

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA
AGR99006 – DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Angel Rafaela Stopilha

00228375

“Etapas do melhoramento genético de arroz irrigado conduzidas no IRGA”

Porto Alegre, março de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA

Etapas do melhoramento genético de arroz irrigado conduzidas no IRGA

Angel Rafaela Stopilha

00228375

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Engenheira Agrônoma, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Supervisor de campo do Estágio: Eng. Agr. Dra. Gabriela de Magalhães da Fonseca

Orientador Acadêmico do Estágio: Prof. Dr. Itamar Cristiano Nava

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Prof. Pedro Selbach - Departamento de Solos (Coordenador)

Prof. Alberto Inda Jr. - Departamento de Solos

Prof. Alexandre Kessler - Departamento Zootecnia

Prof. André Brunes - Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Prof. José Antônio Martinelli - Departamento Fitossanidade

Prof.^a Renata Pereira da Cruz - Departamento de Plantas de Lavoura

Prof. Sérgio Tomasini - Departamento de Horticultura e Silvicultura

Porto Alegre, março de 2021.

AGRADECIMENTOS

Há muitas pessoas que gostaria de contemplar nessa seção, em princípio agradecer a minha mãe, Neiva, por todo amor, dedicação e por ser meu exemplo de mulher e resiliência. Agradecer a minha irmã Roberta, por todas as palavras de carinho, toda ajuda, todo amor e por sempre acreditar em mim. Ao meu pai Roberto, por toda compreensão e suporte. Com muito carinho, quero agradecer aos meus dindos Aline, Bete, Jonathan e, em especial, ao José por me ajudar de inúmeras formas, com certeza não teria conseguido sem o seu apoio. Às minhas tias Neli, Nadir e Marli, aos meus tios Orlando, Vilson e Volnei, às minhas primas e primos toda minha imensa gratidão e carinho.

Quero agradecer ao meu namorado, Alessandro, por todo carinho, paciência, amor e dedicação, tenho certeza que foste fundamental para a conclusão desta etapa. Às minhas amigas e companheiras de trajetória Bárbara, Carolina, Flávia, Jéssica, Juliana e Paula, que com certeza estiveram presentes nos melhores e piores momentos, agradeço aos melhores sorrisos na maioria dos dias, em outros nem tanto, pelas melhores conversas, risadas e palavras de apoio. Agradecer às minhas amigas de longa data, Aline e Morgana, por sempre estarem presentes por mais que estejamos distantes.

Deixar meus saudosos agradecimentos à cada professor e funcionário da UFRGS, que de uma forma ou outra, passaram conhecimentos essenciais para elaboração deste trabalho final. Agradecer em especial ao meu professor orientador, Itamar C. Nava, por sempre estar disposto a ajudar e a transmitir seus ensinamentos, e pela paciência na execução do trabalho.

Agradecer a todos os funcionários do IRGA que foram fundamentais no decorrer do estágio. Aos técnicos e auxiliares do setor de Melhoramento Genético, principalmente as técnicas Ingrid e Taiane por sempre estarem dispostas a responder minhas dúvidas e trocar conhecimentos. E, em especial, a minha orientadora de campo, Gabriela Magalhães, e às pesquisadoras Danielle e Débora por toda paciência, disponibilidade e ensinamentos no decorrer desse período.

E como tudo na vida, não realizamos nada essencialmente sozinhos. Quero deixar meus sinceros agradecimentos a cada um de vocês e outras tantas pessoas, que apesar de não ter citado, foram fundamentais nessa jornada.

RESUMO

O estágio curricular obrigatório foi desenvolvido na Estação Experimental do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), localizada no município de Cachoeirinha, RS. O objetivo do estágio foi acompanhar as diferentes etapas do programa de melhoramento genético vegetal do IRGA, com foco no desenvolvimento de cultivares modernas e superiores de arroz irrigado. As principais atividades desenvolvidas foram hibridações artificiais envolvendo genitores com características agronômicas de interesse do programa, polinização, manejo dos blocos de cruzamentos, avaliação de florescimento e estatura de plantas nos ensaios de rendimento de grãos, além de acompanhar a seleção de plantas em populações segregantes. Possibilitando a vivência prática a campo, o entendimento das distintas etapas na obtenção de novas cultivares de arroz irrigado e a importância do melhoramento genético vegetal para agricultura.

LISTA DE TABELAS

- 1.** Ensaio de rendimento (PRL, AVD e VCU) com o total de linhagens avaliadas na estação de crescimento 2019/2020 e os respectivos locais de condução dos ensaios.....24

LISTA DE FIGURAS

1. Fluxograma do programa de melhoramento genético de arroz irrigado do IRGA.....	16
2. Imersão de espiguetas em banho maria (A) e corte transversal no terço superior de cada espiguetas (B).....	19
3. Condução dos cruzamentos simples (A) e triplos (B).	20
4. Planta selecionada em uma população F ₂ (A) e ideotipo de planta de arroz (B).	22
5. Avaliação de florescimento nos ensaios de rendimento em uma parcela com 5% das plantas em floração (A) e parcela com 80% das plantas em floração (B). Avaliação da estatura de plantas em parcela do ensaio VCU (C).	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DE CACHOEIRINHA	9
3. CARACTERIZAÇÃO DO INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ	10
4. REFERENCIAL TEÓRICO	11
4.1 O arroz – classificação botânica e importância socioeconômica.....	11
4.2 Melhoramento genético de arroz irrigado.....	12
4.2.1 Métodos de melhoramento para plantas autógamas	13
4.2.2 Hibridação e condução de populações segregantes pelo método genealógico	14
5. ATIVIDADES REALIZADAS	16
5.1 Hibridações artificiais	17
5.1.2 Emasculação e termoterapia	18
5.1.3 Polinização.....	19
5.2 Condução de populações segregantes.....	21
5.2.1 Acompanhamento de seleção em populações segregantes	21
5.3 Acompanhamento dos ensaios de rendimento.....	23
5.3.1 Avaliação de florescimento e estatura de plantas nos ensaios de rendimento.....	24
6. DISCUSSÃO	26
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
APÊNDICES	35
ANEXOS	38

1. INTRODUÇÃO

O estágio curricular foi desenvolvido na seção de melhoramento genético da Estação Experimental do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), localizada no município de Cachoeirinha, RS. O estágio teve início em 18 de dezembro de 2019 e término em 13 de março de 2020, totalizando 300 horas. As atividades foram desenvolvidas sob orientação técnica da Eng. Agr. Dra. Gabriela de M. da Fonseca responsável pela seleção de plantas e ensaios de rendimento em Santa Vitória do Palmar, e sob orientação acadêmica do professor Dr. Itamar Cristiano Nava. A escolha da área de atuação do estágio ocorreu em virtude da grande importância que o cultivo de arroz apresenta tanto em nível mundial quanto regional, onde o melhoramento de plantas é essencial para o desenvolvimento de novas cultivares.

O cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) possui grande destaque entre os cereais no mundo, por seu aspecto econômico e social, podendo ser consumido tanto em camadas mais abastadas quanto mais humildes da população (SOSBAI, 2018). O Brasil ocupa a nona posição entre os maiores produtores mundiais do cereal segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (ATLAS SOCIOECONÔMICO - RS, 2020a), sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor do grão em casca do país e responsável por 70% da produção nacional na safra 2018/2019 (IBGE, 2020). O melhoramento genético é a ciência e a arte da manipulação genética das plantas para torná-las mais úteis ao homem (ALLARD, 1971). Na cultura do arroz, possui grande importância para a obtenção de novas cultivares adaptadas às regiões de cultivo. Para o estado do Rio Grande do Sul, contribui para o aumento da produtividade, resistência às principais doenças e resposta à adubação, atendendo às necessidades dos produtores. Visa também, melhoria da qualidade dos grãos para rendimento, aspectos físicos e de cocção, com características organolépticas que satisfaçam os consumidores, assim contribuindo para a sustentabilidade da orizicultura gaúcha.

