos entre as
479 cultivares foi consequência dos efeitos antibióticos de “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e
480 “Dawn” que se estenderam somente às fêmeas de *O. oryzae*, uma vez que o peso corporal dos
481 machos foi semelhante em todas as cultivares. Para muitos artrópodes, sabe-se que medidas
482 reduzidas de tamanho e peso corporal de fêmeas estão fortemente correlacionadas com o
483 decréscimo da fecundidade (Honěk 1993, Yanagi & Tuda 2012, Nime et al. 2019). Assim,
484 “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn”, por produzir efeitos transgeracionais no gorgulho-
485 aquático, afetando variáveis reprodutivas da prole, como a fecundidade, são capazes de reduzir
486 a densidade da infestação e o potencial de dano também aos arrozais em safras futuras (Awmack
487 & Leather 2002).

488 Estudos pioneiros sobre resistência de arroz à gorgulhos-aquáticos (Smith & Robinson
489 1982, N’Guessan et al. 1994, Stout et al. 2001, Stout & Riggio 2002, Silva et al. 2003), assim
490 como os mais recentes (Vyavhare et al. 2016, Saad et al. 2018, Lima et al. 2019) salientaram
491 sobre a necessidade de investigar as causas ou fatores bioquímicos e morfológicos
492 determinantes à resistência de arroz (antixenose e/ou antibiose) ao inseto, a fim de se obter o
493 devido sucesso na incorporação da resistência em cultivares superiores pelos programas de
494 melhoramento genético de arroz. A esse respeito, é possível inferir que o desconhecimento das
495 causas da resistência seja um dos componentes explicativos para a perda gradual do nível de
496 resistência ao gorgulho-aquático do arroz à medida que se selecionam plantas com melhores
497 características agronômicas (Moreira 2006). A exemplo disso, com base no presente estudo,

498 cita-se a “BRS Pampa CL”, recentemente lançada no Brasil, com elevado potencial produtivo
499 ($>10 \text{ t ha}^{-1}$) e de qualidade de grãos, porém, altamente suscetível a *O. oryzae*.

500 Os resultados do presente estudo sugerem que a antibiose, mas não antixenose, em “BRS
501 Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn” parece ser resultado da presença de fator(es) de defesa
502 direta nas raízes das plantas, que afetou(aram) fortemente o crescimento e a sobrevivência
503 larval, impactando também no período para desenvolvimento e o *fitness* dos adultos emergidos,
504 especialmente no peso das fêmeas. Mecanismos de defesa direta, que estão presentes
505 permanentemente na planta (constitutivos) ou são desencadeados em resposta à herbivoria
506 (induzidos) (Silva & Panizzi 2019), são amplamente conhecidos por interferir na alimentação
507 e nas taxas de crescimento dos insetos, seja pela baixa qualidade nutricional, seja por compostos
508 inibidores biologicamente ativos das plantas (Johnson et al. 1989, Mazaheri et al. 2011, War
509 et al. 2012, Stenberg & Muola 2017). Além disso, as informações aqui apresentadas avançam
510 o conhecimento existente (Silva et al. 2003, Lima et al. 2019) e apresentam-se como uma etapa
511 importante para o direcionamento de esforços em estudos futuros visando o entendimento das
512 causas da resistência de arroz a *O. oryzae* que, ao aplicá-lo em programas de melhoramento
513 genético de arroz para o desenvolvimento de cultivares elite resistentes ao inseto (Sandoya et
514 al. 2010), oportunizará redução do uso de inseticidas, maior rentabilidade e segurança
515 ambiental.

516 **5 Agradecimentos**

517 Agradecemos ao Elton Rogério Nolasco Fonseca, Claudinei Bonemann Rosso, Flávio
518 Amaral Bueno, Valdecir dos Santos e Ivan Marques Pereira (funcionários e estagiários da
519 Embrapa Clima Temperado - Estação Experimental Terras Baixas) pela plena assistência nos
520 experimentos de campo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
521 (CNPq: 140328/2016-5; 310407/2017-6), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de

522 Nível Superior (CAPES) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Clima
523 Temperado) pelo apoio financeiro.

524 **Conformidade com padrões éticos**

525 **Conflito de interesses**

526 Os autores declaram não haver conflito de interesses.

527 Esse artigo relata apenas resultados de pesquisa. A citação de nomes comerciais ou
528 produtos comerciais (por exemplo, cultivares de arroz) é apenas com o objetivo de fornecer
529 informações específicas e não implica recomendação ou endosso pela(s) Instituição(ões)
530 envolvida(s) nesse estudo.

531 **Aprovação ética**

532 Esse artigo não apresenta estudos com participantes humanos ou vertebrados realizados
533 por qualquer um dos autores.

534 **6 Referências**

535 Awmack CS, Leather SR (2002) Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu*
536 *Rev Entomol* 47:817-844

537 Botton M (1994) Resistência varietal e nível de dano de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima,
538 1936) (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz irrigado. Dissertation, Universidade
539 de São Paulo

540 Büttow GT, Pazini J de B, Seidel EJ, Silva FF, Grützmacher AD, Martins JFS (2017)
541 Relationship between the occurrence of the rice water weevil and water depth in flooded rice
542 crop. *Pesq agropec bras* 52:557-560

543 Chen H, Chen Z, Zhou Y (2005) Rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae) in mainland
544 China: Invasion, spread and control. *Crop Prot* 24: 695-702

- 545 CONAB (2019) Acompanhamento de safra brasileira: grãos, v.6 - safra 2017/18, décimo
546 levantamento, julho 2019. Brasília: Conab. <https://conab.gov.br/info-agro/safra/graos>.
547 Accessed 05 Set 2019
- 548 Cunha US, Carbonari JJ, Vendramim JD, Martins JFS (2006) Associação entre teor de
549 nitrogênio em cultivares de arroz e ataque de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera:
550 Curculionidae). Cienc Rural 6:1678-1683
- 551 FAOSTAT (2016) Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical
552 Database. [https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries by commodity](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries%20by%20commodity). Accessed 05 Set
553 2019
- 554 Grützmacher DD, Grützmacher AD, Agostinetto D, Loeck AE, Roman R, Peixoto SC, Zanella
555 R (2008) Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. Rev bras
556 eng agríc ambient 12:632-637
- 557 Guedes JVC, Perini CR, Alende VP, Curioletti LE, Stacke RF, Valmorbida I (2015) Bicheira-
558 da-raiz na cultura do arroz: ocorrência e manejo.
559 [https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-ocorrencia-e-](https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-ocorrencia-e-manejo)
560 [manejo](https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-ocorrencia-e-manejo). Accessed 21 Set 2019
- 561 Him HPV (1980) Teste de resistência à bicheira da raiz (*Oryzophagus oryzae*, Costa Lima,
562 1936) em genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.), para fins de melhoramento. Dissertation,
563 Universidade Federal de Pelotas
- 564 Honěk A (1993) Intraspecific variation in body size and fecundity in insects: a general
565 relationship. Oikos 66:483-492
- 566 Johnson R, Narvaez J, An G, Ryan C (1989) Expression of proteinase inhibitors I and II in
567 transgenic tobacco plants: effects on natural defense against *Manduca sexta* larvae. Proc Natl
568 Acad Sci USA 86:9871-9875

- 569 Jumbo LOV, Haddi K, Faroni LRD, Heleno FF, Pinto FG, Oliveira EE (2018) Toxicity to,
570 oviposition and population growth impairments of *Callosobruchus maculatus* exposed to clove
571 and cinnamon essential oils. PLoS ONE 13:e0207618.
572 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207618>
- 573 Kraus EC, Stout MJ (2019) Direct and indirect effects of herbicides on insect herbivores in rice,
574 *Oryza sativa*. Sci Rep. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43361-w>
- 575 Lanka SK, Blouin DC, Stout MJ (2015) Integrating flood dept and plant resistance with
576 chlorantraniliprole seed treatments for management of rice water weevil, *Lissorhoptrus*
577 *oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae). Insect Sci 22:679-687
- 578 Lanka SK, Ottea JA, Beuzelin JM, Stout MJ (2013) Effects of chlorantraniliprole and
579 thiamethoxam rice seed treatments on egg numbers and first instar survival of *Lissorhoptrus*
580 *oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae). J Econ Entomol 106:181-188
- 581 Lima CAB (2011) Dimorfismo sexual, desenvolvimento de um novo método de monitoramento
582 e aplicabilidade de variáveis biológicas de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima, 1936)
583 (Coleoptera: Curculionidae) na avaliação da resistência de arroz. Thesis, Universidade Federal
584 de Pelotas
- 585 Lima CAB, Grützmacher AD, Pazini J de B, Silva FF, Rosa APSA, Martins JFS (2019)
586 Development of *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) in rice cultivars. Pesqui. Agropecu. Trop
587 49: e53397
- 588 Lopes LM, Sousa AH, Santos VB, Silva GN, Abreu AO (2018) Development rates of
589 *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) in landrace cowpea varieties occurring
590 in southwestern Amazonia. J Stored Prod Res 76:111-115
- 591 Lupi D, Giudici ML, Cenghialta C, Rocco A, Jucker C, Colombo M (2013) Japonica cultivars'
592 susceptibility to the rice water weevil *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionoidea:
593 Brachyceridae). J Appl Entomol 137:355-364

- 594 Magalhães Júnior AM, Terres AL, Fagundes PR, Franco DF, Andres A (2004) Aspectos
595 genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado. In: Gomes AS,
596 Magalhães Júnior AM (ed) Arroz irrigado no Sul do Brasil. Embrapa, Brasília, pp 143-235
- 597 Martins JFS, Cunha US (2015) Gorgulho-aquático-do-arroz, *Oryzophagus oryzae* (Lima). In:
598 Vilela EF, Zucchi RA (ed) Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros. FEALQ, Piracicaba,
599 pp 624-642
- 600 Martins JFS, Fagundes PR, Magalhães Júnior AM, Rangel PHN, Silva FF, Pazini J de B, Bueno
601 FA, Pereira IM, Santos V, Aguilhera JOS, Treptow GT, Morais OP (2019) LTBR0-13-032-01:
602 Linhagem de arroz com resistência do tipo antibiose ao gorgulho-aquático.
603 <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1111851/1/cnpaf2019ltbro.pdf>.
604 Accessed 25 Set 2019
- 605 Martins JFS, Grützmacher AD, Cunha US (2004) Descrição e manejo integrado de insetos-
606 praga em arroz irrigado. In: Gomes AS, Magalhães Júnior AM (ed) Arroz irrigado no Sul do
607 Brasil. Embrapa, Brasília, pp 635-676
- 608 Martins JFS, Mattos MLT, Silva FF, Büttow GT (2017) Fipronil residual content in the soil for
609 the control of *Oryzophagus oryzae* in subsequent flooded rice crops. *Pesq agropec bras* 52:228-
610 235
- 611 Martins JFS, Melo M, Silva FF, Grützmacher AD, Cunha US (2001) Novo método para aferição
612 da densidade populacional do gorgulho-aquático em plantas de arroz irrigado. *Agropecuária*
613 *Clima Temperado* 4:363-370
- 614 Martins JFS, Pazini J de B, Santos V, Pereira IM, Bueno FA, Azambuja IHV (2018) Potencial
615 da resistência de cultivares arroz irrigado à bicheira-da-raiz para redução do uso de inseticidas
616 e implicações econômicas. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1102456>.
617 Accessed 30 Set 2019

- 618 Mazaheri A, Khajehali J, Hatami B (2011) Oviposition preference and larval performance of
619 *Aeolesthes sarta* (Coleoptera: Cerambycidae) in six hardwood tree species. J Pest Sci 84:355-
620 361
- 621 Moreira GR (2006) Herança da resistência por antixenose de *Lycopersicon pennellii* (LA 716)
622 e *L. hisrsutum* f. *typicum* (LA 1777) a *Tuta absoluta*. Thesis, Universidade Federal de Viçosa
- 623 Moreira GRP (2002) Oviposition by the riceinfesting weevil, *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima,
624 1936) (Coleoptera, Curculionidae): influence of water depth and host-plant characteristics. Rev
625 Bras Zoo 4:237-53
- 626 N'Guessan FK, Quisenberry SS, Linscombe SD (1994) Investigation of antixenosis and
627 antibiosis as mechanisms of resistance in rice to the rice water weevil (Coleoptera:
628 Curculionidae). J Entomol Sci 29:259-263
- 629 Neves MB, Martins JFS, Grützmacher AD, Lima CAB, Büttow GT (2011) Profundidade da
630 amostragem de solo e de raízes e índice de infestação de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima,
631 1936) (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz. Cienc Rural 41:2039-2044
- 632 Nime MF, Fachinetti R, Pedemonte L, Grilli MP (2019) Potential fecundity, larval
633 development, and survival of two invasive species of *Arhopalus* (Coleoptera: Cerambycidae)
634 coexisting in southern South America. Caldasia 41:268-277
- 635 Oliveira JV, Fiuza LM (2013) Aumento preocupante. Cultivar Grandes Culturas 15:12-14
- 636 Painter RH (1951) Insect resistance in crop plants. The Macmillan Co, New York
- 637 Pazini J de B, Pasini RA, Seidel EJ, Rakes M, Martins JFS, Grützmacher AD (2017) Side-
638 effects of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera:
639 Platygasteridae). Ecotoxicology 26:782-791
- 640 R Development Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing.
641 rev. 3.2.0. <http://r-project.org>. Accessed 20 Aug 2019

- 642 Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (2018) Arroz irrigado: Recomendações técnicas
643 da pesquisa para o Sul do Brasil. SOSBAI, Porto Alegre
- 644 Saad MM, Rahaman MM, Stout MJ (2018) Varietal resistance against the rice water weevil in
645 field and greenhouse studies. *Environ Entomol* 47:388-395
- 646 Sandoya G, Santiago R, Malvar RA, Butrón A (2010) Evaluation of structural and antibiosis
647 resistance mechanisms during selection against Mediterranean corn borer (*Sesamia*
648 *nonagrioides* Lef) in the maize synthetic EPS12. *Crop Prot* 29: 7-10
- 649 Silva FF, Martins JFS, Grützmacher AD, Storch G, Roni A, Giolo F (2003) Avaliação da
650 resistência de arroz a *Oryzophagus oryzae* com e sem chance de escolha da planta hospedeira.
651 *Revista Brasileira de Agrociência* 9:135-140
- 652 Silva FAC, Panizzi AR (2019) Interações inseto-planta. In: Baldin ELL, Vendramim JD,
653 Lourenção AL (ed) Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações. FEALQ,
654 Piracicaba, pp 65-98
- 655 Smith CM (2005) Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches.
656 Springer, Dordrecht
- 657 Smith CM, Robinson JF (1982) Evaluation of rice cultivars grown in North America for
658 resistance to the rice water weevil. *Environ Entomol* 11: 334-336
- 659 Stenberg JA, Muola A (2017) How should plant resistance to herbivores be measured? *Front*
660 *Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00663>
- 661 Stout (2013) Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant
662 resistance. *Insect Sci* 20:263-272
- 663 Stout MJ, Davis J (2009) Keys to the increased use of host plant resistance in Integrated Pest
664 Management. In: Peshin R, Dhawan AK (ed) *Integrated Pest Management: Innovation-*
665 *Development Process.* Springer, Dordrecht, pp 163-181

- 666 Stout MJ, Rice WC, Linscombe SD, Bollich PK (2001) Identification of rice cultivars resistant
667 to *Lissorhoptus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae), and their use in an integrated
668 management program. *J Econ Entomol* 94:963-970
- 669 Stout MJ, Riggio MR (2002) Variation in susceptibility of rice lines to infestation by the rice
670 water weevil (Coleoptera: Curculionidae). *J Agric Urban Entomol* 19:205-216
- 671 Stout MJ, Riggio MR, Zou L, Roberts R (2002) Flooding influences ovipositional and feeding
672 behavior of the rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae). *J Econ Entomol* 95:715-721
- 673 Teló GM, Marchesan E, Zanella R, Peixoto SC, Prestes OD, Oliveira ML (2017) Fungicide and
674 insecticide residues in rice grains. *Acta Sci Agron* 39:9-15
- 675 Ukishiro N (1993) Rearing method of the rice water weevil, *Lissorhoptus oryzophilus* Kuschel
676 (Coleoptera: Curculionidae) in the laboratory (in Japanese). *Plant Protection* 47: 22-25
- 677 Vale FXR, Fernandes Filho EIF, Liberato JR (2003) QUANT: A software for plant disease
678 severity assessment. In: Close R, Braithwaite M, Havery I (ed), *Proceedings of the 8th*
679 *International Congress of Plant Pathology, Christchurch*, pp 105
- 680 Vendramim JD, Rosales EAC (2019) A resistência de plantas e o Manejo Integrado de Pragas.
681 In: Baldin ELL, Vendramim JD, Lourenção AL (ed) *Resistência de plantas a insetos:*
682 *fundamentos e aplicações*. FEALQ, Piracicaba, pp 435-465
- 683 Vendramim JD, Guzzo EC, Ribeiro LP (2019) Antibiose. In: Baldin ELL, Vendramim JD,
684 Lourenção AL (ed) *Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações*. FEALQ,
685 Piracicaba, pp 185-224
- 686 Vyavhare SS, Gealy DR, Way MO, Tabien RE, Pearson RA (2016) Evaluation of host-plant
687 resistance of selected rice genotypes to the rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae).
688 *Environ Entomol* 45:1439-1444
- 689 War AR, Paulraj MG, Ahmad T, Buhroo AA, Hussain B, Ignacimuthu S, Sharma HC (2012)
690 Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal Behav* 7:1306-1320

- 691 Way MO (1990) Insect pest management in rice in the United States. In: Grayson BT, Green
692 MB, Copping LG (ed) Pest management in rice. Springer, Dordrecht, pp 181-189
- 693 Wibmer GJ, O'Brien CW (1986) Annotated checklist of the weevils (Curculionidae sensu lato)
694 of South America (Coleoptera: Curculionoidea). Mem Amer Entomol Inst 39:1-563
- 695 Yanagi S, Tuda M (2012) Female size constrains egg size via the influence of reproductive
696 organ size and resource storage in the seed beetle *Callosobruchus chinensis*. J Insect Physiol
697 58:1432-1437
- 698 Zhang Z, Stout MJ, Shang H, Pousson RC (2004) A method for rearing the rice water weevil
699 *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae) in the laboratory. Coleopt Bull 58:644-
700 651
- 701 Zou L, Stout MJ, Dunand RT (2004) The effects of feeding by the rice water weevil,
702 *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel, on the growth and yield components of rice, *Oryza sativa*.
703 Agr Forest Entomol 6:47-53

704 **Tabela 1** Cultivares de arroz avaliadas quanto à resistência ao gorgulho-aquático Sul-americano (RWW) em experimentos de campo nas safras
 705 2016/17 e 2017/18

Material vegetal (Cultivar)	Tipo da cultivar	Planta (Grão)	Ciclo ^a	Lançamento ^b	Origem (Instituição)	Reação ao RWW ^d
BRS Atalanta	Linha pura convencional	Moderno-filipino (longo)	Superprecoce	1999	Brasil (Embrapa)	Resistente (Martins et al. 2001)
BRS Firmeza	Linha pura convencional	Moderno-americano (longo)	Precoce	1999	Brasil (Embrapa)	Desconhecida*
BRS Ligeirinho	Linha pura convencional	Moderno-filipino (<i>patna</i>)	Superprecoce	1995	Brasil (Embrapa)	Suscetível (Cunha et al. 2006)
BRS Pampa CL	Linha pura tolerante a herbicidas	Moderno-filipino (longo)	Precoce	2016 [#]	Brasil (Embrapa)	Desconhecida
BRS Querência	Linha pura convencional	Moderno-filipino (longo)	Precoce	2005	Brasil (Embrapa)	Desconhecida
Dawn	Linha pura convencional	Intermediário ou Americano (longo)	Médio	1970	Estados Unidos (Beaumont Research and Extension Center)	Resistente (Silva et al. 2003)

706 ^aCiclo do arroz: Superprecoce = <105 dias; Precoce= 106 a 120 dias; Médio= 121 - 135 dias; ^b#2016: ano de liberação para pesquisa (2019: ano
 707 oficial de lançamento para comercialização); ^d*Cultivar relatada como “Suscetível” ao RWW por Magalhães Junior et al. (2004) e Cunha et al.
 708 (2006), mas como “Resistente” por Lima et al. (2019). Assim, considerou-se a reação ao RWW de “BRS Firmeza” como “Desconhecida”.

709 **Tabela 2** Número e dimensão (mm²) das lesões de alimentação (raspagens) provocados pelos
 710 adultos do gorgulho-aquático Sul-americano em folhas de seis cultivares de arroz, em
 711 experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 e 2017/18

Cultivar ^a	Lesão (Safr) ^b			
	(1) ^b		(2)	
	Número ^c	Tamanho ^c	Número	Tamanho
Atal	12,50±1,26 a	5,00±0,33 a	18,33±2,69 a	4,90±0,60 a
Firm	10,83±0,70 a	4,92±0,30 a	19,33±0,61 a	4,91±0,79 a
Lige	9,33±1,20 a	4,80±0,46 a	12,83±1,25 a	5,17±0,60 a
Pamp	9,66±0,80 a	5,22±0,57 a	14,67±1,15 a	5,08±0,80 a
Quer	9,83±0,91 a	5,16±0,40 a	16,67±1,33 a	4,99±0,73 a
Dawn	12,33±0,88 a	5,03±0,53 a	19,67±2,49 a	4,94±0,50 a

712 ^aCultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS Ligeirinho; Pamp=
 713 BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn. ^bSafras: (1) 2016/17; (2) 2017/18;
 714 ^cNúmero e tamanho médios (± EP) de lesões de alimentação por planta mensuradas aos 5, 8 e
 715 11 Dias Após a Inundação (DAI). Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem
 716 significativamente pelo teste de Scott Knott ($P<0,05$)

717 **Tabela 3** Densidade de ovos e larvas de 1º ínstar por planta e razão de eclosão de larvas do
 718 gorgulho-aquático Sul-americano em seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha,
 719 no campo, nas safras 2016/17 e 2017/18

Cultivar ^a	Número (Safr ^a) ^b ou (Época)			
	Ovos (Todos) ^c	Ovos (5) ^d	1º ínstar ^e	Razão de eclosão ^f
Atal (1) ^b	8,84±1,21 a	5,67±1,07 a	5,17±0,52 a	1,03±0,15 a
Firm (1)	7,50±0,89 a	4,33±0,54 a	4,25±0,73 a	0,98±0,10 a
Lige (1)	7,72±1,20 a	4,66±0,57 a	4,54±0,73 a	1,01±0,14 a
Pamp (1)	7,55±0,58 a	3,00±0,61 a	4,29±0,72 a	1,27±0,14 a
Quer (1)	7,36±1,12 a	4,33±0,69 a	5,12±0,87 a	1,21±0,16 a
Dawn (1)	9,11±1,02 a	4,75±0,63 a	4,46±0,37 a	0,99±0,11 a
Atal (2)	10,28±1,82 a	6,82±1,50 a	7,00±0,85 a	1,20±0,25 a
Firm (2)	8,67±1,19 a	4,86±0,89 a	4,83±0,87 a	1,00±0,12 a
Lige (2)	9,83±2,20 a	6,00±0,89 a	5,33±1,04 a	1,10±0,34 a
Pamp (2)	8,61±1,76 a	3,50±0,53 a	5,17±1,06 a	1,63±0,22 a
Quer (2)	8,72±1,88 a	5,00±1,01 a	5,50±1,07 a	1,10±0,20 a
Dawn (2)	10,39±1,40 a	5,67±0,79 a	5,00±0,53 a	1,02±0,19 a

720 ^aCultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS Ligeirinho; Pamp=
 721 BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn. ^bSafras: (1) 2016/17; (2) 2017/18;
 722 ^cNúmero médio (±EP) de ovos por planta contabilizados em todas as épocas de amostragem [5,
 723 8 e 11 Dias Após a Inundação (DAI)]; ^dNúmero médio (±EP) de ovos por planta contabilizados
 724 apenas aos 5 DAI; ^eNúmero médio (±EP) de larvas de 1º ínstar por planta contabilizadas apenas
 725 aos 5 DAI; ^fRazão de eclosão (±EP) baseada no número de ovos^d e de larvas de 1º ínstar^e por
 726 planta contabilizados aos 5 DAI (*Razão de eclosão=larvas1ºínstar/Ovos5DAI*). Valores médios
 727 seguidos pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott ($P<0,05$)

728 **Tabela 4** Número, tamanho e peso de larvas do gorgulho-aquático Sul-americano contabilizadas aos 15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI) nas
 729 raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 e 2017/18

Cultivar ^a (Época-Safra ^b)	Número de larvas (n)				Tamanho (mm) ^e	Peso (mg) ^e
	Todos ^c	Classes de tamanho ^d (n% tamanho ⁻¹)				
		S ₁ : ≤ 3 mm	S ₂ : > 3 – 6 mm	S ₃ : > 6 mm		
Atal (15-1) ^b	4,88±0,24 a	2,85±0,14 aA ^(58,33)	2,03±0,10 cA ^(41,67)	0,00±0,00 cB ^(0,00)	3,75±0,17 b	1,81±0,14 b
Firm (15-1)	3,97±0,60 a	2,65±0,40 aA ^(66,67)	1,32±0,20 dB ^(33,33)	0,00±0,00 cC ^(0,00)	3,10±0,08 b	1,39±0,08 b
Lige (15-1)	5,00±0,45 a	0,83±0,08 cB ^(16,67)	3,33±0,30 bA ^(66,67)	0,83±0,07 bB ^(16,67)	5,20±0,26 a	3,97±0,27 a
Pamp (15-1)	4,95±0,38 a	0,62±0,05 cB ^(12,50)	3,84±0,29 aA ^(77,50)	0,50±0,04 bB ^(10,00)	5,35±0,23 a	3,93±0,18 a
Quer (15-1)	5,02±0,59 a	0,84±0,10 cB ^(16,67)	2,93±0,34 bA ^(58,33)	1,26±0,15 aB ^(25,00)	5,17±0,30 a	3,85±0,31 a
Dawn (15-1)	4,26±0,36 a	1,94±0,26 bA ^(45,45)	2,32±0,32 cA ^(54,55)	0,00±0,00 cB ^(0,00)	3,40±0,24 b	1,37±0,04 b
Atal (25-1)	5,83±0,43 c	0,00±0,00 bC ^(0,00)	4,50±0,33 bA ^(77,14)	1,33±0,10 cB ^(22,86)	5,47±0,12 b	5,05±0,07 b
Firm (25-1)	4,02±0,71 c	0,00±0,00 bC ^(0,00)	3,66±0,64 cA ^(90,91)	0,37±0,06 dB ^(9,09)	5,35±0,09 b	4,95±0,13 b
Lige (25-1)	8,27±0,49 b	0,00±0,00 bB ^(0,00)	4,41±0,26 bA ^(53,33)	3,86±0,23 bA ^(46,67)	6,10±0,19 a	7,56±0,21 a
Pamp (25-1)	13,96±2,03 a	0,00±0,00 bB ^(0,00)	6,51±0,95 aA ^(46,67)	7,44±1,08 aA ^(53,33)	6,23±0,12 a	8,15±0,50 a
Quer (25-1)	8,65±1,87 b	0,00±0,00 bB ^(0,00)	4,47±0,97 bA ^(51,72)	4,17±0,90 bA ^(48,28)	6,27±0,07 a	7,91±0,24 a
Dawn (25-1)	4,83±0,83 c	0,83±0,02 aB ^(17,18)	3,75±0,80 cA ^(77,64)	0,25±0,01 dC ^(5,18)	4,68±0,16 c	4,36±0,09 b
Atal (35-1)	7,25±1,10 c	0,00±0,00 aC ^(0,00)	0,83±0,13 aB ^(12,12)	6,42±0,47 cA ^(87,88)	8,10±0,37 b	10,30±0,18 c
Firm (35-1)	4,83±1,29 c	0,00±0,00 aC ^(0,00)	0,90±0,24 aB ^(18,63)	3,93±1,05 dA ^(81,37)	8,17±0,13 b	9,64±0,23 c
Lige (35-1)	10,21±1,17 b	0,00±0,00 aB ^(0,00)	0,00±0,00 bB ^(0,00)	10,21±1,17 bA ^(100,00)	9,60±0,29 a	12,39±0,34 b
Pamp (35-1)	17,08±1,31 a	0,00±0,00 aB ^(0,00)	0,00±0,00 bB ^(0,00)	17,08±1,31 aA ^(100,00)	9,30±0,18 a	14,20±0,37 a

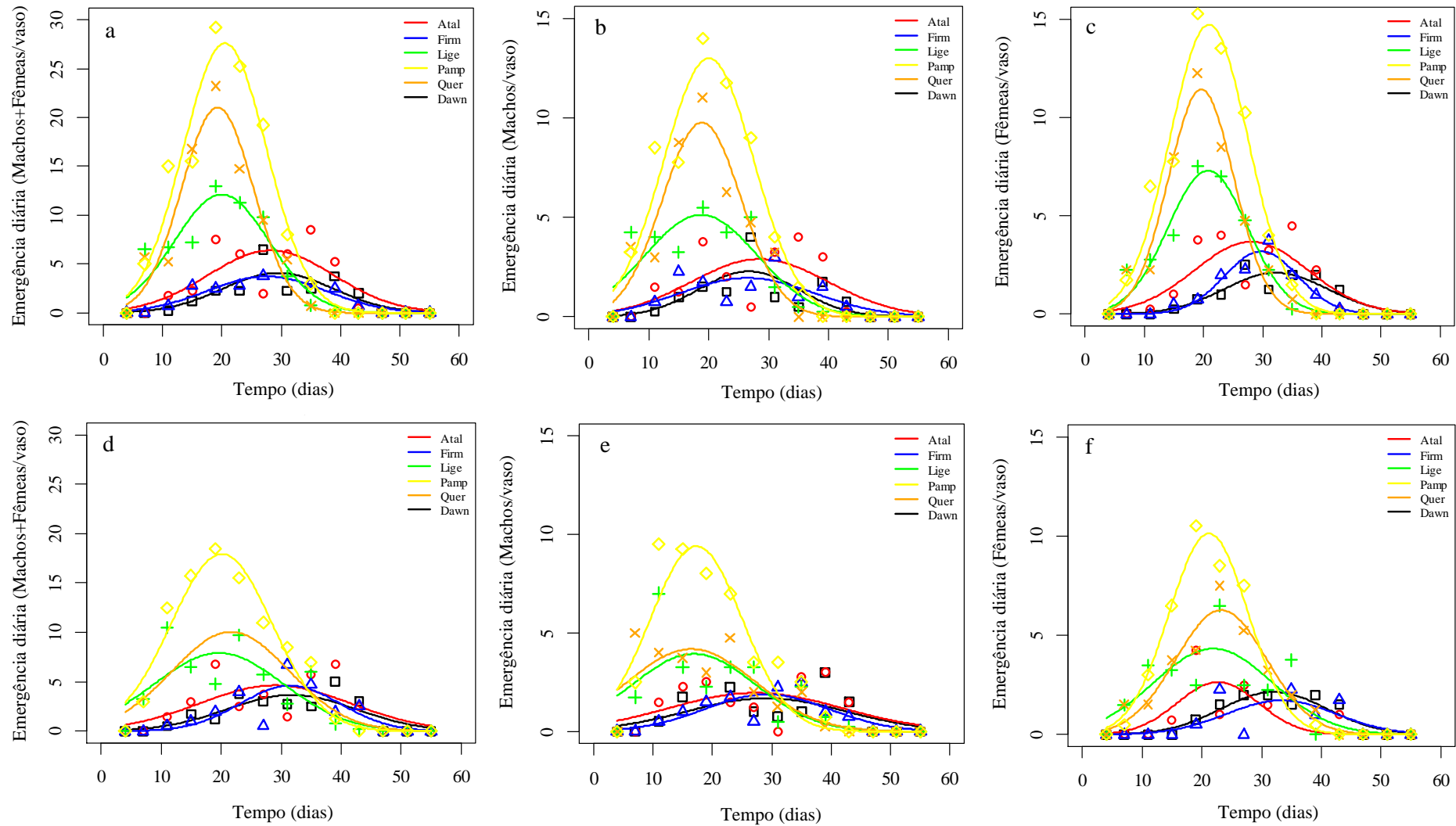
Quer (35-1)	10,92±2,20 b	0,00±0,00 aB ^(0,00)	0,00±0,00 bB ^(0,00)	10,92±2,20 bA ^(100,00)	9,37±0,48 a	12,95±0,28 b
Dawn (35-1)	5,67±0,71 c	0,00±0,00 aB ^(0,00)	0,69±0,09 aB ^(12,12)	4,98±0,62 dA ^(87,88)	8,13±0,17 b	9,47±0,30 c
Atal (15-2)	4,39±0,22 a	2,45±0,13 aA ^(55,81)	1,94±0,09 cB ^(44,19)	0,00±0,00 bC ^(0,00)	3,50±0,16 b	1,40±0,11b
Firm (15-2)	4,21±0,63 a	2,81±0,42 aA ^(66,67)	1,40±0,21 dB ^(33,33)	0,00±0,00 bC ^(0,00)	3,25±0,17 b	1,14±0,07 b
Lige (15-2)	4,50±0,42 a	0,66±0,07 cB ^(14,63)	3,07±0,28 bA ^(68,07)	0,78±0,07 aB ^(17,30)	5,05±0,26 a	3,21±0,29 a
Pamp (15-2)	4,92±0,36 a	0,51±0,04 cB ^(10,37)	3,66±0,27 aA ^(74,39)	0,75±0,05 aB ^(15,24)	5,25±0,20 a	3,36±0,18 a
Quer (15-2)	4,67±0,56 a	0,69±0,09 cC ^(14,78)	2,89±0,33 bA ^(61,88)	1,09±0,14 aB ^(23,34)	5,10±0,34 a	3,30±0,32 a
Dawn (15-2)	4,06±0,65 a	1,99±0,29 bA ^(48,98)	2,07±0,36 cA ^(51,02)	0,00±0,00 bB ^(0,00)	3,25±0,25 b	1,06±0,04 b
Atal (25-2)	7,87±0,63 c	0,42±0,03 aB ^(5,36)	3,80±0,31 bA ^(48,21)	3,66±0,29 cA ^(46,43)	5,10±0,26 a	3,86±0,11 b
Firm (25-2)	5,62±1,44 c	0,14±0,04 bC ^(2,50)	4,08±0,05 bA ^(72,50)	1,41±0,36 dB ^(25,00)	4,37±0,30 b	3,26±0,09 c
Lige (25-2)	11,67±0,59 b	0,00±0,00 cC ^(0,00)	4,60±0,28 aB ^(39,42)	7,07±0,31 bA ^(60,58)	5,70±0,39 a	5,37±0,15 a
Pamp (25-2)	19,17±1,90 a	0,00±0,00 cC ^(0,00)	6,92±0,68 aB ^(36,08)	12,26±1,22 aA ^(63,92)	6,00±0,31 a	5,81±0,31 a
Quer (25-2)	13,46±1,46 b	0,00±0,00 cC ^(0,00)	5,64±0,61 aB ^(41,89)	7,82±0,85 bA ^(58,11)	5,90±0,19 a	5,62±0,17 a
Dawn (25-2)	4,82±1,01 c	0,26±0,06 bB ^(5,46)	4,13±0,07 bA ^(85,46)	0,44±0,09 eB ^(9,09)	4,30±0,20 b	3,17±0,08 c
Atal (35-2)	8,83±1,17 c	0,00±0,00 aC ^(0,00)	2,07±0,27 aB ^(23,40)	6,77±0,89 dA ^(76,60)	6,90±0,09 b	8,29±0,24 c
Firm (35-2)	5,62±1,44 d	0,00±0,00 aC ^(0,00)	1,37±0,30 bB ^(20,83)	4,25±1,14 eA ^(79,17)	6,70±0,09 b	7,63±0,19 d
Lige (35-2)	13,83±1,01 b	0,00±0,00 aC ^(0,00)	0,68±0,03 cB ^(4,92)	13,15±0,98 cA ^(95,08)	7,80±0,07 a	9,71±0,27 b
Pamp (35-2)	24,54±1,98 a	0,00±0,00 aC ^(0,00)	0,96±0,18 cB ^(3,91)	23,58±1,80 aA ^(96,09)	8,11±0,10 a	10,71±0,29 a
Quer (35-2)	16,08±2,81 b	0,00±0,00 aC ^(0,00)	0,97±0,15 cB ^(6,06)	15,11±2,47 bA ^(93,94)	8,05±0,05 a	10,14±0,22 b
Dawn (35-2)	5,03±0,86 d	0,00±0,00 aC ^(0,00)	1,84±0,28 aB ^(36,78)	3,18±0,58 eA ^(63,22)	6,75±0,18 b	7,43±0,24 d

731 Dawn. ^bSafras: (1) 2016/17; (2) 2017/18 e Épocas de amostragem: 15, 25 e 35 DAI; ^cNúmero total (\pm EP) de larvas por planta (amostra padrão de
732 solo e raízes), isto é, soma de larvas das três classes de tamanho: larvas pequenas (S_1), médias (S_2) e grandes (S_3); ^dNúmero (\pm EP) de larvas por
733 planta (amostra padrão de solo e raízes) em cada classe de tamanho; ^(n% tamanho⁻¹)Frequência de larvas em cada classe de tamanho baseada no número
734 total de larvas; ^eTamanho e peso médios (\pm EP) do total de larvas coletadas. Valores médios seguidos pela mesma letra, minúscula nas colunas e
735 maiúscula nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$)