O estágio permitiu conhecer a rotina de um programa de melhoramento, vivência prática a campo, com o acompanhamento e auxílio aos técnicos e pesquisadores nas atividades de hibridação artificial, polinização, manejo dos blocos de cruzamentos, acompanhamento da seleção de plantas em populações segregantes, além de avaliar florescimento e estatura de plantas nos ensaios de rendimento de grãos. Ainda, sendo possível o entendimento das diferentes etapas que compõem o programa e os desafios impostos para obtenção de uma nova cultivar de arroz irrigado, de forma a consolidar os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação em Agronomia.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DE CACHOEIRINHA

O município de Cachoeirinha pertence à região geomorfológica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (ATLAS SOCIOECONÔMICO - RS, 2020b), e compõe a Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), distante 17 quilômetros do centro da capital (CACHOEIRINHA, 2020). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a cidade possui 43,78 quilômetros quadrados de área territorial e uma população estimada para 2020 de 131.240 habitantes. O clima da região é classificado como subtropical (Cfa) caracterizado por verões quentes e chuvas durante todos os meses do ano, conforme a classificação de Köppen-Geiger (1928) (PESSOA, 2017). A temperatura média anual no município é de 19,3 °C, sendo janeiro o mês mais quente, com média de 24,6 °C e o mês de junho com a menor temperatura média de 14,4 °C. Com relação às precipitações, o mês de setembro é o mais seco (101 mm) e o mês de novembro é o que concentra as maiores chuvas (141 mm), com média anual de 1.434 mm (CLIMATE-DATA, 2020). A economia de Cachoeirinha baseia-se nos setores de indústria e serviços, tendo o setor primário pouca relevância para o perfil econômico do município (SEBRAE, 2020).

As classes de solos predominantes no município são Planossolos e Gleissolos e em menor proporção Argissolos, conforme a classificação de Streck et al. (2008). Os Planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em áreas de várzea dos rios e lagoas, apresentando relevo plano a suave ondulado. Os Gleissolos em sua terminologia lembram o processo de gleização – dissolução do ferro – que ocorre em ambientes alagadiços. São caracterizados pela pouca profundidade, e por serem muito mal drenados, apresentando coloração acinzentada ou preta, ocorrendo em várzeas de rios e planícies lagunares. Em geral, tanto Planossolos quanto Gleissolos possuem aptidão para o cultivo de arroz irrigado e, com sistema eficiente de drenagem podem ser cultivados com milho, feijão, soja e pastagens. Já os Argissolos, encontrados em menor proporção, são solos profundos a muito profundos e variam de bem a imperfeitamente drenados. São caracterizados por apresentarem um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil e ocorrem em relevo suave ondulado a forte ondulado. Os Argissolos apresentam diferentes classes, com grande diversidade de características físico-químicas e, em geral, apresentam limitações químicas, o que exige investimentos em correções e adubações para se obter rendimentos satisfatórios com as culturas implementadas (STRECK *et al.*, 2008).

3. CARACTERIZAÇÃO DO INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ

O Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) iniciou sua trajetória com o Sindicato Arrozeiro, constituído em 1926 para atender as demandas do setor orizícola no Estado. O visionário Alberto Bins, um dos membros do sindicato, constatou a necessidade de modernização do cultivo de arroz para a região. Através da iniciativa conjunta do Sindicato e de Alberto Bins, o então engenheiro agrônomo Bonifácio Carvalho Bernardes realizou mestrado nos Estados Unidos e com o aporte de novos conhecimentos de manejo e tecnologias começou o desenvolvimento organizado da orizicultura no Rio Grande do Sul. Em maio de 1938, com os objetivos de exportar e dinamizar a cultura no Estado, o sindicato transformou-se no Instituto do Arroz do Rio Grande. Finalmente, em 20 de junho de 1940 foi transformado em uma autarquia estadual, já com o nome de Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), por meio do Decreto-Lei nº 20 (IRGA, 2020a).

A Instituição é subordinada à Secretaria Estadual de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, mas com independência administrativa, financeira e orçamentária. O IRGA possui como objetivo promover o desenvolvimento sustentável do setor orizícola no Estado através da geração e da difusão de conhecimentos, de informações e de tecnologias, bem como propor políticas de interesse setorial e do consumidor (IRGA, 2020a). A sede está localizada no centro de Porto Alegre, RS, e conta com seis Coordenadorias Regionais e Núcleos de Assistência Técnica e Extensão Rural (Nates) em 41 municípios. A Estação Experimental do Arroz (EEA) situada no município de Cachoeirinha, RS, contempla uma área total de 180 hectares, destes 70 ha são destinados para os campos experimentais cultivados com arroz, soja, milho e pastagens (IRGA, 2017). Atualmente, a EEA é subdividida em seis seções, sendo elas Agronomia, Sementes, Solos e Águas, Pós-Colheita, Informação e Documentação e Melhoramento Genético (LAVOURA ARROZEIRA, 2019).

A Seção de Melhoramento Genético, onde o estágio foi realizado, tem como objetivo a pesquisa para o desenvolvimento de novas cultivares (linhagens puras) e híbridas adaptadas às condições do Rio Grande do Sul. As atividades são desenvolvidas por cinco pesquisadores, oito técnicos e sete auxiliares. Os trabalhos de seleção e melhoramento genético iniciaram na década de 30 com genótipos provenientes dos Estados Unidos, trazidos por Bonifácio Carvalho Bernardes. O objetivo do programa era a obtenção de cultivares rústicas e adaptadas às condições do Estado o que, após os esforços de seleção para plantas superiores, resultou em diversas cultivares lançadas entre 1942 e 1971. Porém, essas cultivares eram caracterizadas como tradicionais, apresentando baixa produtividade (entre 3 e 4 t ha⁻¹), com ciclo precoce,

panículas longas, grãos longos e espessos, além do porte elevado que culminava, muitas vezes, em acamamento e prejuízos nas lavouras (SOUZA, 2012). No início da década de 1970, com a introdução de diferentes práticas de manejo (aplainamento do solo, adubação conforme a necessidade da cultura, utilização de herbicidas, fungicidas e inseticidas, dentre outras) houve a mudança do enfoque do programa de seleção, preconizando cultivares do tipo moderno, apresentando porte baixo ou médio, alta capacidade de produção de grãos e mais exigentes em práticas culturais (PEDROSO, 1982). Já no final da década de 70, essa nova arquitetura de planta permitiu que o potencial de produtividade do arroz duplicasse, com o lançamento das cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410 (STRECK, 2017) (Apêndice A - ordem cronológica das cultivares modernas lançadas pelo IRGA). Destaca-se que a instituição foi pioneira no lançamento da primeira cultivar com tolerância à herbicida para combater o arroz vermelho (*Oryza sativa*), a IRGA 422CL, em 2002 contribuindo para alavancar a produtividade das lavouras no estado. Além disso, também lançou a cultivar com maior potencial de rendimento de grãos em arroz, a IRGA 424, em 2007. A versão “CL” com a tecnologia Clearfield®¹ desta cultivar é, inclusive, a mais semeada hoje no RS (IRGA, 2020b). A cultivar foi registrada como IRGA 424 RI, ou seja, resistente a imidazolinonas (grupo químico de herbicidas utilizados no controle de arroz vermelho). Assim, no decorrer dos anos a busca e seleção por genótipos elite seguiram as demandas do consumidor, do produtor e do mercado de comercialização, além de priorizar manejos e tecnologias para a sustentabilidade da orizicultura no RS.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 O arroz – classificação botânica e importância socioeconômica

O arroz, *Oryza sativa* L., é uma planta herbácea, anual, monocotiledônea, pertencente à família Poaceae, tribo *Oryzae*, gênero *Oryza*, e espécie *sativa* (PEDROSO, 1982). O arroz destaca-se mundialmente por sua produção e área de cultivo, sendo cultivado e consumido em todos os continentes. Além de desempenhar funções importantes no âmbito econômico, possui grande relevância social pelo preço relativamente mais acessível que outros cereais, suprindo as exigências nutricionais de camadas da população com menor poder aquisitivo (SOSBAI, 2018). No mundo são cultivados aproximadamente 161 milhões de hectares (SOSBAI, 2018), com uma produção de 775,6 milhões de toneladas de arroz em casca (515 milhões de toneladas

¹ Sistema de Produção Clearfield® desenvolvido pela BASF, utiliza plantas de arroz com resistentes a herbicidas altamente efetivos no controle do arroz vermelho e de outras plantas daninhas de importância para cultura do arroz (BASF, 2021).

beneficiado), segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (PLANETA ARROZ, 2020). Considerado alimento base para três bilhões de pessoas, o continente Asiático se destaca como o maior produtor mundial, onde são produzidos mais de 90% do cereal e, também onde há o maior consumo médio *per capita* de 78 kg/pessoa/ano contrapondo, ao consumo médio mundial de 54 kg/pessoa/ano. Os países com maior produção em ordem decrescente são: China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Myanmar, Filipinas e Brasil (SOSBAI, 2018).