736 **Tabela 5** Tempo para o surgimento (dias) das primeiras pupas do gorgulho-aquático Sul-
 737 americano nas raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo,
 738 nas safras 2016/17 e 2017/18

Cultivar ^a	Tempo médio (Safr) ^b	
	(1) ^b	(2)
Atal	27,50±1,71 a	28,33±1,67 a
Firm	29,17±2,39 a	27,50±1,12 a
Lige	25,83±0,83 b	25,00±0,00 b
Pamp	25,00±0,00 b	25,00±0,00 b
Quer	25,00±0,00 b	25,83±0,83 b
Dawn	28,33±1,05 a	28,33±1,67 a

739 ^aCultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS Ligeirinho; Pamp=
 740 BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn. ^bSafras: (1) 2016/17; (2) 2017/18;
 741 ^cTempo médio (±EP) para o surgimento das primeiras pupas por planta (amostra padrão de solo
 742 e raízes) em contagens realizadas aos 15, 25, 35, 40 e 45 Dias Após a Inundação (DAI). Valores
 743 médios seguidos pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott
 744 ($P<0,05$)

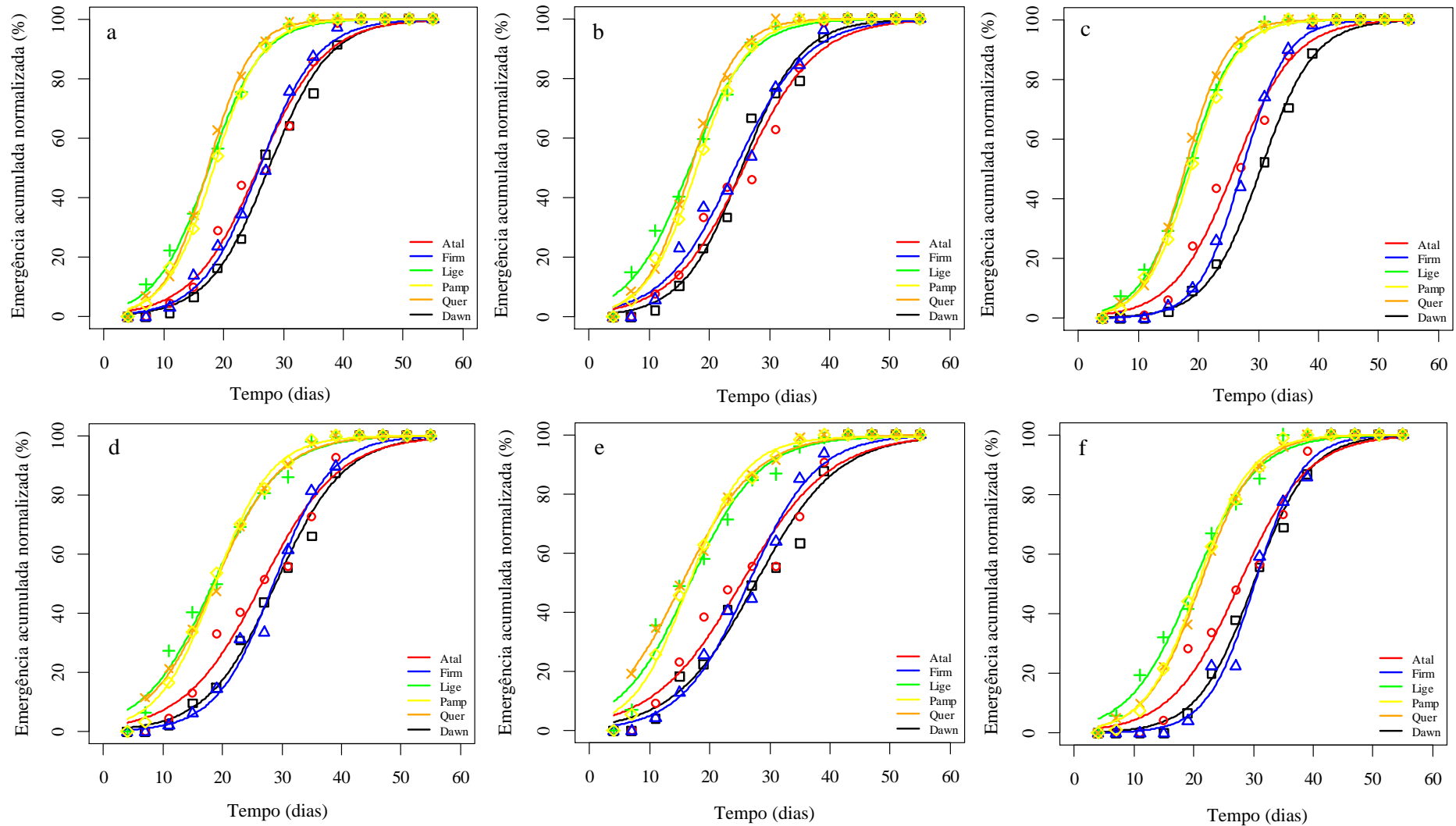


745

746

747 **Fig.1** Emergência diária de adultos F₁ do gorgulho-aquático Sul-Americano [(a)=Todos (Machos+Fêmeas); (b)= Machos; (c)= Fêmeas, na safra
748 (1); [(d)= Todos; (e)= Machos; (f)= Fêmeas, na safra (2)] de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras

749 2016/17 (1) e 2017/18 (2). Os símbolos representam as médias de seis repetições (vaso com quatro amostras padrão de solo e raízes). Os parâmetros
750 da equação são apresentados no Material Suplementar 1.8. Cultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS Ligeirinho;
751 Pamp= BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn.



756 nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2). Os símbolos representam as médias de seis repetições (vaso com quatro amostras padrão de solo e raízes). Os
757 parâmetros da equação são apresentados no Material Suplementar 1.9. Cultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS
758 Ligeirinho; Pamp= BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn.

759 **Tabela 6** Razão de emergência, razão sexual e peso de adultos do gorgulho-aquático Sul-
 760 americano que emergiram (F₁) de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no
 761 campo, nas safras 2016/17 e 2017/18

Cultivar ^a (Safrá) ^b	Razão sexual ^c	Razão de emergência ^d	Peso (mg)		
			Todos ^e	Macho	Fêmea
Atal (1) ^b	0,52±0,02 a	0,98±0,09 a	1,99±0,07 b	1,60±0,06 a	2,38±0,09 b
Firm (1)	0,55±0,04 a	1,05±0,09 a	1,95±0,03 b	1,60±0,07 a	2,31±0,05 b
Lige (1)	0,52±0,01 a	0,93±0,05 a	2,11±0,03 a	1,69±0,06 a	2,52±0,05 a
Pamp (1)	0,51±0,02 a	1,01±0,09 a	2,18±0,01 a	1,72±0,02 a	2,65±0,03 a
Quer (1)	0,54±0,02 a	0,97±0,05 a	2,12±0,03 a	1,69±0,03 a	2,54±0,03 a
Dawn (1)	0,49±0,02 a	0,72±0,08 b	1,90±0,02 b	1,62±0,05 a	2,17±0,02 c
Atal (2)	0,51±0,02 a	0,80±0,10 a	2,24±0,05 b	1,83±0,09 a	2,65±0,04 b
Firm (2)	0,47±0,03 a	0,92±0,16 a	2,18±0,03 b	1,77±0,05 a	2,60±0,04 b
Lige (2)	0,52±0,03 a	0,80±0,11 a	2,35±0,05 a	1,81±0,04 a	2,89±0,07 a
Pamp (2)	0,50±0,02 a	0,85±0,20 a	2,40±0,01 a	1,82±0,02 a	2,98±0,02 a
Quer (2)	0,50±0,02 a	0,95±0,19 a	2,39±0,02 a	1,86±0,02 a	2,92±0,02 a
Dawn (2)	0,49±0,02 a	0,75±0,13 a	2,13±0,07 b	1,83±0,08 a	2,44±0,10 c

762 ^aCultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS Ligeirinho; Pamp=
 763 BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn. ^bSafras: (1) 2016/17; (2) 2017/18;
 764 ^cRazão sexual baseada no número de machos e fêmeas dos adultos emergidos (F₁) (*Razão*
 765 *sexual*=Fêmeas/Fêmeas+Machos); ^dRazão de emergência baseada nas densidades de adultos
 766 emergidos (F₁) e de larvas contabilizadas aos 35 Dias Após a Inundação (DAI) por planta
 767 (amostra padrão de solo e raízes) (*Razão de emergência*=Adultos/Larvas35DAI); ^ePeso médio
 768 (±EP) (mg) de adultos emergidos (F₁) [todos (macho+fêmea) e machos e fêmeas isolados].
 769 Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott
 770 Knott ($P<0,05$)

Material Suplementar 1

Caracterização da resistência em cultivares de arroz ao gorgulho-aquático Sul-americano (Col.: Curculionidae): antixenose ou antibiose?

Juliano de Bastos Pazini^{1*}, Enio Júnior Seidel², Fernando Felisberto da Silva³, Anderson Dionei Grützmacher¹, José Francisco da Silva Martins⁴

¹Federal University of Pelotas, Faculty of Agronomy “Eliseu Maciel”, Department of Plant Protection. Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

²Federal University of Santa Maria, Center of Exact and Natural Sciences, Department of Statistic. Roraima Ave, Postal Code 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

³Federal University of Pelotas, Institute of Biology, Department of Botany. Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

³Federal University of Pampa, São Gabriel Campus. Antonio Trilha Ave, Postal Code 97300-000, São Gabriel, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

⁴Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Temperate Agriculture. BR 392, km 79, Monte Bonito, Postal Code 96010-971, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

*Corresponding author:

Juliano de Bastos Pazini

julianopazzini@hotmail.com; +55 53 3275-7376 | +55 55 99934-6181

Tabela Suplementar 1.1 Resumo da ANOVA para número e dimensão (mm²) das lesões de alimentação (raspagens) provocadas pelos adultos do gorgulho-aquático Sul-americano em folhas de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostrados na Tabela 2

Fonte de variação	Safra	Variável (Lesão)	GL _{Trat}	QM	P
Tratamento (Cultivar)	1	Número	5	11,517	0,104 ^{ns}
		Tamanho	5	0,143	0,990 ^{ns}
	2	Número	5	44,650	0,110 ^{ns}
		Tamanho	5	0,068	0,999 ^{ns}
Linha	1	Número	5	8,783	0,200 ^{ns}
		Tamanho	5	0,767	0,743 ^{ns}
	2	Número	5	9,783	0,804 ^{ns}
		Tamanho	5	0,468	0,984 ^{ns}
Coluna	1	Número	5	4,183	0,580 ^{ns}
		Tamanho	5	0,677	0,743 ^{ns}
	2	Número	5	15,117	0,627 ^{ns}
		Tamanho	5	1,616	0,809 ^{ns}
Resíduo	1	Número	20	5,417	-
		Tamanho	20	1,419	-
	2	Número	20	21,450	-
		Tamanho	20	3,604	-
CV (%)	1	Número		21,650	
		Tamanho		23,750	
	2	Número		27,380	
		Tamanho		37,990	

^{ns}Não significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Tabela Suplementar 1.2 Resumo da ANOVA para densidades de ovos e larvas de 1º ínstar por planta e razão de eclosão de larvas do gorgulho-aquático Sul-americano em seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostradas na Tabela 3

Fonte de variação	Safra	Variável (Ovo e Larva)	GL _{Trat}	QM	<i>P</i>
Tratamento (Cultivar)	1	Ovos (todos)	5	3,436	0,651 ^{ns}
		1º ínstar	5	0,994	0,858 ^{ns}
		Razão de eclosão	5	0,096	0,462 ^{ns}
	2	Ovos (todos)	5	8,494	0,697 ^{ns}
		1º ínstar	5	4,333	0,581 ^{ns}
		Razão de eclosão	5	0,333	0,535 ^{ns}
Linha	1	Ovos (todos)	5	2,754	0,746 ^{ns}
		1º ínstar	5	4,123	0,214 ^{ns}
		Razão de eclosão	5	0,131	0,295 ^{ns}
	2	Ovos (todos)	5	9,027	0,670 ^{ns}
		1º ínstar	5	6,667	0,350 ^{ns}
		Razão de eclosão	5	0,135	0,881 ^{ns}
Coluna	1	Ovos (todos)	5	14,56	0,052 ^{ns}
		1º ínstar	5	1,857	0,625 ^{ns}
		Razão de eclosão	5	0,149	0,233 ^{ns}
	2	Ovos (todos)	5	28,027	0,123 ^{ns}
		1º ínstar	5	3,133	0,730 ^{ns}
		Razão de eclosão	5	0,218	0,735 ^{ns}
Resíduo	1	Ovos (todos)	20	5,132	-
		1º ínstar	20	2,627	-
		Razão de eclosão	20	0,099	-
	2	Ovos (todos)	20	14,061	-
		1º ínstar	20	5,617	-
		Razão de eclosão	20	0,394	-
CV (%)	1	Ovos (todos)		28,270	
		1º ínstar		34,940	

	Razão de eclosão	28,980
	Ovos (todos)	39,590
2	1° ínstar	43,090
	Razão de eclosão	53,480

^{ns}Não significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Tabela Suplementar 1.3 Resumo da ANOVA para número de larvas do gorgulho-aquático Sul-americano contabilizadas aos ^a15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI) nas raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostrado na Tabela 4

Fonte de variação	Safra	Variável (Larva) em épocas ^a	GL _{Trat}	QM	P
Tratamento (Cultivar)	1	15	5	1,217	0,549 ^{ns}
		25	5	86,295	<0,001*
		35	5	121,643	<0,001*
	2	15	5	0,666	0,817 ^{ns}
		25	5	175,661	<0,001*
		35	5	334,120	<0,001*
Linha	1	15	5	1,049	0,624 ^{ns}
		25	5	21,707	0,004*
		35	5	28,381	0,007*
	2	15	5	1,342	0,511 ^{ns}
		25	5	8,411	0,462 ^{ns}
		35	5	21,330	0,217 ^{ns}
Coluna	1	15	5	1,590	0,405 ^{ns}
		25	5	16,177	0,015*
		35	5	13,889	0,099 ^{ns}
	2	15	5	1,430	0,477 ^{ns}
		25	5	14,470	0,190 ^{ns}
		35	5	26,150	0,137 ^{ns}
Resíduo	1	15	20	1,481	-
		25	20	4,356	-
		35	20	6,408	-
	2	15	20	1,520	-
		25	20	8,717	-
		35	20	13,680	-
CV (%)	1	15		26,000	
		25		28,100	

	35	27,140
	15	27,300
2	25	29,220
	35	30,560

^{ns}Não significativo ou *significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Tabela Suplementar 1.4 Resumo da ANOVA para tamanho de larvas do gorgulho-aquático Sul-americano contabilizadas aos ^a15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI) nas raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostrado na Tabela 4

Fonte de variação	Safra	Variável (Larva) em épocas ^a	GL _{Trat}	QM	P
Tratamento (Cultivar)	1	15	5	6,351	<0.001*
		25	5	2,369	<0.001*
		35	5	3,019	<0.001*
	2	15	5	5,684	<0.001*
		25	5	3,342	<0.001*
		35	5	2,759	<0.001*
Linha	1	15	5	0,077	0.941 ^{ns}
		25	5	0,077	0.704 ^{ns}
		35	5	2,063	0.065 ^{ns}
	2	15	5	0,219	0.695 ^{ns}
		25	5	1,805	0.004*
		35	5	0,007	0.995 ^{ns}
Coluna	1	15	5	0,449	0.268 ^{ns}
		25	5	0,023	0.967 ^{ns}
		35	5	0,483	0.399 ^{ns}
	2	15	5	0,585	0.202 ^{ns}
		25	5	0,142	0.849 ^{ns}
		35	5	0,112	0.371 ^{ns}
Resíduo	1	15	20	0,322	-
		25	20	0,130	-
		35	20	0,446	-
	2	15	20	0,362	-
		25	20	0,362	-
		35	20	0,098	-
CV (%)	1	15		13,090	
		25		6,340	

		35	7,610
		15	14,180
2		25	11,470
		35	4,26

^{ns}Não significativo ou *significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Tabela Suplementar 1.5 Resumo da ANOVA para a análise fatorial do número de larvas distribuídas em diferentes classes de tamanho do gorgulho-aquático Sul-americano, que foram contabilizadas aos ^a15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI) nas raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostrado na Tabela 4

Fonte de variação	Safra	Variável (Larva) em épocas ^a	GL _{T_{trat}}	QM	P
Fator 1 (Cultivar)	1	15 ^{\$}	5	0,376	<0,001*
		25 [#]	5	0,448	<0,001*
		35 ^{# #}	5	0,6867	<0,001*
	2	15 ^{\$}	5	0,338	<0,001*
		25 [#]	5	0,543	<0,001*
		35 ^{# #}	5	2,775	<0,001*
Fator 2 (Tamanho)	1	15 ^{\$}	2	7,651	<0,001*
		25 [#]	2	17,009	<0,001*
		35 ^{# #}	2	55,016	<0,001*
	2	15 ^{\$}	2	7,501	<0,001*
		25 [#]	2	10,483	<0,001*
		35 ^{# #}	2	54,017	<0,001*
Linha	1	15 ^{\$}	5	0,014	0,107 ^{ns}
		25 [#]	5	0,048	0,022*
		35 ^{# #}	5	0,289	0,007*
	2	15 ^{\$}	5	0,018	<0,057 ^{ns}
		25 [#]	5	0,041	<0,001*
		35 ^{# #}	5	0,130	0,237 ^{ns}
Coluna	1	15 ^{\$}	5	0,026	0,007*
		25 [#]	5	0,442	0,003*
		35 ^{# #}	5	1,544	0,186 ^{ns}
	2	15 ^{\$}	5	0,024	<0,019*
		25 [#]	5	0,042	<0,001*
		35 ^{# #}	5	0,256	0,025*
Fator 1*Fator 2	1	15 ^{\$}	10	0,887	<0,001*

		25 [#]	10	1,039	<0,001*
		35 [#]	10	1,649	<0,001*
		15 ^{\$}	10	0,872	<0,001*
	2	25 [#]	10	0,655	<0,001*
		35 [#]	10	2,209	<0,001*
Resíduo		15 ^{\$}	80	0,008	-
	1	25 [#]	80	0,006	-
		35 [#]	80	0,083	-
		15 ^{\$}	80	0,008	-
	2	25 [#]	80	0,007	-
		35 [#]	80	0,094	-
CV (%)		15		8,930	
	1	25		9,050	
		35 [#]		18,980	
		15		8,93	
	2	25		7,540	
		35 [#]		17,380	

^{\$}Dados transformados em $\sqrt[3]{x}$; [#]Dados transformados em $\sqrt[4]{x}$; [#] #Dados transformados em $\sqrt{x+0,5}$; ^{ns}Não significativo ou *significativo pelo teste F ($P<0,05$)

Tabela Suplementar 1.6 Resumo da ANOVA para peso de larvas do gorgulho-aquático Sul-americano contabilizadas aos ^a15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI) nas raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostrado na Tabela 4

Fonte de variação	Safra	Variável (Larva) em épocas ^a	GL _{Trat}	QM	P
Tratamento (Cultivar)	1	15	5	10,491	<0,001*
		25	5	16,743	<0,001*
		35	5	19,791	<0,001*
	2	15	5	7,981	<0,001*
		25	5	7,439	<0,001*
		35	5	11,476	<0,001*
Linha	1	15	5	0,085	0,916 ^{ns}
		25	5	0,434	0,366 ^{ns}
		35	5	0,426	0,451 ^{ns}
	2	15	5	0,069	0,952 ^{ns}
		25	5	0,204	0,387 ^{ns}
		35	5	0,456	0,283 ^{ns}
Coluna	1	15	5	0,100	0,885 ^{ns}
		25	5	0,339	0,499 ^{ns}
		35	5	0,893	0,112 ^{ns}
	2	15	5	0,059	0,964 ^{ns}
		25	5	0,122	0,656 ^{ns}
		35	5	0,261	0,578 ^{ns}
Resíduo	1	15	20	0,299	-
		25	20	0,376	-
		35	20	0,432	-
	2	15	20	0,320	-
		25	20	0,184	-
		35	20	0,336	-
CV (%)	1	15		26,110	
		25		10,130	

		35	5,760
		15	25,200
2		25	9,700
		35	6,450

^{ns}Não significativo ou *significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Tabela Suplementar 1.7 Resumo da ANOVA para tempo de surgimento (dias) das primeiras pupas do gorgulho-aquático Sul-americano nas raízes de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostrado na

Tabela 5

Fonte de variação	Safra	GL _{Trat}	QM	P
Tratamento (Cultivar)	1 [#]	5	1,120x10 ⁻⁶	0,049*
	2	5	17,361	0,043*
Linha	1 [#]	5	1,687x10 ⁻⁷	0,864 ^{ns}
	2	5	5,694	0,517 ^{ns}
Coluna	1 [#]	5	4,571x10 ⁻⁷	0,444 ^{ns}
	2	5	9,027	0,272 ^{ns}
Resíduo	1 [#]	20	4,583x10 ⁻⁷	-
	2	20	6,528	-
CV (%)	1 [#]		0,100	
	2		9,630	

[#]Dados transformados por meio da técnica de transformação Box-Cox; ^{ns}Não significativo ou

*significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Tabela Suplementar 1.8 Resumo das análises de regressão não-linear das curvas mostradas na Fig. 1 para a emergência diária de adultos (F_1) do gorgulho-aquático Sul-americano de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2)

Variável (Safr)	Modelo	Cultivar ^a	Parâmetros estimados do modelo (IC95%)			GL _{Erro}	R ²	
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			
Emergência diária (1)	Todos ^b	$y = aexp(-0.5((x - b)/c)^2)$	Atal	6,40 (3,76-9,03) c*	28,27 (23,26-33,27) a*	10,40 (5,01-15,56) a*	11	0,62
			Firm	3,74 (2,95-4,52) c*	27,53 (25,40-29,66) a*	9,92 (7,78-12,06) a*	10	0,89
			Lige	12,11 (9,86-14,36) b*	19,99 (18,29-21,69) b*	7,96 (6,26-9,67) a*	11	0,90
			Pamp	27,59 (24,30-30,88) a*	20,52 (19,55-21,49) b*	7,03 (6,07-7,99) a*	11	0,96
			Quer	21,02 (18,02-24,41) a*	19,28 (18,28-20,28) b*	6,04 (5,05-7,13) a*	11	0,95
			Dawn	4,09 (2,58-5,60) c*	29,48 (25,50-33,46) a*	9,31 (5,33-13,29) a*	11	0,69
			Atal	2,89 (1,48-4,31) c*	28,53 (22,11-34,95) a*	11,40 (4,89-17,91) a*	11	0,50
	Macho	$y = aexp(-0.5((x - b)/c)^2)$	Firm	1,95 (1,13-2,76) c*	26,44 (21,22-31,87) a*	11,28 (5,76-16,80) a*	11	0,59
			Lige	5,12 (4,73-6,51) b*	18,75 (15,85-21,64) b*	9,32 (6,26-12,38) a*	11	0,81
			Pamp	12,99 (11,21-14,77) a*	20,02 (18,85-21,20) b*	7,48 (6,30-8,65) a*	11	0,95
			Quer	9,75 (8,00-11,51) a*	18,87 (17,51-20,23) b*	6,56 (5,22-7,91) a*	11	0,92
			Dawn	2,28 (1,19-3,37) c*	26,63 (22,07-31,20) a*	8,27 (3,71-12,83) a*	11	0,57
			Atal	3,67 (2,32-5,03) d*	28,08 (23,99-32,17) a*	9,60 (5,51-13,68) a*	11	0,70
			Firm	3,19 (2,65-3,68) d*	29,75 (28,64-30,86) a*	6,19 (5,08-7,30) a*	11	0,94
	Fêmea	$y = aexp(-0.5((x - b)/c)^2)$	Lige	7,28 (6,39-8,18) c*	20,76 (19,80-21,71) b*	6,71 (5,76-7,65) a*	11	0,96
			Pamp	14,71 (13,20-16,23) a*	20,92 (20,14-21,71) b*	6,59 (5,81-7,37) a*	11	0,97
			Quer	11,41 (10,13-12,70) b*	19,62 (18,90-20,34) b*	5,51 (4,80-6,22) a*	11	0,97
			Dawn	2,10 (1,53-2,67) d*	32,25 (29,54-34,97) a*	8,73 (6,01-11,44) a*	11	0,82
Atal			4,65 (2,34-5,95) c*	29,00 (21,82-36,18) ab*	12,58 (6,25-20,04) a*	11	0,47	

$y = aexp(-0.5((x - b)/c)^2)$	Firm	4,62 (2,65-5,58) c*	31,49 (27,41-35,57) a*	8,29 (4,21-12,38) a*	11	0,63
	Lige	8,91 (5,98-10,87) b*	19,63 (14,98-24,29) b*	10,73 (5,69-15,77) a*	11	0,66
	Pamp	17,93 (15,33-20,53) a*	20,09 (18,69-21,49) b*	8,41 (7,00-9,83) a*	11	0,94
	Quer	10,05 (7,34-12,76) b*	21,62 (18,36-24,87) b*	9,75 (7,02-12,47) a*	9	0,85
	Dawn	3,67 (2,40-4,94) c*	31,71 (27,42-36,00) a*	10,73 (6,39-15,07) a*	11	0,69
Macho $y = aexp(-0.5((x - b)/c)^2)$	Atal	1,96 (0,84-2,78) c*	27,27 (17,66-36,87) ab*	14,58 (3,89-25,27) a*	11	0,55
	Firm	1,89 (1,20-2,57) c*	29,16 (24,78-33,54) a*	10,40 (6,02-14,80) a*	11	0,67
	Lige	3,94 (2,81-5,86) b*	16,91 (10,92-20,89) b*	10,34 (3,61-17,06) a*	11	0,54
	Pamp	9,40 (7,32-11,49) a*	17,31 (15,35-19,26) b*	7,73 (5,72-9,74) a*	11	0,87
	Quer	4,18 (2,80-5,63) b*	16,50 (12,00-20,99) b*	10,69 (5,58-15,79) a*	11	0,70
Fêmea $y = aexp(-0.5((x - b)/c)^2)$	Dawn	1,69 (0,70-2,67) c*	29,09 (21,84-38,33) a*	13,34 (4,15-22,53) a*	10	0,50
	Atal	2,64 (1,04-3,84) c*	22,67 (17,78-27,56) b*	6,74 (1,38-12,10) a*	9	0,55
	Firm	1,72 (0,53-2,91) c*	33,30 (28,20-39,41) a*	9,15 (2,75-15,55) a*	10	0,48
	Lige	4,32 (3,88-5,92) b*	21,88 (17,71-26,06) b*	9,90 (5,62-14,19) a*	11	0,68
	Pamp	10,13 (9,12-11,14) a*	21,16 (20,27-22,04) b*	6,58 (5,60-7,57) a*	9	0,98
	Quer	6,27 (5,35-7,18) b*	23,24 (21,95-24,53) b*	7,60 (6,31-8,87) a*	11	0,94
	Dawn	2,14 (1,68-2,61) c*	32,05 (29,87-34,25) a*	8,83 (6,63-11,03) a*	11	0,88

^aCultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS Ligeirinho; Pamp= BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn. ^bTodos= Total de adultos (machos+fêmeas). *Significativo pelo teste t ($P < 0,05$). Parâmetros estimados para emergência diária: a = pico da emergência diária dos adultos, b = tempo, em dias, necessário para ocorrer o pico da emergência diária, e c = desvio padrão do parâmetro b . Os valores estimados dos parâmetros do modelo cujos intervalos de confiança (IC95%) não se sobrepõem são considerados significativamente diferentes.

Tabela Suplementar 1.9 Resumo das análises de regressão não-linear das curvas mostradas na Fig. 2 para a emergência acumulada normalizada de adultos (F₁) do gorgulho-aquático Sul-americano de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2)

Variável (Saфра)	Modelo	Cultivar ^a	Parâmetros estimados do modelo (IC95%)			GL _{Erro}	R ²	
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			
Emergência acumulada normalizada (1)	Todos ^b $y = a/(1 + \exp(-(x - b)/c))$	Atal	99,99 (96,24-104,12) a*	25,81 (24,47-27,11) a*	5,56 (4,59-6,65) a*	11	0,98	
		Firm	99,99 (97,95-105,44) a*	25,98 (25,22-26,75) a*	4,88 (4,26-5,54) a*	11	0,99	
		Lige	99,99 (98,56-103,36) a*	17,56 (16,99-18,12) b*	4,43 (3,97-4,91) a*	11	0,99	
		Pamp	99,99 (99,08-100,63) a*	18,35 (18,02-18,69) b*	3,96 (3,68-4,25) b*	11	0,99	
		Quer	99,99 (98,99-102,34) a*	17,39 (17,10-17,66) b*	3,62 (3,38-3,87) b*	11	0,99	
		Dawn	99,99 (96,69-104,30) a*	27,57 (26,62-28,45) a*	5,06 (4,32-5,80) a*	11	0,99	
	Macho	$y = a/(1 + \exp(-(x - b)/c))$	Atal	99,99 (91,89-108,10) a*	25,75 (23,62-27,89) a*	6,05 (4,29-7,79) a*	11	0,98
			Firm	99,99 (93,98-106,01) a*	24,29 (22,67-25,92) a*	5,94 (4,49-7,29) a*	11	0,98
			Lige	99,99 (96,90-103,09) a*	16,72 (15,81-17,63) b*	4,95 (4,15-5,74) a*	11	0,99
			Pamp	99,99 (98,36-101,64) a*	17,91 (17,47-18,36) b*	4,16 (3,77-4,59) a*	11	0,99
			Quer	99,99 (98,47-101,53) a*	16,98 (16,57-17,39) b*	3,82 (3,46-4,58) a*	11	0,99
			Dawn	99,88 (94,98-105,29) a*	25,37 (24,13-26,72) a*	4,90 (3,89-6,04) a*	11	0,99
Fêmea	$y = a/(1 + \exp(-(x - b)/c))$	Atal	99,99 (96,47-107,22) a*	25,93 (24,77-27,06) b*	5,03 (4,19-5,96) a*	11	0,99	
		Firm	99,99 (98,95-101,09) a*	28,34 (28,00-29,68) a*	3,64 (3,35-3,94) b*	11	0,99	
		Lige	99,99 (99,08-100,71) a*	18,25 (17,88-18,62) c*	3,89 (3,58-4,22) ab*	11	0,99	
		Pamp	99,99 (99,26-100,51) a*	18,78 (18,50-19,04) c*	3,75 (3,53-3,99) b*	11	0,99	
		Quer	99,98 (98,13-100,38) a*	17,77 (17,55-17,97) c*	3,41 (3,22-3,99) b*	11	0,99	
		Dawn	99,99 (96,42-105,48) a*	30,40 (29,60-31,09) a*	4,45 (3,92-4,98) ab*	10	0,99	

Emergência acumulada normalizada (2)	Todos	$y = a/(1 + \exp(-(x - b)/c))$	Atal	99,99 (95,00-104,18) a*	26,61 (24,81-28,29) a*	6,52 (5,28-7,93) a*	11	0,98
			Firm	99,99 (97,07-103,17) a*	28,59 (27,63-29,52) a*	4,84 (4,07-5,67) a*	11	0,99
			Lige	99,99 (96,42-104,28) a*	18,41 (17,21-19,47) b*	5,68 (4,77-6,63) a*	11	0,99
			Pamp	99,99 (97,70-102,95) a*	18,75 (18,07-19,34) b*	4,74 (4,20-5,29) a*	11	0,99
			Quer	99,99 (99,04-100,84) a*	18,71 (18,24-19,17) b*	5,48 (5,07-5,91) a*	10	0,99
			Dawn	99,99 (96,81-105,22) a*	28,95 (27,79-30,08) a*	5,76 (4,89-6,72) a*	11	0,99
	Macho	$y = a/(1 + \exp(-(x - b)/c))$	Atal	99,99 (93,49-108,21) a*	25,31 (22,93-27,41) a*	7,35 (5,78-9,16) a*	11	0,97
			Firm	99,99 (96,93-105,75) a*	26,48 (25,34-27,61) a*	5,63 (4,76-6,57) ab*	11	0,99
			Lige	99,45 (94,01-103,98) a*	16,67 (14,92-18,23) b*	5,72 (4,39-7,16) ab*	11	0,98
			Pamp	99,32 (96,17-105,09) a*	16,55 (15,61-17,46) b*	4,64 (3,89-5,43) b*	11	0,99
			Quer	99,99 (98,86-103,05) a*	15,45 (14,90-15,99) b*	6,12 (5,61-6,67) a*	10	0,99
			Dawn	99,99 (94,63-106,92) a*	27,66 (25,71-29,47) s*	6,79 (5,45-8,34) a*	11	0,98
	Fêmea	$y = a/(1 + \exp(-(x - b)/c))$	Atal	99,99 (95,31-105,23) a*	27,65 (26,06-29,15) b*	5,70 (4,60-6,96) a*	11	0,98
			Firm	99,99 (95,61-106,00) a*	30,20 (29,19-31,13) a*	3,96 (3,11-4,82) a*	11	0,99
			Lige	99,99 (97,46-104,31) a*	19,88 (18,96-20,76) c*	5,31 (4,59-6,08) a*	11	0,99
			Pamp	99,99 (98,19-101,05) a*	20,69 (20,16-21,19) c*	4,36 (3,94-4,78) a*	11	0,99
			Quer	99,99 (99,15-100,69) a*	21,12 (20,71-21,82) c*	4,51 (4,26-4,78) a*	11	0,99
			Dawn	99,99 (97,48-103,87) a*	30,00 (29,24-30,75) a*	4,66 (4,09-5,28) a*	11	0,99

^aCultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS Ligeirinho; Pamp= BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn. ^bTodos= Total de adultos (machos+fêmeas). *Significativo pelo teste t ($P < 0,05$). Parâmetros estimados para emergência acumulada normalizada: a = assíntota do modelo, ou emergência acumulada máxima, b = ponto de inflexão, ou dias necessários para atingir 50% da emergência acumulada, e c = inclinação da curva/coeficiente angular (*slope*). Os valores estimados dos parâmetros do modelo cujos intervalos de confiança (IC95%) não se sobrepõem são considerados significativamente diferentes.

Tabela Suplementar 1.10 Resumo da ANOVA para razão sexual, razão de emergência e peso [Todos (total), Macho e Fêmea)] de adultos (F₁) do gorgulho-aquático Sul-americano de seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostrados na Tabela 6

Fonte de variação	Safra	Variável (Adulto)	GL _{Trat}	QM	P
Tratamento (Cultivar)	1	Razão sexual	5	0,002	0,672 ^{ns}
		Razão de emergência	5	0,070	0,020*
		Peso (Todos)	5	0,073	<0,001*
		Peso (Macho)	5	0,016	0,309 ^{ns}
		Peso (Fêmea)	5	0,183	<0,001*
	2	Razão sexual	5	0,004	0,510 ^{ns}
		Razão de emergência	5	0,378	0,858 ^{ns}
		Peso (Todos)	5	0,077	<0,001*
		Peso (Macho)	5	0,006	0,869 ^{ns}
		Peso (Fêmea)	5	0,286	<0,001*
Linha	1	Razão sexual	5	0,003	0,467 ^{ns}
		Razão de emergência	5	0,071	0,015*
		Peso (Todos)	5	0,006	0,543 ^{ns}
		Peso (Macho)	5	0,018	0,262 ^{ns}
		Peso (Fêmea)	5	0,003	0,971 ^{ns}
	2	Razão sexual	5	0,003	0,612 ^{ns}
		Razão de emergência	5	0,283	0,034*
		Peso (Todos)	5	0,013	0,328 ^{ns}
		Peso (Macho)	5	0,026	0,212 ^{ns}
		Peso (Fêmea)	5	0,009	0,705 ^{ns}
Coluna	1	Razão sexual	5	0,007	0,081 ^{ns}
		Razão de emergência	5	0,013	0,640 ^{ns}
		Peso (Todos)	5	0,013	0,128 ^{ns}
		Peso (Macho)	5	0,033	0,052 ^{ns}
	Peso (Fêmea)	5	0,011	0,674 ^{ns}	
	2	Razão sexual	5	0,001	0,893 ^{ns}

		Razão de emergência	5	0,179	0,135 ^{ns}	
		Peso (Todos)	5	0,006	0,702 ^{ns}	
		Peso (Macho)	5	0,019	0,349 ^{ns}	
		Peso (Fêmea)	5	0,008	0,729 ^{ns}	
Resíduo	1	Razão sexual	20	0,003	-	
		Razão de emergência	20	0,019	-	
		Peso (Todos)	20	0,007	-	
		Peso (Macho)	20	0,012	-	
		Peso (Fêmea)	20	0,017	-	
		Razão sexual	20	0,004	-	
	2	Razão de emergência	20	0,093	-	
		Peso (Todos)	20	0,011	-	
		Peso (Macho)	20	0,017	-	
		Peso (Fêmea)	20	0,015	-	
		Razão sexual			10,890	
		Razão de emergência			14,760	
	CV (%)	1	Peso (Todos)		4,000	
			Peso (Macho)		6,740	
Peso (Fêmea)				5,430		
Razão sexual				12,670		
2		Razão de emergência		31,110		
		Peso (Todos)		4,520		
		Peso (Macho)		7,090		
		Peso (Fêmea)		4,430		

^{ns}Não significativo ou *significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Material Suplementar 2

Caracterização da resistência em cultivares de arroz ao gorgulho-aquático Sul-americano (Col.: Curculionidae): antixenose ou antibiose?