A produção brasileira em 2019/2020 foi de 11,04 milhões de toneladas (IBGE, 2020), com produtividade média de 6.266 kg ha⁻¹ para safra 2019/2020 conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (EDITORA GAZETA, 2020). O consumo médio *per capita* brasileiro é de 34 kg/pessoa/ano, sendo abaixo da média mundial apresentada anteriormente (LAVOURA ARROZEIRA, 2019). O Rio Grande do Sul se destaca como o maior produtor nacional correspondendo a 70% da produção brasileira, seguido por Santa Catarina que representa, aproximadamente, 10% do total produzido no país (SOSBAI, 2018). No Rio Grande do Sul, a área cultivada na safra 2018/2019 foi de 984.081 hectares, com produção média de 7.508 kg ha⁻¹, representando aproximadamente 7,4 milhões de toneladas (IRGA, 2020c). Além da importância econômica, o arroz é cultivado em pequenas, médias e grandes propriedades e emprega mais de 37 mil trabalhadores (SOSBAI, 2018). Atrelado a isso, é considerado um dos alimentos com melhor balanço nutricional, fornecendo 20% de energia e 15% de proteína necessárias ao ser humano, além de contribuir para a segurança alimentar em diferentes países (MAGALHÃES JR. *et al.*, 2004).

4.2 Melhoramento genético de arroz irrigado

Existem diferentes conceitos para o melhoramento genético de plantas. Conforme Vavilov (1935), citado por Borém e Miranda (2013) melhoramento é a evolução conduzida pelo homem. Para Allard (1971) é a ciência e arte da manipulação genética das plantas para torná-las mais úteis ao homem. Desde a domesticação das espécies cultivadas, o melhoramento de plantas vem ocupando papel fundamental no desenvolvimento da agricultura. Para a cultura do arroz, a definição de cultivar moderna surgiu na década de 1960 no período da Revolução Verde. As principais características dessas cultivares eram o porte baixo, alto perfilhamento, resposta à adubação nitrogenada e elevada produtividade de grãos, diferenciando-as das tradicionais, que possuíam variações no tamanho de grãos e ciclo vegetativo, com porte alto e crescimento rápido. A primeira cultivar do tipo moderno, a IR-8, foi lançada pelo IRRI (*International Rice Research Institute*), e disponibilizada para os agricultores em 1966, o que

contribuiu para a duplicação da produção de arroz nas Filipinas no período de duas décadas (LOPES, 2019).

No Brasil, os primeiros trabalhos em arroz tiveram início na década de 1930 no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em São Paulo, preconizando a obtenção de cultivares para o sistema de sequeiro (LOPES, 2019). Em 1939, o estado do Rio Grande do Sul iniciou suas pesquisas com a cultura do arroz irrigado, no município de Cachoeirinha, na estação experimental do arroz (EEA), pertencente ao Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) (MAGALHÃES JR. *et al*, 2004; LOPES, 2019). A partir de 1979, resultado da ação conjunta entre a Embrapa-IRGA, foram lançadas as cultivares com arquitetura do tipo moderno, como a BR-IRGA 409 e BR-IRGA 410, as quais alavancaram a produtividade média do arroz no Rio Grande do Sul (LOPES, 2019). Desde então, os programas de melhoramento genético de arroz irrigado possuem algumas prioridades básicas e, dentre elas, pode-se destacar o desenvolvimento de cultivares que apresentam características como: tolerância à toxidez por ferro, resistência ao acamamento, resistência às principais doenças - em especial à brusone, alto perfilhamento, qualidade de grãos e alto potencial genético para produtividade de grãos (CORDEIRO, 2008).

4.2.1 Métodos de melhoramento para plantas autógamias

O conhecimento do modo de reprodução da espécie a ser trabalhada é fundamental para definir os métodos de melhoramento que serão utilizados (BORÉM; MIRANDA, 2013). A autopolinização ou autogamia ocorre em um grande número de espécies vegetais, como alface, tomate, soja, feijão, trigo, aveia e arroz (ACQUAAH, 2012). Espécies autógamias são caracterizadas por realizarem naturalmente a autofecundação acima de 95% (BESPALHOK; GUERRA; OLIVEIRA). A autofecundação pode ser definida pela transferência do pólen (gameta masculino) de uma antera para o estigma da mesma flor ou de outra flor da mesma planta, resultando na fertilização do óvulo (gameta feminino) (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Os métodos de melhoramento utilizados para o arroz são os de introdução de plantas, seleção em cultivares heterogêneas (seleção massal e seleção de linhagens puras) e o de hibridação, sendo as populações segregantes conduzidas pelos métodos genealógico, populacional (*bulk*), retrocruzamento ou por modificações nesses processos (CORDEIRO, 2008). A introdução de plantas via cultivares/linhagens ou via populações segregantes são importantes estratégias para o aumento de variabilidade genética dentro dos programas de melhoramento. Como exemplo, as cultivares BR-IRGA 409 e BR-IRGA 410, apresentaram

ampla adaptação no país, foram selecionados dentro de populações segregantes introduzidas do Centro Internacional para Agricultura Tropical (CIAT) (CORDEIRO, 2008). Com relação à seleção massal de plantas, é o método mais antigo utilizado para autógamas, e consiste em selecionar um elevado número de indivíduos, com características fenotípicas semelhantes que são colhidos em conjunto para constituir a geração seguinte (LOPES, 2019; BORÉM; MIRANDA, 2013).

4.2.2 Hibridação e condução de populações segregantes pelo método genealógico

O método Genealógico ou “*Pedigree*” consiste na seleção de plantas individuais em populações segregantes, que serão conduzidas em famílias nas sucessivas gerações de autofecundação, sendo uma das principais diferenças desse método em relação à seleção massal ou de linhas puras (ACQUAAH, 2012). Como a hibridação tem por objetivo reunir em uma única linhagem os alelos desejáveis que se encontram em genótipos distintos (SILVA, 2009), em espécies autógamas, os genitores são cruzados artificialmente, consistindo na emasculação da flor a ser utilizada como genitor feminino antes que as anteras iniciem a emissão do pólen (BORÉM; MIRANDA, 2013). Os cruzamentos artificiais podem ser: simples (cruzamento entre dois genitores), duplos (hibridação entre dois híbridos originários de cruzamentos simples), triplos (ocorre a partir do cruzamento entre dois genitores, resultando no híbrido F_1 , que é cruzado com um terceiro genitor), complexos (mais de quatro genitores) e os retrocruzamentos (cruzamento entre o híbrido F_1 e o genitor recorrente) (BORÉM; MIRANDA, 2013). A utilização de genitores com grande distância genética nos programas de melhoramento é uma das principais alternativas para ampliar a base genética da cultura (LOPES, 2019). Os híbridos F_1 , oriundos dos pais homozigotos, não segregam quando são provenientes de cruzamentos simples e são autofecundados dando origem a populações segregantes em F_2 , onde ocorre a maior segregação genética e fenotípica, a qual origina as demais gerações F_3 , F_4 , em diante, até atingir a homozigose desejada (LOPES, 2019). Assim, a busca por genótipos superiores requer a utilização da variabilidade genética nos cruzamentos, para que se obtenha ganhos com a seleção.