Juliano de Bastos Pazini^{1*}, Enio Júnior Seidel², Fernando Felisberto da Silva³, Anderson Dionei Grützmacher¹, José Francisco da Silva Martins⁴

¹Federal University of Pelotas, Faculty of Agronomy “Eliseu Maciel”, Department of Plant Protection. Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

²Federal University of Santa Maria, Center of Exact and Natural Sciences, Department of Statistic. Roraima Ave, Postal Code 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

³Federal University of Pelotas, Institute of Biology, Department of Botany. Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

³Federal University of Pampa, São Gabriel Campus. Antonio Trilha Ave, Postal Code 97300-000, São Gabriel, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

⁴Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Temperate Agriculture. BR 392, km 79, Monte Bonito, Postal Code 96010-971, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

*Corresponding author:

Juliano de Bastos Pazini

julianopazzini@hotmail.com; +55 53 3275-7376 | +55 55 99934-6181

Tabela Suplementar 2.1 Resumo da ANOVA para número de ovos do gorgulho-aquático Sul-americano contabilizados aos ^a5, 8 e 11 Dias Após a Inundação (DAI) em seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 (1) e 2017/18 (2), mostrado na Tabela Suplementar 2.2

Fonte de variação	Safra	Variável (Ovo) em épocas ^a	GL _{Trat}	QM	P
Tratamento (Cultivar)	1	5	5	4,495	0,279 ^{ns}
		8	5	11,040	0,576 ^{ns}
		11	5	13,524	0,541 ^{ns}
	2	5	5	10,917	0,120 ^{ns}
		8	5	20,511	0,643 ^{ns}
		11	5	19,783	0,800 ^{ns}
Linha	1	5	5	3,945	0,347 ^{ns}
		8	5	15,357	0,399 ^{ns}
		11	5	10,490	0,667 ^{ns}
	2	5	5	9,516	0,160 ^{ns}
		8	5	35,111	0,360 ^{ns}
		11	5	17,850	0,832 ^{ns}
Coluna	1	5	5	0,896	0,923 ^{ns}
		8	5	27,974	0,126 ^{ns}
		11	5	47,424	0,058 ^{ns}
	2	5	5	2,983	0,693 ^{ns}
		8	5	41,111	0,279 ^{ns}
		11	5	106,383	0,067 ^{ns}
Resíduo	1	5	20	3,300	-
		8	20	14,161	-
		11	20	16,211	-
	2	5	20	4,883	-
		8	20	30,128	-
		11	20	42,933	-
CV (%)	1	5		40,750	
		8		50,640	

	11	33,130
	5	42,090
2	8	62,530
	11	45,450

^{ns}Não significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Tabela Suplementar 2.2 Densidade de ovos por planta do gorgulho-aquático Sul-americano contabilizados aos 5, 8 e 11 Dias Após a Inundação (DAI) em seis cultivares de arroz, em experimentos de livre escolha, no campo, nas safras 2016/17 e 2017/18

Cultivar ^a (Saфра)	Número (Época ^c)		
	(5)	(8)	(11)
Atal (1) ^b	5,67±1,07 a	9,75±3,00 a	11,08±1,06 a
Firm (1)	4,33±0,54 a	6,92±1,70 a	11,25±1,16 a
Lige (1)	4,66±0,57 a	6,58±0,87 a	11,92±2,44 a
Pamp (1)	3,00±0,61 a	6,00±0,83 a	13,67±1,51 a
Quer (1)	4,33±0,69 a	7,08±1,32 a	10,67±2,40 a
Dawn (1)	4,75±0,63 a	8,25±1,26 a	14,33±1,99 a
Atal (2)	6,82±1,50 a	11,67±4,32 a	13,15±1,38 a
Firm (2)	4,86±0,89 a	7,89±2,10 a	12,88±1,65 a
Lige (2)	6,00±0,89 a	8,64±1,78 a	15,44±4,20 a
Pamp (2)	3,50±0,53 a	6,44±0,96 a	14,73±2,00 a
Quer (2)	5,00±1,01 a	8,13±1,67 a	13,01±3,80 a
Dawn (2)	5,67±0,79 a	9,51±1,28 a	17,17±3,07 a

^aCultivares de arroz: Atal= BRS Atalanta; Firm= BRS Firmeza; Lige= BRS Ligeirinho; Pamp=

BRS Pampa CL; Quer= BRS Querência; Dawn= Dawn. ^bSafras: (1) 2016/17; (2) 2017/18;

^cNúmero médio (±EP) de ovos por planta contabilizados aos 5, 8 e 11 DAI. Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott ($P<0,05$)

3. Artigo 2

Fatores anatomorfológicos e bioquímicos da resistência de arroz ao gorgulho-aquático Sul-americano (Col.: Curculionidae)**

Morphoanatomical and biochemical factors of rice resistance to the South American rice water weevil (Col.: Curculionidae)

Juliano de Bastos Pazini

Keilor da Rosa Dorneles

Rosane Lopes Crizel

Enio Junior Seidel

Fábio Clasen Chaves

Juliana Aparecida Fernando

Leandro José Dallagnol

José Francisco da Silva Martins

Anderson Dionei Grützmacher

**Artigo redigido nas normas da revista "Journal of Pest Science" (versão em Português)

1 *Fatores anatomorfológicos e bioquímicos da resistência de arroz ao gorgulho-aquático Sul-*
2 *americano (Col.: Curculionidae)*

3 Juliano de Bastos Pazini^{1*}, Keilor da Rosa Dorneles¹, Rosane Lopes Crizel², Enio Junior
4 Seidel³, Fábio Clasen Chaves², Juliana Aparecida Fernando⁴, Leandro José Dallagnol¹, José
5 Francisco da Silva Martins⁵, Anderson Dionei Grützmacher¹

6 ¹Federal University of Pelotas, Faculty of Agronomy “Eliseu Maciel”, Department of Plant
7 Protection. Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

8 ²Federal University of Pelotas, Faculty of Agronomy “Eliseu Maciel”, Department of
9 Agroindustrial Science and Technology. Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900, Pelotas,
10 Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

11 ³Federal University of Santa Maria, Center of Exact and Natural Sciences, Department of
12 Statistic. Roraima Ave, Postal Code 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

13 ⁴Federal University of Pelotas, Institute of Biology, Department of Botany. Eliseu Maciel Ave,
14 Postal Code 96010-900, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

15 ⁵Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Temperate Agriculture. BR 392, km
16 79, Monte Bonito, Postal Code 96010-971, Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil.

17 *Corresponding author:

18 Juliano de Bastos Pazini

19 julianopazzini@hotmail.com; +55 53 3275-7376 | +55 55 99934-6181

20 *Declaração de contribuição dos autores*

21 J.F.S.M., A.D.G., J.L.D., J.A.F. e J.B.P. idealizaram a pesquisa. J.B.P. conduziu os
22 experimentos e coletou os dados de campo. K.R.D., R.L.C, F.C.C. e J.B.P. conduziram os testes
23 bioquímicos e analisaram esses dados. J.A.F. e J.B.P. conduziram os testes anatomorfológicos
24 e analisaram esses dados. E.J.S. analisou os dados de campo. J.B.P. escreveu o manuscrito.
25 Todos os autores contribuíram na interpretação dos resultados e no aperfeiçoamento geral do

26 manuscrito. Todos os autores apresentaram contribuições nas versões anteriores do manuscrito.
27 Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito.

28 *Resumo*

29 O presente estudo objetivou determinar os fatores morfoanatômicos e bioquímicos de
30 defesa de arroz a *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae) em duas
31 cultivares contrastantes, “Dawn” (resistente) e “BRS Pampa CL” (suscetível), selecionadas sob
32 condições naturais de infestação no campo. Não foram detectados efeitos de antixenose na
33 alimentação e oviposição de adultos do gorgulho-aquático (F₀) entre as cultivares. A anatomia
34 e morfologia adaxial de tecidos foliares de “BRS Pampa CL” e “Dawn” mostraram-se
35 semelhantes e parecem explicar a ausência de antixenose no processo de seleção hospedeira.
36 Entretanto, efeitos significativos de antibiose larval foram constatados. As atividades de
37 enzimas antioxidantes e as concentrações de compostos fenólicos e de lignina foram maiores
38 nas raízes de “Dawn” do que de “BRS Pampa CL”. “Dawn” apresentou incrementos
39 significativos nas estimativas das enzimas ascorbato peroxidase, peroxidase e polifenoloxidase,
40 de compostos fenólicos totais, do ácido fenólico *p*-cumárico e de lignina ao longo dos períodos
41 de início (15 Dias Após Inundação=DAI), pico (25 DAI) e declínio (35 DAI) da infestação
42 larval no campo. Além disso, houve aumento nas concentrações de compostos fenólicos totais,
43 dos ácidos ferúlico e *p*-cumárico e de lignina nas raízes infestadas (1-3; 5-7; 9 larvas)
44 comparadas às raízes não infestadas (0 larva), aos 25 DAI. Nesse período, “Dawn” exibiu
45 esclerênquima radicular arranjado em três camadas celulares lignificadas, substancialmente
46 distintas de “BRS Pampa CL”, independente da infestação. Os resultados desse estudo
47 fornecem a primeira demonstração que, juntos, esses fatores de resistência estão associados à
48 mortalidade e subnutrição larval e de adultos F₁ de *O. oryzae*, já que naturalmente causam
49 redução nutricional dos vegetais e efeitos citotóxicos em herbívoros.

50 *Palavras-chave: Oryzophagus oryzae*, interação planta-inseto, antibiose, estresse oxidativo,
51 lignina, enzimas antioxidantes

52 *Introdução*

53 O arroz (*Oryza sativa* L.) pode ser considerado um dos mais importantes cultivos
54 agrícolas, visto que é a principal fonte de alimento de mais da metade da população mundial.
55 O ataque de diversas espécies de insetos constitui-se num dos principais fatores deletérios à
56 produtividade dos arrozais (Ling & Weilin 2016). Relata-se a existência de cerca de 1.104
57 espécies de insetos como pragas em arrozais em todo o mundo (Yasumatsu & Torii 1968),
58 dentre os quais os gorgulhos-aquáticos (RWW) (Coleoptera: Curculionidae) [*Lissorhoptrus*
59 *oryzophilus* (Kuschel), nas Américas, Ásia e Europa (Saito et al. 2005, Lupi et al. 2007, Aghae
60 & Godfrey 2014), *Lissorhoptrus brevirostris* (Suffrian), na América Central (Meneses &
61 Ravelo 1979), e *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima), na América do Sul (Wibmer & O'Brien
62 1986)] são altamente nocivos aos arrozais irrigados por inundação, ocasionando perdas de até
63 30% na produtividade (Martins & Cunha 2015, Saad et al. 2018).

64 No Brasil, estima-se a ocorrência crônica de *O. oryzae* em mais de 65% da área cultivada
65 no Sul do país (Guedes et al. 2015), cuja região praticamente responde por toda a produção
66 nacional (FAOSTAT 2016, CONAB 2019). O emprego de inseticidas químicos, sobretudo
67 aplicados às sementes, têm sido o método predominante de controle do inseto nos principais
68 polos orizícolas do Brasil (Oliveira & Fiuza 2013). Apesar de altamente eficiente, a
69 dependência de métodos químicos de controle, além de elevar os custos de produção, provoca
70 impactos negativos no agroecossistema (Martins et al. 2017), que comprometem a
71 sustentabilidade dos arrozais.

72 A resistência de plantas, que se destaca como uma estratégia capaz de reduzir
73 populações da praga a níveis inferiores ao de dano econômico sem causar distúrbios ambientais
74 (Cao et al. 2015), é um componente chave para o manejo integrado de gorgulhos-aquáticos do

75 arroz no mundo (Stout et al. 2001, Vyavhare et al. 2016). Os efeitos de uma planta resistente
76 que manifestam-se sobre os artrópodes são categorizados em antixenose ou não-preferência e
77 antibiose (Painter 1951); tolerância, porém, não interfere nos herbívoros, visto que é a categoria
78 que trata da capacidade de uma planta suportar a herbivoria sem qualquer declínio na produção
79 ou qualidade do produto (Painter 1951, Stout 2013). Antixenose e antibiose já foram
80 identificadas em plantas de arroz afetando populações dos gorgulhos-aquáticos *L. oryophilus*
81 (Smith & Robinson 1982, Stout & Riggio 2002, Saad et al. 2018) e *O. oryzae* (Silva et al. 2003,
82 Neves et al. 2011, Lima et al. 2019).

83 Os mecanismos de defesa das plantas hospedeiras, que afetam diretamente o
84 desempenho dos insetos, podem ser constitutivos, quando compreende fatores físicos,
85 morfológicos ou químicos que estão sempre presentes na planta; ou induzidos, quando a defesa
86 é desencadeada em resposta à herbivoria e inclui modificação e acúmulo de metabólitos
87 normais da planta (Smith 2005). Smith & Clement (2012) destacaram que as defesas diretas no
88 tecido vegetal, repelentes ou tóxicos aos insetos, podem incluir barreiras estruturais, como
89 rigidez, espessamento, tricomas e composição da epiderme. Além disso, podem incluir a
90 produção de metabólitos secundários (aleloquímicos), com atividades antinutricionais, a
91 exemplo de inibidores de enzimas digestivas, lectinas, compostos nitrogenados, terpenóides e
92 compostos fenólicos.

93 Alguns mecanismos de defesa direta de plantas cultivadas, reguladores de antixenose e
94 antibiose em insetos, têm sido extensivamente relatados (War et al. 2012). Em arroz, a
95 diversidade genética das cultivares tem produzido características anatomorfológicas estruturais
96 e da epiderme que se mostraram inapropriadas à alimentação e oviposição de diferentes
97 espécies de brocas-do-colmo (Heinrichs 1994). As plantas respondem ao estresse oxidativo e
98 produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), ocasionados pela herbivoria, mediante a
99 indução de enzimas antioxidantes (Soffan et al. 2014). Enzimas antioxidantes integram

100 mecanismos bioquímicos de defesa vegetal e já foram identificadas desempenhando importante
101 papel na resistência de arroz à espécies de insetos-praga (Rani & Jyothsna 2010, Duan et al.
102 2014, Guo et al. 2019). Os produtos enzimáticos podem fortalecer a estrutura da parede celular
103 vegetal, reduzir o valor nutricional e a digestibilidade das plantas, com efeitos citotóxicos
104 diretos no crescimento e desenvolvimento dos artrópodes (Cao et al. 2015, Jannoey et al. 2015).

105 No entanto, desde os primórdios dos estudos de resistência de plantas de arroz a
106 gorgulhos-aquáticos, por volta da década de 1980, quando algumas cultivares, como a “Dawn”,
107 revelaram, pela primeira, baixa infestação de larvas (“bicheira-da-raiz”) (Him 1980, Smith &
108 Robinson 1982), há pouco entendimento sobre a reação da planta resistente frente à
109 colonização, alimentação e desenvolvimento desse inseto, tampouco algum estudo avançou no
110 conhecimento a respeito dos fatores morfológicos ou químicos de defesa condicionantes de
111 antixenose e/ou antibiose. Presume-se que o desconhecimento das causas da resistência seja um
112 dos elementos responsáveis para a perda progressiva do nível de resistência a *O. oryzae* à
113 medida que se selecionam plantas visando a elevação do potencial produtivo e qualidade
114 industrial (Magalhães Júnior et al. 2004, Mitchell et al. 2016). Prova disso é que há somente
115 um registro de cultivar comercial com característica de resistência ao gorgulho-aquático nos
116 últimos 20 anos, no Brasil (Magalhães Júnior et al. 2004, Reunião 2018). Assim, identificar
117 cultivares de arroz resistentes ao gorgulho-aquático bem como os fatores determinantes da
118 resistência representa avanço no conhecimento teórico com benefícios práticos sem precedentes
119 (Stout & Davis 2009, Vyavhare et al. 2016, Saad et al. 2018).

120 O objetivo do presente estudo foi determinar os fatores morfoanatômicos e bioquímicos
121 de plantas de arroz, determinantes da resistência ao gorgulho-aquático Sul-Americano *O.*
122 *oryzae* no campo, na perspectiva de proporcionar melhor entendimento dos mecanismos
123 envolvidos na defesa direta de arroz a *O. oryzae*. Esse conhecimento é crucial para programas

124 de melhoramento do arroz visando o desenvolvimento de cultivares elites com resistência ao
125 gorgulho-aquático.

126 *Material e Métodos*

127 *Avaliação preliminar de campo para resistência de cultivares de arroz ao RWW*

128 Os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas 2016/17 e 2017/18, em talhões
129 nivelados de um Planossolo Háptico eutrófico típico, às margens de uma área de 100 hectares,
130 da Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, Capão-do-Leão, RS,
131 Brasil (31°48'45"S; 52°27'59"W). Seis cultivares comerciais de arroz compuseram os
132 tratamentos (Tabela 1) em experimentos de múltipla escolha, que foram delineados em
133 quadrado latino (seis tratamentos e seis repetições), a fim de garantir igual probabilidade de
134 infestação natural do gorgulho-aquático nas parcelas por meio do controle de possíveis
135 diferenças na espessura da lâmina d'água de irrigação (Büttow et al. 2017). Nas duas safras,
136 cada parcela (n=36) conteve 100 plantas, dispostas em cinco fileiras espaçadas 30 cm, cada
137 uma com 20 plantas espaçadas 20 cm (4,56 m²). As mudas, produzidas em casa-de-vegetação,
138 foram transplantadas no campo, aos 20 dias pós-emergência, no mês de outubro. Passados três
139 dias do transplante, a lâmina d'água de irrigação foi gradativamente aumentada até 15 cm,
140 condicionando naturalmente a infestação do gorgulho-aquático (Büttow et al. 2017).

141 *Comportamento de alimentação e oviposição do RWW*

142 A preferência alimentar do gorgulho-aquático foi estimada nas diferentes cultivares
143 contabilizando-se o número de lesões de alimentação (raspagens) em tecidos foliares, de 30
144 plantas aleatoriamente escolhidas em cada parcela, aos 5, 8 e 11 dias pós-estabilização da
145 lâmina d'água de irrigação (DAI= Dias Após a Inundação). Ainda nesses períodos, a atividade
146 de oviposição do gorgulho-aquático foi determinada. Coletaram-se seis amostras de plantas em
147 cada parcela, sendo os tecidos foliares - segmento de bainha desde o colar até a base da região

148 de inserção das raízes - processadas conforme Lanka et al. (2013) para contagem do número de
149 ovos.

150 Densidade e desempenho biológico do RWW

151 A densidade larval foi determinada em seis amostras de solo e raízes, que foram
152 coletadas em cada parcela, de acordo com método de Neves et al. (2011), aos 15, 25 e 35 DAI,
153 períodos de início, pico e declínio populacional das larvas, respectivamente (Carbonari et al.
154 2000). As larvas contabilizadas em cada amostra, nos diferentes períodos, foram coletadas e
155 mantidas durante dois dias em laboratório (8 ± 2 °C) para registro do peso individual (Lima et
156 al. 2019). O efeito das cultivares de arroz na emergência dos adultos descendentes (geração F₁)
157 foi determinada conforme método descrito por Martins et al. (2001), recentemente utilizado por
158 Lima et al. (2019). Coletaram-se quatro amostras de solo e raízes em cada parcela, aos 30 DAI,
159 que foram agrupadas e submersas 10 cm em água, em vaso plástico (20 L), encobertos com
160 tecido *voile*, para captura e contagem de adultos do gorgulho-aquático, em casa de vegetação.
161 A primeira contagem ocorreu quatro dias após a coleta, prosseguindo em intervalos de quatro
162 dias, até que nenhum adulto fosse encontrado por três dias consecutivos nos vasos/repetições.
163 Calculou-se o tempo necessário para emergência de 50% da população de adultos em cada
164 cultivar (TE50%). Além disso, os adultos capturados em cada vaso, nos períodos de avaliação,
165 foram mantidos em laboratório (8 ± 2 °C) por até dois dias para pesagem individual.

166 *Características de defesa em cultivares de arroz contrastantes*

167 Os fatores das plantas de arroz associados a resistência a *O. oryzae* foram determinados
168 em duas cultivares discrepantes quanto ao grau de suscetibilidade ao inseto, que foram
169 selecionadas com base nas avaliações preliminares de resistência, no campo, conforme descrito
170 anteriormente.

171 Fatores anatomorfológicos

172 Os fatores anatomorfológicos das cultivares foram observados a partir de amostras de
173 cinco cm de comprimento, que foram coletadas em torno da região central, de tecidos foliares
174 localizados no colmo principal, oriundas das plantas utilizadas nas avaliações de preferência
175 alimentar e de oviposição, aos 8 DAI. Quanto aos tecidos radiculares, as amostras foram
176 coletadas das plantas utilizadas na avaliação de densidade larval, aos 25 DAI, selecionando as
177 raízes dos primeiros nove centímetros do sistema radicular, cujo segmento é conhecido por
178 abrigar os maiores índices de infestação de larvas (Neves et al. 2011). Em ambos os casos,
179 utilizaram-se seis repetições, advindas de amostras de uma planta de cada parcela. De imediato
180 a coleta, as amostras dos tecidos vegetais foram fixadas em solução de Karnovsky (1965),
181 modificado mediante uso de tampão fosfato (pH= 7,2), sendo, posteriormente, desidratadas em
182 série etílica ascendente.

183 Para caracterização morfológica da superfície, as amostras de tecidos foliares de ambas
184 cultivares prosseguiram para dessecamento pelo método do ponto crítico em dióxido de
185 carbono líquido. Posteriormente a secagem, as amostras foram montadas em *stubs* de alumínio,
186 onde receberam recobrimento de ouro (Desk V, Denton Vacuum, Moorestown, Estados
187 Unidos). As observações eletromicrográficas e registros fotográficos foram realizadas em
188 microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM-6610 (JEOL, Tóquio, Japão), sob tensão de
189 aceleração de 15 kV e distância de trabalho de 15-17 mm.

190 Para caracterização anatômica dos tecidos foliares e radiculares, as amostras foram
191 infiltradas em resina histológica plástica (HistoResin, Leica Biosystems, Nussloch, Alemanha),
192 conforme instruções do fabricante. Após a secagem, as amostras foram seccionadas
193 transversalmente em micrótomo rotativo numérico manual ANCAP 297 (ANCAP
194 Equipamentos eletro-eletrônicos, São Paulo, Brasil), equipado com navalha perfil alto
195 descartável (Feather Safety Razor, Osaka, Japão). As secções de 7 μ m de espessura obtidas
196 foram transferidas para lâminas de vidro (26 x 76 mm), onde foram coradas com azul de

197 toluidina (0,05%) em tampão fosfato e citrato (pH= 4,5) e montadas em resina sintética Entellan
198 Novo (Merck, Darmstadt, Alemanha). Realizou-se, ainda, teste histoquímico para identificação
199 de compostos fenólicos estruturais ou lignina nos tecidos radiculares, sendo os cortes
200 transversais tratados com solução de floroglucina ácida, segundo Johansen (1940). Os
201 caracteres dos tecidos vegetais de ambas cultivares foram registrados em câmera Leica DC300F
202 (Leica Biosystems, Nussloch, Alemanha), acoplada em estereomicroscópio Discovery V20
203 (Zeiss, Göttingen, Alemanha).

204 Ensaio enzimático e estimativas bioquímicas

205 Para determinação das bases bioquímicas de defesa das plantas às larvas de *O. oryzae*
206 utilizaram-se as amostras de raízes oriundas da avaliação da densidade de larvas em cada planta
207 das cultivares, aos 15, 25 e 35 DAI. De imediato à coleta e à contabilização de larvas, seccionou-
208 se o sistema radicular junto à região mais basal dos colmos, sendo as raízes congeladas em
209 nitrogênio líquido e armazenadas em ultrafreezer (-70 °C). Para tal, selecionaram-se, também,
210 as raízes localizadas nos primeiros nove centímetros do sistema radicular (Neves et al. 2011).

211 O extrato bruto utilizado na determinação das atividades enzimáticas foi obtido segundo
212 Dorneles et al. (2017). As atividades de superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT),
213 peroxidase (POX) e polifenoloxidase (PPO) foram determinadas conforme Dorneles et al.
214 (2017); ascorbato peroxidase (APX) foi determinada conforme Nakano & Asada (1981). A
215 atividade de SOD (EC 1.15.1.1) foi determinada pela quantificação colorimétrica da
216 fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil); a atividade
217 enzimática específica baseou-se na quantidade da enzima que inibiu 50% da fotorredução do
218 NBT, sendo os resultados representados em unidade de SOD mg⁻¹ de proteína. CAT (EC
219 1.11.1.6) foi determinada pela degradação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (Merck, São
220 Paulo, Brasil), e expressada em μmol de H₂O₂ degradado min⁻¹ mg⁻¹ de proteína. As atividades
221 de POX (EC 1.11.1.7) e PPO (EC 1.10.3.1) foram obtidas por meio da quantificação

222 colorimétrica da oxidação do pirogalol (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil), sendo os resultados
223 representados em mol de purpurogalina produzida $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína, usando um
224 coeficiente de extinção de $2,47 \text{ mM cm}^{-1}$. APX (EC 1.11.1.11) foi determinada com base na
225 quantificação da taxa de oxidação do ascorbato (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil), sendo
226 expressada em μmol de ascorbato oxidado $\text{min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína. A concentração de proteínas
227 utilizada na determinação da atividade das enzimas foi obtida conforme método descrito em
228 Bradford (1976), usando albumina sérica bovina como padrão.

229 Os compostos fenólicos solúveis totais (TSPC) foram extraídos a partir de 0,1 g de
230 amostras de raízes das cultivares, segundo método de Dallagnol et al. (2015). Determinou-se a
231 concentração de TSPC por meio do reagente de fenol Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, São
232 Paulo, Brasil), sendo os resultados expressados em termos de ácido pirogálico, em μg de
233 TSPC g^{-1} matéria fresca (mf). Utilizou-se o ácido pirogálico P.A./A.C.S. (Synth, Diadema,
234 Brasil) na determinação da curva padrão para quantificação de TSPC. O resíduo insolúvel
235 obtido a partir da extração dos compostos fenólicos juntamente do ácido tioglicólico (Sigma-
236 Aldrich, São Paulo, Brasil) foram utilizados para determinar a concentração de lignina nas
237 cultivares [derivados de lignina-ácido tioglicólico (LTGA)] (Dorneles et al. 2017). A
238 concentração de LTGA foi representada em $\mu\text{g g}^{-1}$ mf usando lignina alcalina, éter 2-
239 hidroxipropil (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil) como padrão. As quantificações de SOD,
240 CAT, POX, PPO, APX, proteína, TSPC e LTGA foram efetuadas em espectrofotômetro UV-
241 visível Bel UV-UM51 (Bel Engineering, Milão, Itália).

242 Além disso, os extratos obtidos a partir das amostras de raízes para quantificação de
243 TSPC foram analisadas via cromatografia líquida/espectrometria de massas (LC-MS/MS),
244 visando a separação dos compostos fenólicos. A análise ocorreu em cromatógrafo líquido
245 (UFLC, Shimadzu, Kyoto, Japão) acoplado a espectrômetro de massas de alta performance do
246 tipo quadrupolo-tempo de voo LC-ESI-Q/TOF MS (Maxis Impact, Bruker Daltonics, Bremen,

247 Alemanha). Para a separação cromatográfica foi utilizada a pré coluna Luna C18 (2 x 4 mm) e
248 a coluna Luna C18 (2 x 150 mm, 100 Å, 3 µm) (Phenomenex, Torrance, Estados Unidos). As
249 fases móveis utilizadas para eluição constituiu-se de água acidificada com 0,1% de ácido
250 fórmico (pH= 4,0) (eluente A) e acetonitrila com 0,1% de ácido fórmico (eluente B); adotou-se
251 o seguinte gradiente de eluição: 10% de B= 0,00-2,00 min; 75% de B= 2,01-15,00 min; 90%
252 de B= 15,01-21,00 min; 10% de B= 21,00-30,00 min; o tempo total da corrida foi de 30 min.
253 O volume de injeção foi de 10 µL, com vazão ajustada em 0,2 mL min⁻¹, sendo a temperatura
254 da coluna mantida em 40 °C. O espectrômetro de massas foi operado no modo de ionização
255 negativa (ESI-), sendo os espectros de massa adquiridos no intervalo de 50 a 1200 *m/z*.
256 Utilizaram-se os seguintes parâmetros de aquisição: tensão capilar de 4 kV; pressão do gás de
257 nebulização (N₂) de 2 Bar; fluxo de gás de secagem de 8 L min⁻¹; temperatura do gás de secagem
258 de 180 °C; colisão de RF de 150 Vpp; tempo de transferência de 70 µs; armazenamento pré-
259 pulso de 5 µs. O equipamento foi calibrado com formiato de sódio (10 mmol L⁻¹),
260 correspondente a todo intervalo de aquisição dos espectros de massa (50-1200 *m/z*). Ajustou-
261 se a energia de colisão automaticamente para experimentos MS/MS (100 *m/z*, 15 eV; 500 *m/z*,
262 35 eV; 1000 *m/z*, 50 eV), usando nitrogênio como gás de colisão.

263 *Processamento e análise dos dados*

264 Os dados obtidos das seis cultivares, nas avaliações preliminares de resistência, no
265 campo, a partir de variáveis para caracterização da antixenose: número de lesões de alimentação
266 foliar e número de ovos (média de 5, 8 e 11 DAI), e os dados obtidos a partir de variáveis para
267 caracterização da antibiose: número e peso de larvas (média de 15, 25 e 35 DAI), TE50% e
268 peso de adultos descendentes (média de machos e fêmeas) foram submetidos à análise
269 “*permutational Multivariate Analysis of Variance*” (*permutational MANOVA*) (Anderson
270 2001), com Pillai *post-hoc* (999 permutações), por meio dos pacotes “vegan” e
271 “RVAideMemoire”. *Permutational MANOVA* e Pillai *post-hoc* foram empregados para

272 distinguir as cultivares quanto à suscetibilidade ao gorgulho-aquático, que se baseou no menor
273 valor de P oriundo das comparações aos pares ($P < 0,05$). Selecionaram-se as duas cultivares
274 mais contrastantes (suscetível e resistente), nas quais, realizaram-se as investigações sobre as
275 características de defesa das plantas de arroz, reguladoras da resistência ao gorgulho-aquático.

276 A partir das amostras de raízes coletadas nas contagens de larvas, aos 15, 25 e 35 DAI,
277 agruparam-se as amostras, das duas cultivares discrepantes, em dois conjuntos: *i*) amostras que
278 apresentaram infestação natural de larvas igual a infestação média do tratamento (cultivar); *ii*)
279 amostras que apresentaram infestação natural de larvas nos seguintes níveis: 1= controle, 0
280 larva (plantas que não apresentaram infestação larval foram usadas como controle); 2= 1-3
281 larvas; 3= 5-7 larvas; 4= 9 larvas. Assim, as estimativas bioquímicas e enzimáticas de defesa
282 nas raízes foram analisadas sob duas abordagens: *i*) estimativas de SOD, CAT, APX, POX,
283 PPO, compostos fenólicos e LTGA nas amostras de plantas que apresentaram infestação larval
284 igual a infestação média do tratamento, em cada período de coleta (15, 25 e 35 DAI), em
285 esquema fatorial 2 (cultivares) x 3 (períodos); *ii*) estimativas de SOD, CAT, APX, POX, PPO,
286 compostos fenólicos e LTGA nas amostras de plantas que apresentaram infestação larval nos
287 níveis: 1= 0 larva; 2= 1-3 larvas; 3= 5-7 larvas; 4= 9 larvas, aos 25 DAI, em esquema fatorial
288 2 (cultivares) x 4 (níveis de infestação). Nesses casos, particularmente, adotou-se o
289 delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições, cada uma
290 representada por uma planta coletada em cada parcela.

291 Para análise dos dados obtidos de LC-MS/MS, visando identificação e quantificação
292 dos compostos fenólicos, de modo direcionado, utilizaram-se como padrões externos os ácidos
293 fenólicos 4-hidroxibenzoico, cafeico, clorogênico, ferúlico, gálico, *p*-cumárico, protocatecuico,
294 sinápico, siríngico e vanílico (Sigma-Aldrich, São Paulo, Brasil). A identificação foi realizada
295 por meio da comparação dos tempos de retenção (RT) de cada composto presente nas amostras
296 com àqueles dos padrões externos. Os compostos identificados foram quantificados mediante

297 comparação de sua área de pico com a área da curva de calibração de cada padrão. Para isso,
298 utilizou-se o *DataAnalysis 4.2 software* (Bruker Daltonics, Bremen, Alemanha).

299 Os dados de SOD, CAT, APX, POX, PPO, compostos fenólicos e LTGA, em todas as
300 situações, foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de
301 homocedasticidade de variâncias de Bartlett, sendo aplicada a transformação logarítmica
302 $[\log(x)]$ aos dados das variáveis sem distribuição normal. Diante disso, realizou-se análise de
303 variância (ANOVA), com Scott-Knott *post-hoc* ($P \leq 0,05$), por meio dos pacotes “ExpDes” e
304 “easyanova”. As análises estatísticas dos dados, usando os pacotes “vegan”,
305 “RVAideMemoire”, “ExpDes” e “easyanova”, foram efetuadas pelo R *software* (R
306 Development Core Team 2015).

307 *Resultados*

308 *Alimentação e oviposição do RWW*

309 Os resultados indicaram ausência de efeitos de antixenose inibidores da atividade
310 alimentar e de oviposição de *O. oryzae* nos tecidos foliares das seis cultivares de arroz, nas
311 safras de 2016/17 (1) e 2017/18 (2) (Tabela 2). A *permutational MANOVA* não mostrou
312 diferenças significativas entre as cultivares quanto às medidas relativas ao número de lesões de
313 alimentação ou raspagens e número de ovos do gorgulho-aquático, nos tecidos foliares,
314 contabilizados aos 5, 8 e 11 DAI [(1) $gl= 5$, $F_{model}= 0,95$, $P= 0,51$; (2) $gl= 5$, $F_{model}= 1,55$, $P=$
315 $0,13$] (Tabela 2).

316 *Desempenho biológico do RWW*

317 Evidenciaram-se efeitos significativos de antibiose sobre *O. oryzae* entre as seis
318 cultivares de arroz, nas safras de 2016/17 (1) e 2017/18 (2) (Tabela 3). A análise *permutational*
319 *MANOVA* distinguiu significativamente as cultivares quanto ao número e peso larval, TE50%
320 e peso de adultos descendentes [(1) $gl= 5$, $F_{model}= 18,98$, $P= 0,001$; (2) $gl= 5$, $F_{model}= 0,78$, $P=$
321 $0,001$]. Com base nos valores de P oriundos das comparações por pares entre as cultivares,

322 notou-se que “BRS Pampa CL”, “BRS Querência” e “BRS Ligeirinho” foram
323 significativamente diferentes ($P < 0.05$) de “BRS Atalanta”, “BRS Firmeza” e “Dawn” (Tabela
324 3). Além disso, identificou-se que a cultivar BRS Pampa CL mostrou-se a mais discrepante da
325 cultivar “Dawn” [(1) $P = 0,0037$; (2) $P = 0,0025$], portanto, suscetível a *O. oryzae*, já que
326 “Dawn” foi considerada como padrão de resistência (Tabela 1).

327 *Características de defesa em cultivares de arroz contrastantes*

328 Fatores anatomorfológicos

329 As características morfológicas foliares são mostradas na Figura 1. Os exames visuais
330 apontaram alta similaridade entre as cultivares que, basicamente, constituíram-se pela elevada
331 presença de células de sílica, caracterizadas por papilas e protuberâncias em formato de
332 “verrugas”, na superfície adaxial (Figs 1 a, b). “Dawn” apresentou mais células de sílica, porém,
333 estruturalmente menores (Fig 1 a), evidenciado diante da comparação com as avantajadas
334 estruturas em formato de “verrugas” em “BRS Pampa CL” (Fig 1 b); isto é, um ligeiro maior
335 número de papilas foi detectado em “Dawn”, porém, as protuberâncias em formato de
336 “verrugas” mostraram-se mais avantajadas em “BRS Pampa CL”. Observou-se, também,
337 reduzida presença de tricomas tectores em ambas cultivares, que apresentaram-se curtos,
338 estreitos e direcionados paralelamente às nervuras foliares. Além disso, nenhuma presença de
339 tricomas glandulares foi notada em ambas cultivares (Figs 1 a, b).

340 Quanto a avaliação anatômica de tecidos foliares, de igual modo, não houve diferenças
341 marcantes aparentes entre as cultivares (Figs. 1 c, d). As células parenquimáticas apresentaram-
342 se homogêneas e densamente distribuídas no mesófilo, onde poucos espaços intercelulares
343 foram notados e os feixes vasculares encontraram-se envolvidos pela bainha do feixe. Ligeira
344 distinção foi observada somente quanto às células buliformes, aparentemente maiores em “BRS
345 Pampa CL” (Fig 1 d) do que em “Dawn” (Fig 1 c). As protuberâncias em formato de “verrugas”

346 também foram detectadas anatomicamente, mostrando-se mais desenvolvidas em “BRS Pampa
347 CL” (Fig 1 d).