Na seleção pelo *Pedigree*, desde a geração F_2 seleciona-se plantas individuais que em F_3 serão conduzidas em linhas. As linhas $F_{2:3}$ são avaliadas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura e as consideradas superiores são selecionadas individualmente. As plantas selecionadas em F_3 são conduzidas em linhas na geração $F_{3:4}$, aquelas consideradas superiores são novamente submetidas à seleção individual de plantas. A partir dessa geração é efetuada a

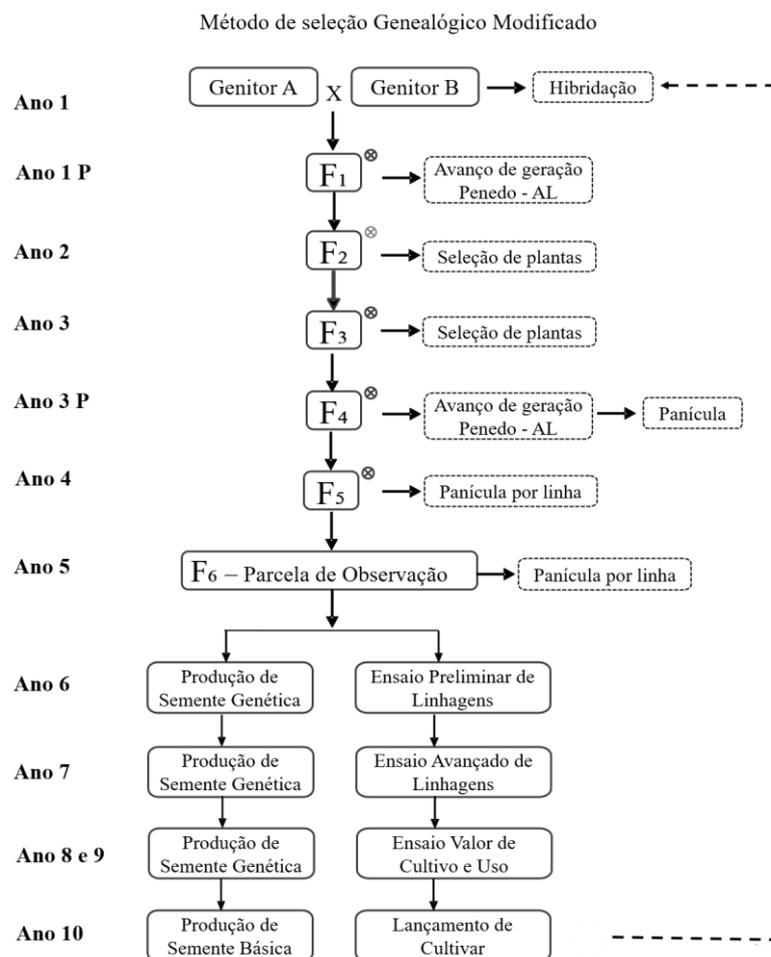
seleção das melhores famílias e das melhores plantas dentro de cada família. Nas gerações F₃ e F₄ muitos loci estarão em homozigose, começando a se notar as características que predominam entre famílias. Nas gerações F₅ e F₆ espera-se que as famílias sejam homozigotas para a maioria dos loci. De tal forma, a seleção dentro das famílias já não é mais eficiente, mudando-se a ênfase para seleção entre famílias (ALLARD, 1971). A homozigose pode ser atingida pelas sucessivas gerações de autofecundação, visando uniformidade e estabilidade das características de interesse do programa de melhoramento. Segundo BORÉM e MIRANDA (2013) o nível de homozigose atinge 50% na primeira geração de autofecundação. Assim, após quatro gerações de autofecundação (geração F₅) haverá 93,75%, em média, de indivíduos homozigotos. Esta é uma expectativa teórica e válida apenas quando se considera um loco gênico e dois alelos. Com o aumento do número de locos, a homozigose é alcançada de forma mais lenta.

A principal característica deste método é o registro da genealogia, iniciando-se com a numeração de cada planta F₂ selecionada. Assim, a seleção é realizada pelo fenótipo e pelo genótipo dos indivíduos. Esse registro consiste em uma série de anotações, que ajudam a relacionar as famílias que vão sendo cultivadas. Essas informações são úteis, principalmente, para evitar a seleção de indivíduos muito relacionados, sendo quase idênticos e não incorporando ganhos genéticos na seleção (ALLARD, 1971). Salienta-se que a grande maioria das cultivares de arroz irrigado recomendadas para o Brasil foi desenvolvida por este método (CORDEIRO, 2008). Mesmo amplamente utilizado, é um procedimento longo, necessitando de 10-12 anos para ser concluído. Também requer infraestrutura, recursos humanos e tempo para a condução das populações segregantes até os ensaios mais avançados (ACQUAAH, 2012).

5. ATIVIDADES REALIZADAS

As atividades realizadas durante o estágio tiveram como objetivo a compreensão das diferentes etapas envolvidas na condução do Programa de Melhoramento de arroz do IRGA. A partir da representação de um cruzamento simples, serão detalhadas algumas das etapas que compõem o programa e que podem resultar no lançamento de uma nova cultivar de arroz irrigado (Figura 1). O Programa de Melhoramento Genético do IRGA (PMG-IRGA) utiliza predominantemente o método genealógico de condução e seleção em populações segregantes. Segundo Allard (1971), o avanço de gerações em áreas experimentais fora da estação ou região de cultivo não é possível pelo método genealógico, pois as plantas devem ser cultivadas onde as características se expressam. Assim, o PMG-IRGA utiliza o método Genealógico Modificado, uma vez que o avanço da geração F_4 para F_5 é realizado no município de Penedo, AL assim como a condução da geração F_1 (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma do programa de melhoramento genético de arroz irrigado do IRGA.



Fonte: STOPILHA, 2020.

As populações segregantes são constituídas pelas gerações F₂ a F₅. Após, ocorre avaliações dessas progênies em Parcelas de Observação. A partir da seleção destas, são formados os ensaios de rendimento, Preliminar (PRL), Avançado (AVD) e Valor de Cultivo e Uso (VCU). O PMG-IRGA possui avaliações dos genótipos no viveiro de infecção (*hot spot*) em Torres-RS, onde grande pressão do inóculo de brusone (*Magnaporthe oryzae*) favorece a eliminação de populações segregantes e linhagens avançadas suscetíveis. Aplica-se a mesma estratégia para toxidez por ferro solúvel no solo em Camaquã, RS, onde os solos possuem alta concentração deste metal, sendo importantes metodologias para auxiliar os melhoristas na escolha de genótipos superiores.

5.1 Híbridações artificiais

A escolha dos genitores e o planejamento dos cruzamentos são etapas fundamentais para a eficiência do programa de melhoramento. No IRGA, a seleção dos genitores baseia-se em três pilares: alto potencial de rendimento de grãos, resistência a estresses bióticos e abióticos e alta qualidade de grãos. O processo de hibridação tem por objetivo aumentar a variabilidade genética das características desejáveis, fornecendo maiores oportunidades de seleção. Os genitores são escolhidos conforme os objetivos do programa, como tolerância ao frio, espessura do colmo, qualidade dos grãos (cocção e aspectos industriais), resistência à brusone, entre outras características. As principais fontes de variabilidade do programa são as introduções do Fundo Latino Americano de Arroz Irrigado (FLAR), do Centro Internacional para Agricultura Tropical (CIAT), do Instituto Internacional de Investigação do Arroz (IRRI), da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Também, conforme o fluxograma (Figura 1), o PMG-IRGA utiliza linhagens elites avaliadas em ensaio de rendimento Valor de Cultivo e Uso (VCU) como genitores para hibridações. O programa possui hibridações do programa geral que visam a inserção de características desejáveis, como já descritas. Além, de hibridações para transferir alelos de resistência aos herbicidas do grupo das imidazolinonas (Sistema de Produção CLEARFIELD®), utilizados no controle de arroz-vermelho. Porém, neste trabalho será apresentado apenas o acompanhamento das hibridações do programa geral.