348 A avaliação anatômica de tecidos radiculares apontou diferenças anatômicas estruturais
349 visíveis entre as cultivares suscetível e resistente à *O. oryzae* (Figs. 2 a, b, e, f), independente
350 da infestação larval das plantas, aos 25 DAI (raízes de plantas infestadas ou não infestadas). As
351 raízes de “BRS Pampa CL” apresentaram as células esclerequimáticas dispostas em uma fina
352 camada; exibiram, além disso, um córtex bem desenvolvido, ocupado por vigorosos
353 aerênquimas ou espaços intercelulares (Figs. 2 e, f). Por outro lado, as raízes de “Dawn”
354 contiveram um esclerênquima arranjado em três camadas de células, substancialmente distintas
355 de “BRS Pampa CL”. Notou-se, também, um córtex ligeiramente menos desenvolvido,
356 exibindo células parenquimáticas mais compactas à volta dos aerênquimas que, por
357 consequência disso, apresentaram-se em menor tamanho, isto é, menores espaços intercelulares
358 (Figs. 2 a, b). A dessemelhança entre as cultivares suscetível (Figs. 2 g) e resistente (Figs. 2 c,
359 d) quanto à densidade e, principalmente, lignificação presente nas células esclerenquimáticas
360 foi confirmada por método histoquímico, que revelou a coloração avermelhada da estrutura
361 (Figs. 2 c, d, g).

362 Ensaio enzimático e estimativas bioquímicas

363 Nas raízes das plantas que apresentaram infestação larval correspondente a média do
364 tratamento (cultivar), no campo, aos 15, 25 e 35 DAI, observaram-se diferenças significativas
365 nas atividades enzimáticas (SOD: $gl= 1$, $F= 27,41$, $P= <0,001$; CAT: $gl= 1$, $F= 53,17$, $P=$
366 $<0,001$; APX: $gl= 1$, $F= 102,98$, $P= <0,001$; POX: $gl= 1$, $F= 49,65$, $P= <0,001$; PPO: $gl= 1$, $F=$
367 $57,99$, $P= <0,001$) e concentrações de TSPC ($gl= 1$, $F= 32,84$, $P= <0,001$) e LTGA ($gl= 1$, $F=$
368 $24,43$, $P= <0,001$) entre as cultivares, porém, com ausência de interação entre os fatores
369 “cultivar” e “período” (SOD: $gl= 2$, $F= 1,20$, $P= 0,31$; CAT: $gl= 2$, $F= 0,93$, $P= <0,001$; APX:
370 $gl= 2$, $F= 0,32$, $P= 0,73$; POX: $gl= 2$, $F= 2,42$, $P= 0,11$; PPO: $gl= 2$, $F= 1,85$, $P= 0,17$; TSPC:

371 $gl= 2, F= 1,10, P= 0,35$; LTGA: $gl= 2, F= 0,87, P= 0,43$). As estimativas das enzimas SOD,
372 CAT, APX, POX e PPO, de TSPC e de LTGA foram maiores na “Dawn” (resistente) do que
373 na “BRS Pampa CL” (suscetível), independente do período (Tabelas 4 e 5). Quanto a isso, foi
374 possível notar que as atividades das enzimas e concentrações de TSPC e LTGA, em cada
375 cultivar, mantiveram-se significativamente semelhantes nos períodos de início (15 DAI), pico
376 (25 DAI) e declínio (35 DAI) populacional das larvas no campo, exceto para APX, POX e PPO,
377 que apresentaram menor atividade aos 15 DAI do que em 25 e 35 DAI, na cultivar Dawn
378 (Tabelas 4 e 5).

379 De mesmo modo, a cultivar Dawn diferiu quantitativamente da cultivar BRS Pampa CL,
380 apresentando maior atividade enzimática (SOD: $gl= 1, F= 215,60, P= <0,001$; CAT: $gl= 1, F=$
381 $121,57, P= <0,001$; APX: $gl= 1, F= 120,89, P= <0,001$; POX: $gl= 1, F= 38,28, P= <0,001$;
382 PPO: $gl= 1, F= 102,31, P= <0,001$) e concentrações de TSPC ($gl= 1, F= 77,21, P= <0,001$) e
383 LTGA ($gl= 1, F= 79,24, P= <0,001$) sob qualquer nível progressivo de infestação, no período
384 de pico populacional das larvas no campo (Tabelas 6 e 7), porém, sem a ocorrência de interação
385 significativa entre os fatores “cultivar” e “infestação” (SOD: $gl= 3, F= 0,91, P= 0,45$; CAT: $gl=$
386 $3, F= 0,28, P= 0,84$; APX: $gl= 3, F= 0,71, P= 0,55$; POX: $gl= 3, F= 0,68, P= 0,57$; PPO: $gl= 3,$
387 $F= 0,88, P= 0,46$; TSPC: $gl= 3, F= 1,67, P= 0,10$; LTGA: $gl= 3, F= 2,35, P= 0,06$). Nenhum
388 aumento significativo foi observado nas estimativas de SOD, CAT, APX, POX e PPO de
389 plantas infestadas (2= 1-3 larvas; 3= 5-7 larvas; 4= 9 larvas) comparadas com plantas não
390 infestadas (1= 0 larva), exceto para as concentrações de TSPC e LTGA em “Dawn”, onde
391 plantas não infestadas apresentaram significativamente menores concentrações do que as
392 plantas dessa cultivar sob ataque em distintos níveis (Tabelas 6 e 7).

393 Os ácidos fenólicos 4-hidroxibenzoico (4-HX), ferúlico (FER) e *p*-cumárico (P-CM)
394 foram identificados a partir das raízes de ambas cultivares (Tabelas 5 e 7). As concentrações de
395 de 4-HX, FER e P-CM diferiram entre as cultivares, aos 15, 25 e 35 DAI (4-HX: $gl= 1, F=$

396 22,60, $P= <0,001$; FER: $gl= 1$, $F= 630,63$, $P= <0,001$; P-CM: $gl= 1$, $F= 69,72$, $P= <0,001$).
397 Houve, além disso, interação significativa entre os fatores “cultivar” e “período” para as
398 estimativas de FER e P-CM (FER: $gl= 2$, $F= 11,86$, $P= <0,001$; P-CM: $gl= 2$, $F= 7,12$, $P=$
399 $0,005$). “Dawn” diferiu quantitativamente de “BRS Pampa CL”, apresentando as maiores
400 concentrações para os três ácidos fenólicos, em todos os períodos (Tabela 5). Nesse aspecto,
401 “Dawn” teve aumento e decréscimo nas concentrações de P-CM e FER, respectivamente, ao
402 longo do tempo; as maiores concentrações de P-CM e FER foram aos 35 e 15 DAI,
403 respectivamente. Por outro lado, as concentrações de 4-HX mantiveram-se significativamente
404 semelhantes entre os períodos (Tabela 5).

405 As concentrações dos ácidos fenólicos 4-HX, FER e P-CM também diferiram entre as
406 cultivares submetidas aos diferentes níveis populacionais de larvas (4-HX: $gl= 1$, $F= 12,25$, $P=$
407 $0,003$; FER: $gl= 1$, $F= 82,69$, $P= <0,001$; P-CM: $gl= 1$, $F= 83,31$, $P= <0,001$). Constatou-se
408 que “Dawn” novamente apresentou as maiores concentrações dos ácidos fenólicos comparado
409 com “BRS Pampa CL” (Tabela 7). Além disso, as concentrações de FER e P-CM diferiram no
410 fator “infestação” (FER: $gl= 3$, $F= 3,56$, $P= 0,04$; P-CM: $gl= 3$, $F= 4,52$, $P= 0,02$), sendo
411 significativamente maiores em plantas infestadas (2= 1-3 larvas; 3= 5-7 larvas; 4= 9 larvas) do
412 que em plantas não infestadas (1= 0 larva) na cultivar Dawn; FER apresentou maior
413 concentração em “Dawn” a partir da infestação 3 (3= 5-7 larvas e 4= 9 larvas), que diferiram
414 dos níveis 1 (0 larva) e 2 (1-3 larvas) (Tabela 7). As concentrações de 4-HX, diferentes entre
415 cultivares, mantiveram-se inalteradas em plantas não infestadas e infestadas sob níveis
416 progressivos de larvas (4-HX: $gl= 3$, $F= 2,04$, $P= 0,15$) (Tabela 7).

417 *Discussão*

418 A resistência de plantas é um componente-chave para o manejo integrado de gorgulhos-
419 aquáticos e produção sustentável de arroz no mundo todo. Nessa perspectiva, o presente estudo
420 investigou os fatores de defesa direta presentes nas raízes de plantas de arroz associados à

421 resistência ao gorgulho-aquático *O. oryzae*. A compreensão da natureza dos mecanismos
422 envolvidos na interação arroz - gorgulho-aquático, até então pouco esclarecidos ou totalmente
423 desconhecidos (Lima et al. 2019), são imprescindíveis visando o sucesso no desenvolvimento
424 de cultivares elites resistentes ao inseto, uma vez que o grau da resistência de uma cultivar está
425 relacionado com a eficiência dessas defesas contra a herbivoria (Rani & Jyothsna 2010, War et
426 al. 2012).

427 A partir dos testes de preferência dos adultos de *O. oryzae* para alimentação e oviposição
428 nos tecidos foliares, evidenciou-se a inexistência de antixenose entre as cultivares avaliadas,
429 inclusive na “Dawn”, reconhecidamente resistente às larvas do gorgulho-aquático (Him 1980,
430 Silva et al. 2003). Os resultados quanto à atividade alimentar e de oviposição endofítica entre
431 as cultivares mantiveram-se semelhantes em todas as circunstâncias, sendo as cultivares
432 igualmente selecionadas por *O. oryzae* como hospedeiro. Antixenose para alimentação e para
433 oviposição, porém, foi relatada em diferentes genótipos de arroz sobre adultos do gorgulho-
434 aquático *L. oryzaophilus* (Smith & Robinson 1982, Stout & Riggio 2002, Saad et al. 2018).

435 A expressão da antixenose indica a presença de defesas morfológicas ou químicas em
436 plantas que afetam negativamente o hábito natural de artrópodes durante a seleção hospedeira,
437 sendo a planta menos utilizada pelo indivíduo para alimentação, oviposição ou abrigo, em
438 relação a outras plantas sob mesma condição de infestação (Smith 2005). Diante disso, no
439 presente estudo, a indistinção observada entre as cultivares quanto às características anatômicas
440 e morfológicas dos tecidos foliares parece explicar a inexistência de interferência antixenótica
441 das cultivares “BRS Pampa CL” e “Dawn” nos processos de seleção hospedeira de *O. oryzae*.
442 Por outro lado, fatores morfoanatômicos em plantas de arroz, como a altura de planta, densidade
443 de tricomas em tecidos foliares, espessura do tecido epidérmico, número e comprimento de
444 internódios e diâmetros internos e externos de colmos têm sido diretamente associados à

445 resistência do tipo antixenose em espécies de brocas-do-colmo (Martins et al. 1981, Heinrichs
446 1994, Tabari et al. 2017, Correa et al. 2018, Sharmitha et al. 2019).

447 Embora igualmente selecionadas, apresentando índices de alimentação e oviposição
448 quantitativamente semelhantes, “BRS Pampa CL” distinguiu-se significativamente de “Dawn”
449 quanto às variáveis de antibiose, abrigando larvas em maior número e peso corporal. Em “BRS
450 Pampa CL”, o tempo necessário para emergência de 50% dos adultos foi quase 2 vezes menor,
451 originando, também, adultos com maior peso corporal do que “Dawn” (Pazini, J. de B., dados
452 não publicados; Artigo 1). Efeitos de antibiose já foram diagnosticados afetando o crescimento
453 larval de *L. oryophilus* na cultivares Nira e Jefferson (Smith & Robinson 1982, Saad et al.
454 2018), a sobrevivência larval e a emergência de adultos de *O. oryzae* em “Dawn” (Silva et al.
455 2003) e “BR IRGA 417”, respectivamente (Neves et al. 2011).

456 As preferências demonstradas pelo gorgulho-aquático na seleção hospedeira não
457 representaram a mesma adequação da cultivar Dawn à sua progênie, que cresce e se desenvolve
458 a partir das raízes das plantas (Martins & Cunha 2015). Em virtude de as plantas hospedeiras
459 exercerem efeitos cruciais sobre a dinâmica populacional dos herbívoros, Stenberg & Muola
460 (2017) ressaltaram que os indivíduos adultos geralmente escolhem colonizar e permanecer em
461 plantas palatáveis também à sua prole. Ainda assim, ao considerar que *O. oryzae* e outros
462 gorgulhos-aquáticos são herbívoros especialistas do gênero *Oryza* (Lu et al. 2015), é esperado
463 que a planta hospedeira tenha desenvolvido algumas estratégias de defesa e sobrevivência
464 contra herbivoria (Lu et al. 2015). No presente estudo, a caracterização da resistência
465 apresentada avançou no conhecimento existente (Silva et al. 2003, Lima et al. 2019), já que
466 indicou a hipótese da presença de algum(ns) fator(es) de defesa direta nas raízes, mediador(es)
467 não somente de antibiose larval, mas também, causador(es) de dano(s) acentuado(s) no *fitness*
468 dos adultos emergidos.

469 As enzimas antioxidantes têm sido associadas à defesa de plantas hospedeiras contra
470 insetos e patógenos, atuando de modo constitutivo ou induzido (Han et al. 2009). No presente
471 estudo, verificou-se, já no início da infestação natural de *O. oryzae* no arrozal, aos 15 DAI, que
472 a atividade das enzimas SOD, CAT, APX, POX e PPO foi superior em “Dawn”, mantendo-se
473 elevada e sempre maior do que “BRS Pampa CL” durante os outros períodos-chave da flutuação
474 populacional da praga, aos 25 DAI e 35 DAI. Notou-se, ainda, um incremento em torno de 90,
475 71 e 58% nas atividades de APX, POX e PPO, respectivamente, em “Dawn”, de 15 para 35
476 DAI. A atividade enzimática também se mostrou maior na cultivar Dawn do que na cultivar
477 BRS Pampa CL em plantas sob estresse progressivo de larvas, no momento de pico da
478 infestação de *O. oryzae* no arrozal (25 DAI). Além disso, nenhum incremento na atividade
479 enzimática foi diagnosticado em resposta ao ataque de larvas nas raízes, já que a atividade das
480 enzimas se manteve semelhante em plantas atacadas (1-3 larvas; 5-7 larvas; 9 larvas) e não
481 atacadas (0 larva).

482 Com base nesses aspectos do presente estudo até aqui salientados, parece que o sistema
483 antioxidante nas raízes da “Dawn” mostrou-se constitutivamente mais eficiente, tanto em
484 plantas sadias como em plantas sob estresse provocado por índices populacionais de larvas
485 comparativamente similares ou distintos daqueles apresentados em “BRS Pampa CL”, sendo
486 ainda potencializado ao longo dos períodos de infestação natural. Han et al. (2009) detectaram
487 elevada atividade constitutiva das enzimas fenilalanina amônia-liase (PAL), POX e PPO em
488 cultivares de trigo resistente à *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae), que foram
489 quantitativamente maiores do que cultivares suscetíveis em diferentes etapas do ciclo
490 fenológico das plantas de trigo. Atividade constitutiva de POX e PPO em cultivar de feijão-
491 fava à *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae) foi relatada no estudo de Soffan et al.
492 (2014), onde não se evidenciaram diferenças significativas nas estimativas enzimáticas em
493 plantas infestadas e não infestadas com o pulgão.

494 No entanto, nessa comparação entre plantas infestadas e não infestadas, é importante
495 considerar que as enzimas antioxidantes têm sido associadas à transdução de sinal, estimulando
496 rapidamente o sistema de defesa das plantas (Smith & Boyko 2007). Jesus et al. (2018) não
497 encontraram diferenças significativas na atividade de POX entre plantas infestadas e não
498 infestadas, aos 5, 10 e 15 dias após a infestação, de genótipo de soja que expressou antibiose à
499 *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae). Nesse contexto, as respostas de “Dawn”
500 frente à alimentação das larvas podem ter sido rápidas, não sendo possível descartar que o pico
501 das atividades enzimáticas tenha ocorrido antes dos 25 DAI. Ademais, há evidências de que a
502 atividade de oviposição endofítica ainda no processo de seleção hospedeira, como ocorre com
503 *O. oryzae* em arroz, pode induzir defesas diretas das plantas contra os imaturos eclodidos,
504 diminuindo os danos provocados (Reymond 2013). Em arroz, as enzimas quitinase (CHI), PAL,
505 POX e PPO foram relatadas apresentando maior atividade em cultivar resistente do que em
506 cultivar suscetível em resposta à herbivoria, isto é, induzidas em plantas infestadas, com
507 diferentes insetos-praga, como *Cnaphalocrosis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae),
508 *Scirpophaga incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae), *Nilaparvata lugens* (Stal)
509 (Hemiptera: Delphacidae) e *Laodelphax striatellus* Fallén (Hemiptera: Delphacidae) (Rani &
510 Jyothsna 2010, Duan et al. 2014).

511 Em nosso estudo, também foram observadas maiores concentrações de TSPC e LTGA
512 nas raízes de “Dawn” do que em “BRS Pampa CL”, tanto durante os períodos-chave da
513 flutuação populacional de *O. oryzae*, como sob níveis distintos de infestação, inclusive na
514 ausência de larvas, aos 25 DAI. Detectou-se a presença dos ácidos fenólicos 4-HX, FER e P-
515 CM, também em concentrações significativamente maiores em “Dawn”, sob todas as
516 circunstâncias avaliadas. Ademais, alterações qualitativas e quantitativas de compostos
517 fenólicos de distintas classes nas células dos vegetais são comumente observadas como resposta
518 à herbivoria (Campos et al. 2008, Shivashankar et al. 2015). Em “Dawn”, houve um aumento

519 significativo de até 47, 25, 70 e 46% nas concentrações de TSPC, LTGA, FER e P-CM
520 respectivamente, nas raízes infestadas quando comparado às raízes não infestadas, aos 25 DAI.

521 De maneira geral, os compostos fenólicos desempenham importante função na antibiose
522 em insetos, basicamente por efeitos antinutricionais ou citotóxicos diretos e fortalecimento da
523 parede celular do vegetal. A incorporação dos ácidos fenólicos FER e P-CM em dieta,
524 simulando concentrações semelhantes daquelas encontradas em folhas de milho resistente,
525 provocou efeitos de antibiose sobre o crescimento e desenvolvimento de *Chilo partellus*
526 (Swinehoe) (Lepidoptera: Pyralidae) (Gundappa et al. 2013). Alguns estudos têm demonstrado
527 a participação dos compostos fenólicos FER e P-CM no fortalecimento e lignificação da parede
528 celular vegetal (Bergvinson et al. 1995, Santiago et al. 2005). Tais compostos atuam
529 diretamente na associação entre hemicelulose e lignina da parede celular, fortalecendo-a,
530 levando a dificuldade de mastigação/penetração e ingestão de tecidos dos vegetais, a redução
531 da quantidade e qualidade dos nutrientes, bem como a citotoxicidade direta nos insetos
532 (Deschamps & Ramos 2002, Vendramim et al. 2019). Ralph & Landucci (2010) e Shivashankar
533 et al. (2015) relataram que concentrações elevadas de lignina e de P-CM indicaram a síntese de
534 lignina relacionada à defesa do vegetal.

535 A abundante presença de lignina no esclerênquima radicular da “Dawn” foi
536 histoquimicamente demonstrada, em níveis visivelmente distintos da “BRS Pampa CL” (Figs.
537 2 c, d). É importante ressaltar que o esclerênquima reforçado de lignina, em “Dawn”, também
538 foi visível em raízes ausentes de infestação larval (Fig. 2 d), aos 25 DAI. Dessa forma, essa
539 característica pode estar, em parte, associada de modo constitutivo nessa cultivar, mesmo
540 mostrando teor quantitativamente menor em raízes não infestadas. Diagnóstico semelhante em
541 raízes de genótipos de arroz resistentes a *Meloidogyne graminicola* Golden & Birchfield
542 (Nematoda: Meloidogynidae) foi realizado por Galeng-Lawilao et al. (2019).

543 De modo complementar, os fenóis também podem ter sido oxidados pela ação das
544 enzimas PPO e algumas peroxidases (POX, APX e outras), na presença de O₂ ou H₂O₂, levando
545 a formação de *o*-quinonas reativas (War et al. 2012). As quinonas ligam-se às proteínas e aos
546 carboidratos do tecido das plantas, reduzindo a disponibilidade e o valor biológico das
547 proteínas, podendo, ainda, exibirem toxicidade aos insetos (Dixit et al. 2017).

548 Com base nisso, War et al. (2012) comentaram que a ocorrência de transtornos na
549 nutrição dos insetos provocados por fatores antinutricionais em plantas hospedeiras, constitui-
550 se um dos mais importantes aspectos da resistência de plantas aos insetos. Com base nisso,
551 Rigsby et al. (2016) constataram que a elevada atividade enzimática de POX, seguida de
552 polimerização de lignina e geração de quinonas, em *Fraxinus* spp., diminuíram a qualidade
553 nutritiva do hospedeiro, sendo determinantes para resistência à broca cinza-esmeralda *Agilus*
554 *planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae). O crescimento de larvas e emergência de
555 adultos de *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) (Diptera: Tephritidae) foram fortemente inibidos
556 em Curcubitaceae (*Sechium edule*) que exibiram maiores estimativas de enzimas [tirosina
557 amônia-liase (TAL), álcool cinamílico-desidrogenase (CAD), PAL e POX] e ácidos fenólicos
558 (P-CM) envolvidos na biossíntese da lignina (Shivashankar et al. 2015). De maneira semelhante
559 a esses resultados encontrados na literatura, nossos resultados até aqui demonstrados indicaram
560 que a inadequação da cultivar Dawn às larvas de *O. oryzae*, que se alimentaram de suas raízes,
561 ocorreu por efeitos dessa natureza. “Dawn” e “BRS Pampa CL”, que foram semelhantes quanto
562 aos índices de oviposição e densidade larval aos 15 DAI, distinguiram-se amplamente aos 25 e
563 35 DAI, quando a população larval em “Dawn” mostrou-se cerca de 3,5 vezes menor (Pazini,
564 J. de B., dados não publicados; Artigo 1). As larvas sobreviventes ainda apresentaram acentuada
565 subnutrição. Isso naturalmente ocorreu por conta das maiores atividades enzimáticas, como
566 POX e PPO, e da elevação nas concentrações de TSPC, P-CM e LATG, nas raízes de “Dawn”,
567 diagnosticadas nesses mesmos períodos críticos de ocorrência larval no campo. Debilitações

568 transgeracionais, que prolongaram o tempo de emergência e reduziram o peso corporal dos
569 adultos descendentes, ainda foram observadas em decorrência da antibiose larval.

570 Diante do exposto, as informações obtidas nesse estudo apresentam-se como uma etapa
571 fundamental e inédita quanto à demonstração de fatores de defesa das plantas de arroz
572 associados à resistência ao gorgulho-aquático *O. oryzae*. Stout et al. (2001) comentaram que
573 conhecimentos dessa ordem são primordiais, visto que podem ser empregados para descoberta
574 de um marcador bioquímico ou morfológico para resistência ao gorgulho-aquático. Assim,
575 materiais potencialmente resistentes poderiam ser selecionados no início do processo de
576 desenvolvimento de uma cultivar, evitando-se a amostragem da população de larvas em
577 extensos *screenings*, que são altamente difíceis de executar no campo. Nesse sentido, os
578 achados do presente estudo permitem inferir que há potencial para se utilizar a lignina e as
579 enzimas oxirredutoras (POX e PPO), em raízes, como marcadores morfológico e bioquímico,
580 respectivamente, visando identificar genótipos de arroz com resistência do tipo antibiose às
581 larvas de *O. oryzae*, em programas de melhoramento genético. No entanto, pesquisas
582 complementares são necessárias para confirmar o caráter constitutivo ou induzido desses
583 fatores de defesa, bem como os genes relacionados.

584 *Agradecimentos*

585 Agradecemos ao Elton Rogério Nolasco Fonseca, Claudinei Bonemann Rosso, Nara
586 Eliane Moreira Rocha e Valter Lopes Abrantes (funcionários da Embrapa Clima Temperado),
587 Paulo César Pazdiora (estudante de Doutorado - Universidade Federal de Pelotas), Thaize
588 Debatin Wehrmeister (técnica de laboratório - Universidade Federal de Pelotas), e Rudmar
589 Krumreick (técnico de laboratório do Centro de Microscopia Eletrônica do Sul - Universidade
590 Federal de Rio Grande) pelo pleno auxílio nos experimentos. Esse estudo contou com apoio
591 financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq:
592 140328/2016-5; 310407/2017-6), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível

593 Superior (CAPES) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Clima
594 Temperado).

595 *Conformidade com padrões éticos*

596 *Conflito de interesses*

597 Os autores declaram não haver conflito de interesses.

598 Esse artigo relata apenas resultados de pesquisa. A citação de nomes comerciais ou
599 produtos comerciais é apenas com o objetivo de fornecer informações específicas e não implica
600 recomendação ou endosso pela(s) Instituição(ões) envolvida(s) nesse estudo.

601 *Aprovação ética*

602 Esse artigo não apresenta estudos com participantes humanos ou vertebrados realizados
603 por qualquer um dos autores.

604 *Referências*

605 Aghaee M, Godfrey LD (2014) A century of rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae): A
606 history of research and management with an emphasis on the United States. J Integ Pest Mngmt
607 5:1-14

608 Anderson MJ (2001) A new method for non-parametric multivariate analysis of variance.
609 Austral Ecol 26:32-46

610 Bergvinson DJ, Hamilton RI, Arnason JT (1995) Leaf profile of maize resistance factors to
611 European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. J Chem Ecol 21: 343–354

612 Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities
613 of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem 72:248-254

614 Büttow GT, Pazini J de B, Seidel EJ, Silva FF, Grützmacher AD, Martins JFS (2017)
615 Relationship between the occurrence of the rice water weevil and water depth in flooded rice
616 crop. Pesq agropec bras 52:557-560

- 617 Campos WG, Faria AP, Oliveira MGA, Santos HL (2008) Induced response against herbivory
618 by chemical information transfer between plants. *Braz J Plant Physiol* 20:257-266
- 619 Cao HH, Pan MZ, Liu HR, Wang SH, Liu TX (2015) Antibiosis and tolerance but not
620 antixenosis to the grain aphid, *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae), are essential
621 mechanisms of resistance in a wheat cultivar. *Bull Entomol Res* 105:448-455
- 622 Carbonari JJ, Martins JFS, Vendramim JD, Botton M (2000) Relação entre flutuação
623 populacional de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae) e período de
624 perfilhamento de cultivares de arroz irrigado. *An Soc Entomol Bras* 29:361-366
- 625 CONAB (2019) Acompanhamento de safra brasileira: grãos, v.6 - safra 2017/18, décimo
626 levantamento, julho 2019. Brasília: Conab. <https://conab.gov.br/info-agro/safra/graos>.
627 Accessed 05 Set 2019
- 628 Correa F, Silva CLT, Pelosi AP, Almeida ACS, Heinrichs EA, Barrigossi JAF, Jesus FG (2018)
629 Resistance in 27 rice cultivars to sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae). *J Econ Entomol*
630 111: 422-427
- 631 Dallagnol LJ, Martins SCV, Damatta FM, Rodrigues FA (2015) Brown spot negatively affects
632 gas exchange and chlorophyll a fluorescence in rice leaves. *Trop Plant Pathol* 40:275-278
- 633 Deschamps FC, Ramos LP (2002) Método para a determinação de ácidos fenólicos na parede
634 celular de forragens. *R Bras Zootec* 31:1634-1639
- 635 Dixit G, Praveen A, Tripathi T, Yadav VK, Verma PC (2017) Herbivore-responsive cotton
636 phenolics and their impact on insect performance and biochemistry. *J Asia-Pac Entomol*
637 20:341-351
- 638 Dorneles KR, Dallagnol LJ, Pazdiora PC, Rodrigues FA, Deuner S (2017) Silicon potentiates
639 biochemical defense responses of wheat against tan spot. *Physiol Mol Plant P* 97:69-78
- 640 Duan C, Yu J, Bai J, Zhu Z, Wang X (2014) Induced defense responses in rice plants against
641 small brown planthopper infestation. *Crop J* 2:55-62

- 642 FAOSTAT (2016) Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical
643 Database. <https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countriesbycommodity>. Accessed 05 Set
644 2019
- 645 Galeng-Lawilao J, Kumar A, Cabasan MTN, De Waele D (2019) Comparison of the
646 penetration, development and reproduction of *Meloidogyne graminicola*, and analysis of
647 lignina and total phenolic content in partially resistant and resistant recombinant inbred lines of
648 *Oryza sativa*. Trop Plant Pathol 44:171-182
- 649 Guedes JVC, Perini CR, Alende VP, Curioletti LE, Stacke RF, Valmorbida I (2015) Bicheira-
650 da-raiz na cultura do arroz: ocorrência e manejo.
651 [https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-ocorrencia-e-](https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-ocorrencia-e)
652 [manejo](https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-ocorrencia-e). Accessed 21 Set 2019
- 653 Gundappa S, Kumar P, Suby SB (2013) Antibiosis effect of phenolic acid (ferulic acid and p-
654 coumaric acid) on maize spotted stem borer, *Chilo partellus* (Swinehoe) (Lepidoptera:
655 Pyralidae). Indian J Entomol 75:247-250
- 656 Guo T, Liao C, ChuangW (2019) Defensive responses of rice cultivars resistant to
657 *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). Arthropod Plant Inte 13:611-620
- 658 Han Y, Wang Y, Bi JL, Yang XQ, Huang Y, Zhao X, Hu Y, Cai QN (2009) Constitutive and
659 induced activities of defense-related enzymes in aphid-resistant and aphid-susceptible cultivars
660 of wheat. J Chem Ecol 35:176-182
- 661 Heinrichs EA (1994) Host plant resistance. In: Heinrichs EA (ed) Biology and management of
662 rice insects. Wiley Eastern Limited, New Delhi, pp 515-545
- 663 Him HPV (1980) Teste de resistência à bicheira da raiz (*Oryzophagus oryzae*, Costa Lima,
664 1936) em genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.), para fins de melhoramento. Dissertation,
665 Universidade Federal de Pelotas

- 666 Jannoey P, Pongprasert W, Lumyong S, Roytrakul S, Nomura M (2015) Comparative
667 proteomic analysis of two rice cultivars (*Oryza sativa* L.) contrasting in Brown Planthopper
668 (BPH) stress resistance. *Plant Omics* 8:96-105
- 669 Jesus FG, Marchi-Werle L, Fischer HD, Posadas LG, Graef GL, Heng-Moss T (2018)
670 Documenting resistance and physiological changes in soybean challenged by *Aphis glycines*
671 Matsumura (Hemiptera: Aphididae). *Neotrop Entomol* 47:717-724
- 672 Johansen DA (1940) *Plant microtechnique*. McGraw-Hill Education, New York
- 673 Karnovsky MJ (1965) A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in
674 electron microscopy. *J Cell Biol* 27:137-138
- 675 Lanka SK, Ottea JA, Beuzelin JM, Stout MJ (2013) Effects of chlorantraniliprole and
676 thiamethoxam rice seed treatments on egg numbers and first instar survival of *Lissorhoptrus*
677 *oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae). *J Econ Entomol* 106:181-188
- 678 Lima CAB, Grützmacher AD, Pazini J de B, Silva FF, Rosa APSA, Martins JFS (2019)
679 Development of *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) in rice cultivars. *Pesqui. Agropecu. Trop*
680 49: e53397
- 681 Ling Y, Weilin Z (2016) Genetic and biochemical mechanisms of rice resistance to planthopper.
682 *Plant Cell Rep* 35:1559-1572
- 683 Lu J, Robert CA, Riemann M, Cosme M, Mène-Saffrané L, Massana J, Stout MJ, Lou Y,
684 Gershenzon J, Erb M (2015) Induced jasmonate signaling leads to contrasting effects on root
685 damage and herbivore performance. *Plant Physiol* 167:1100-1116
- 686 Lupi D, Colombo M, Giudici ML, Villa B, Sparacino AC, Ranghino F (2007) Present status of
687 knowledge on *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel (Rice Water Weevil) in Italy.
688 <https://air.unimi.it/retrieve/handle/2434/40517/161794/oral%20novara%202007.pdf>. Accessed
689 10 Dec 2019

- 690 Magalhães Júnior AM, Terres AL, Fagundes PR, Franco DF, Andres A (2004) Aspectos
691 genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado. In: Gomes AS,
692 Magalhães Júnior AM (ed) Arroz irrigado no Sul do Brasil. Embrapa, Brasília, pp 143-235
- 693 Martins JFS, Cunha US (2015) Gorgulho-aquático-do-arroz, *Oryzophagus oryzae* (Lima). In:
694 Vilela EF, Zucchi RA (ed) Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros. FEALQ, Piracicaba,
695 pp 624-642
- 696 Martins JFS, Mattos MLT, Silva FF, Büttow GT (2017) Fipronil residual content in the soil for
697 the control of *Oryzophagus oryzae* in subsequent flooded rice crops. Pesq agropec bras 52:228-
698 235
- 699 Martins JFS, Melo M, Silva FF, Grützmacher AD, Cunha US (2001) Novo método para aferição
700 da densidade populacional do gorgulho-aquático em plantas de arroz irrigado. Agropecuária
701 Clima Temperado 4:363-370
- 702 Martins JFS, Van Tan N, Pinheiro BS (1981) Resistencia de arroz de sequeiro á broca-do-colmo
703 e sua associação com características morfológicas das plantas. Pesq agropec bras 16:187-192
- 704 Meneses CR, Ravelo HG (1979) Estudos bioetológicos de *Lissorhoptrus brevisrostris*
705 (Coleoptera: Curculionidae). Agrotec Cuba 11:19-29
- 706 Mitchell C, Brennan RM, Graham J, Karley AJ (2016) Plant defense against herbivorous pests:
707 exploiting resistance and tolerance traits for sustainable crop protection. Front Plant
708 Sci. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01132>
- 709 Nakano Y, Asada K (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase
710 in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiol 22:867-880
- 711 Neves MB, Martins JFS, Grützmacher AD, Lima CAB, Büttow GT (2011) Profundidade da
712 amostragem de solo e de raízes e índice de infestação de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima,
713 1936) (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz. Cienc Rural 41:2039-2044
- 714 Oliveira JV, Fiuza LM (2013) Aumento preocupante. Cultivar Grandes Culturas 15:12-14

- 715 Painter RH (1951) Insect resistance in crop plants. The Macmillan Co, New York
- 716 R Development Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing.
717 rev. 3.2.0. <http://r-project.org>. Accessed 20 Aug 2019
- 718 Ralph J, Landucci LL (2010) NMR of lignins. In: Heitner C, Dimmel DR, Schmidt JA (ed)
719 Lignin and lignans: Advances in chemistry. CRC Press, Boca Raton, pp 137-234
- 720 Rani PU, Jyothsna Y (2010) Biochemical and enzymatic changes in rice plants as a mechanism
721 of defense. *Acta Physiol Plant* 32:695-701
- 722 Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (2018) Arroz irrigado: Recomendações técnicas
723 da pesquisa para o Sul do Brasil. SOSBAI, Farroupilha
- 724 Reymond P (2013) Perception, signaling and molecular basis of oviposition-mediated plant
725 responses. *Planta* 238:247-258
- 726 Rigsby CM, Herms DA, Bonello P, Cipollini D (2016) Higher activities of defense-associated
727 enzymes may contribute to greater resistance of manchurian ash to Emerald Ash borer than a
728 closely related and susceptible congener. *J Chem Ecol* 42:782-792
- 729 Saad MM, Rahaman MM, Stout MJ (2018) Varietal resistance against the rice water weevil in
730 field and greenhouse studies. *Environ Entomol* 47:388-395
- 731 Saito T, Hirai K, Way MO (2005) The Rice Water Weevil, *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel
732 (Coleoptera: Curculionidae). *Appl Ent Zool* 40:31-39
- 733 Santiago R, Malvar RA, Baamonde MD, Revilla P, Souto XC (2005) Free phenols in maize
734 pith and their relationship with resistance to *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae)
735 attack. *J Econ Entomol* 98:1349-1356
- 736 Sharmitha T, Justin CGL, Roseleen SSJ, Ramesh T (2019) Assessment of biophysical and
737 biochemical attributes conferring resistance in rice accessions/varieties to yellow stem borer,
738 *Scirpophaga incertulas* Walker (Lepidoptera: Crambidae). *Pharma Innovation* 8:421-426