Na estação de crescimento 2019/2020 foram realizados um total de 115 hibridações, das quais 66 correspondem a cruzamentos simples e 49 foram cruzamentos triplos. O período de realização dos cruzamentos compreendeu os meses de fevereiro a abril. Para isso, as sementes de cada genitor que compuseram os blocos de cruzamentos foram colocadas para germinar em câmaras de crescimento, com temperatura e umidade controladas, e posteriormente transferidas

para bandejas contendo solo (IRGA, 2016). As bandejas foram mantidas em casa de vegetação e o transplante para o campo foi realizado aproximadamente 30 dias após a emergência, com espaçamento de 20 cm na linha e na entrelinha. O manejo de adubação foi realizado conforme as recomendações técnicas (SOSBAI, 2018). Os blocos de cruzamentos foram constituídos por três épocas (Apêndice B), com intervalo de semeadura de 20 dias, em virtude das diferenças entre os genitores quanto ao ciclo vegetativo e, desta forma, assegurar que o pólen esteja maduro no momento em que a planta mãe possua o estigma receptivo (PEDROSO, 1982). Cada linha no campo foi representada por um genitor (masculino ou feminino) de interesse para a realização dos cruzamentos. Algumas linhas de plantas F₁ foram destinadas para a realização dos cruzamentos triplos da mesma estação de crescimento, outras, foram autofecundadas para formar a geração F₂ da estação de crescimento 2020/2021.

5.1.2 Emasculação e termoterapia

O programa de melhoramento genético do IRGA utiliza a termoterapia para realizar a emasculação dos genitores femininos. A emasculação é a prática da inativação dos grãos de pólen ou remoção das anteras, para que a planta escolhida como genitor feminino possa ser fecundada com o pólen proveniente do genitor masculino selecionado (AGUIAR *et al.*, 2013). Para isso, foram coletadas e identificadas panículas ou plantas (genitores femininos), no período da manhã, preferencialmente em estágio R₂ (emborrachamento) para R₃ (exercção da panícula) evitando-se o processo de antese avançado (Anexo A – estádios de desenvolvimento reprodutivo do arroz). Posteriormente, as mesmas passaram pelo processo de limpeza, denominado *toilette*, retirando-se folhas e espiguetas florescidas ou já fecundadas (Apêndice C). Após a limpeza, as plantas foram submetidas ao processo de termoterapia, que consiste na imersão das panículas em banho-maria, na temperatura de 45 °C por 5 minutos (Figura 2A). Esse método leva em consideração a diferença de sensibilidade entre a parte masculina e a feminina da flor, ou seja, os grãos de pólen são mais sensíveis a temperaturas elevadas do que o estigma (AGUIAR *et al.*, 2013). Na etapa seguinte, um corte transversal no terço superior de cada espiguetta (Figura 2B) foi realizado, com o intuito de facilitar o contato do grão de pólen do doador masculino com o estigma da planta receptora.

Figura 2. Imersão de espiguetas em banho maria (A) e corte transversal no terço superior de cada espiguetas (B).



Fonte: STOPILHA, 2020.

5.1.3 Polinização

Para os cruzamentos simples (Figura 3A), as plantas doadoras de pólen foram colhidas a campo, mantidas em baldes com água, colocadas em casa de vegetação (temperatura de 25-30°C e umidade de 60%) e suas folhas foram desbastadas para favorecer a dispersão do pólen. As panículas das plantas receptoras foram colocadas ao lado dos genitores masculinos e ali permaneceram por três dias, cobertas pelas “noivas” - tecido de *voil* - que envolve as plantas, tendo por objetivo evitar a polinização cruzada. Foram realizadas “batidas” nesse tecido, no horário mais quente do dia, visando favorecer a polinização no momento de maior disponibilização de grãos de pólen (PEDROSO, 1982). A polinização foi realizada em casa de vegetação, ambiente controlado. Nos cruzamentos triplos (Figura 3B), as plantas selecionadas como receptoras de pólen foram emasculadas e colocadas ao lado das plantas doadoras no bloco de cruzamentos, sendo cobertas pelas “noivas” e permanecendo assim por aproximadamente um mês. Os afilhos foram retirados quando os grãos atingiram a maturação plena (R₉), identificados e armazenados em sacos de papel para posterior contagem. As sementes obtidas em cada cruzamento (Apêndice D), foram contadas, identificadas e armazenadas no banco de germoplasma, em temperatura de 8 °C.

Figura 3. Condução dos cruzamentos simples (A) e triplos (B).



Fonte: STOPILHA, 2020.

O resultado destas hibridações são sementes da primeira geração filial ou simplesmente denominadas F_1 , podendo ser utilizadas como progenitores na EEA-IRGA e/ou autofecundadas na estação de inverno em Penedo, AL. Para tanto, deve-se obter um número mínimo de sementes em cada cruzamento, sendo 30 sementes para cruzamentos simples e 60 sementes para triplos. No caso dos cruzamentos simples, quando é de interesse do pesquisador, metade das sementes são enviadas para serem autofecundadas em Penedo para formar as populações F_2 e a outra metade permanece na EEA-IRGA para a realização de cruzamentos triplos. Quando a contagem for inferior a este limite, mantem-se na EEA-IRGA para assegurar sementes na estação de crescimento posterior. Essa decisão se baseia em critérios que melhor se adequaram ao longo do PMG-IRGA, visto que não há muito controle de semeadura e acompanhamento técnico periódico para o desenvolvimento dessa geração em Penedo, priorizando-se a condução das sementes na EEA-IRGA. No caso de cruzamentos triplos (AXB) X C, a seleção é iniciada na geração F_1 . Isso é possível porque neste tipo de cruzamento tem-se os genitores A e B contribuindo, cada um, com 25% da carga genética e o genitor C (genótipo elite para característica dominante que se quer incorporar) com 50% de contribuição genética, portanto trata-se de uma geração segregante que possibilita a seleção de características desejadas. Como exemplo, a cultivar IRGA 417 é originária de um cruzamento triplo (NEW REX / IR 19743-25-2-2 // BR-IRGA 409) onde os dois primeiros genitores contribuíram com 25% dos alelos cada e o genitor BR-IRGA 409 contribuiu com 50% dos alelos (ROSSO, 2006; CORDEIRO, 2008).

5.2 Condução de populações segregantes

A seleção individual de plantas, a partir do método genealógico modificado, pode ser iniciada em F₁ triplo e mantém-se até F₃, com a debulha e separação individual das plantas para posterior avaliação de características pós-colheita. Em F₄, colhe-se uma panícula de cada planta individual, originando a geração F₅. Nas gerações F₅ e F₆, ocorre seleção de famílias, pois as mesmas já apresentam maior grau de homozigose. Importante destacar a ocorrência da rotação anual das áreas onde todos os ensaios são conduzidos, evitando plantas espontâneas de arroz que ficam no solo, garantindo a confiabilidade do método de seleção. As adubações e manejo de plantas invasoras foram realizadas conforme as Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil (SOSBAI, 2018). Não são realizadas aplicações de fungicidas, para possibilitar a observação de doenças e manchas e, quando necessário, faz-se aplicação de inseticidas, fato que não ocorreu na safra 2019/2020.

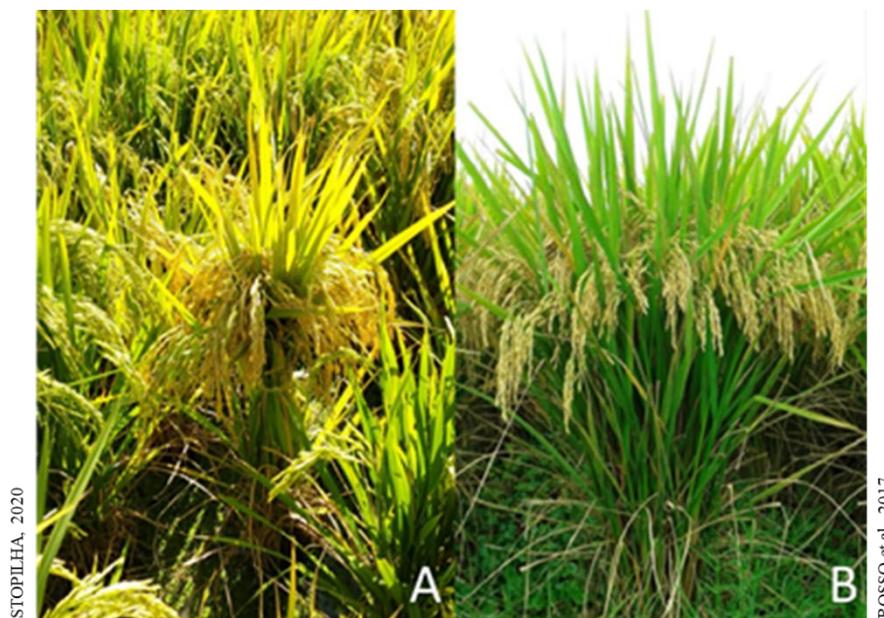
5.2.1 Acompanhamento de seleção em populações segregantes