- 739 Shivashankar S, Sumathi M, Krishnakumar NK, Rao VK (2015) Role of phenolic acids and
740 enzymes of phenylpropanoid pathway in resistance of chayote fruit (*Sechium edule*) against
741 infestation by melon fly, *Bactrocera cucurbitae*. *Ann Appl Biol* 166: 420-433
- 742 Silva FF, Martins JFS, Grützmacher AD, Storch G, Roni A, Giolo F (2003) Avaliação da
743 resistência de arroz a *Oryzophagus oryzae* com e sem chance de escolha da planta hospedeira.
744 *Revista Brasileira de Agrociência* 9:135-140
- 745 Smith CM (2005) Plant resistance to arthropods: molecular and conventional approaches.
746 Springer, Dordrecht
- 747 Smith CM, Boyko EV (2007) The molecular bases of plant resistance and defense responses to
748 aphid feeding: current status. *Entomol Exp Appl* 122:1-16
- 749 Smith CM, Clement SL (2012) Molecular bases of plant resistance to arthropods. *Annu Rev*
750 *Entomol* 57:309-328
- 751 Smith CM, Robinson JF (1982) Evaluation of rice cultivars grown in North America for
752 resistance to the rice water weevil. *Environ Entomol* 11: 334-33
- 753 Soffan A, Alghamdi SS, Aldawood AS (2014) Peroxidase and polyphenol oxidase activity in
754 moderate resistant and susceptible *Vicia faba* induced by *Aphis craccivora* (Hemiptera:
755 Aphididae) infestation. *J Insect Sci.* <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu147>
- 756 Stenberg JA, Muola A (2017) How should plant resistance to herbivores be measured? *Front*
757 *Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00663>
- 758 Stout MJ (2013) Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant
759 resistance. *Insect Sci* 20:263-272
- 760 Stout MJ, Davis J (2009) Keys to the increased use of host plant resistance in Integrated Pest
761 Management. In: Peshin R, Dhawan AK (ed) *Integrated Pest Management: Innovation-*
762 *Development Process.* Springer, Dordrecht, pp 163-181

- 763 Stout MJ, Rice WC, Linscombe SD, Bollich PK (2001) Identification of rice cultivars resistant
764 to *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae), and their use in an integrated
765 management program. *J Econ Entomol* 94:963-970
- 766 Stout MJ, Riggio MR (2002) Variation in susceptibility of rice lines to infestation by the rice
767 water weevil (Coleoptera: Curculionidae). *J Agric Urban Entomol* 19:205-216
- 768 Tabari M, Fathi SAA, Nouri-Ganbalani G, Moumeni A, Razmjou J (2017) Antixenosis and
769 antibiosis resistance in rice cultivars against *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera:
770 Crambidae). *Neotrop Entomol* 46:452-460
- 771 Vendramim JD, Guzzo EC, Ribeiro LP (2019) Antibiose. In: Baldin ELL, Vendramim JD,
772 Lourenção AL (ed) Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações. FEALQ,
773 Piracicaba, pp 185-224
- 774 Vyavhare SS, Gealy DR, Way MO, Tabien RE, Pearson RA (2016) Evaluation of host-plant
775 resistance of selected rice genotypes to the rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae).
776 *Environ Entomol* 45:1439-1444
- 777 War AR, Paulraj MG, Ahmad T, Buhroo AA, Hussain B, Ignacimuthu S, Sharma HC (2012)
778 Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal Behav* 7:1306-1320
- 779 Wibmer GJ, O'Brien CW (1986) Annotated checklist of the weevils (Curculionidae sensu lato)
780 of South America (Coleoptera: Curculionoidea). *Mem Amer Entomol Inst* 39:1-563
- 781 Yasumatsu K, Torii T (1968) Impact of parasites, predators and diseases on rice pests. *Annu*
782 *Rev Entomol* 13:295-324

783 *Tabela 1* Cultivares de arroz avaliadas em *screening* de campo quanto à resistência ao gorgulho-
 784 aquático Sul-americano (RWW), nas safras 2016/17 e 2017/18

Material vegetal (Abreviação)	Tipo ^a	Planta	Ciclo ^b	Ano de lançamento ^c	Origem ^d
BRS Atalanta (ATAL)	C	Moderno-filipino	SP	1999	Brasil [#]
BRS Firmeza (FIRM)	C	Moderno- americano	P	1999	Brasil [#]
BRS Ligeirinho (LIGE)	C	Moderno-filipino	SP	1995	Brasil [#]
BRS Pampa CL (PAMP)	HT	Moderno-filipino	P	2016*	Brasil [#]
BRS Querência (QUER)	C	Moderno-filipino	P	2005	Brasil [#]
Dawn (DAWN) [§]	C	Intermediário ou Americano	M	1970	Estados Unidos [§]

785 [§]Reação ao RWW: Padrão de resistência (Silva et al. 2003). ^aC= Convencional; HT= Tolerante
 786 a herbicidas. ^bCiclo das cultivares de arroz: SP: Superprecoce= <105 dias; P: Precoce= 106 -
 787 120 dias; M: Médio= 121 - 135 dias. ^c*2016: ano de liberação para pesquisa (2019: ano oficial
 788 de lançamento para comercialização). ^d#Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
 789 (EMBRAPA); [§]Beaumont Research and Extension Center

790 *Tabela 2* Comparações aos pares de variáveis para antixenose sobre o gorgulho-aquático Sul-
 791 americano - “número de lesões de alimentação (raspagens) (média entre 5, 8 e 11 DAI)” e
 792 “número de ovos (média entre 5, 8 e 11 DAI)” - entre seis cultivares de arroz (consideradas
 793 como fatores), em *screening* de campo, nas safras 2016/17 e 2017/18

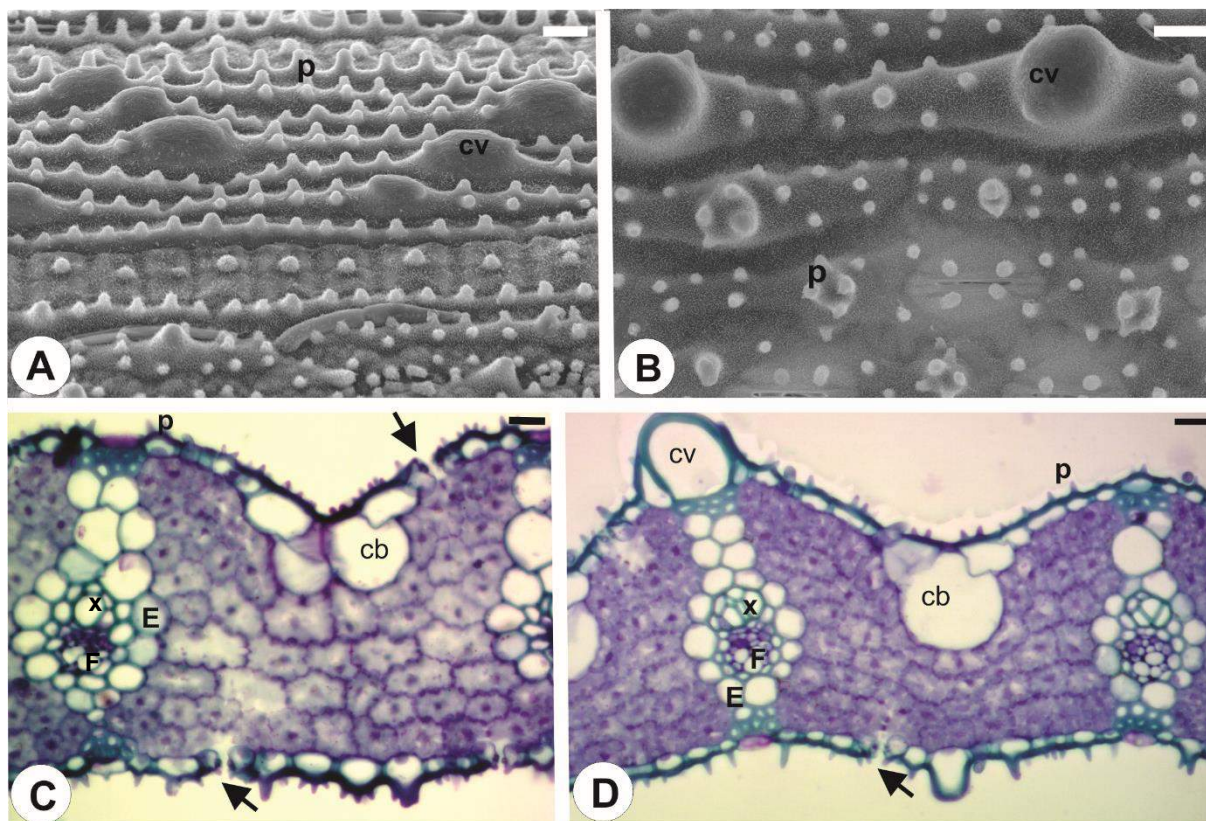
Cultivar ^a (Safr ^b)	Cultivar				
	ATAL ^a	FIRM	LIGE	PAMP	QUER
FIRM (1)	0,6100 ^{ns#}	-	-	-	-
LIGE (1)	0,6000 ^{ns}	0,6100 ^{ns}	-	-	-
PAMP (1)	0,2800 ^{ns}	0,9800 ^{ns}	0,9800 ^{ns}	-	-
QUER (1)	0,4200 ^{ns}	0,9800 ^{ns}	0,9800 ^{ns}	0,9800 ^{ns}	-
DAWN (1)	0,9800 ^{ns}	0,6100 ^{ns}	0,6000 ^{ns}	0,2800 ^{ns}	0,5100 ^{ns}
FIRM (2)	0,7000 ^{ns}	-	-	-	-
LIGE (2)	0,5900 ^{ns}	0,1300 ^{ns}	-	-	-
PAMP (2)	0,6600 ^{ns}	0,1300 ^{ns}	0,7000 ^{ns}	-	-
QUER (2)	0,7900 ^{ns}	0,5900 ^{ns}	0,5900 ^{ns}	0,7000 ^{ns}	-
DAWN (2)	0,9400 ^{ns}	0,7000 ^{ns}	0,2900 ^{ns}	0,2700 ^{ns}	0,5900 ^{ns}

794 ^aCultivares de arroz: ATAL= BRS Atalanta; FIRM= BRS Firmeza; LIGE= BRS Ligeirinho;
 795 PAMP= BRS Pampa CL; QUER= BRS Querência; DAWN= Dawn. ^bSafras: (1) 2016/17; (2)
 796 2017/18. [#]Valores de *P* originados a partir das comparações aos pares entre as cultivares pela
 797 *permutational MANOVA* [*significativo ($P < 0,05$); ^{ns}não significativo]

798 *Tabela 3* Comparações aos pares de variáveis para antibiose sobre o gorgulho-aquático Sul-
 799 americano - “número de larvas (média entre 15, 25 e 35 DAI)”, “peso de larvas (média entre
 800 15, 25 e 35 DAI)”, “tempo necessário para a emergência de 50% da população de adultos (F₁)
 801 (TE50%)” e “peso de adultos (F₁) (média entre machos e fêmeas)” - entre seis cultivares de
 802 arroz (consideradas como fatores), em *screening* de campo, nas safras 2016/17 e 2017/18

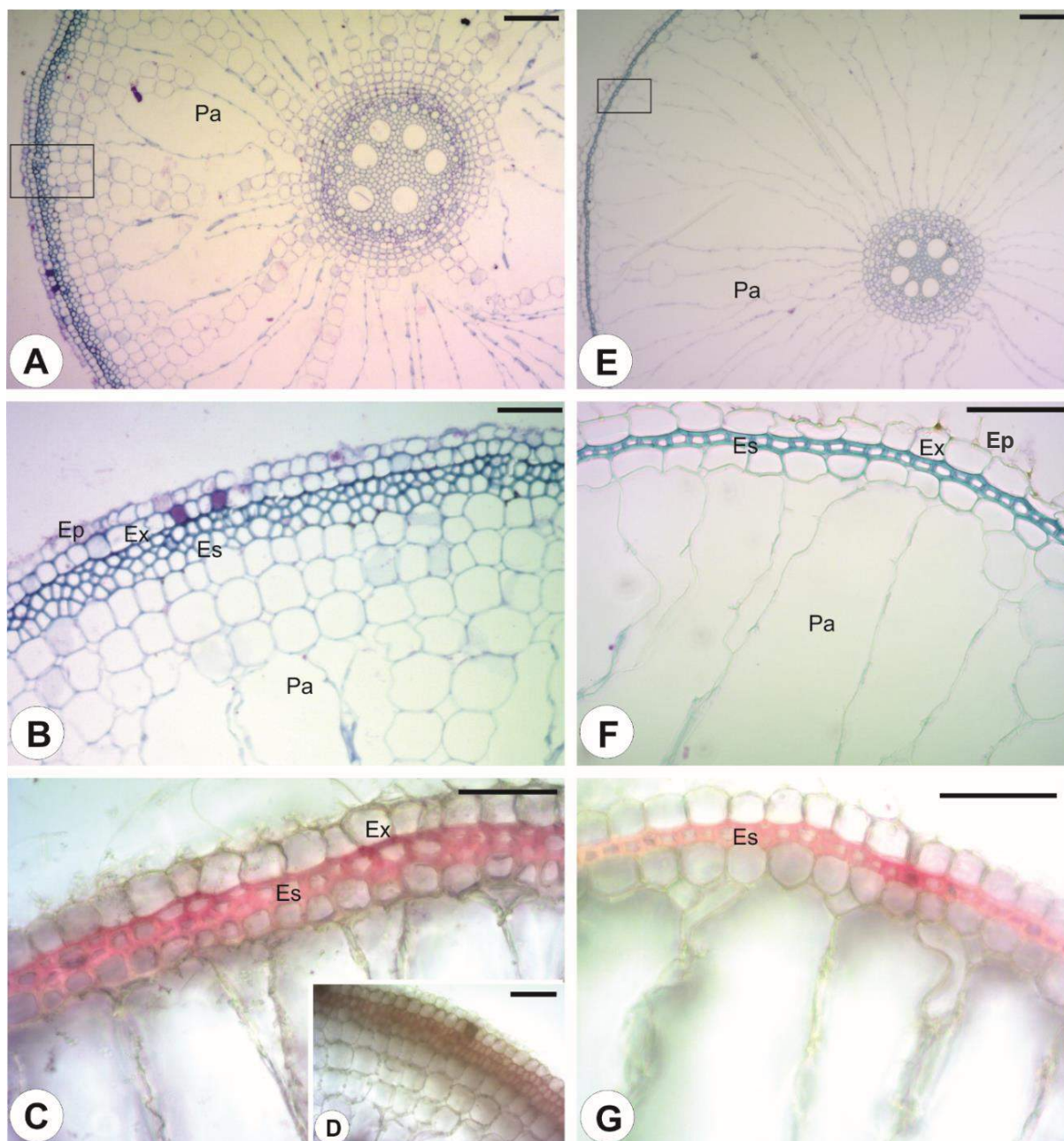
Cultivar ^a (Safrab)	Cultivar				
	ATAL ^a	FIRM	LIGE	PAMP	QUER
FIRM (1)	0,0862 ^{ns#}	-	-	-	-
LIGE (1)	0,0100*	0,0050*	-	-	-
PAMP (1)	0,0050*	0,0094*	0,1831 ^{ns}	-	-
QUER (1)	0,0094*	0,0050*	0,4700 ^{ns}	0,1550 ^{ns}	-
DAWN (1)	0,0600 ^{ns}	0,4189 ^{ns}	0,0075*	0,0037*	0,0060*
FIRM (2)	0,0588 ^{ns}	-	-	-	-
LIGE (2)	0,0056*	0,0050*	-	-	-
PAMP (2)	0,0050*	0,0056*	0,0056*	-	-
QUER (2)	0,0056*	0,0056*	0,1371 ^{ns}	0,0550 ^{ns}	-
DAWN (2)	0,0582 ^{ns}	0,3500 ^{ns}	0,0050*	0,0025*	0,0067*

803 ^aCultivares de arroz: ATAL= BRS Atalanta; FIRM= BRS Firmeza; LIGE= BRS Ligeirinho;
 804 PAMP= BRS Pampa CL; QUER= BRS Querência; DAWN= Dawn. ^bSafras: (1) 2016/17; (2)
 805 2017/18. [#]Valores de *P* originados a partir das comparações aos pares entre as cultivares pela
 806 *permutational MANOVA* [*significativo ($P < 0,05$); ^{ns}não significativo]



807

808 *Fig. 1* Anatomia foliar de cultivares de arroz resistente ["Dawn"= (a), (c)] e suscetível [(“BRS
 809 Pampa CL”= (b), (d))] ao gorgulho-aquático Sul-Americano (RWW), aos 25 Dias Após a
 810 Inundação (DAI). (a) e (b) Microscopia de luz (seção transversal); (c) e (d) Microscopia
 811 eletrônica de varredura da superfície adaxial. P= papilas; cv= células protuberantes do tipo
 812 "verruga"; cb= células buliformes; X= xilema; F= floema; E= endoderme; Setas indicam os
 813 estômatos. Barras de escala= (a) 10 μm [1000 x], (b) 10 μm [1200 x], (c) e (d) 200 μm



814
 815 *Fig. 2* Anatomia radicular de cultivares de arroz resistente [“Dawn” = (a), (b), (c), (d)] e
 816 suscetível [(“BRS Pampa CL” = (e), (f), (g)] ao gorgulho-aquático Sul-Americano (RWW), aos
 817 25 Dias Após a Inundação (DAI). (a) e (e) Visão geral, quadro mostrando a diferenciação entre
 818 as camadas mais externas; (b) e (f) Células do esclerênquima organizadas em 3 camadas e 1
 819 camada nas cultivares resistente e suscetível, respectivamente; (c), (d) e (g) Detecção de lignina
 820 nas células do esclerênquima por métodos histoquímicos (cor avermelhada) [(c) Planta da
 821 cultivar “Dawn” infestada e (d) não infestada]. Pa= parênquima; Ep= epiderme; Ex= exoderme;

- 822 Es= esclerênquima. Barras de escala= (a) e (e) 100 μm [10 x], (b) 50 μm [20 x], (c), (d), (f) e
- 823 (g) 50 μm [40 x]

824 *Tabela 4* Atividade média (\pm EP) das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT),
 825 ascorbato peroxidase (APX), peroxidase (POX) e polifenoloxidase (PPO) em raízes de arroz de
 826 cultivares suscetível (Ss) e resistente (Rr) apresentando infestação natural do gorgulho-aquático
 827 Sul-americano (RWW), aos 15, 25 e 35 Dias Após a Inundação (DAI)

Cultivar ^a (RWW ^s)	Época ^b		
	15 DAI [#]	25 DAI ^{##}	35 DAI ^{###}
<i>Atividade de SOD (U mg⁻¹ proteína)</i>			
PAMP (Ss)	394,88 \pm 38,75 bA*	321,02 \pm 54,70 bA	395,08 \pm 23,05 bA
DAWN (Rr)	525,76 \pm 47,89 aA	605,67 \pm 84,20 aA	620,22 \pm 23,78 aA
<i>Atividade de CAT (μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína)</i>			
PAMP (Ss)	17,77 \pm 0,92 bA	20,99 \pm 3,03 bA	22,09 \pm 2,73 bA
DAWN (Rr)	44,25 \pm 9,42 aA	42,55 \pm 1,83 aA	45,05 \pm 5,15 aA
<i>Atividade de APX (μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína)</i>			
PAMP (Ss)	8,85 \pm 1,75 bA	11,42 \pm 1,89 bA	13,64 \pm 1,03 bA
DAWN (Rr)	18,95 \pm 1,47 aB	30,57 \pm 3,38 aA	36,11 \pm 3,44 aA
<i>Atividade de POX (mol min⁻¹ mg⁻¹ proteína)</i>			
PAMP (Ss)	7,31 \pm 1,33 bA	11,13 \pm 1,60 bA	9,41 \pm 1,88 bA
DAWN (Rr)	10,60 \pm 0,63 aB	17,27 \pm 0,49 aA	18,09 \pm 0,87 aA
<i>Atividade de PPO (mol min⁻¹ mg⁻¹ proteína)</i>			
PAMP (Ss)	347,44 \pm 53,75 bA	497,65 \pm 31,43 bA	485,21 \pm 30,64 bA
DAWN (Rr)	576,46 \pm 77,80 aB	809,45 \pm 62,74 aA	913,30 \pm 37,21 aA

828 ^sReação ao RWW. ^aCultivares de arroz: PAMP= BRS Pampa CL; DAWN= Dawn. ^bÉpocas de
 829 amostragem correspondentes ao início (15 DAI), pico (25 DAI) e declínio (35 DAI) da
 830 infestação larval no campo. Número médio de larvas nas raízes das plantas coletadas para as
 831 análises bioquímicas aos [#]15 DAI: PAMP= 4,95; DAWN= 4,26; ^{##}25 DAI: PAMP= 13,96,
 832 DAWN= 4,83; ^{###}35 DAI: PAMP= 17,08, DAWN= 5,67 (2017/18). *Valores médios seguidos
 833 pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem significativamente
 834 pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$)

835 *Tabela 5* Concentração média (\pm EP) de compostos fenólicos solúveis totais (TSPC), dos ácidos
 836 fenólicos 4-hidroxibenzóico (4-HX), ferúlico (FER) e p-cumárico (P-CM) e de derivados lignina-
 837 ácido tioglicólico (LTGA) em raízes de arroz de cultivares suscetível (Ss) e resistente (Rr)
 838 apresentando infestação natural do gorgulho-aquático Sul-americano (RWW), aos 15, 25 e 35
 839 Dias Após a Inundação (DAI)

Cultivar ^a (RWW ^s)	Época ^b		
	15 DAI [#]	25 DAI ^{##}	35 DAI ^{###}
<i>Concentração de TSPC ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>			
PAMP (Ss)	15,50 \pm 2,07 bA*	17,80 \pm 1,66 bA	16,79 \pm 0,77 bA
DAWN (Rr)	22,21 \pm 1,84 aA	27,47 \pm 2,79 aA	34,89 \pm 5,55 aA
<i>Concentração de 4-HX ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>			
PAMP (Ss)	0,36 \pm 0,02 bA	0,37 \pm 0,02 bA	0,28 \pm 0,05 bA
DAWN (Rr)	0,48 \pm 0,05 aA	0,57 \pm 0,08 aA	0,53 \pm 0,01 aA
<i>Concentração de FER ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>			
PAMP (Ss)	0,40 \pm 0,03 bA	0,48 \pm 0,01 bA	0,49 \pm 0,01 bA
DAWN (Rr)	2,31 \pm 0,27 aA	1,80 \pm 0,13 aB	1,46 \pm 0,26 aB
<i>Concentração de P-CM ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>			
PAMP (Ss)	1,26 \pm 0,11 bA	1,53 \pm 0,24 bA	1,24 \pm 0,07 bA
DAWN (Rr)	1,94 \pm 0,10 aB	2,65 \pm 0,23 aA	3,13 \pm 0,27 aC
<i>Concentração de LTGA ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>			
PAMP (Ss)	44,00 \pm 1,53 bA	36,96 \pm 3,07 bA	47,33 \pm 2,56 bA
DAWN (Rr)	56,19 \pm 1,48 aA	60,56 \pm 3,11 aA	65,38 \pm 4,26 aA

840 ^sReação ao RWW. ^aCultivares de arroz: PAMP= BRS Pampa CL; DAWN= Dawn. ^bÉpocas de
 841 amostragem correspondentes ao início (15 DAI), pico (25 DAI) e declínio (35 DAI) da infestação
 842 larval no campo. Número médio de larvas nas raízes das plantas coletadas para as análises
 843 bioquímicas aos [#]15 DAI: PAMP= 4,95; DAWN= 4,26; ^{##}25 DAI: PAMP= 13,96, DAWN= 4,83;
 844 ^{###}35 DAI: PAMP= 17,08, DAWN= 5,67 (2017/18). *Valores médios seguidos pela mesma letra,
 845 minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem significativamente pelo teste de Scott
 846 Knott ($P < 0,05$)

847 Tabela 6 Atividade média (\pm EP) das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT),
 848 ascorbato peroxidase (APX), peroxidase (POX) e polifenol oxidase (PPO) em raízes de arroz de
 849 cultivares suscetível (Ss) e resistente (Rr) apresentando diferentes níveis de infestação do
 850 gorgulho-aquático Sul-americano (RWW), aos 25 Dias Após a Inundação (DAI)

Cultivar ^a (RWW ^s)	Nível de infestação aos 25 DAI ^b			
	Controle	1-3 larvas	5-7 larvas	9 larvas
<i>Atividade de SOD (U mg⁻¹ proteína)</i>				
PAMP (Ss)	308,51 \pm 16,49 bA*	307,38 \pm 3,89 bA	363,15 \pm 9,13 bA	343,87 \pm 25,66 bA
DAWN (Rr)	555,29 \pm 53,80 aA	569,29 \pm 7,63 aA	595,07 \pm 26,90 aA	576,57 \pm 16,20 aA
<i>CAT (μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína)</i>				
PAMP (Ss)	20,16 \pm 1,43 bA	21,17 \pm 1,17 bA	22,03 \pm 1,04 bA	23,55 \pm 1,16 bA
DAWN (Rr)	36,40 \pm 3,18 aA	38,09 \pm 2,45 aA	37,35 \pm 3,85 aA	38,60 \pm 1,68 aA
<i>APX (μmol min⁻¹ mg⁻¹ proteína)</i>				
PAMP (Ss)	21,21 \pm 1,84 bA	18,52 \pm 2,56 bA	19,41 \pm 1,67 bA	15,06 \pm 2,59 bA
DAWN (Rr)	33,62 \pm 1,75 aA	33,33 \pm 1,55 aA	33,07 \pm 1,21 aA	34,97 \pm 1,37 aA
<i>POX (mol min⁻¹ mg⁻¹ proteína)</i>				
PAMP (Ss)	17,80 \pm 1,46 bA	18,46 \pm 1,89 bA	20,16 \pm 1,76 bA	18,86 \pm 1,22 bA
DAWN (Rr)	27,21 \pm 1,77 aA	25,90 \pm 1,79 aA	26,19 \pm 1,17 aA	28,57 \pm 3,03 aA
<i>PPO (mol min⁻¹ mg⁻¹ proteína)</i>				
PAMP (Ss)	541,10 \pm 37,27 bA	554,91 \pm 28,18 bA	591,60 \pm 24,00 bA	574,30 \pm 37,18 bA
DAWN (Rr)	1016,78 \pm 104,70 aA	925,15 \pm 83,67 aA	879,87 \pm 39,29 aA	923,30 \pm 57,10 aA

851 ^sReação ao RWW. ^aCultivares de arroz: PAMP= BRS Pampa CL; DAWN= Dawn. ^bNíveis de
 852 infestação nas raízes das plantas coletadas para as análises bioquímicas aos 25 DAI (pico de
 853 infestação de larvas no campo)= 1 (controle): 0 larva; 2: 1-3 larvas; 3: 5-7 larvas; 4: 9 larvas
 854 (2017/18). *Valores médios seguidos pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas
 855 linhas, não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$)

856 *Tabela 7* Concentração média (\pm EP) de compostos fenólicos solúveis totais (TSPC), dos ácidos
 857 fenólicos 4-hidroxibenzóico (4-HX), ferúlico (FER) e p-cumárico (P-CM) e de derivados
 858 lignina-ácido tioglicólico (LTGA) em raízes de arroz de cultivares suscetível (Ss) e resistente
 859 (Rr) apresentando diferentes níveis de infestação do gorgulho-aquático Sul-americano (RWW),
 860 aos 25 Dias Após a Inundação (DAI)

Cultivar ^a (RWW ^s)	Nível de infestação aos 25 DAI ^b			
	Controle	1-3 larvas	5-7 larvas	9 larvas
<i>Concentração de TSPC ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>				
PAMP (Ss)	14,82 \pm 1,70 bA*	14,68 \pm 1,29 bA	13,19 \pm 0,91 bA	15,94 \pm 0,87 bA
DAWN (Rr)	20,61 \pm 2,10 aB	26,23 \pm 1,37 aA	26,63 \pm 2,90 aA	30,30 \pm 1,14 aA
<i>Concentração de 4-HX ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>				
PAMP (Ss)	0,27 \pm 0,03 bA	0,29 \pm 0,06 bA	0,30 \pm 0,09 aA	0,49 \pm 0,04 aA
DAWN (Rr)	0,46 \pm 0,04 aA	0,49 \pm 0,05 aA	0,56 \pm 0,12 aA	0,58 \pm 0,12 aA
<i>Concentração de FER ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>				
PAMP (Ss)	0,61 \pm 0,12 bA	0,49 \pm 0,04 bA	0,55 \pm 0,16 bA	0,76 \pm 0,21 bA
DAWN (Rr)	1,56 \pm 0,24 aB	1,69 \pm 0,23 aB	2,13 \pm 0,41 aA	2,63 \pm 0,11 aA
<i>Concentração de P-CM ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>				
PAMP (Ss)	1,16 \pm 0,11 bA	1,22 \pm 0,13 bA	1,18 \pm 0,12 bA	1,53 \pm 0,23 bA
DAWN (Rr)	1,89 \pm 0,08 aB	2,36 \pm 0,09 aA	2,42 \pm 0,30 aA	2,76 \pm 0,19 aA
<i>Concentração de LTGA ($\mu\text{g g}^{-1}$ matéria fresca)</i>				
PAMP (Ss)	38,71 \pm 0,93 bA	41,27 \pm 2,04 bA	40,86 \pm 1,47 bA	40,04 \pm 0,84 bA
DAWN (Rr)	46,02 \pm 1,88 aB	53,98 \pm 1,63 aA	54,48 \pm 1,07 aA	56,36 \pm 2,27 aA

861 ^sReação ao RWW. ^aCultivares de arroz: PAMP= BRS Pampa CL; DAWN= Dawn. ^bNíveis de
 862 infestação nas raízes das plantas coletadas para as análises bioquímicas aos 25 DAI (pico de
 863 infestação de larvas no campo)= 1 (controle): 0 larva; 2: 1-3 larvas; 3: 5-7 larvas; 4: 9 larvas
 864 (2017/18). *Valores médios seguidos pela mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas
 865 linhas, não diferem significativamente pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$)

4. Artigo 3

Impacto do dano de *Oryzophagus oryzae* (Col.: Curculionidae) em cultivares de arroz de suscetibilidade contrastante

Impact of the South American rice water weevil *Oryzophagus oryzae* (Col.: Curculionidae) damage on rice cultivars of contrasting susceptibility

Juliano de Bastos Pazini

Enio Júnior Seidel

Afrânio Márcio Corrêa Vieira

Aline Costa Padilha

Giovani Greigh de Brito

José Francisco da Silva Martins

Anderson Dionei Grützmacher

***Artigo redigido nas normas da revista “Journal of Economic Entomology” (versão em Português)

1 Juliano de Bastos Pazini
2 Federal University of Pelotas
3 Department of Plant Protection
4 Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900
5 Pelotas, Rio Grande do Sul, RS, Brazil
6 Phone: +55 55 99934-6181
7 E-mail: julianopazzini@hotmail.com
8

9 **Impacto do dano de *Oryzophagus oryzae* (Col.: Curculionidae) em cultivares de arroz de**
10 **suscetibilidade contrastante**

11
12 Juliano de Bastos Pazini¹, Enio Júnior Seidel², Afrânio Márcio Corrêa Vieira³, Aline Costa
13 Padilha¹, Giovani Greigh de Brito⁴, José Francisco da Silva Martins⁵, Anderson Dionei
14 Grützmacher¹

15
16 ¹Federal University of Pelotas, Faculty of Agronomy “Eliseu Maciel”, Department of Plant
17 Protection. Eliseu Maciel Ave, Postal Code 96010-900, Pelotas, RS, Brazil.

18 ²Federal University of Santa Maria, Center of Exact and Natural Sciences, Department of
19 Statistic. Roraima Ave, Postal Code 97105-900, Santa Maria, RS, Brazil.

20 ³Federal University of São Carlos, Center of Exact Sciences and Technology, Department of
21 Statistic. Washington Luís Rd, km 235, Postal Code 13565-905, São Carlos, SP, Brazil.

22 ⁴Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Cotton. 1143 Oswaldo Cruz St, Postal
23 Code 58428-095, Campina Grande, PB, Brazil.

24 ⁵Brazilian Agricultural Research Corporation, Embrapa Temperate Agriculture. BR 392, km
25 79, Monte Bonito, Postal Code 96010-971, Pelotas, RS, Brazil.

26 **Resumo**

27 O dano causado pelas larvas de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera:
28 Curculionidae) em cultivares de arroz de suscetibilidade contrastante (“BRS Pampa
29 CL”=“Pamp”: suscetível; “BRS Atalanta”=“Atal”: resistente-antibiose) foi avaliado em duas
30 safras, no campo, em gaiolas com dez plantas, sob sete níveis de infestação: 0; 2; 4; 6; 8; 10 e
31 20 casais do gorgulho-aquático por gaiola. As densidades de lesões de alimentação foliar e de
32 larvas por planta produzidas pelos gorgulhos-aquáticos apresentaram relação linear. O aumento
33 na densidade do gorgulho-aquático nas gaiolas incrementou a densidade de lesões foliares e de
34 larvas nas raízes por planta, respectivamente, na proporção de até 1,37 e 2,82, em “Pamp”, e de
35 1,59 e 1,88, em “Atal”, sendo o total de larvas geradas significativamente menor em “Atal”. A
36 produção de grãos foi impactada negativamente com o aumento da densidade larval nas raízes,
37 principalmente pelo decréscimo do volume radicular e do número de grãos por panícula. Porém,
38 a intensidade da injúria às raízes e a perda de produção apresentou relação não linear.
39 Constatou-se que perdas significativas de produção ocorreram a partir de 10,83 larvas por
40 planta, em “Pamp”, e de 9,80 larvas por planta, em “Atal”. Com isso, os resultados forneceram
41 a primeira evidência de um limite de tolerância ao dano larval de *O. oryzae* que, mesmo sendo
42 semelhante entre cultivares de suscetibilidade contrastante, corresponde ao dobro do atual nível
43 convencionado para o controle de larvas. Discutimos também aqui o potencial da aplicação dos
44 limites de tolerância visando o controle da população adulta do inseto em arrozais.

45 **Palavras-chave:** gorgulho-aquático, limite de tolerância, nível de controle, Manejo Integrado
46 de Pragas

47 **Introdução**

48 *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae) (RWW) tem destacada
49 ocorrência em arrozais irrigados por inundação dos países da América do Sul (Wibmer &
50 O'Brien 1986). No Brasil, maior polo de produção de arroz depois dos países do continente
51 asiático (FAOSTAT 2016), *O. oryzae* é praga chave presente em mais de 65% dos arrozais
52 inundados no Sul do país (Guedes et al. 2015). Os insetos adultos (“gorgulho-aquático”) se
53 alimentam das folhas de arroz, ocasionando lesões típicas semelhantes a raspagens; raramente
54 promovem prejuízos econômicos em lavouras implantadas em solo seco, os quais restringem-
55 se em arrozais em sistema pré-germinado, devido a elevada mortalidade de plântulas (Hickel et
56 al. 2013). Independente do sistema de cultivo, os principais prejuízos, porém, são causados
57 pelas larvas (“bicheira-da-raiz”), que se alimentam das raízes das plantas após inundação dos
58 arrozais, impactando sobre diferentes componentes vegetativos e reprodutivos da cultura (Zou
59 et al. 2004), que levam a redução de até 18% na produção de grãos (Martins & Cunha 2015).

60 Apesar de algumas práticas de manejo dos arrozais contribuírem para reduzir a
61 população e os danos de *O. oryzae* (Martins & Cunha 2007), o uso de inseticidas químicos tem
62 sido a medida de controle preferencial (Guedes et al. 2015), condicionando esse inseto o indutor
63 do maior consumo dessa categoria de produtos em arrozais do Sul do Brasil. Estima-se que, a
64 cada safra, a área cultivada com sementes tratadas com inseticidas visando o controle
65 preventivo das larvas (Saad et al. 2018), basicamente fipronil (pirazol), supere, de longe, 700
66 mil hectares, nessa região (Oliveira & Fiuza 2013). Além disso, tem-se adotado, em menor
67 escala, a pulverização curativa de piretroides, neonicotinoides ou diamidas, via foliar, no início
68 da inundação dos arrozais (IRGA, RS, Brasil, comunicação pessoal), para eliminar os gorgulhos
69 antes da atividade de oviposição nas plantas. No entanto, mesmo que existam recomendações
70 técnicas para a prática do controle químico de *O. oryzae* (Reunião 2018), esse tem sido
71 empregado sem considerar os critérios do Manejo Integrado de Pragas (MIP), com destaque

72 para aplicação de inseticidas em áreas sem ocorrência do inseto (Martins & Cunha 2015,
73 Martins et al. 2016). Os custos relativamente baixos de inseticidas e o tratamento industrial de
74 sementes com esses produtos, combinados com a elevada eficiência do método, têm promovido
75 o cenário de dependência e inadequação do uso de inseticidas. Esse cenário pode ocasionar
76 aumento desnecessário do custo de produção e, principalmente, do risco de impacto ambiental
77 negativo (Grützmacher et al. 2008, Martins et al. 2017, Pazini et al. 2017).

78 Pedigo & Higley (1996) ressaltaram que um dos principais preceitos do MIP se sustenta
79 no fato de que as plantas podem tolerar determinados níveis de injúria ocasionada por insetos,
80 sem reduzir significativamente a produção. Isso significa que a resposta da planta à injúria
81 inclui tolerância e, por vezes, supercompensação, sendo a intensidade da injúria e a perda de
82 produção, nesses casos, uma relação não linear (Seinhorst 1965; 1973, Pedigo et al. 1986,
83 Higley & Peterson 1996). Portanto, nem toda densidade de insetos será causadora de danos
84 significativos a ponto de se tornar praga, exigindo controle (Bueno et al. 2013).

85 Com base nisso, estabeleceu-se o conceito do nível de dano econômico (NDE), que é a
86 menor densidade de uma espécie-praga capaz de provocar prejuízos à cultura iguais ao custo
87 para adoção do controle. A decisão de controle de pragas em plantas cultivadas deve ser adotada
88 antes que o NDE seja atingido, que foi definido como nível de controle (NC) (Stern et al. 1959).
89 No entanto, Bueno et al. (2013) alertaram que o NC não deve ser estabelecido muito abaixo do
90 NDE, a ponto de sobrepor os limites de tolerância ou supercompensação da planta ao dano.
91 Dessa forma, torna-se fundamental determinar e considerar esses limites ao estimar o NDE e o
92 NC.

93 Preconiza-se, atualmente, que o controle químico de *O. oryzae* somente seja empregado
94 sobre adultos quando 50% ou mais plantas do arrozal, vistoriadas entre o segundo ou terceiro
95 dia após a inundação, contiverem lesões de alimentação nas folhas mais novas, ou sobre larvas
96 quando ocorrer uma infestação média superior a cinco larvas por amostra de solo e raízes

97 (Reunião 2018). Essas recomendações de controle foram convencionadas há mais de duas
98 décadas sobre cultivares suscetíveis (Botton et al. 1996) e, em parte, baseadas em indicações
99 para o gorgulho-aquático norte-americano *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel (Coleoptera:
100 Curculionidae) (Smith et al. 1986), não havendo nenhum conhecimento sobre os limites de
101 tolerância ou supercompensação de cultivares de arroz ao dano larval (Botton et al. 1996).

102 Contudo, até o presente, houve inúmeras alterações tecnológicas no sistema de produção
103 de arroz brasileiro, que podem impactar diretamente sobre *O. oryzae* (Martins & Prando 2004),
104 interferindo nessas recomendações de controle. Dentre essas mudanças, destaca-se a inserção
105 de cultivares modernas, que apresentam vigoroso sistema radicular, elevado perfilhamento e
106 potencial produtivo (Reunião 2018). As novas cultivares também são altamente responsivas à
107 fertilização nitrogenada, elemento que pode auxiliar na recuperação de raízes danificadas pelas
108 larvas de *O. oryzae* (Martins et al. 1987). Além disso, sabe-se que as cultivares podem diferir
109 quanto à reação aos fatores bióticos, como o ataque de insetos (Magalhães Júnior et al. 2004).
110 Em arroz, já foram detectadas resistência dos tipos antixenose (não-preferência), antibiose e
111 tolerância (Painter 1951) em inúmeras cultivares para os gorgulhos-aquáticos *L. oryzophilus*
112 (Smith & Robinson 1982, N'Guessan et al. 1994, Stout & Riggio 2002, Saad et al. 2018) e *O.*
113 *oryzae* (Silva et al. 2003, Martins et al. 2004, Neves et al. 2011, Lima et al. 2019).

114 O objetivo do presente estudo foi determinar os índices de perda de produção em
115 diferentes cultivares de arroz associados a distintos níveis de infestação de *O. oryzae*, em
116 condições de campo, estabelecendo comparações entre os níveis de tolerância ao dano do inseto
117 de uma cultivar moderna e de uma cultivar obsoleta, porém, portadora de antibiose larval. Este
118 estudo vem ao encontro da iminente necessidade de validar ou revisar o atual nível de infestação
119 larval causador de danos significativos às plantas, relacionando-as com as densidades de adultos
120 e de lesões de alimentação foliar, a fim de subsidiar ações de controle econômico de *O. oryzae*
121 em arrozais irrigados por inundação.

122 **Material e Métodos**

123 *Área de estudo*

124 Os experimentos foram realizados nas safras 2017/18 e 2018/19, em talhões nivelados
125 (“cota zero”) localizados às margens de uma área de aproximadamente 100 hectares, na Estação
126 Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado (ETB-Embrapa), em Capão-do-
127 Leão, RS, Brasil (31°48'45"S; 52°27'59"W). O solo é do tipo Planossolo Háplico eutrófico
128 típico, comuns em arrozais irrigados por inundação no Sul do Brasil. O clima da região é do
129 tipo “Cfa”, subtropical, temperado quente, com chuvas bem distribuídas e estações bem
130 definidas, segundo classificação de Köppen-Geiger.

131 *Cultivo de arroz*

132 Duas cultivares comerciais de arroz foram selecionadas para compor os tratamentos. A
133 cultivar BRS Pampa CL (Embrapa, Brasília, Brasil) apresenta plantas do tipo “moderno”, ciclo
134 precoce, 106-120 dias, tolerância ao herbicida imazapir+imazapique (Kifix[®], Basf S/A, São
135 Paulo, Brasil) e potencial produtivo de 12,1 t ha⁻¹ (10,3 t ha⁻¹, em média); trata-se do mais
136 recente lançamento de cultivar comercial para arroz irrigado do Sul do Brasil (Magalhães Júnior
137 et al. 2018). “BRS Pampa CL” tem se mostrado suscetível a *O. oryzae* (Pazini, J. de B., dados
138 não publicados; Artigo 1). “BRS Atalanta” foi incluída no presente estudo, somente na safra de
139 2018/19, como padrão de resistência a *O. oryzae* (Martins et al. 2001, Magalhães Júnior et al.
140 2004, Embrapa 2006, Lima et al. 2019) do tipo antibiose sobre larvas (Pazini, J. de B., dados
141 não publicados; Artigo 1). “BRS Atalanta” (Embrapa, Brasília, Brasil) é uma cultivar
142 convencional que apresenta plantas do tipo “moderno”, ciclo superprecoce, <105 dias, e
143 potencial produtivo de 9,3 t ha⁻¹ (6,8 t ha⁻¹, em média); foi lançada comercialmente para arroz
144 irrigado do Sul do Brasil em 1999 (Embrapa 2006).

145 Nas duas safras, na primeira quinzena do mês de novembro, mudas de arroz produzidas
146 em casa-de-vegetação, com 20 dias pós-emergência, foram transplantadas no campo, em solo

147 coberto por lâmina d'água de aproximadamente 2 cm. Dez mudas foram transplantadas
148 circularmente no interior de gaiolas (parcelas experimentais), expondo todas as plântulas à
149 mesma chance de colonização por adultos de *O. oryzae*; a circunferência com plântulas
150 equidistantes 15 cm mediu ~48 cm de diâmetro (Fig. 1 D). As gaiolas foram construídas em
151 formato circular (88,0 cm de diâmetro x 30,0 cm de altura), com seções de aço galvanizado,
152 estando aparafusadas em varas de madeira (110,0 cm de comprimento x 2,5 cm de largura x 2,5
153 cm de altura) dispostas em quatro pontos equidistantes da circunferência, as quais também
154 serviram para afixá-las no solo (Fig. 1 A, B, C). Cada gaiola apresentava duas aberturas (5 cm
155 largura x 5 cm de altura) com tela de aço inoxidável (40 *mesh*) para entrada da água de irrigação
156 (Fig. 1 D). De imediato ao transplante das mudas, as gaiolas foram cobertas por tela *voile*,
157 conforme Foresti et al. (2018), que foram presas no topo de uma vara de madeira (130,0 cm de
158 comprimento x 2,5 cm de largura x 2,5 cm de altura), localizada ao centro de cada gaiola (Fig.
159 1 E, F). A partir do terceiro dia pós-transplante, a lâmina d'água de irrigação foi aumentada
160 gradualmente nos talhões (Fig. 2 A), até estabilizar em 15 cm, espessura favorável ao gorgulho-
161 aquático (Büttow et al. 2017).

162 As plantas nas gaiolas não receberam fertilização, tampouco aplicações de inseticidas e
163 herbicidas. Utilizaram-se preventivamente os fungicidas tricyclazole (Bim[®] PM; 75,0% i.a.; Dow
164 AgroSciences Industrial Ltda, São Paulo, Brasil; 0,3 kg ha⁻¹), entre R₁ e R₂, e
165 trifloxistrobina+tebuconazol (Nativo[®] SC; 10,0+20,0% i.a.; Bayer S.A., São Paulo, Brasil, 0,7
166 L ha⁻¹), em R₄ (Counce et al. 2000, Reunião 2016). O controle de plantas daninhas foi realizado
167 por meio de arranquio manual.

168 *Procedimentos de infestação dos casais de RWW e delineamento experimental*

169 Coletaram-se adultos de *O. oryzae*, em cópula, a partir de talhões de arroz adjacentes,
170 livres de tratamento com inseticidas, na ETB-Embrapa, um dia antes da infestação das gaiolas
171 (Lanka et al. 2013). Cada casal coletado foi mantido em pequenos tubos (2 mL), contendo

172 segmentos foliares de arroz e ~0,5 mL de água. Aos 3 dias pós-estabilização da lâmina d'água
173 de irrigação (DAI= Dias Após a Inundação) nos talhões dos experimentos, foram realizadas as
174 liberações dos casais do gorgulho-aquático no interior das gaiolas, diretamente na água de
175 irrigação, ao centro da gaiola (Fig. 2 B, C). Para ambas cultivares, foram utilizados os seguintes
176 níveis de infestação: *i*= 0 (controle); *ii*= 2; *iii*= 4; *iv*= 6; *v*= 8; *vi*= 10 e *vii*= 20 casais do gorgulho-
177 aquático por gaiola, equivalente a 0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 e 2,0 casais do gorgulho-aquático
178 por planta, respectivamente.

179 Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com sete
180 tratamentos (níveis de infestação) e quatro repetições, totalizando 28 gaiolas ou parcelas para
181 cada cultivar (“BRS Pampa CL” e “BRS Atalanta”).

182 *Coleta dos dados*

183 Determinação das densidades de lesões de alimentação foliar e larval

184 Aos 7 DAI, equivalente ao quarto dia após a infestação, foi registrado o número de
185 lesões de alimentação (raspagens) nas folhas, nas dez plantas de cada gaiola. A densidade larval
186 foi determinada em cinco plantas (Fig. 2 D), sendo as amostras de solo e raízes coletadas em
187 cada gaiola, de acordo com método de Neves et al. (2011), aos 30 DAI. As amostras foram
188 desintegradas separadamente, imersas em água, numa peneira de tela de náilon, para separação
189 e visualização das larvas e pupas de *O. oryzae* do solo e raízes das plantas e posterior contagem.
190 A antibiose larval foi aferida registrando-se o tamanho e o peso corporal das larvas de cada
191 amostra. Para isso, as larvas contabilizadas no campo, na safra 2018/19, foram coletadas e
192 mantidas durante dois dias no laboratório (8 ± 2 °C), onde o tamanho foi mensurado por meio
193 de paquímetro digital MeterMall (MeterMall, Marysville, Estados Unidos) (0-150 mm); o peso
194 foi registrado em balança eletrônica analítica Shimadzu ATX 224 (0,0001 g) (Shimadzu,
195 Barueri, Brasil) (Lima et al. 2019).

196 Efeitos do dano larval sobre variáveis da planta

197 Determinou-se o volume radicular (VOLUME) das cultivares submetidas aos diferentes
198 níveis de ataque de larvas, aos 30 DAI. Para isso, durante a estimativa populacional de larvas,
199 uma amostra de solo e raízes, dentre as cinco amostras avaliadas em cada parcela, foi coletada
200 por meio de um amostrador de 15 cm de diâmetro, aprofundado cerca de 15 cm no solo.
201 Considerou-se cada amostra uma repetição. Após à coleta, as raízes foram lavadas, usando um
202 conjunto de peneiras (10-200 *mesh*) para evitar a perda de raízes finas, até a completa remoção
203 do solo e impurezas. Espalharam-se as raízes em bandeja (40 cm de comprimento x 40 cm de
204 largura) contendo lâmina d'água de 1 cm, onde foram fotografadas [Nikon D5300 DSLR
205 (Nikon Corporation, Tóquio, Japão)]. A morfometria das raízes foi obtida no WinRHIZO Pro
206 2013 *software* (Regent Instruments. Inc., Quebec, Canadá), semelhante ao estudo de Brito et
207 al. (2019). Além disso, registrou-se o número de perfilhos das cinco plantas utilizadas para
208 determinação da densidade larval.

209 Os componentes de produtividade dos tratamentos foram determinados nas cinco
210 plantas restantes de cada gaiola (Fig. 2 E, F), por meio da colheita manual das panículas, que
211 foi efetuada a partir de seu nó basal (colar), em estágio R₉ e cerca de 22% de umidade. Com
212 isso, contabilizaram-se o número de panículas planta⁻¹ (PANI), o número de grãos panícula⁻¹
213 (GRAO) e o peso de mil grãos (g) (₁₀₀₀GRAO) (Zou et al. 2004). O número de grãos panícula⁻¹
214 e o peso de mil grãos foram estimados a partir de uma amostra de 30 panículas de cada parcela,
215 isto é, seis panículas selecionadas ao acaso nas cinco plantas. Por fim, todas as panículas
216 colhidas foram debulhadas para determinar a produção de grãos total planta⁻¹, em peso (g)
217 convertido para 13% de umidade, em balança eletrônica semi-analítica Shimadzu UX2200H
218 (0,01 g) (Shimadzu, Barueri, Brasil).

219 *Análise dos dados*

220 A infestação larval planta⁻¹ ($y = \text{LARV}$) e a densidade de lesões de alimentação foliar
221 (raspagens) do gorgulho-aquático planta⁻¹ ($y = \text{LESO}$) produzidas pela infestação dos casais do

222 gorgulho-aquático gaiola⁻¹ ($x = \text{ADUL}, 0; 2; 4; 6; 8; 10; 20$), bem como a relação entre
223 densidade de lesões de alimentação foliar do gorgulho-aquático planta⁻¹ ($x = \text{LESO}$) e infestação
224 larval planta⁻¹ ($y = \text{LARV}$), em cada cultivar (BRS Pampa CL e BRS Atalanta), foram estimadas
225 por meio de regressões lineares ($y = a + b*x$).

226 Os dados obtidos da relação de produção de grãos planta⁻¹ ($y = \text{PROD}$) e densidade de
227 infestação larval planta⁻¹ ($x = \text{LARV}$), para fins de determinação do intervalo de tolerância
228 (TOLE) das cultivares (BRS Pampa CL e BRS Atalanta) ao dano das larvas, foram submetidos
229 ao modelo não linear proposto por Seinhorst (1965), de acordo com a seguinte equação: $y = m$
230 $+ (1 - m)*z^{Pi-T}$. Em que y é a razão entre a variável estimada para produção das plantas de arroz
231 numa densidade inicial de larvas (Pi) dividida pelo valor obtido em plantas conduzidas na
232 ausência de larvas; m é a produção mínima da planta (em escala relativa de 0 - 1) obtida sob
233 altas densidades populacionais de larvas nas raízes; isto é, o parâmetro assume que pode haver
234 um nível de infestação abaixo do qual a produção não pode ser mais reduzida pelas larvas,
235 porém, por óbvio, m também pode ser zero; z é o parâmetro de determinação da inclinação da
236 curva (dano), sendo definida como a proporção de plantas sem danos significativos na presença
237 de larvas nas raízes. Trata-se de uma constante menor que um ($z < 1$), e seu valor depende das
238 condições da praga, da planta (cultivar) e do ambiente; Pi é o nível da população inicial de
239 larvas por amostra, normalmente maior ou igual a T ($Pi \leq T$) e; T é o limite de tolerância, que
240 corresponde ao nível populacional mínimo de larvas capaz de influenciar significativamente a
241 produção das plantas (assim, abaixo desse nível, as larvas não causam danos na planta; T
242 também pode ser zero). Com base nisso, as perdas de produção ($y = \text{PROD}$) associadas ao
243 acréscimo de larvas ($Pi = \text{LARV}, +1, +2, +3, +4, +5, +10, +20$) a partir dos limites de tolerância
244 modelados para cada cultivar (TOLE) também foram estimadas. Para isso, utilizou-se a
245 produção do tratamento controle de cada cultivar como referência às estimativas de perda.

246 Todas as análises de regressão, lineares e não-lineares (Seinhorst 1965), foram efetuadas
247 pelo R *software* (R Development Core Team 2015). As premissas de normalidade de Shapiro-
248 Wilk e de homocedasticidade de variâncias de Bartlett foram testadas para todos os parâmetros
249 dos modelos e não houve necessidade de transformações nos dados ($P>0,05$). A significância
250 dos parâmetros dos modelos ajustados foi definida pelo teste t ($P<0,05$), sendo considerados
251 significativamente diferentes entre as cultivares mediante ausência de sobreposição dos limites
252 do intervalo de confiança (IC 95%), que foram obtidos pelo pacote “nlstools”. Cabe ressaltar
253 que as comparações entre os parâmetros dos modelos para as cultivares, nas duas safras, foram
254 estabelecidas segundo o seguinte critério: “BRS Pampa CL”, safra 2017/18 (1) x “BRS Pampa
255 CL”, safra 2018/19 (2) e “BRS Pampa CL”, safra 2018/19 (2) x “BRS Atalanta”, safra 2018/19
256 (2).

257 Quanto às variáveis tamanho (mm) e peso (mg) corporal das larvas (*fitness*), e
258 vegetativos e reprodutivos das plantas sob níveis de infestação larval [volume radicular
259 (VOLU, $\text{cm}^3 \text{ planta}^{-1}$); número de perfilhos (PERF, planta^{-1}); número de panículas (PANI,
260 planta^{-1}); número de grãos (GRAO, panícula^{-1}); massa de mil grãos ($_{1000}\text{GRAO}$, g)], para ambas
261 cultivares, procedeu-se os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade de
262 variâncias de Bartlett, não sendo necessária transformações nos dados ($P>0,05$). Com isso,
263 realizou-se análise de variância (ANOVA), com Scott-Knott *post-hoc* ($P<0,05$), por meio dos
264 pacotes “ExpDes” e “easyanova” do R *software*.

265 **Resultados**

266 *Densidade de lesões de alimentação nas folhas e de larvas nas raízes em função de*
267 *infestações de casais*

268 De maneira geral, em “BRS Pampa CL”, constataram-se que 0; 2; 4; 6; 8; 10 e 20 casais
269 do gorgulho-aquático *O. oryzae* gaiola⁻¹, produziram, respectivamente, 0; 6,30; 7,07; 10,10;
270 14,17; 22,80 e 26,25 raspagens planta⁻¹ ($y = 2,91 + 1,33 * x$) ($R^2 = 0,85$) e 0; 4,10; 9,75; 14,35;

271 22,30; 26,95 e 50,40 larvas planta⁻¹ ($y = -0,10 + 2,57 * x$) ($R^2 = 0,99$), na safra 2017/18 (Fig. 3 A,
272 B; Tabela 1). O aumento de cada um nível de infestação de casais do gorgulho-aquático gaiola⁻¹
273 ¹ provocou aumento linear (b) na proporção de 1,33 (0,75 - 1,89) e 2,57 (2,37 - 2,77) nas
274 densidades de raspagens e de larvas planta⁻¹, respectivamente (Tabela 1). Observou-se que a
275 população larval planta⁻¹ aumentou linearmente em função da densidade de raspagens foliares
276 do gorgulho-aquático planta⁻¹ ($y = -3,08 + 1,72 * x$) ($R^2 = 0,88$), numa proporção de 1,72 (1,05 -
277 2,39) (Fig. 3 C; Tabela 1). Já na safra 2018/19, os casais do gorgulho-aquático gaiola⁻¹ (0; 2; 4;
278 6; 8; 10; 20), produziram, respectivamente, 0; 6,65; 6,27; 9,81; 15,15; 23,14 e 26,95 raspagens
279 planta⁻¹ ($y = 2,77 + 1,37 * x$) ($R^2 = 0,85$) e 0; 4,85; 10,45; 16,42; 25,97; 32,08 e 54,81 larvas planta⁻¹
280 ¹ ($y = 0,49 + 2,82 * x$) ($R^2 = 0,98$), sendo que o aumento linear (b) nas densidades de raspagens e
281 de larvas planta⁻¹ foi estimado em 1,37 (0,97 - 1,77) e 2,82 (2,44 - 3,20), respectivamente, para
282 cada casal gaiola⁻¹ (Fig. 3 D, E; Tabela 1). A população de larvas planta⁻¹ apresentou aumento
283 linear de 1,36 (0,56 - 1,87) para cada lesão foliar do gorgulho-aquático planta⁻¹ ($y = -2,78 +$
284 $1,36 * x$) ($R^2 = 0,91$) (Fig. 3 F; Tabela 1). Cabe ressaltar ainda que houve sobreposição dos valores
285 do IC95% do parâmetro b em todas as estimativas para “BRS Pampa CL”, indicando
286 similaridade estatística entre as safras 2017/18 e 2018/19 (Tabela 1).

287 De outro modo, para “BRS Atalanta”, 0; 2; 4; 6; 8; 10 e 20 casais do gorgulho-aquático
288 gaiola⁻¹, originaram, respectivamente, 0; 4,24; 8,40; 11,61; 25,86; 23,86 e 30,23 raspagens
289 planta⁻¹ ($y = 3,54 + 1,59 * x$) ($R^2 = 0,77$) e 0; 3,89; 8,25; 12,62; 19,79; 26,54 e 35,81 larvas planta⁻¹
290 ¹ ($y = 1,88 + 1,88 * x$) ($R^2 = 0,95$), na safra 2018/19, sendo que para cada casal gaiola⁻¹ verificou-
291 se um aumento linear (b) de 1,59 (0,98 - 2,30) e 1,88 (1,40 - 2,36) no número de raspagens e
292 de larvas planta⁻¹, respectivamente (Fig. 4 A, B; Tabela 1). A infestação larval planta⁻¹ também
293 aumentou de maneira linear em função da densidade de raspagens planta⁻¹ ($y = -0,42 + 1,15 * x$)
294 ($R^2 = 0,91$), numa proporção de 1,15 (0,81 - 1,49) (Fig. 4 C; Tabela 1).

295 Não houve diferença entre as cultivares (2018/19) quanto à densidade de raspagens
296 planta⁻¹ para cada casal do gorgulho-aquático gaiola⁻¹ e quanto à população larval planta⁻¹ para
297 cada densidade de raspagens planta⁻¹, já que houve sobreposição dos valores do parâmetro *b*
298 das equações (Tabela 1). Em contrapartida, o aumento na densidade populacional de larvas
299 planta⁻¹ originada para cada casal do gorgulho-aquático gaiola⁻¹, na proporção de 1,88 (1,40 -
300 2,36) em “BRS Atalanta” e de 2,82 (2,44 - 3,20) em “BRS Pampa CL”, na safra 2018/19,
301 mostrou-se significativamente menor em “BRS Atalanta” (conforme ausência de sobreposição
302 dos valores do IC95% no parâmetro *b*) (Tabela 1), o que explica a grande diferença entre os
303 valores absolutos máximos de larvas planta⁻¹ alcançados em cada cultivar (“BRS Atalanta”=
304 35,81; “BRS Pampa CL”= 54,81) sob a maior densidade de casais gaiola⁻¹ (20). Além disso, o
305 tamanho e peso médios das larvas originadas e contabilizadas aos 30 DAI foram
306 significativamente menores em “BRS Atalanta” (“Tamanho”: H= 37,57, *gl*= 1, *P*= <0,001;
307 “Peso”: H= 17,33, *gl*= 1, *P*= <0,001), confirmando efeitos típicos de antibiose larval (Fig. 5).

308 *Limite de tolerância ao dano larval e variáveis das plantas*

309 O modelo de regressão não-linear de Seinhorst (1965) explicou a perda de produção de
310 grãos das cultivares de arroz em função da densidade e ataque larval de *O. oryzae* às raízes, nas
311 safras 2017/18 e 2018/19 (Fig. 6; Tabela 2). As equações $y = 0,97^{Pi - 10,83}$ ($R^2 = 0,98$) e $y = 0,98^{Pi}$
312 $- 8,37$ ($R^2 = 0,97$) representaram a relação entre perda de produção e densidade populacional de
313 larvas, em “BRS Pampa CL”, para as safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente (Fig. 6 A, B;
314 Tabela 2). De acordo com as equações obtidas, observou-se que o valor *T*, que é a população
315 mínima de larvas capaz de ocasionar perdas significativas no rendimento, foi igual a 10,83 (6,39
316 - 15,27), na safra 2017/18, e 8,37 (3,08 - 13,66), na safra 2018/19 (Fig. 6 A, B; Tabela 2). Ainda,
317 houve sobreposição dos valores do IC95% em *T*, indicando que “BRS Pampa CL” pode tolerar
318 até 10,83 (~11) larvas planta⁻¹, sem haver influência significativa na produção de arroz (Tabela
319 2).

320 Por outro lado, em “BRS Atalanta”, portadora de antibiose larval, na safra 2018/19, a
321 relação entre perda de produção e densidade populacional de larvas foi explicada pela equação
322 $y = 0,45 + (1 - 0,45) * 0,91^{Pi - 9,80}$ ($R^2 = 0,98$) (Fig. 6 C; Tabela 2). O limite de tolerância (T) obtido
323 foi de 9,80 (6,49 - 13,11) (Fig. 6 C; Tabela 2). Comparando esses valores T de plantas da cultivar
324 “BRS Atalanta” (resistente) com àqueles da cultivar “BRS Pampa CL” (suscetível) [8,37 (3,08
325 - 13,66)], na safra 2018/19, verificou-se a ocorrência de sobreposição dos valores do IC95%,
326 sugerindo que não existe diferença entre as plantas de ambas cultivares quanto à tolerância ao
327 dano larval de *O. oryzae*. Esses resultados podem ser confirmados pela proporção de plantas
328 sem danos significativos na presença de larvas - parâmetro z - que também não diferiu entre as
329 cultivares [“BRS Pampa CL”= 0,98 (0,93 - 1,02); “BRS Atalanta”= 0,91 (0,79 - 1,03)] (Tabela
330 2).

331 No entanto, as cultivares diferiram quanto à produção mínima relativa esperada sob
332 elevada população larval nas raízes (m) (2018/19). O valor de m foi de 0 (zero) em “BRS Pampa
333 CL” e de 0,45 (0,21 - 0,68) em “BRS Atalanta” (Tabela 2), isto é, enquanto a produção de grãos
334 em “BRS Pampa CL” pode ser totalmente reduzida pelo ataque de larvas, cerca de 21 a 68%
335 da produção de grãos em “BRS Atalanta” pode não ser afetada, sugerindo que essa cultivar
336 suporta melhor os efeitos da alimentação larval sob alta infestação. As estimativas de redução
337 na produção de grãos para as cultivares associadas ao incremento da população larval nas raízes,
338 nas safras 2017/18 e 2018/19, encontram-se na Tabela 3. Considerando que abaixo do nível de
339 tolerância as larvas não causam danos às plantas, a adição progressiva de larvas planta⁻¹, a partir
340 dos limites de tolerância para cada cultivar, reduziu a produção de arroz planta⁻¹ em cerca de
341 0,93 a 63,45% para “BRS Pampa CL” e em cerca de 3,70 a 50,32% para “BRS Atalanta”.

342 De modo geral, as diferenças significativas quanto às variáveis vegetativas e
343 reprodutivas das plantas de arroz ocorreram a partir de infestações maiores que 4 ou 6 casais
344 do gorgulho-aquático gaiola⁻¹ (Tabela 4), que corresponderam, respectivamente, a 9,75 e 14,35

345 (2017/18) e 10,45 e 16,42 (2018/19) larvas planta⁻¹, em “BRS Pampa CL”, e 8,25 e 12,62 larvas
346 planta⁻¹, em “BRS Atalanta” (2018/19). Tais resultados corroboraram com o número de larvas
347 planta⁻¹ que ocasionaram perdas significativas na produção de arroz (até 10,83, em “BRS Pampa
348 CL”, e 9,80, em “BRS Atalanta”).

349 Para “BRS Pampa CL”, o volume radicular planta⁻¹ diferiu significativamente do
350 tratamento controle sob densidade superior a 6 e 4 casais gaiola⁻¹, respectivamente, nas safras
351 2017/18 ($gl=6; F= 6,09; P= <0,001$) e 2018/19 ($gl=6; F= 13,93; P= <0,001$). O perfilhamento
352 planta⁻¹ (2017/18: $gl=6; F= 11,60; P= <0,001$; 2018/19: $gl=6; F= 13,34; P= <0,001$), o número
353 de grãos panícula⁻¹ (2017/18: $gl=6; F= 13,72; P= <0,001$; 2018/19: $gl=6; F= 11,77; P=$
354 $<0,001$) e o peso de mil grãos (g) (2017/18: $gl=6; F= 2,97; P= 0,02$; 2018/19: $gl=6; F= 3,13;$
355 $P= 0,02$) diferiram do controle sob infestação superior a 6 casais gaiola⁻¹, isto é, 8 casais gaiola⁻¹
356 ¹, cujo nível não diferiu de 10 e 20 casais gaiola⁻¹. Essas populações de *O. oryzae* reduziram os
357 valores das variáveis em até 72%, nas safras 2017/18 e 2018/19, sendo o volume radicular
358 planta⁻¹ e o número de grãos panícula⁻¹ os mais afetados. O número de panículas planta⁻¹, no
359 entanto, não diferiu entre os tratamentos (2017/18: $gl=6; F= 1,23; P= 0,32$; 2018/19: $gl=6; F=$
360 $1,33; P= 0,28$) (Tabela 4).

361 Para “BRS Atalanta”, observou-se que o volume radicular planta⁻¹ ($gl=6; F= 7,29; P=$
362 $<0,001$), o número de perfilhos planta⁻¹ ($gl=6; F= 3,68; P= 0,01$) e o peso de mil grãos (g)
363 ($gl=6; F= 6,07; P= <0,001$) foram reduzidos significativamente do controle sob mais de 6
364 casais gaiola⁻¹, isto é, 8 casais gaiola⁻¹, que não diferiu de 10 e 20 casais gaiola⁻¹ (2018/19). Já
365 o número de grãos panícula⁻¹ mostrou redução significativa somente sob 20 casais gaiola⁻¹
366 ($gl=6; F= 5,65; P= 0,001$). O volume radicular planta⁻¹ e o número de grãos panícula⁻¹ foram,
367 novamente, os mais afetados pelas densidades do inseto, que provocaram redução de até 49%
368 nessas variáveis (2018/19). O número de panículas planta⁻¹ também não diferiu entre os
369 tratamentos ($gl=6; F= 1,83; P= 0,14$) (Tabela 4).

370 **Discussão**

371 Níveis de dano e de controle econômicos têm sido amplamente empregados em
372 programas integrados de manejo de insetos-praga para instruir os agricultores sobre o momento
373 mais adequado para que medidas de controle sejam adotadas visando impedir que uma
374 população crescente cause perdas significativas de produção (Pedigo & Rice 2009, Knutson &
375 Mitchell 2019). A partir dos resultados desse estudo, que foram obtidos a partir de experimentos
376 diretos no campo, altamente semelhantes em dois anos consecutivos, constatou-se que as
377 plantas de arroz das cultivares “BRS Pampa CL”, com reação de suscetibilidade (Pazini, J. de
378 B., dados não publicados), e “BRS Atalanta”, com reação de resistência do tipo antibiose (Lima
379 et al. 2019, Pazini, J. de B., dados não publicados), são capazes de tolerar até 10,83 e 9,80 larvas
380 planta⁻¹, respectivamente. Esses níveis de tolerância foram determinados segundo o parâmetro
381 T do modelo de regressão não-linear de Seinhorst (1965), já utilizado em estudos anteriores
382 para avaliar a tolerância de plantas à pragas de raízes (Ferris et al. 1981, Mailloux et al. 1991,
383 Oliveira et al. 1999, Umble & Fisher 2003, Wesemael et al. 2014).

384 No presente estudo, além da distinção quanto ao grau de suscetibilidade a *O. oryzae*, as
385 cultivares diferiram quanto ao ciclo fenológico, já que “BRS Pampa CL”, suscetível, possui
386 ciclo precoce, entre 106 - 120 dias, e “BRS Atalanta”, resistente, possui ciclo superprecoce,
387 <105 dias. As cultivares de ciclo mais curto, em geral, apresentam menor capacidade de tolerar
388 o dano, que se dá pela recuperação de raízes atacadas. Como as larvas de *O. oryzae* atingem
389 igualmente cultivares de diferentes ciclos, as cultivares de ciclo mais longo permanecem por
390 mais tempo em crescimento vegetativo, em período no qual a população larval encontra-se em
391 declínio, e podem mais facilmente emitir novas raízes (Carbonari et al. 2000, Martins et al.
392 2004, Martins & Cunha 2015). Essa relação, porém, não foi comprovada no presente estudo,
393 visto que os limites de tolerância (T) entre as cultivares [“BRS Pampa CL”: > ciclo e suscetível;

394 $T= 10,83$ (IC95%= 6,49 - 13,11) e $T= 8,37$ (IC95%= 3,08 - 13,66); “BRS Atalanta”: < ciclo e
395 resistente; $T= 9,80$ (IC95%= 6,39 - 15,27)] não diferiram estatisticamente.

396 A relação entre níveis populacionais ou de danos de artrópodes às plantas cultivadas e
397 índices de perda de produção pode ser diretamente afetada por uma cultivar resistente,
398 distinguindo-se, ainda, em cada uma das categorias de resistência de plantas (Painter 1951,
399 Stern et al. 1959, Eigenbrode & Trumble 1994). A exemplo disso, uma cultivar portadora de
400 antibiose, por interferir na fisiologia da praga em seu estágio prejudicial (War et al. 2012), pode
401 reduzir o dano ocasionado às plantas numa safra vigente, bem como o tamanho da infestação e
402 os danos em safras futuras (Awmack & Leather 2002). Nossos resultados indicaram que “BRS
403 Atalanta” prejudicou significativamente até 30% da sobrevivência (densidade) e *fitness* das
404 larvas e, por isso, teve o volume radicular danificado em níveis menores do que “BRS Pampa
405 CL”. A redução do volume radicular foi de até 46% sob a máxima densidade larval (35,81
406 larvas planta⁻¹), em “BRS Atalanta”, e de até 72% sob a máxima infestação (54,81 larvas planta⁻¹), em “BRS Pampa CL”.

408 Zou et al (2004) destacaram que as perdas de produção de arroz provocadas pelo dano
409 larval do gorgulho-aquático *L. oryophilus* ocorreram diretamente pela redução da biomassa
410 radicular, que levou à restrição da absorção de nutrientes ou à alterações hormonais, reduzindo,
411 conseqüentemente, o perfilhamento, a biomassa de parte aérea, a densidade de panículas, o
412 número de grãos e o peso de cem grãos. Os danos larvais ao sistema radicular das plantas de
413 arroz causam diminuição na área foliar, na fotossíntese total e nos níveis de carboidratos nos
414 colmos, prejudicando o enchimento de grãos, já que os fotossintatos e nutrientes necessários a
415 isso advém das folhas superiores e das reservas dos colmos (Yoshida 1981, Sheehy 2000, Zou
416 et al. 2004).

417 No presente estudo, esses resultados foram confirmados, sendo o volume radicular
418 planta⁻¹ e o número de grãos panícula⁻¹ as variáveis mais afetadas pelas larvas de *O. oryzae*.

419 Diante disso, é possível atribuir à antibiose larval e consequente redução do potencial de dano
420 radicular a similaridade dos limites de tolerância (T) entre as cultivares, a ponto de compensar
421 a desvantagem de “BRS Atalanta” em apresentar um ciclo fenológico mais curto para recuperar
422 às raízes danificadas. Prova disso é que mesmo sob elevada incidência larval e danos nas raízes,
423 “BRS Atalanta” teve produção de grãos mínima relativa estimada entre 21 e 68%, enquanto
424 “BRS Pampa CL” esse índice foi reduzido a zero (m) (Seinhorst 1965).

425 Cabe ressaltar que, atualmente, no Brasil, frente às restrições estabelecidas quanto à
426 aplicação de alguns inseticidas na água de irrigação dos arrozais (Brasil 2017), inexistem
427 ingredientes ativos visando o controle químico curativo de larvas (Brasil 2020). Mesmo assim,
428 há potencial de aplicação dos limites de tolerância de arroz ao dano de larvas (T) em suporte ao
429 monitoramento e controle da população adulta de *O. oryzae*. Considerando que 10,83, 8,37 e
430 9,80 larvas planta⁻¹, correspondente a capacidade de tolerância das cultivares avaliadas
431 [2017/18: “BRS Pampa CL”= 10,83 (6,39 - 15,27); 2018/19: “BRS Pampa CL”= 8,37 (3,08 -
432 13,66); 2018/19: “BRS Atalanta”= 9,80 (6,49 - 13,11)], resultaram da relação de 4,25, 2,79 e
433 4,21 casais do gorgulho-aquático gaiola⁻¹ (ou gorgulho-aquático 10 plantas⁻¹) [(10,83= -0,10 +
434 2,57*x); (8,37= 0,49 + 2,82*x); (9,80= 1,88 + 1,88*x)], respectivamente, é possível inferir que
435 uma infestação maior que 4 casais do gorgulho-aquático 10 plantas⁻¹ (≥ 5 casais do gorgulho-
436 aquático 10 plantas⁻¹) já produziria densidade larval em nível superior aos limite de tolerância
437 dessas cultivares.