As populações segregantes foram semeadas em novembro de 2019, com 5 m de comprimento e espaçamento de 0,30 m entre linhas e 0,10 m entre plantas na linha, resultando em uma densidade de 10 plantas por metro linear. Em todas as gerações e ensaios foram semeadas cultivares testemunhas, tais como: IRGA 424, IRGA 417, SCS 121 e IRGA 428, com diferentes ciclos e características que facilitam os melhoristas na comparação fenotípica. Também, o espaçamento é importante para permitir uma avaliação fenotípica mais adequada para seleção. A geração F₂ é proveniente da autofecundação dos indivíduos da geração F₁.

A estação de crescimento 2019/2020 foi composta por 1.534 populações, parte oriunda de cruzamentos simples e parte proveniente da seleção na geração F₁ em cruzamentos triplos. Para os cruzamentos simples, as parcelas da geração F₂ foram compostas por 20 linhas, totalizando aproximadamente 1.000 plantas para cada população. Cada planta selecionada em cruzamentos triplos resultou em parcelas de seis linhas na geração F₂. No momento da seleção (Figura 4A), os pesquisadores avaliam estatura das plantas, ângulo inicial dos afilhos, espessura de colmo, capacidade de perfilhamento, folha bandeira (comprimento, largura, inclinação), tamanho e abertura da panícula, tamanho e forma do grão – a preferência do mercado brasileiro é por arroz de grão longo-fino (SOSBAI, 2018), presença de arista, debulha (facilidade com que o grão se desprende da panícula), uniformidade de maturação dos grãos dentro da panícula e severidade de brusone na folha e/ou panícula (ROSSO *et al.*, 2017). A seleção das plantas

com características morfofisiológicas desejadas nesta geração (Figura 4B) é fundamental para as etapas subsequentes do Programa de Melhoramento Genético.

Figura 4. Planta selecionada em uma população F_2 (A) e ideotipo de planta de arroz (B).



Cada planta selecionada em F_2 resultou em três linhas na geração $F_{2:3}$, com uma população média de 150 plantas. Em 2019/2020 a geração F_3 foi composta por 2.691 famílias para a seleção de plantas, com as características já destacadas anteriormente. Essa geração também apresenta elevado grau de segregação fenotípica dentro e entre famílias. A geração F_4 é cultivada em Penedo, AL, a qual possui condições para o desenvolvimento da cultura durante todo ano. Esse processo é de suma importância para o programa, pois é possível o avanço de mais de uma geração no mesmo ano (F_3 e F_4) e, por consequência, redução no tempo para obtenção de uma cultivar. Por outro lado, não há seleção de plantas na geração F_4 , apenas autofecundação, porque o cultivo em Penedo leva a um desempenho diferente por possuir condições edafoclimáticas distintas das existentes no RS, para o qual as cultivares são desenvolvidas. Em Penedo, cada planta F_4 é semeada em linha, onde são coletadas panículas de plantas individuais que retornam à EEA-IRGA para formar a geração F_5 . Em 2019/2020 a geração F_5 foi composta por 748 famílias, semeadas em panículas por linha em parcelas de seis linhas.

As famílias selecionadas em F_5 compõem a geração F_6 do ano seguinte, também denominada Parcelas de Observação (PO), em que os genótipos apresentam elevada frequência de loci em homozigose. Neste momento, as famílias F_6 são avaliadas quanto a sua uniformidade e pureza dentro das linhas de campo, além da confirmação das demais características de

interesse, como qualidade de grãos, reação à doença (principalmente para brusone) e toxidez por ferro solúvel no solo. Na estação de crescimento 2019/2020 foram semeadas 243 linhagens, em panículas por linhas, compondo parcelas de seis linhas. Nas parcelas de observação são realizadas além das avaliações de qualidade de grãos, o início das avaliações para engenho (rendimento industrial de grãos).

5.3 Acompanhamento dos ensaios de rendimento

Esta etapa constitui-se pelos ensaios Preliminar (PRL), Avançado (AVD) e Valor de Cultivo e Uso (VCU), denominados de Ensaios de Rendimento ou Regionais, que possuem o objetivo de avaliar o desempenho das novas linhagens em todas as regiões orizícolas do Estado, observando a interação genótipo x ambiente. Em paralelo a estes ensaios, se conduz a multiplicação de semente genética que é uma atividade de grande importância no programa, pois ocorre a multiplicação, avaliação de homogeneidade e a purificação de sementes das linhagens que compõem os ensaios de rendimento e das cultivares testemunhas (IRGA, 2016). A semeadura ocorreu na segunda quinzena de outubro, em parcelas de nove linhas, com densidade populacional baseada nas recomendações para cultura, de 150 a 300 plantas m⁻² (SOSBAI, 2018). A colheita é realizada nas sete linhas centrais, desconsiderando 50cm de cada extremidade, para evitar o efeito de bordadura.

O ensaio preliminar (PRL) tem por objetivo realizar uma avaliação inicial do rendimento de grãos e a observação das características fenotípicas de interesse agrônomo, além de análises quanto à qualidade dos grãos para as novas linhagens selecionadas. Na sequência da condução dos ensaios, as linhagens selecionadas são incluídas no ensaio avançado (AVD), mantendo-se a seleção das melhores linhagens do programa. O ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU), demonstrado no Apêndice E, corresponde à última etapa antes do lançamento de uma nova cultivar. É composto pelas linhagens selecionadas em AVD do ano anterior, demonstrando um afinamento dos materiais que avançam das gerações segregantes até os ensaios de rendimento. Na tabela 1, observa-se o total de linhagens avaliadas e os diferentes locais de condução dos ensaios.

Tabela 1. Ensaios de rendimento (PRL, AVD e VCU) com o total de linhagens avaliadas na estação de crescimento 2019/2020 e os respectivos locais de condução dos ensaios.

Ensaio	Total de linhagens	Locais
Preliminar (PRL)	68	Cachoeirinha, Santa Vitória do Palmar e Uruguaiana
Avançado (AVD)	25	Cachoeira do Sul, Cachoeirinha, Palmares do Sul, Santa Vitória do Palmar e Uruguaiana
Valor de Cultivo e Uso (VCU)	17	Cachoeira do Sul, Cachoeirinha, Camaquã, Palmares do Sul, Santa Vitória do Palmar e Uruguaiana

Fonte: STOPILHA, 2020.