438 No entanto, Botton et al (1996) mencionaram que a contagem direta de casais do
439 gorgulho-aquático em repouso nas folhas é uma variável de difícil uso no monitoramento e
440 manejo do inseto. A frequência dos adultos em pontos visíveis nos arrozais é diretamente
441 influenciada por fatores meteorológicos, como temperatura, intensidade luminosa e velocidade
442 do vento, que, muitas vezes, promovem a submersão dos gorgulhos nos primeiros centímetros
443 da lâmina d’água junto aos colmos. Além disso, recomenda-se que a decisão de controle do

444 gorgulho-aquático *L. oryzophilus* não seja baseada somente na contagem direta dos adultos nos
445 arrozais, mas também na densidade de sinais de alimentação ou raspagens (Catchot et al. 2020).
446 Nesse estudo, estabelecemos a relação da densidade larval planta⁻¹ em função do número de
447 raspagens planta⁻¹. Diante disso, foi possível estimar que os limites de tolerância, 10,83, 8,37 e
448 9,80 larvas planta⁻¹, foram atingidos sob densidade de 8,08, 8,20 e 8,88 raspagens planta⁻¹, para
449 “BRS Pampa CL” (2017/18), “BRS Pampa CL” (2018/19) e “BRS Atalanta” (2018/19),
450 respectivamente [(10,83= -3,08 + 1,72*x); (8,37= -2,78 + 1,36*x); (9,80= -0,42 + 1,15*x)].
451 Assim, pode-se admitir que densidade igual ou superior a 5 casais do gorgulho-aquático 10
452 plantas⁻¹ ou densidade igual ou superior a 9 lesões de alimentação nas folhas planta⁻¹
453 proporcione infestação larval promotora de danos significativos na produção de grãos (>T) em
454 “BRS Pampa CL” e “BRS Atalanta”.

455 Nosso estudo é o primeiro a determinar o limite de tolerância ao dano de larvas de
456 gorgulhos-aquáticos em cultivares de arroz. A compreensão da faixa de tolerância é um
457 componente-chave, sob o ponto de vista prático, a fim de estabelecer criteriosamente o NDE e
458 o NC para alguma espécie-praga (Higley & Pedigo 1996). Em síntese, trata-se do primeiro
459 passo, visto que o NC deve ser calculado acima dos limites de tolerância (Tabela 3) ou
460 supercompensação da planta ao dano (Bueno et al. 2013). Nesse sentido, evidencia-se que o
461 NC para *O. oryzae*, atualmente considerado no Brasil, que é de 5 larvas amostra⁻¹ (planta, solo
462 e raízes) (Reunião 2018), é superestimado, já que corresponde a cerca de 50% da capacidade
463 de tolerância das plantas de arroz, que é em torno de 10 larvas planta⁻¹, conforme definido no
464 presente estudo em cultivares de arroz contrastantes quanto à suscetibilidade ao inseto. A
465 adoção de um NC superestimado tem levado ao uso excessivo de inseticidas visando o controle
466 de *O. oryzae* no Brasil (Oliveira & Fiuza 2013) e, conseqüentemente, ao aumento desnecessário
467 do custo de produção e à casos de contaminação ambiental e de organismos não alvo (Martins

468 et al. 2017). Assim, as informações aqui apresentadas podem oportunizar redução do uso de
469 inseticidas, maior rentabilidade e segurança ambiental.

470 **Agradecimentos**

471 Agradecemos ao Elton Rogério Nolasco Fonseca, Claudinei Bonemann Rosso, Jaime
472 Damasceno Mota, José Roberto Lopes de Lima, Valdecir dos Santos, Ivan Marques Pereira,
473 Gustavo Treptow e José Otomar de Souza Aguilhera (funcionários e estagiários da Embrapa
474 Clima Temperado - Estação Experimental Terras Baixas) pela plena assistência nos
475 experimentos de campo. Esse estudo contou com apoio financeiro do Conselho Nacional de
476 Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: 140328/2016-5; 310407/2017-6), da
477 Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Empresa
478 Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Clima Temperado).

479 **Ética experimental**

480 Esse artigo não apresenta estudos com participantes humanos ou vertebrados realizados
481 por qualquer um dos autores.

482 *Conflito de interesses*

483 Os autores declaram não haver conflito de interesses. Esse artigo relata apenas
484 resultados de pesquisa. A citação de nomes comerciais ou produtos comerciais é apenas com o
485 objetivo de fornecer informações específicas e não implica recomendação ou endosso pela(s)
486 Instituição(ões) envolvida(s) nesse estudo.

487 **Referências citadas**

488 **Awmack CS, Leather SR (2002)** Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu*
489 *Rev Entomol* 47:817-844

490 **Botton M, Vendramim JD, Martins JFS, Carbonari JJ (1996)** Associação entre densidade
491 populacional de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) e produção de grãos em cultivares
492 de arroz irrigado. *An Soc Entomol Brasil* 25: 233-238

- 493 **Brasil (2017)** Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Reavaliação
494 toxicológica do ingrediente ativo carbofurano, Voto N° 69/2017/DIREG/ANVISA.
495 <http://portal.anvisa.gov.br/documents/219201/2782895/Relat%C3%B3rio+GGTOX+C>
496 [arbofurano/119beb37-32cd-4265-94d9-0a389c9423ae](http://portal.anvisa.gov.br/documents/219201/2782895/Relat%C3%B3rio+GGTOX+C). Accessed 21 Jan 2020
- 497 **Brasil (2020)** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrofit.
498 http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Accessed 20 Jan
499 2020
- 500 **Brito GG, Fagundes PRR, Andres A, Silva JT, Pazini J de B, Parfit JMB (2019)** Plasticity
501 in root length and volume through the alternate wetting and drying water management
502 in rice. *J Agric Sci*. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n4p294>
- 503 **Bueno AF, Paula-Moraes SV, Gazzoni DL, Pomari AF (2013)** Economic thresholds in
504 soybean-Integrated Pest Management: old concepts, current adoption, and adequacy.
505 *Neotrop Entomol* 42:439-447
- 506 **Büttow GT, Pazini J de B, Seidel EJ, Silva FF, Grützmacher AD, Martins JFS (2017)**
507 Relationship between the occurrence of the rice water weevil and water depth in flooded
508 rice crop. *Pesq agropec bras* 52:557-560
- 509 **Carbonari JJ, Martins JFS, Vendramim JD, Botton M (2000)** Relação entre flutuação
510 populacional de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae) e
511 período de perfilhamento de cultivares de arroz irrigado. *An Soc Entomol Bras* 29:361-
512 366
- 513 **Catchot A, Gore J, Cook D, Crow W, Musser F, Layton B, Dodds D, Irby T, Larson E**
514 **(2020)** 2020 Insect control guide for agronomic crops.
515 [http://extension.msstate.edu/sites/default/files/publications/publications/P2471_web.p](http://extension.msstate.edu/sites/default/files/publications/publications/P2471_web.pdf)
516 [df](http://extension.msstate.edu/sites/default/files/publications/publications/P2471_web.pdf). Accessed 14 Jan 2020

- 517 **Counce PA, Keisling TC, Mitchel AJ (2000)** A uniform, objective, and adaptative system for
518 expressing rice development. *Crop Sci* 30:436-443
- 519 **Eigenbrode SD, Trumble JT (1994)** Host plant resistance to insects in integrated pest
520 management in vegetable crops. *J Agric Entomol* 11:201-224
- 521 **Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006)** BRS Atalanta.
522 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44101/1/atlanta.pdf>
- 523 **FAOSTAT (2016)** Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical
524 Database. <https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countriesbycommodity>. Accessed
525 05 Set 2019
- 526 **Ferris H, Turner WD, Duncan LW (1981)** An algorithm for fitting Seinhorst curves to the
527 relationship between plant growth and preplant nematode densities. *J Nematol* 13:300-
528 304
- 529 **Foresti J, Bastos CS, Fernandes FL, Silva PRD (2018)** Economic injury levels and economic
530 thresholds for *Leptoglossus zonatus* (Dallas) (Hemiptera: Coreidae) infesting seed
531 maize. *Pest Manag Sci* 74:149-158
- 532 **Grützmacher DD, Grützmacher AD, Agostinetti D, Loeck AE, Roman R, Peixoto SC,
533 Zanella R (2008)** Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do
534 Brasil. *Rev bras eng agríc ambient* 12:632-637
- 535 **Guedes JVC, Perini CR, Alende VP, Curioletti LE, Stacke RF, Valmorbida I (2015)**
536 Bicheira-da-raiz na cultura do arroz: ocorrência e manejo.
537 [https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-](https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-ocorrencia-e-manejo)
538 [ocorrencia-e-manejo](https://www.grupocultivar.com.br/artigos/bicheira-da-raiz-na-cultura-do-arroz-ocorrencia-e-manejo). Accessed 21 Set 2019
- 539 **Hickel ER, Prando HF, Eberhardt DS (2013)** A bicheira-da-raiz nas lavouras catarinenses
540 de arroz irrigado: ocorrência, monitoramento e manejo integrado. Epagri, Florianópolis

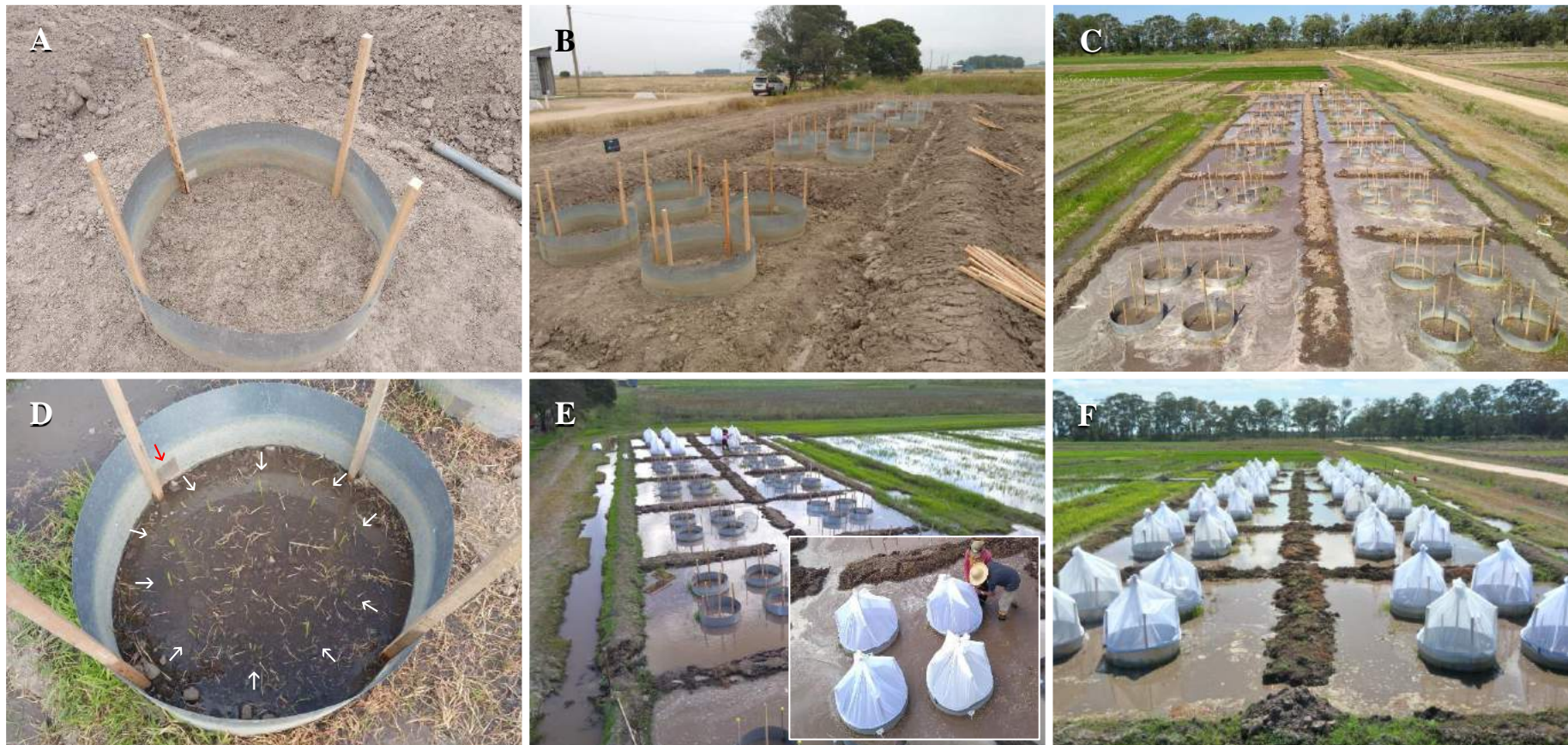
- 541 **Higley LG, Peterson RKD (1996)** The biological basis of the EIL. In: Higley LG, Pedigo LP
542 (ed) Economic threshold for integrated pest management. University of Nebraska Press,
543 Lincoln and London, pp 22-40
- 544 **Knutson AE, Mitchell F (2019)** Economic injury level for bermudagrass stem maggot
545 (Diptera: Muscidae) in bermudagrass forage production in Texas. J Econ Entomol
546 23:2215-2221
- 547 **Lanka SK, Ottea JA, Beuzelin JM, Stout MJ (2013)** Effects of chlorantraniliprole and
548 thiamethoxam rice seed treatments on egg numbers and first instar survival of
549 *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae). J Econ Entomol 106:181-188
- 550 **Lima CAB, Grützmacher AD, Pazini J de B, Silva FF, Rosa APSA, Martins JFS (2019)**
551 Development of *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) in rice cultivars. Pesqui. Agropecu.
552 Trop 49: e53397
- 553 **Magalhães Júnior AM, Terres AL, Fagundes PR, Franco DF, Andres A (2004)** Aspectos
554 genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado. In: Gomes
555 AS, Magalhães Júnior AM (ed) Arroz irrigado no Sul do Brasil. Embrapa, Brasília, pp
556 143-235
- 557 **Magalhães Júnior AMM, Rangel PHN, Fagundes PRR, Colombari Filho JM, Franco DF,**
558 **Castro AP, Andres A, Neves PCF, Nunes CD, Breseghello F, Petrini JA, Torga PP,**
559 **Martins JFS, Abreu AG, Ferreira ME, Moura Neto FM (2018)** ‘BRS Pampa CL’:
560 cultivar de arroz irrigado de grãos nobres para o sistema Clearfield® no RS.
561 [https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1102287/brs-pampa-cl-](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1102287/brs-pampa-cl-cultivar-de-arroz-irrigado-de-graos-nobres-para-sistema-clearfield-no-rs)
562 [cultivar-de-arroz-irrigado-de-graos-nobres-para-sistema clearfield-no-rs](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1102287/brs-pampa-cl-cultivar-de-arroz-irrigado-de-graos-nobres-para-sistema-clearfield-no-rs)
- 563 **Mailloux G, Binns MR, Bostanian NJ (1991)** Density yield relationships and economic injury
564 level model for the colorado potato beetle larvae on potatoes. Res Popul Ecol 33:101-
565 113

- 566 **Martins JFS, Carbonari JJ, Vendramim JD (2004)** Simulação do dano causado por larvas
567 de *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) a cultivares de arroz irrigado.
568 Cienc Rural 34:653-659
- 569 **Martins JFS, Cunha US (2007)** Situação do sistema de controle químico do gorgulho-aquático
570 *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae) na cultura do arroz no
571 Rio Grande do Sul.
572 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/745943/1/documento215.pdf>.
573 Accessed 25 Nov 2019
- 574 **Martins JFS, Cunha US (2015)** Gorgulho-aquático-do-arroz, *Oryzophagus oryzae* (Lima). In:
575 Vilela EF, Zucchi RA (ed) Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros. FEALQ,
576 Piracicaba, pp 624-642
- 577 **Martins JFS, Mattos MLT, Silva FF, Büttow GT (2017)** Fipronil residual content in the soil
578 for the control of *Oryzophagus oryzae* in subsequent flooded rice crops. Pesq agropec
579 bras 52:228-235
- 580 **Martins JFS, Melo M, Silva FF, Grützmacher AD, Cunha US (2001)** Novo método para
581 aferição da densidade populacional do gorgulho-aquático em plantas de arroz irrigado.
582 Agropecuária Clima Temperado 4:363-370
- 583 **Martins JFS, Prando HF (2004)** Bicheira-da-raiz-do-arroz. In: Salvadori JR, Ávila CJ, Silva
584 MTB (ed) Pragas de solo no Brasil. Embrapa Trigo: Passo Fundo, pp 259-296
- 585 **Martins JFS, Rangel PHN, Aquino ARL, Ferreira E (1987)** Adubação nitrogenada e
586 controle da bicheira-da-raiz do arroz. Lavoura Arrozeira 40:8-11
- 587 **Martins JFS, Silva FF, Theisen G, Mattos MLT, Botta RA, Pazini J de B, Nunes CDM**
588 **(2016)** Diagnóstico sobre o manejo de agrotóxicos em áreas orizícolas da Fronteira
589 Oeste do Rio Grande do Sul.

- 590 <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161942/1/Documento-421.pdf>.
- 591 Accessed 01 Dez 2019
- 592 **N'Guessan FK, Quisenberry SS, Thompson RA, Linscombe SD (1994)** Assessment of
593 Louisiana rice breeding lines for tolerance to the rice water weevil (Coleoptera:
594 Curculionidae). *J Econ Entomol* 87:476-481
- 595 **Neves MB, Martins JFS, Grützmacher AD, Lima CAB, Büttow GT (2011)** Profundidade
596 da amostragem de solo e de raízes e índice de infestação de *Oryzophagus oryzae* (Costa
597 Lima, 1936) (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz. *Cienc Rural* 41:2039-
598 2044
- 599 **Oliveira CMG, Inomoto MM, Vieira AMC, Monteiro AR (1999)** Efeito de densidades
600 populacionais de *Pratylenchus brachyurus* no crescimento de plântulas de *Coffea*
601 *arabica* cv. Mundo Novo e *C. canephora* cv. Apoatã. *Nematropica* 29:215-221
- 602 **Oliveira JV, Fiuza LM (2013)** Aumento preocupante. *Cultivar Grandes Culturas* 15:12-14
- 603 **Painter RH (1951)** Insect resistance in crop plants. The Macmillan Co, New York
- 604 **Pazini J de B, Pasini RA, Seidel EJ, Rakes M, Martins JFS, Grützmacher AD (2017)** Side-
605 effects of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi* Ashmead
606 (Hymenoptera: Platygasteridae). *Ecotoxicology* 26:782-791
- 607 **Pedigo LP, Higley LG (1996)** Introduction to pest management and threshold. In: Higley LG,
608 Pedigo LP (ed) Economic threshold for integrated pest management. University of
609 Nebraska Press, Lincoln and London, pp 3-8
- 610 **Pedigo LP, Hutchins SH, Higley LG (1986)** Economic injury levels in theory and practice.
611 *Annu Rev Entomol* 31:341-368
- 612 **Pedigo LP, Rice ME (2009)** Entomology and pest management. New Jersey, Prentice Hall
- 613 **R Development Core Team (2015)** R: A language and environment for statistical computing.
614 rev. 3.2.0. <http://r-project.org>. Accessed 20 Aug 2019

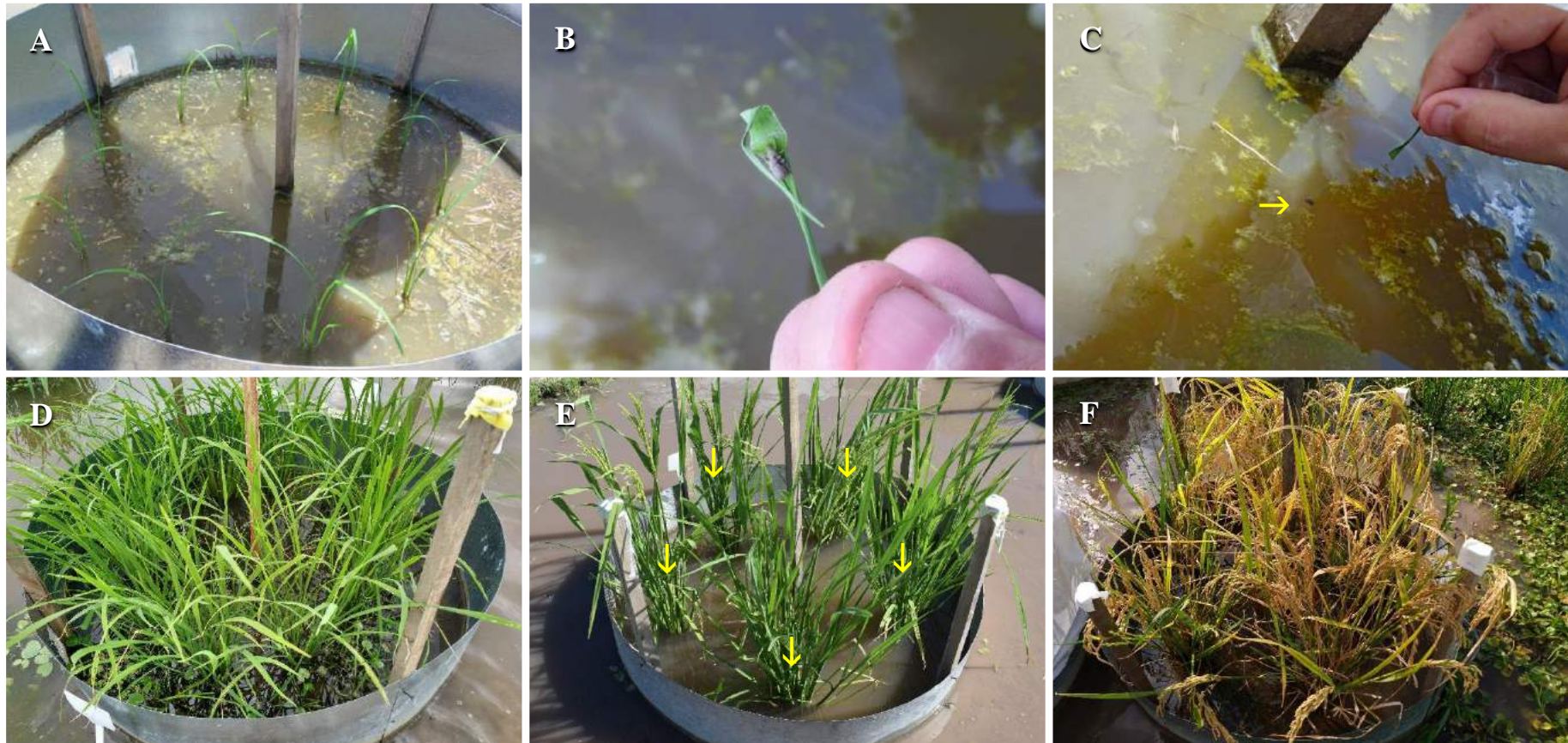
- 615 **Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (2016)** Arroz irrigado: Recomendações
616 técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. SOSBAI, Pelotas
- 617 **Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado (2018)** Arroz irrigado: Recomendações
618 técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. SOSBAI, Farroupilha
- 619 **Saad MM, Rahaman MM, Stout MJ (2018)** Varietal resistance against the rice water weevil
620 in field and greenhouse studies. *Environ Entomol* 47:388-395
- 621 **Seinhorst JW (1965)** The relation between nematode density and damage to plants.
622 *Nematologia* 11:137-154
- 623 **Seinhorst JW (1973)** The relationship between yield and square root of nematode density.
624 *Nematologia* 18:585-590
- 625 **Sheehy JE (2000)** Limits to yield for C₃ and C₄ rice: an agronomist's view. In: Sheehy JE,
626 Mitchell PL, Hardy B (ed) Redesigning rice photosynthesis to increase yield. Elsevier,
627 Amsterdam, pp 39-52
- 628 **Silva FF, Martins JFS, Grützmacher AD, Storch G, Roni A, Giolo F (2003)** Avaliação da
629 resistência de arroz a *Oryzophagus oryzae* com e sem chance de escolha da planta
630 hospedeira. *Revista Brasileira de Agrociência* 9:135-140
- 631 **Smith CM, Bagent JL, Lindscombe SD, Robinson JF (1986)** Insect pest of rice in Louisiana.
632 Bulletin 774. Louisiana State University, Baton Rouge
- 633 **Smith CM, Robinson JF (1982)** Evaluation of rice cultivars grown in North America for
634 resistance to the rice water weevil. *Environ Entomol* 11: 334-336
- 635 **Stern VM, Smith RF, Van Den Bosch R, Hagen KS (1959)** The integrated control concept.
636 *Hilgardia* 29:81-101
- 637 **Stout MJ, Riggio MR (2002)** Variation in susceptibility of rice lines to infestation by the rice
638 water weevil (Coleoptera: Curculionidae). *J Agric Urban Entomol* 19:205-216

- 639 **Umble JR, Fisher JR (2003)** influence of below-ground feeding by garden symphylans
640 (Cephalostigmata: Scutigereidae) on plant health. *Environ Entomol* 32:1251-1261
- 641 **War AR, Paulraj MG, Ahmad T, Buhroo AA, Hussain B, Ignacimuthu S, Sharma HC**
642 **(2012)** Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal Behav*
643 7:1306-1320
- 644 **Wesemael WML, Taning LM, Viaene N, Moens M (2014)** Life cycle and damage of the root-
645 knot nematode *Meloidogyne minor* on potato, *Solanum tuberosum*. *Nematology* 16:185-
646 192
- 647 **Wibmer GJ, O'Brien CW (1986)** Annotated checklist of the weevils (Curculionidae sensu
648 lato) of South America (Coleoptera: Curculionoidea). *Mem Amer Entomol Inst* 39:1-
649 563
- 650 **Yoshida S (1981)** Fundamentals of rice crop science. The International Rice Research Institute,
651 The Philippines, Los Baños
- 652 **Zou L, Stout MJ, Dunand RT (2004)** The effects of feeding by the rice water weevil,
653 *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel, on the growth and yield components of rice, *Oryza*
654 *sativa*. *Agr Forest Entomol* 6:47-5



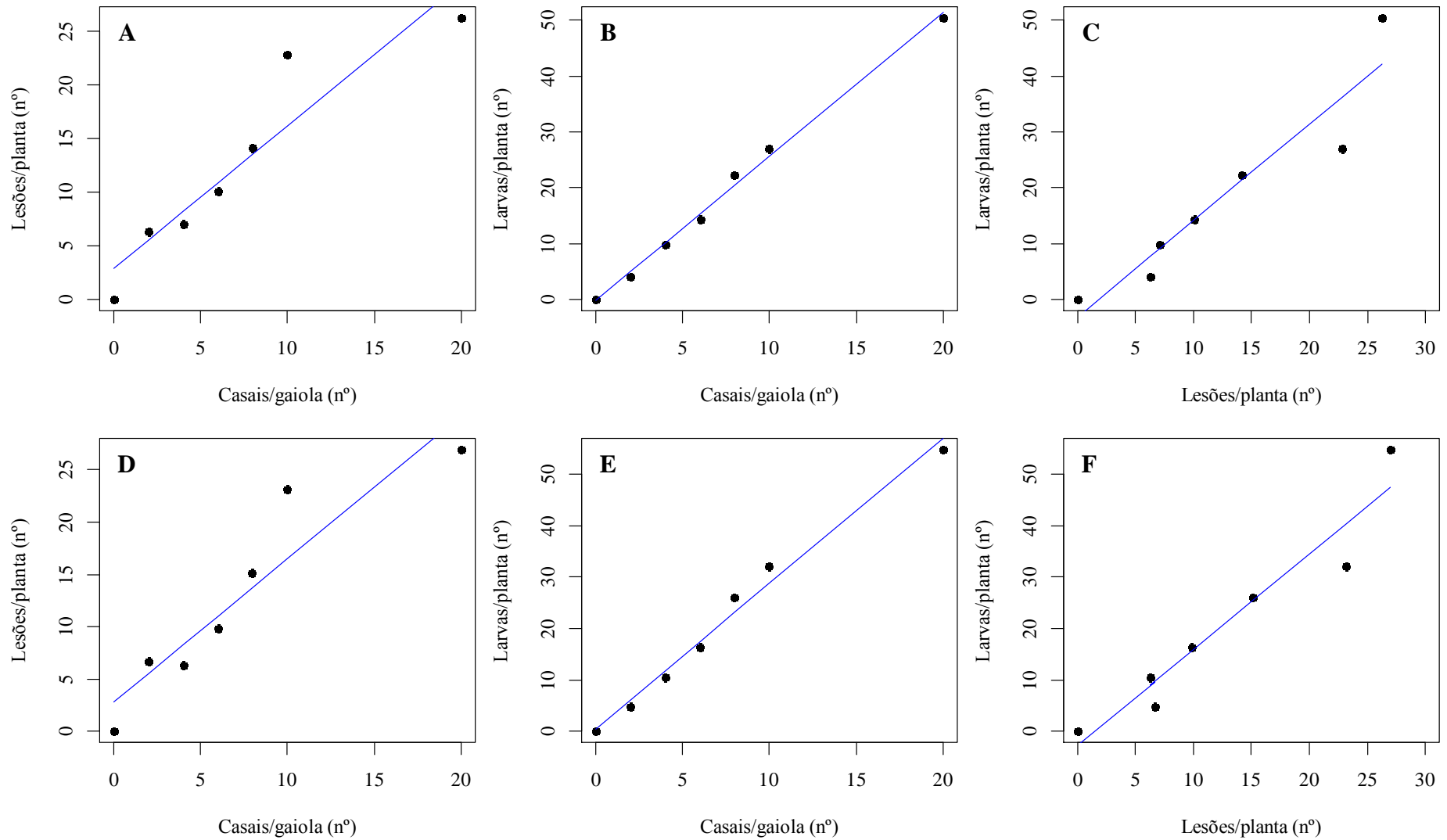
655

656 **Fig. 1.** Visão geral do experimento (1). (A), (B) e (C) Construção das gaiolas circulares com aço galvanizado (88 cm de diâmetro x 30 cm de altura)
 657 aparafusado em varas de madeira (110 cm de comprimento x 2,5 cm de largura x 2,5 cm de altura); (D) Condição após o transplante de dez mudas
 658 de arroz uniformes nas gaiolas (setas brancas indicam as mudas transplantadas em circunferência medindo ~48 cm de diâmetro, equidistantes 15
 659 cm; seta vermelha indica abertura com tela para entrada da água de irrigação); (E) e (F) Cobertura das gaiolas feita de tela *voile*, amarrada no topo
 660 de uma vara de madeira (130 cm de comprimento x 2,5 cm de largura x 2,5 cm de altura), imediatamente após o transplante das mudas.



661

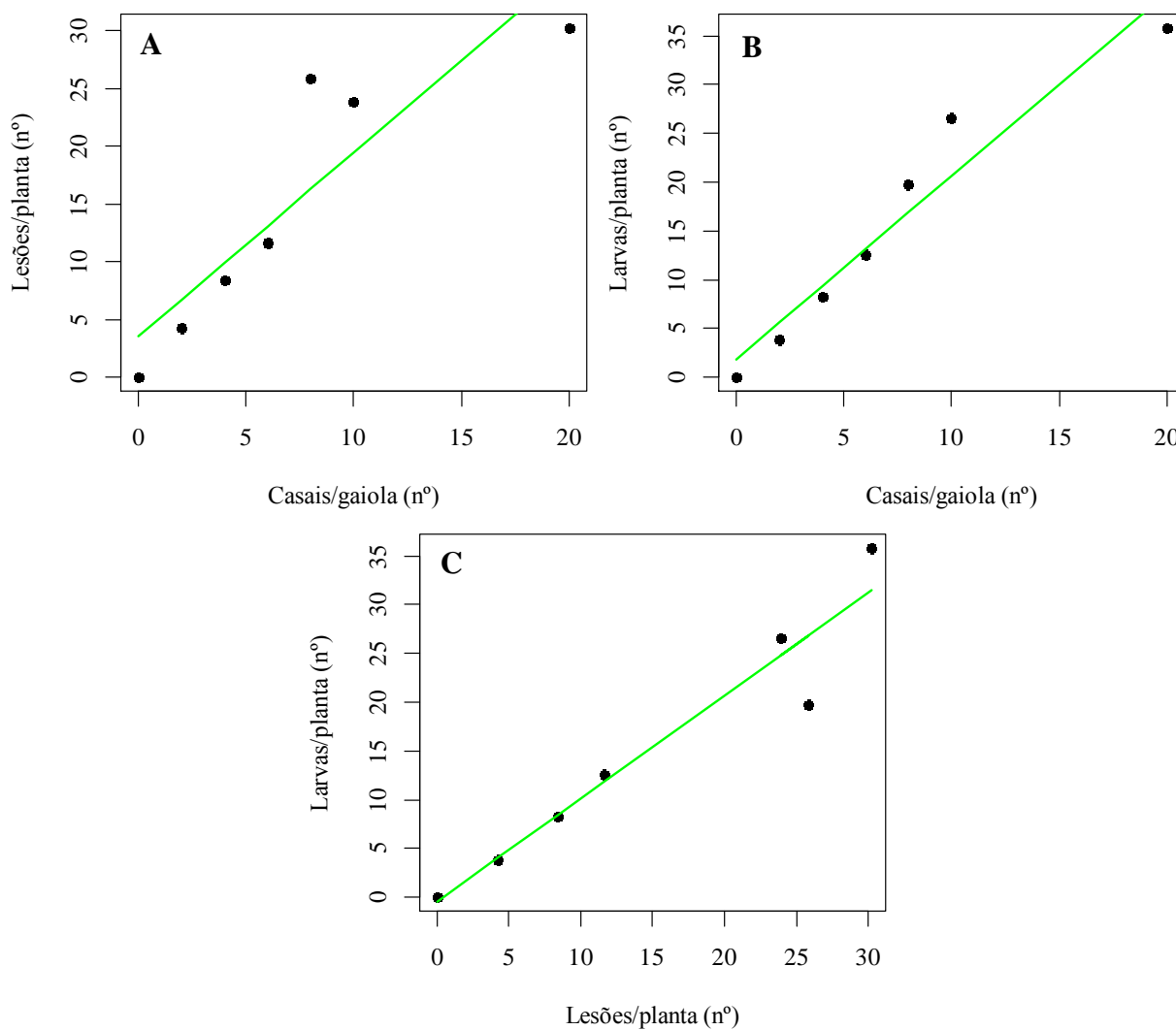
662 **Fig. 2.** Visão geral do experimento (2). (A) Gaiolas (parcelas experimentais) compostas de dez plantas de arroz uniformes (condição de início da
 663 elevação da lâmina d'água de irrigação, antes das liberações dos casais do gorgulho-aquático); (B) e (C) Liberação dos casais em cópula do
 664 gorgulho-aquático na água de irrigação, ao centro da gaiola (seta amarela); (D) Condição de início das amostragens de larvas, em cinco plantas,
 665 aos 30 Dias Após a Inundação (DAI); (E) e (F) Condição pós-amostragens de larvas, com cinco plantas igualmente distribuídas (setas amarelas),
 666 entre as fases final do emborrachamento e floração (E) e maturação dos grãos (colheita) (F).



667

669 **Fig. 3.** Densidade de lesões de alimentação foliar dos gorgulhos-aquáticos (A, D) e densidade de larvas planta⁻¹ (B, E) em relação a densidade de
 670 infestação de casais do gorgulho-aquático gaiola⁻¹, e densidade das larvas planta⁻¹ em relação a densidade de lesões de alimentação foliar dos

671 gorgulhos-aquáticos planta⁻¹ (C, F), na cultivar BRS Pampa CL, no campo, nas safras 2017/18 (1) (A, B, C) e 2018/19 (2) (D, E, F). As linhas
672 sólidas azuis indicam a relação linear entre as variáveis [(A): $y = 2,91 + 1,33*x$; (B): $y = -0,10 + 2,57*x$; (C): $y = -3,08 + 1,72*x$; (D): $y = 2,77 +$
673 $1,37*x$; (E): $y = 0,49 + 2,82*x$; (F): $y = -2,78 + 1,36*x$].



676 **Fig. 4.** Densidade de larvas planta⁻¹ (A) e densidade de lesões de alimentação foliar dos gorgulhos-
 677 aquáticos (B) em relação a densidade de infestação de casais do gorgulho-aquático gaiola⁻¹, e
 678 densidade das larvas planta⁻¹ em relação a densidade de lesões de alimentação foliar dos
 679 gorgulhos-aquáticos planta⁻¹ (C), na cultivar BRS Atalanta, no campo, na safra 2018/19 (2). As
 680 linhas sólidas verdes indicam a relação linear entre as variáveis [(A): $y = 3,54 + 1,59 \cdot x$; (B): $y =$
 681 $1,88 + 1,88 \cdot x$; (C): $y = -0,42 + 1,15 \cdot x$].