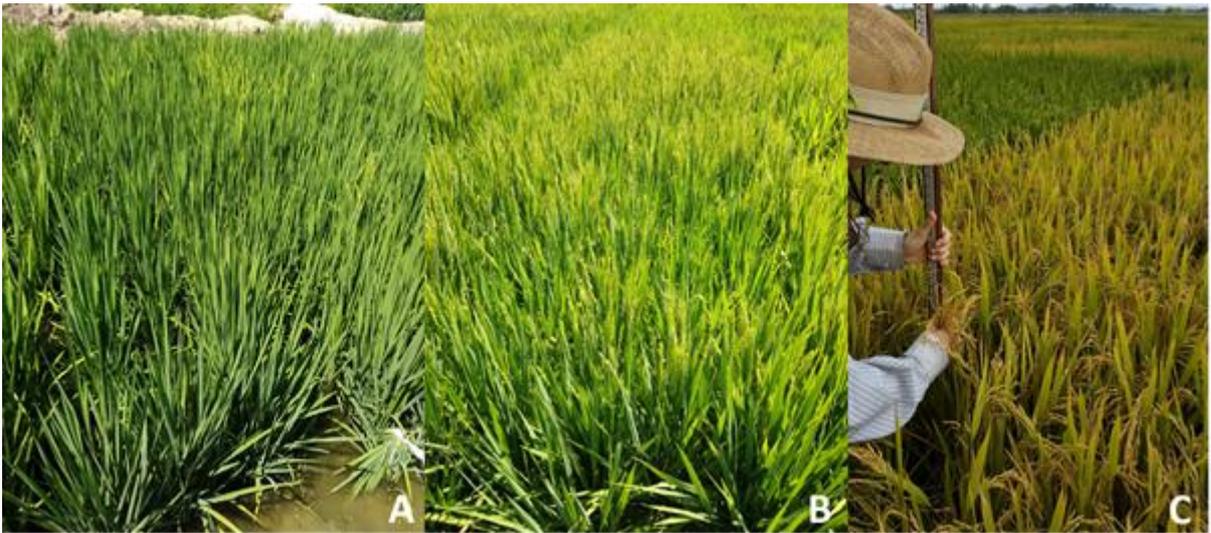
Nos ensaios de VCU é solicitado o registro de cultivares, que tem por finalidade habilitar as cultivares para produção e comercialização. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) determina que os ensaios de VCU devem ser realizados em, no mínimo, três locais de importância para a cultura e pelo período de dois anos consecutivos (MAPA, 2011). No segundo ano são realizados testes finais, como cocção, características organolépticas e análise visual pós cozimento. Para as cultivares com potencial de lançamento, há necessidade da proteção de cultivares, para assegurar o direito de propriedade intelectual dos obtentores de novos genótipos. A proteção de cultivares é realizada por meio da comprovação de suas características em testes de DHE (Distinguibilidade, Homogeneidade e Estabilidade), ou seja, a nova cultivar deve ser distinta das demais cultivares da mesma espécie disponíveis no mercado, apresentar homogeneidade em plantio comercial em larga escala e estabilidade de suas características distintivas em relação às gerações sucessivas. Para isso, são utilizados descritores morfológicos publicados pelo MAPA, em que cada espécie possui diferentes atributos a serem avaliados para atestar a DHE da nova cultivar (MAPA, 2011).

5.3.1 Avaliação de florescimento e estatura de plantas nos ensaios de rendimento

Durante o período de desenvolvimento das plantas foi feita a avaliação de percentual de florescimento (5% e 80%) e de estatura das plantas quando as mesmas atingiam o estágio de maturação dos grãos ($R_7 - R_9$). São importantes parâmetros para acompanhar a manutenção das características quanto à uniformidade de estatura e ao período de florescimento das linhagens promissoras. A avaliação de florescimento (Figuras 5A e 5B) foi realizada por observação visual, e anotado quando as parcelas apresentavam 5% e 80% das plantas no estágio R_4 – antese. Para a estatura de plantas (Figura 5C) foram coletados dados de cinco plantas dentro da parcela, com a utilização de uma régua de madeira graduada em centímetros, medindo-se desde o solo

até o ápice da panícula. Além disso, foram realizadas avaliações periódicas pelos pesquisadores, com anotações de vigor das plântulas, estande de plantas, incidência de brusone, dentre outros dados importantes para a caracterização das linhagens.

Figura 5. Avaliação de florescimento nos ensaios de rendimento em uma parcela com 5% das plantas em floração (A) e parcela com 80% das plantas em floração (B). Avaliação da estatura de plantas em parcela do ensaio VCU (C).



Fonte: STOPILHA, 2020.

6. DISCUSSÃO

O IRGA possui notoriedade dentre as empresas públicas e privadas devido à longa trajetória e esforços para o aporte e desenvolvimento de novas tecnologias para a orizicultura gaúcha. O programa de melhoramento da instituição dispõe de uma equipe com grande empenho e determinação nas práticas diárias de manejo e condução dos ensaios a campo, para que o resultado seja o lançamento de novas cultivares de arroz irrigado adaptadas ao Sul do Brasil.

Conforme observado durante o estágio, o uso da termoterapia para a emasculação contribui para melhorias e otimização do processo de hibridação. É uma ferramenta de maior facilidade, menor dispêndio de mão de obra e tempo, além do maior rendimento operacional, visto que o método mais comumente utilizado para emasculação em arroz é o corte das espiguetas e a remoção das anteras por meio de uma pinça ou por aspiração através de uma bomba a vácuo (AGUIAR *et al.*, 2013), demandando tempo e mão-de-obra especializada. Como a emasculação através da termoterapia baseia-se no fato de que o grão de pólen é, geralmente, mais sensível do que o estigma a altas temperaturas (ALLARD, 1971), durante o período de hibridações foram utilizadas plantas controle submetidas às etapas de emasculação e isoladas por um saco de papel, para assegurar a não ocorrência de autofecundação. Em torno de 15 a 20 dias após pôde-se observar que as espiguetas não formaram o grão, mostrando que a temperatura e o tempo de imersão adotados na emasculação são eficazes, não ocorrendo autofecundação.

O emprego do método genealógico modificado com o avanço de geração em Penedo, AL, é uma etapa importante do processo de melhoramento genético utilizado pela instituição, pois possibilita a realização de duas gerações de autofecundação em um mesmo ano. Porém, não é realizado seleção de plantas na geração F₄, uma vez que as plantas não são cultivadas nas condições edafoclimáticas da região de adaptação do programa de melhoramento. Para isso, colhe-se panículas de plantas individuais, que são semeadas em panícula por linha na geração F₅. Para o programa do IRGA, um dos principais objetivos do avanço de geração fora da área de adaptação é a diminuição do tempo para se obter uma cultivar. Em contrapartida, a ausência de seleção de plantas individuais na geração F₄ pode reduzir os ganhos genéticos do programa. Segundo Acquah (2012) o plantio fora da região de cultivo, como a utilização de estação de inverno, é uma importante estratégia para acelerar o processo de melhoramento. Ressalta-se que para o IRGA essa metodologia demonstra benefícios, como a redução de tempo na condução de populações segregantes e de ganhos genéticos para o programa de melhoramento.

Como descrito, o espaçamento entre plantas e entre linhas nas gerações segregantes é de grande importância, pois favorece o processo de seleção fenotípica pelos melhoristas. No espaçamento utilizado pelo programa de melhoramento do IRGA, a densidade de semeadura nas gerações segregantes corresponde a aproximadamente 33 plantas m^{-2} , enquanto que para plantios comerciais a recomendação para cultivares convencionais é de 150 a 300 plantas m^{-2} (SOSBAI, 2018). Isto demonstra que há um espaçamento satisfatório para o desenvolvimento das plantas, permitindo perfilhar e favorecer à avaliação visual dos pesquisadores. Com relação ao tamanho das populações em F_2 , segundo Acquaah (2012), geralmente, uma grande população F_2 é cultivada, possuindo de 1.000 a 2.000 plantas. Baker (1984), citado por Borém e Miranda (2013), concluiu que populações F_2 de 500 a 1.000 indivíduos são adequadas. Isto corrobora com o que é desenvolvido pelo PMG do IRGA, que utiliza uma população média de 1.000 plantas, a fim de garantir que se mantenha um número adequado de plantas com as características desejadas para seleção.