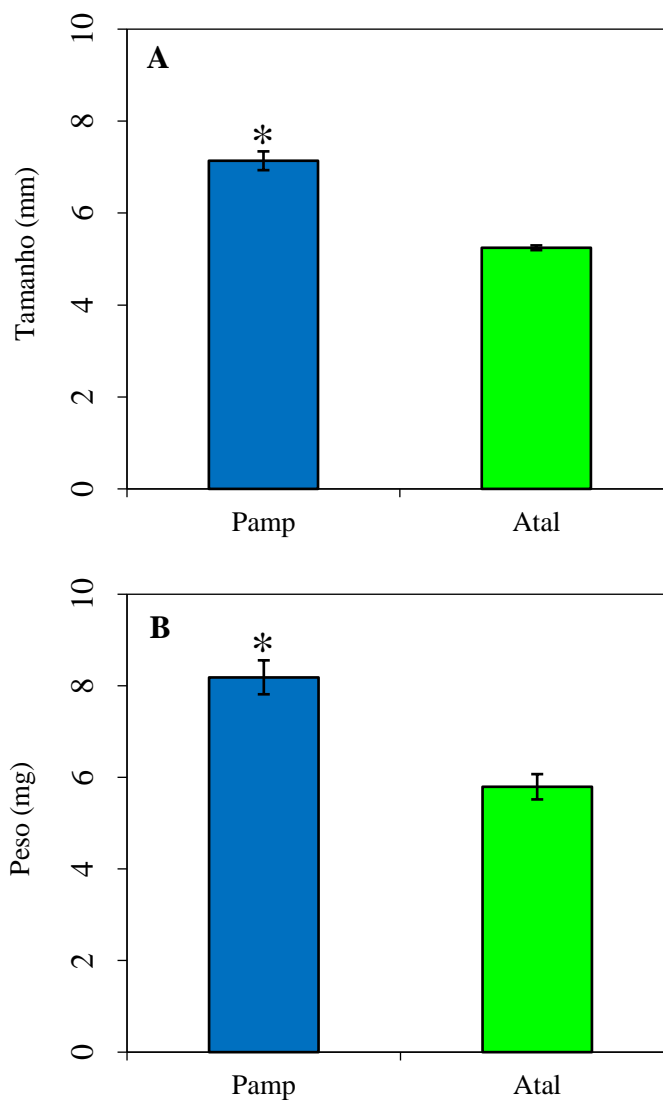
682 **Tabela 1.** Resumo dos parâmetros estimados das regressões lineares ajustadas para densidade
 683 das larvas planta⁻¹ (LARV) e para densidade de lesões de alimentação dos gorgulhos-aquáticos
 684 planta⁻¹ (LESO) em função da densidade de infestação dos gorgulhos-aquáticos, em casais
 685 gaiola⁻¹ (ADUL), e para densidade das larvas planta⁻¹ (LARV) em função da densidade de
 686 lesões de alimentação dos gorgulhos-aquáticos planta⁻¹ (LESO), em duas cultivares de arroz
 687 [(y= a + b*x); Figs. 3 e 4], no campo, nas safras 2017/18 (1) e 2018/19 (2).

Cultivar (Safr ¹)	Combinação (y*x) ²	Estimativa do parâmetro (IC 95%)	P	R ²
Pamp (1)	(y=LESO)*(x=ADUL)	a= 2,91 [(-)2,48 - 8,31]	0,22 ^{ns}	0,85
		b= 1,33 (0,75 - 1,89)	0,002 [#]	
	(y=LARV)*(x=ADUL)	a= -0,10 [(-)1,99 - 1,78]	0,89 ^{ns}	0,99
		b= 2,57 (2,37 - 2,77)	<0,001 [#]	
	(y=LARV)*(x=LESO)	a= -3,08 [(-)13,18 - 7,01]	0,47 ^{ns}	0,88
		b= 1,72 (1,05 - 2,39)	0,001 [#]	
Pamp (2)	(y=LESO)*(x=ADUL)	a= 2,77 [(-)2,85 - 8,40]	0,26 ^{ns}	0,85
		b= 1,37 (0,97 - 1,77)	<0,002 [#]	
	(y=LARV)*(x=ADUL)	a= 0,49 (3,10 - 4,08)	0,74 ^{ns}	0,98
		b= 2,82 (2,44 - 3,20)	<0,001 [#]	
	(y=LARV)*(x=LESO)	a= -2,78 [(-)12,13 - 6,55]	0,48 ^{ns}	0,91
		b= 1,36 (0,56 - 1,87)	<0,001 [#]	
Atal (2)	(y=LESO)*(x=ADUL)	a= 3,54 [(-)4,92 - 12,00]	0,33 ^{ns}	0,77
		b= 1,59 (0,98 - 2,30)	0,006 [#]	
	(y=LARV)*(x=ADUL)	a= 1,88 [(-)3,46 - 7,22]	0,41 ^{ns}	0,95
		b= 1,88 (1,40 - 2,36)	<0,001 [#]	
	(y=LARV)*(x=LESO)	a= -0,42 [(-)6,71 - 5,88]	0,87 ^{ns}	0,91
		b= 1,15 (0,81 - 1,49)	<0,001 [#]	

688 ¹Pamp (1): BRS Pampa CL (Safr¹ 2017/18); Pamp (2): BRS Pampa CL (Safr¹ 2018/19); BRS
 689 Atalanta (Safr¹ 2018/19). ²Pamp (1): [LESO*ADUL: y= 2,91 + 1,33*x; LARV*ADUL: y= -
 690 0,10 + 2,57*x; LARV*LESO: y= -3,08 + 1,72*x]; Pamp (2): [LESO*ADUL: y= 2,77 + 1,37*x;
 691 LARV*ADUL: y= 0,49 + 2,82*x; LARV*LESO: y= -2,78 + 1,36*x]; Atal (2): [LESO*ADUL:

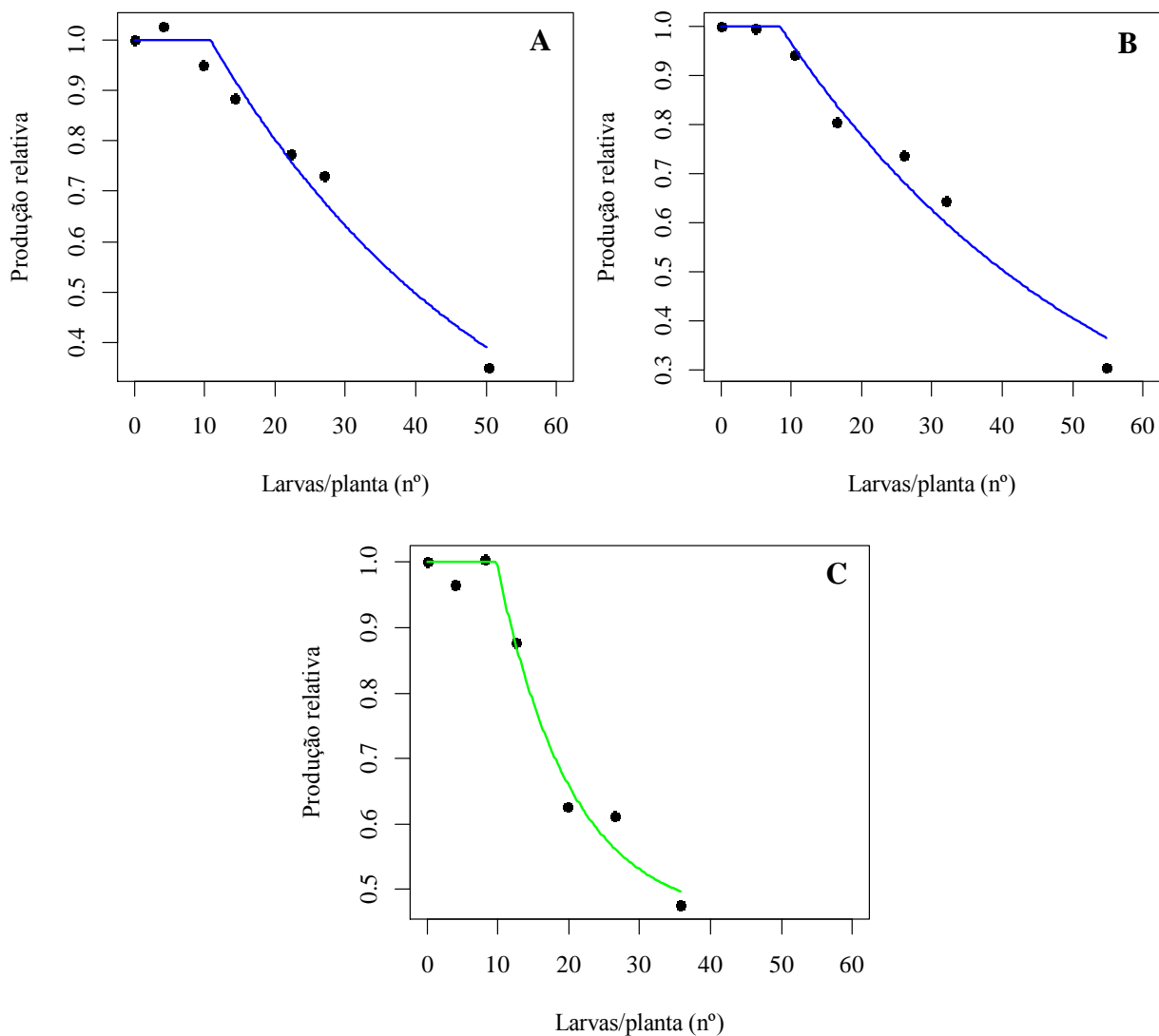
692 $y = 3,54 + 1,59*x$; LARV*ADUL: $y = 1,88 + 1,88*x$; LARV*LESO: $y = -0,42 + 1,15*x$].

693 #significativo pelo teste t ($P < 0,05$); ^{ns}não significativo.



694

696 **Fig. 5.** Tamanho (mm) (A) e peso (mg) (B) corporal de larvas de *O. oryzae* coletadas aos 30
697 Dias Após a Inundação (DAI) nas raízes das cultivares de arroz BRS Pampa CL (Pamp) e BRS
698 Atalanta (Atal), no campo, na safra 2018/19. (*) Representa diferença significativa ($P < 0,05$)
699 entre as cultivares pelo teste de Kruskal-Wallis [(A): $H = 37,57$, $gl = 1$, $P = < 0,001$, $CV\% = 12,72$;
700 (B): $H = 17,33$, $gl = 1$, $P = < 0,001$, $CV\% = 24,83$].



701

703 **Fig. 6.** Relação da produção de grãos planta⁻¹ das cultivares de arroz BRS Pampa CL (A, B) e
 704 BRS Atalanta (C) e densidade larval de *O. oryzae* planta⁻¹, no campo, nas safras 2017/18 (A) e
 705 2018/19 (B, C) $\{[y = m + (1 - m) * z^{Pi - T}]\}$. As linhas sólidas azuis (A, B) e verde (C) indicam a
 706 relação não-linear entre as variáveis [(A): $y = 0,97^{Pi - 10,83}$; (B): $y = 0,98^{Pi - 8,37}$; (C): $y = 0,45 + (1 -$
 707 $0,45) * 0,91^{Pi - 9,80}$].

708 **Tabela 2.** Resumo dos parâmetros estimados das regressões não-lineares ajustadas para
 709 produção de grãos planta⁻¹ (PROD) de duas cultivares de arroz em função da densidade larval
 710 de *O. oryzae* planta⁻¹ (LARV) {[$y = m + (1 - m) * z^{Pi - T}$]; Fig. 6}, no campo, nas safras 2017/18
 711 (1) e 2018/19 (2).

Cultivar (Safr ¹)	Combinação (y*x) ²	Estimativa do parâmetro (IC 95%)		P	R ²
Pamp (1)	(y=PROD)*(x=LARV)	m=	0,00 [(-)1,33 - 1,33]	1,00 ^{ns}	0,98
		z=	0,97 (0,92 - 1,02)	<0,001 [#]	
		T=	10,83 (6,39 - 15,27)	0,01 [#]	
Pamp (2)	(y=PROD)*(x=LARV)	m=	0,00 [(-)1,26 - 1,26]	1,00 ^{ns}	0,97
		z=	0,98 (0,93 - 1,02)	<0,001 [#]	
		T=	8,37 (3,08 - 13,66)	0,03 [#]	
Atal (2)	(y=PROD)*(x=LARV)	m=	0,45 (0,21 - 0,68)	0,006 [#]	0,98
		z=	0,91 (0,79 - 1,03)	<0,001 [#]	
		T=	9,80 (6,49 - 13,11)	0,003 [#]	

712 ¹Pamp (1): BRS Pampa CL (Safr¹ 2017/18); Pamp (2): BRS Pampa CL (Safr¹ 2018/19); Atal
 713 (2): BRS Atalanta (Safr¹ 2018/19). ²Pamp (1): [$y = 0,97^{Pi - 10,83}$]; Pamp (2): [$y = 0,98^{Pi - 8,37}$]; Atal
 714 (2): [$y = 0,45 + (1 - 0,45) * 0,91^{Pi - 9,80}$]. [#]significativo pelo teste t ($P < 0,05$); ^{ns}não significativo.

715 **Tabela 3.** Redução na produção de grãos estimada [$y = m + (1 - m) * z^{Pi - T}$], em gramas (g) e
 716 porcentagem (%), associada à adição de larvas a partir do limite de tolerância ao dano
 717 significativo de larvas de *O. oryzae*, em duas cultivares de arroz, no campo, nas safras 2017/18
 718 (1) e 2018/19 (2).

Cultivar (Safr)	TOLE*	Infestação de larvas planta ⁻¹ [§]								
		+1	+2	+3	+4	+5	+10	+20	MAXI**	
Pamp (1)	0 – 11	g=	1,01	5,52	7,97	10,37	12,70	23,58	41,80	66,79
		%=	0,93	5,06	7,31	9,51	11,65	21,64	38,35	61,28
Pamp (2)	0 – 8	g=	1,14	3,97	6,34	8,66	10,93	21,58	39,71	72,72
		%=	1,00	3,46	5,53	7,56	9,54	18,83	34,65	63,45
Atal (2)	0 – 10	g=	3,36	7,41	13,09	16,43	19,47	31,00	42,59	45,68
		%=	3,70	8,16	14,42	18,10	21,45	34,14	46,91	50,32

719 *Pamp (1): BRS Pampa CL (Safr 2017/18)= Produção de grãos para o intervalo de tolerância
 720 {TOLE, parâmetro $T = 10,83$ (0 – 11 larvas planta⁻¹), [$y = 0,97^{Pi - 10,83}$], Tabela 2}= 109,00 g
 721 planta⁻¹ (produção do controle= 100%); Pamp (2): BRS Pampa CL (Safr 2018/19)= Produção
 722 de grãos para o intervalo de tolerância {parâmetro $T = 8,37$ (0 – 8 larvas planta⁻¹), [$y = 0,98^{Pi -$
 723 $8,37}$], Tabela 2}= 114,60 g planta⁻¹ (produção do controle= 100%); Atal (2): BRS Atalanta (Safr
 724 2018/19)= Produção de grãos para o intervalo de tolerância {parâmetro $T = 9,80$ (0 – 10 larvas
 725 planta⁻¹), [$y = 0,45 + (1 - 0,45) * 0,91^{Pi - 9,80}$], Tabela 2}= 90,79 g planta⁻¹ (produção do controle=
 726 100%). §Adição de larva a partir do limite superior do intervalo de tolerância. **Infestação
 727 larval máxima (MAXI): Pamp (1)= 50,40; Pamp (2)= 54,81; Atal (2)= 35,81.

728 **Tabela 4.** Média (\pm EP) de variáveis vegetativas e reprodutivas - volume radicular (VOLU,
 729 cm^3), números de perfilhos (PERF), de panículas (PANI) e de grãos por panículas (GRAO), e
 730 massa de mil grãos ($_{1000}\text{GRAO}$, g) - de duas cultivares de arroz sob níveis distintos de infestação
 731 larval de *O. oryzae*, no campo, nas safras 2017/18 (1) e 2018/19 (2).

Tratamento (Safr)	VOLU ¹ ($\text{cm}^3 \text{ planta}^{-1}$)	PERF ² (n planta^{-1})	PANI ³ (n planta^{-1})	GRAO ⁴ (n panícula ⁻¹)	$_{1000}\text{GRAO}^5$ (g)
Pamp (1)[#]					
0	20,06 \pm 2,74 a	29,55 \pm 1,14 a	28,39 \pm 2,00 a	144,16 \pm 8,21 a	22,38 \pm 0,54 a
2	20,46 \pm 1,85 a	28,40 \pm 1,46 a	26,55 \pm 1,42 a	141,10 \pm 6,87 a	22,48 \pm 0,19 a
4	19,26 \pm 0,91 a	26,40 \pm 1,24 a	28,92 \pm 1,48 a	147,91 \pm 10,62 a	22,28 \pm 0,34 a
6	17,87 \pm 1,34 a	26,20 \pm 0,64 a	26,14 \pm 1,92 a	137,37 \pm 11,84 a	21,75 \pm 0,23 a
8	14,27 \pm 0,92 b	24,90 \pm 0,73 b	25,40 \pm 1,54 a	117,33 \pm 6,17 b	21,49 \pm 0,38 b
10	12,22 \pm 1,72 b	22,35 \pm 0,62 c	24,63 \pm 1,49 a	110,91 \pm 2,84 b	21,02 \pm 0,12 b
20	10,53 \pm 1,00 b	21,25 \pm 0,47 c	22,05 \pm 3,47 a	60,72 \pm 8,17 c	20,85 \pm 0,36 b
<i>gl</i>	6	6	6	6	6
<i>F</i>	6,09	11,60	1,23	13,72	2,97
<i>P</i>	<0,001*	<0,001*	0,32 ^{ns}	<0,001*	0,02*
CV (%)	19,83	6,91	15,77	13,50	3,69
Pamp (2)[#]					
0	29,57 \pm 1,63 a	29,75 \pm 0,35 a	30,80 \pm 0,94 a	160,05 \pm 11,79 a	23,10 \pm 0,09 a
2	31,83 \pm 3,13 a	29,25 \pm 1,18 a	28,55 \pm 1,26 a	150,15 \pm 4,87 a	23,13 \pm 0,02 a
4	25,46 \pm 3,88 a	29,40 \pm 0,66 a	30,65 \pm 1,68 a	156,39 \pm 11,78 a	23,13 \pm 0,07 a
6	17,70 \pm 1,94 b	27,00 \pm 1,44 a	29,75 \pm 1,59 a	139,41 \pm 8,66 a	22,90 \pm 0,08 a
8	14,65 \pm 3,28 b	25,20 \pm 0,35 b	29,20 \pm 3,19 a	115,38 \pm 4,07 b	23,74 \pm 0,07 b
10	10,01 \pm 0,82 c	23,95 \pm 0,45 b	27,35 \pm 1,51 a	123,30 \pm 5,93 b	22,64 \pm 0,12 b
20	8,29 \pm 1,25 c	22,00 \pm 0,64 c	23,60 \pm 3,50 a	70,57 \pm 12,06 c	22,46 \pm 0,33 b
<i>gl</i>	6	6	6	6	6
<i>F</i>	13,93	13,34	1,33	11,77	3,13
<i>P</i>	<0,001*	<0,001*	0,28 ^{ns}	<0,001*	0,02*
CV (%)	25,66	6,22	15,13	13,98	1,58
Atal (2)[#]					
0	20,13 \pm 2,74 a	29,50 \pm 1,80 a	21,90 \pm 1,53 a	174,79 \pm 5,03 a	23,63 \pm 0,12 a

2	18,75±0,74 a	26,90±1,00 a	21,00±0,91 a	174,31±6,69 a	23,63±0,19 a
4	18,84±0,65 a	27,20±0,49 a	20,10±1,59 a	167,00±4,57 a	23,74±0,09 a
6	17,38±1,00 a	25,45±2,11 a	19,85±0,80 a	155,58±2,97 a	23,25±0,15 a
8	14,24±0,99 b	23,25±1,60 b	18,90±1,04 a	140,00±8,78 a	23,00±0,26 b
10	11,90±1,30 b	22,15±1,85 b	17,70±0,54 a	136,11±24,68 a	22,65±0,26 b
20	10,77±0,94 b	21,30±1,40 b	16,40±2,45 a	85,89±20,72 b	22,55±0,21 b
<i>gl</i>	6	6	6	6	6
<i>F</i>	7,29	3,68	1,83	5,65	6,07
<i>P</i>	<0,001*	0,01*	0,14 ^{ns}	0,001*	<0,001*
CV (%)	17,09	12,41	14,46	17,85	1,70

732 #Níveis de infestação (Tratamento): *i*= 0 (controle); *ii*= 2; *iii*= 4; *iv*= 6; *v*= 8; *vi*= 10 e *vii*= 20
733 casais do gorgulho-aquático gaiola⁻¹, que produziram, respectivamente, 0; 4,10; 9,75; 14,35;
734 22,30; 26,95 e 50,40 larvas planta⁻¹, na cultivar Pamp (BRS Pampa CL), na safra 2017/18 (1),
735 0; 4,85; 10,45; 16,42; 25,97; 32,08 e 54,81 larvas planta⁻¹, na cultivar Pamp (BRS Pampa CL),
736 na safra 2018/19 (2) e 0; 3,89; 8,25; 12,62; 19,79; 26, 54 e 35,81 larvas planta⁻¹, na cultivar Atal
737 (BRS Atalanta), na safra 2018/19 (2). ¹Volume radicular, em cm³ planta⁻¹, aos 30 Dias Após a
738 Inundação (DAI). ²Perfilhamento, em número de perfilhos planta⁻¹, aos 30 DAI. Componentes
739 de produção= ³número de panículas planta⁻¹, ⁴número de grãos panículas⁻¹ e ⁵massa de mil grãos
740 (g). Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de
741 Scott Knott [*significativo ($P<0,05$); ^{ns}não significativo].

5. Considerações finais

A resistência de plantas a insetos é estratégia fundamental para aperfeiçoar o manejo de pragas na agricultura, como para *O. oryzae*, uma das principais espécies-praga de arrozais irrigados por inundação da América do Sul. Após análise dos resultados obtidos a partir de três anos de estudo, sob condições de infestação natural em campo experimental de arroz, foi possível caracterizar a resistência de cultivares de arroz a *O. oryzae* e quantificar seus impactos na produção de grãos.

As cultivares BRS Ligeirinho, BRS Pampa CL e BRS Querência são suscetíveis a *O. oryzae*, permitindo elevada população larval e melhor desenvolvimento dos descendentes. As cultivares BRS Atalanta, BRS Firmeza e Dawn são resistentes a *O. oryzae*. Essas cultivares, contudo, não possuem efeitos de antixenose inibidores da alimentação e oviposição do gorgulho-aquático durante a seleção hospedeira. Evidenciou-se que essas cultivares são resistentes por meio de efeitos isolados de antibiose, promotores de mortalidade e subnutrição das larvas que se alimentam das raízes, com consequente impacto transgeracional sobre fêmeas da população descendente. Nesse contexto, salienta-se que essas informações permitiram entender sobre o predominante mecanismo de resistência envolvido, fornecendo bases para o direcionamento dos estudos sobre as causas da resistência.

As causas da antibiose estão associadas à fatores antinutricionais presentes nas raízes com consequentes efeitos citotóxicos às larvas de *O. oryzae*. Comprovou-se que esses fatores antinutricionais são promovidos pela maior eficiência e potencialização do sistema antioxidante de defesa e acúmulo de compostos fenólicos e de lignina nas raízes da cultivar Dawn.

Entende-se que o uso de cultivares resistentes a *O. oryzae* pode interferir diretamente na relação entre a intensidade populacional de larvas ou de injúrias às

raízes e produção de arroz. Mesmo assim, constatou-se que o limite de tolerância ao dano larval de *O. oryzae* em cultivares de suscetibilidade contrastante é semelhante. Perdas significativas na produção de grãos ocorrem a partir de níveis de 10,8 e 9,8 larvas por planta nas cultivares BRS Pampa CL, suscetível, e BRS Atalanta, resistente do tipo antibiose, respectivamente. Esses níveis populacionais tolerados pelas cultivares correspondem ao dobro do nível de controle de larvas atualmente praticado no Brasil. Por outro lado, a antibiose na cultivar BRS Atalanta, por reduzir o tamanho populacional de larvas e os danos às raízes, assegura produção mínima de grãos maior do que na cultivar BRS Pampa CL.

Portanto, conclui-se que a antibiose é um mecanismo chave da resistência de cultivares de arroz ao gorgulho-aquático Sul-americano *O. oryzae*.

Referências

- BENTO, J.M.S.; NARDI, C. Bioecologia e nutrição vs. Ecologia química: interações multitróficas mediadas por sinais químicos. In: PANIZZI, A.R.; PARRA, J.R.P. (Ed.). **Bioecologia e nutrição de insetos. Base para o manejo integrado de pragas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.277-296.
- BOTTON, M. *et al.* Associação entre densidade populacional de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) e produção de grãos em cultivares de arroz irrigado. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.25, n.2, 233-238, 1996.
- CHEN, H. *et al.* Genetic, molecular and genomic basis of rice defense against insects. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.31, n.1, p.74-91, 2012.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, v.6 - safra 2018/19, décimo primeiro levantamento, agosto 2019. Brasília: Conab, 2019. Disponível em: <https://conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 15 dez 2019.
- CORREA, F. *et al.* Resistance in 27 rice cultivars to sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae). **Journal of Economic Entomology**, v.111, n.1, p.422-427, 2018.
- DUAN, C. *et al.* Induced defense responses in rice plants against small brown planthopper infestation. **The Crop Journal**, v.2, n.1, p.55-62, 2014.
- EIGENBRODE, S.D.; TRUMBLE, J.T. Host plant resistance to insects in Integrated Pest Management in vegetable crops. **Journal of Agricultural Entomology**, v.11, n.3, p.201-224, 1994.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 15 dez. 2019.
- GILL, R.S. *et al.* Role of oxidative enzymes in plant defenses against insect herbivory. **Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica**, v.45, n.2, p.277-290, 2010.
- GOMES, A.S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 899p.
- GRÜTZMACHER, A.D. **Artrópodes associados à cultura do arroz irrigado em vários sistemas de cultivo**. 1994. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- GRÜTZMACHER, D.D. *et al.* Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.632-637, 2008.
- GUEDES, J.V.C. *et al.* Bicheira-da-raiz na cultura do arroz: ocorrência e manejo. **Cultivar Grandes Culturas**, v.16, n.194, p.46-51, 2015.

GUO, T.; LIAO, C.; CHUANG, W. Defensive responses of rice cultivars resistant to *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae). **Arthropod-Plant Interactions**, v.13, n.4, p.611-620, 2019.

HEINRICHES, E.A. *et al.* **Genetic evaluation for insect resistance in rice**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1985. 356p.

HEINRICHES, E.A. Host plant resistance. In: HEINRICHES, E.A. (Ed.). **Biology and management of rice insects**. New Delhi: Wiley Eastern Limited, 1994, p.515-545.

HEINRICHES, E.A. QUISENBERRY, S.S. Germplasm evaluation and utilization for insect resistance in rice. In: CLEMENT, S.L.; QUISENBERRY, S.S. (Ed.). **Global plant genetic resources for insect-resistant crops**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p.3-23.

HICKEL, E.R. *et al.* **A bicheira-da-raiz nas lavouras catarinenses de arroz irrigado: ocorrência, monitoramento e manejo integrado**. Florianópolis: Epagri, 2013. 56p. (Epagri. Boletim Técnico, 161).

HIM, H.P.V. **Teste de resistência à bicheira da raiz (*Oryzophagus oryzae*, Costa Lima, 1936) em genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.), para fins de melhoramento**. 1980. 60f. Dissertação (Mestrado em Fitomelhoramento) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

JANNOEY, P. *et al.* Expression analysis of genes related to rice resistance against Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens*. **Rice Science**, v.24, n.3, p. 163-172, 2017.

KARKI, S.; RIZAL, G.; QUICK, W. P. Improvement of photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.) by inserting the C4 pathway. **The Rice Journal**, v.28, n.6, 2013.

KHUSH, G.S. What it will take to Feed 5.0 Billion Rice consumers in 2030. **Plant Molecular Biology**, v.59, n.1, p.1-6, 2005.

LIMA, C.A.B. *et al.* Development of *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) in rice cultivars. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49, e53397, 2019.

LING, Y.; WEILIN, Z. Genetic and biochemical mechanisms of rice resistance to planthopper. **Plant Cell Reports**, v.35, n.8, p.1559-1572, 2016

LUPI, D. *et al.* Japonica cultivars' susceptibility to the rice water weevil *Lissorhoptrus oryophilus* (Coleoptera: Curculionidae: Brachyceridae). **Journal of Applied Entomology**, v.137, n.5, p.355-364, 2013.

MAGALHÃES JÚNIOR A.M. *et al.* Aspectos genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004, p.143-235.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. *et al.* **'BRS Pampa CL': cultivar de arroz irrigado de grãos nobres para o sistema Clearfield® no RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 13p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 364).

MARCHI-WERLE, L. *et al.* Economic injury levels for *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae) on the soybean aphid tolerant KS4202 soybean. **Journal of Economic Entomology**, v.110, n.5, p.2100-2108, 2017.

MARTINS, J.F.S. *et al.* **Diagnóstico sobre o manejo de agrotóxicos em áreas orizícolas da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 46p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 421).

MARTINS, J.F.S. *et al.* Fipronil residual content in the soil for the control of *Oryzophagus oryzae* in subsequent flooded rice crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.4, p.228-235, 2017a.

MARTINS, J.F.S. *et al.* **Viabilidade agronômica, ambiental e econômica do aproveitamento de resíduos de fipronil em solos orizícolas para controle da bicheira-da-raiz**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017b. 10p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 187).

MARTINS, J.F.S. *et al.* Novo método para aferição da densidade populacional do gorgulho-aquático em plantas de arroz irrigado. **Agropecuária Clima Temperado**, v.4, n.2, p.363-370, 2001.

MARTINS, J.F.S. *et al.* Resistência de arroz de sequeiro à broca-do-colmo e sua associação com características morfológicas das plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.2, p.187-192, 1981.

MARTINS, J.F.S. *et al.* Simulação do dano causado por larvas de *Oryzophagus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) a cultivares de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.653-659, 2004.

MARTINS, J.F.S. *et al.* **Situação do manejo integrado de insetos-praga na cultura do arroz no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 40p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 290).

MARTINS, J.F.S.; CUNHA, U.S. Gorgulho-aquático-do-arroz, *Oryzophagus oryzae* (Lima). In: VILELA, E.F.; ZUCCHI, R.A. (Ed.). **Pragas introduzidas no Brasil: Insetos e ácaros**. Piracicaba: FEALQ, 2015, p.624-642.

MARTINS, J.F.S.; CUNHA, U.S. **Situação do Sistema de Controle Químico do gorgulho-aquático *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima) (Coleoptera: Curculionidae) na cultura do arroz no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 25p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 215).

MARTINS, J.F.S.; GRÜTZMACHER, A.D.; CUNHA, U.S. Descrição e manejo integrado de insetos-praga em arroz irrigado. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004, p.635-676.

MARTINS, J.F.S.; PRANDO, H.F. Bicheira-da-raiz-do-arroz. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C.J.; SILVA, M.T.B. (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. p.259-296.

MARTINS, J.F.S.; TERRES, A.L.S. Avaliação de germoplasma de arroz visando resistência à *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.24, n.3, p.445-453, 1995.

MOREIRA, G.R.P. Oviposition by the riceinfesting weevil, *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima, 1936) (Coleoptera, Curculionidae): influence of water depth and host-plant characteristics. **Revista Brasileira de Zoociências**, v.4, n.2, p.237-253, 2002.

N'GUESSAN, F.K. *et al.* Evaluation of rice anther culture lines for tolerance to the rice water weevil (Coleoptera, Curculionidae). **Environmental Entomology**, v.23, n.2, p.331-336, 1994a.

N'GUESSAN, F.K. *et al.* Assessment of Louisiana rice breeding lines for tolerance to the rice water weevil (Coleoptera, Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v.87, n.2, p.476-481, 1994b.

N'GUESSAN, F.K. *et al.* Investigation of antixenosis and antibiosis as mechanisms of resistance in rice to the rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Entomological Science**, v.29, n.2, p.259-263, 1994c.

N'GUESSAN, F.K. *et al.* Evaluation of rice tissue culture lines for resistance to the rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v.87, n.2, p.504-513, 1994d.

N'GUESSAN, F.K.; QUISENBERRY, S.S. Screening selected rice lines for resistance to the rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae). **Environmental Entomology**, v.23, n.3, p.665-674, 1994.

NASCIMENTO, J.B.; BARRIGOSI, J.A.F. Responses of rice mini-core collection accessions to damage by *Diatraea saccharalis* (Fabricius) stem borer. **Agricultural Sciences**, v.5, n.9, p.776-784, 2014.

NEVES, M.B. *et al.* Profundidade da amostragem de solo e de raízes e índice de infestação de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima, 1936) (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz. **Ciência Rural**, v.41, n.12, p.2039-2044, 2011.

OLIVEIRA, J.V.; FIUZA, L.M. Aumento preocupante. **Cultivar Grandes Culturas**, v.15, n.170, p.12-14, 2013.

PAINTER, R.H. **Insect resistance in crop plants**. New York: The Macmillan Co, 1951. 520p.

PAZINI, J. de B. *et al.* Side-effects of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygastridae). **Ecotoxicology**, v.26, n.2, p.782-791, 2017.

RANI, P.U.; JYOTHSNA, Y. Biochemical and enzymatic changes in rice plants as a mechanism of defense. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.32, n.4, p.695-701, 2010.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 32., 2018, Farroupilha. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Pelotas: SOSBAI, 2018. 205p.

SAAD, M.M. *et al.* Varietal resistance against the rice water weevil in field and greenhouse studies. **Environmental Entomology**, v.47, n.2, p.388-395, 2018.

SANCHES, P.A. *et al.* Direct and indirect resistance of sugarcane to *Diatraea saccharalis* induced by jasmonic acid. **Bulletin of Entomological Research**, v.107, n.6, p.828-838, 2017.

SANDOYA, G. *et al.* Evaluation of structural and antibiosis resistance mechanisms during selection against Mediterranean corn borer (*Sesamia nonagrioides* Lef) in the maize synthetic EPS12. **Crop Protection**, v.29, n.1, p.7-10, 2010.

SANTOS, A.B. *et al.* **A cultura do arroz no Brasil.** 2ª ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz & Feijão, 2006. 1000p.

SHARMA, H.C.; ORTIZ, R. Host plant resistance to insects: An eco-friendly approach for pest management and environment conservation. **Journal of Environmental Biology**, v.23, n.2, p.111-35, 2002

SHARMITHA, T. *et al.* Assessment of biophysical and biochemical attributes conferring resistance in rice accessions/varieties to yellow stem borer, *Scirpophaga incertulas* Walker (Lepidoptera: Crambidae). **The Pharma Innovation Journal**, v.8, n.6, p.421-426, 2019.

SHEEHY J.E.; MITCHELL P.L. Rice and global food security: the race between scientific discovery and catastrophe. In: PASTERNAK, C. **The search for better nutrition.** Smith-Gordon: Cambridgeshire, 2011. p.81-90.

SILVA, F.A.C.; PANIZZI, A.R. Interações inseto-planta. In: BALDIN, E.L.L.; VENDRAMIM, J.D.; LOURENÇÃO, A.L. (Ed.). **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações.** Piracicaba: FEALQ, 2019, p.65-98.

SILVA, F.F. *et al.* Avaliação da resistência de arroz a *Oryzophagus oryzae* com e sem chance de escolha da planta hospedeira. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.9, n.2, p.135-140, 2003.

SMITH, C.M. **Plant resistance to arthropods:** molecular and conventional approaches. Dordrecht: Springer, 2005. 423p.

SMITH, C.M.; ROBINSON, J.F. Evaluation of rice cultivars grown in North America for resistance to the rice water weevil. **Environmental Entomology**, v.11, n.2, p.334-336, 1982.

STENBERG, J.A.; MUOLA, A. How should plant resistance to herbivores be measured? **Frontiers in Plant Science**, v.8, 663, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00663>. Acesso em: 07 jan. 2020.

STERN, V.M. *et al.* The integrated control concept. **Hilgardia**, v.29, n.2, p.81-101, 1959.

STOUT, M.J. *et al.* Identification of rice cultivars resistant to *Lissorhoptus oryophilus* (Coleoptera: Curculionidae), and their use in an integrated management program. **Journal of Economic Entomology**, v.94, n.4, p.963-970, 2001.

STOUT, M.J.; DAVIS, J. Keys to the increased use of host plant resistance in Integrated Pest Management. In: PESHIN, R.; DHAWAN, A.K. (Ed.). **Integrated Pest Management: Innovation-development process**. Dordrecht: Springer, 2009, p.163-181.

STOUT, M.J.; RIGGIO, M.R. Variation in susceptibility of rice lines to infestation by the rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Agricultural and Urban Entomology**, v.19, n.4, p.205-216, 2002.

TABARI, M. *et al.* Antixenosis and antibiosis resistance in rice cultivars against *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae). **Neotropical Entomology**, v.46, n.4, p.452-460, 2017.

TELÓ, G.M. *et al.* Fungicide and insecticide residues in rice grains. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.39, n.1, p.9-15, 2017.

VENDRAMIM, J.D.; ROSALES, E.A.C. A resistência de plantas e o Manejo Integrado de Pragas. In: BALDIN, E.L.L.; VENDRAMIM, J.D.; LOURENÇÃO, A.L. (Ed.). **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba: FEALQ, 2019, p.435-465.

VYAVHARE, S.S. *et al.* Evaluation of host-plant resistance of selected rice genotypes to the rice water weevil (Coleoptera: Curculionidae). **Environmental Entomology**, v.45, n.6, p.1439-1444, 2016.

WAR, A.R. *et al.* Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signaling & Behavior**, v.7, n.10, p.1306-1320, 2012.

WIBMER, G.J.; O'BRIEN, C. W. Annotated checklist of the weevils (Curculionidae sensu lato) of South America (Coleoptera: Curculionidae). **Memoirs of the American Entomological Institute**, v.39, n.1, p.188-193, 1986.