Em virtude de o método genealógico necessitar grandes áreas e mão-de-obra (BORÉM; MIRANDA, 2013), quando há limitação de área os pesquisadores optam por diminuir o número de linhas das populações segregantes. Como destacado por um dos melhoristas da instituição, a geração F_2 pode ser conduzida em 15 linhas, porém sempre priorizando uma quantidade adequada de plantas para ampliar a variabilidade genética e não limitar a seleção dentro e entre famílias. No que diz respeito à seleção de plantas individuais nas primeiras gerações, segundo Acquaah (2012) na geração F_2 esta pode chegar a 10.000 plantas, dependendo dos recursos de área, mão de obra e tempo disponíveis. Na estação de crescimento 2019/2020 foram conduzidas 1.534 populações na geração F_2 e 2.691 famílias em F_3 . O número de plantas avaliadas na geração F_3 foi bem inferior ao descrito por Acquaah (2012) - 10.000 plantas selecionadas em F_2 que serão avaliadas em famílias em F_3 – devido a limitação do programa em área e equipe de trabalho, mas visando sempre uma quantidade suficiente de plantas para se obter ganhos com a seleção. Na geração F_3 são observadas linhas superiores e selecionadas de 3-5 das melhores plantas em cada família (ACQUAAH, 2012). Conforme observado durante o acompanhamento de seleção, o número de plantas selecionadas por famílias é muito relativo, dependendo se as mesmas apresentam as características preconizadas pelo programa (tópico 5.2.1), sendo que há famílias onde não há seleção e outras que são selecionadas mais que cinco plantas, porém, sempre atentando para os critérios de seleção. Para tanto, Allard (1971) descreve que os melhoristas precisam afastar o pensamento de que, entre as plantas eliminadas, pode estar aquela que resultaria na cultivar desejada. Pois, em pouco tempo estará sobrecarregado de materiais que não eliminou e com baixa eficiência de seleção. Ressaltando,

como destacado anteriormente, a limitação de funcionários, espaço e tempo para condução do programa, sendo necessário um rigor na seleção.

Ainda nesse contexto, conforme as técnicas responsáveis pelos cruzamentos, na estação de crescimento 2018/2019 foram realizadas 356 hibridações (cruzamentos simples e triplos) e em 2019/2020 foram 115 hibridações, apresentando redução de quase 68% no número de cruzamentos realizados em comparação ao ano anterior. Isso ocorreu pela limitação de área, bem como de mão-de-obra para condução das gerações segregantes, o que impacta significativamente no tamanho da geração F_2 , não possuindo técnicos e terceirizados para os trabalhos a campo, e nem melhoristas para a seleção de plantas. Assim, com a redução das hibridações tem-se uma melhor eficiência de seleção. Também com o intuito de limitar o aumento demasiado do programa e melhorar os aspectos de seleção, ressalta-se a importância dos viveiros de brusone (Torres, RS) e de ferro (Camaquã, RS), além de avaliações pós-colheita para qualidade de grãos, que possibilitam eliminar plantas que não apresentam comportamento desejável. Como exemplo, a redução de famílias que são avançadas em Penedo, AL, reduzindo-se de 2.691 famílias em F_3 para 748 na geração F_{3-5} a partir destas estratégias de exclusão adotadas pelo programa.

O uso da biotecnologia em programas de melhoramento de plantas será cada vez mais frequente e necessário, sendo o futuro da agricultura moderna, visto que se tem um longo período de tempo, de 10 a 12 anos, para o lançamento de uma nova cultivar (ACQUAAH, 2012). Além disso, ocorrem mudanças de percepção e necessidades do mercado, podendo a cultivar lançada não atender as expectativas do momento. Os programas tendem a se adequar e introduzir novas ferramentas para tornar a obtenção de linhagens superiores mais eficiente, que atendam as demandas de produtores, consumidores e indústria. Dentre essas técnicas pode-se destacar a seleção assistida por marcadores moleculares, que consiste na identificação indireta de fenótipos desejáveis através marcadores moleculares. De maneira objetiva, os marcadores moleculares podem ser definidos como fragmentos – sequências de DNA – que estão fisicamente associadas a locos envolvidos no controle genético de características que possibilitam a distinção entre indivíduos (SOUZA, 2019) e não são influenciados pelo ambiente. Eles podem ser identificados por diferentes métodos, como exemplo, baseados em PCR (*Polymerase Chain Reaction* ou reação da polimerase em cadeia), que tem por base a amplificação de cópias de DNA “*in vitro*”. É o método para rápida amplificação de sequências específicas de DNA, que através de análises detalhadas pode-se identificar informações importantes da região de interesse amplificada.

No âmbito da biotecnologia esse é apenas um exemplo, dentre outras técnicas que podem ser incorporadas ao programa de melhoramento do IRGA, acarretando em maior eficiência na seleção e ganhos genéticos. Aliado a isso, em virtude do corpo técnico da instituição, em sua maioria, ser de profissionais formados em Agronomia, o trabalho de equipes multidisciplinares como biólogos, botânicos, fitopatologistas, especialistas em estatística, biologia molecular, bioinformática, dentre outras especialidades se constitui uma valiosa estratégia para agregar contribuições de diferentes áreas, e fundamental para incorporar a biotecnologia ao PMG do IRGA.

Destaca-se que na safra 2019/2020 dentre as três cultivares mais semeadas no Rio Grande do Sul, duas foram desenvolvidas pelo IRGA. A cultivar IRGA 424 RI com a maior área semeada, 49,6%, e a IRGA 431 CL com 8,5% da área plantada, representado 58,1% do mercado estadual (IRGA, 2020b). Esse resultado demonstra a importância da Instituição e do Programa de Melhoramento Genético na obtenção de cultivares superiores para as diferentes características de interesse agrônomo para a orizicultura gaúcha.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estágio realizado na Estação Experimental do Arroz – IRGA em Cachoeirinha, RS com melhoramento genético de arroz irrigado, foi de suma importância, proporcionando crescimento pessoal e profissional, com a possibilidade de integrar uma equipe de trabalho diversa, em percepções e experiências. Além da troca de conhecimento e vivência profissional da rotina e trabalho diário a campo.

Acompanhar o desenvolvimento de pesquisas em uma instituição pública, para difusão de tecnologia, priorizando os orizicultores do Rio Grande do Sul foi gratificante. A oportunidade de participar de algumas etapas e desenvolver outras, esclarece a dimensão de todo o meticuloso processo de melhoramento genético, com diferentes fases, que demanda esforço de diversos profissionais para um resultado final satisfatório, com o lançamento de cultivares de arroz irrigado adaptadas às condições da região Sul do Brasil.

Dessa forma, poder compreender de forma holística a importância do melhoramento genético tanto para a cultura do arroz, quanto para outras culturas, pela fundamental contribuição no desenvolvimento e progresso da agricultura brasileira foi uma experiência valiosa. Ressalta-se a necessidade da manutenção de incentivos às pesquisas de instituições públicas, pois a partir de programas de melhoramento vegetal como o desenvolvido no IRGA, aliado a outras práticas de manejo agrícola, caminha-se para a sustentabilidade econômica, social e ambiental da orizicultura gaúcha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACQUAAH, G. **Principles of plant genetics and breeding**. 2ª. ed. Chichester - UK: Wiley-Blackwell, 2012.
- AGUIAR, G. A. et al. **Termoterapia na emasculação de arroz irrigado**. VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado - 12 a 15 de Agosto. Santa Maria - RS: [s.n.], 2013. p. 4.
- ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético de plantas**. Tradução de Almiro Blumenschein; Ernesto Paterniani, *et al.* São Paulo - Brasil: Edgard Blucher, 1971.
- ATLAS SOCIOECONÔMICO - RS. O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz em casca do Brasil. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul - 5ª edição**, 2020a. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz>>. Acesso em: 15 fevereiro 2020.
- ATLAS SOCIOECONÔMICO - RS. Hipsometria e unidades geomorfológicas. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**, 2020b. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/hipsometria-e-unidades-geomorfologicas>>. Acesso em: 10 abril 2020.
- BASF. Sistema de produção Clearfield® | O principal sistema de produção de arroz. **BASF-Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://agriculture.basf.com/br/pt/protecao-de-cultivos-e-sementes/produtos/clearfield.html>>. Acesso em: 18 maio 2021.
- BESPALHOK F., J. C.; GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. **Sistemas Reprodutivos de Plantas Cultivadas**. UFPR. [S.l.], p. 11-18.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 6 ed. rev. e ampl. ed. Viçosa - MG: Ed. UFV, 2013. 523 p.
- CACHOEIRINHA. História de Cachoeirinha. **Prefeitura Municipal Cachoeirinha**, 2020. Disponível em: <<https://cachoeirinha.atende.net/#!/tipo/pagina/valor/1>>. Acesso em: 20 março 2020.
- CLIMATE-DATA. CLIMATE-DATA.ORG. **Cachoeirinha Clima (Brasil)**, 2020. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-sul/cachoeirinha-4501/>>. Acesso em: 05 abril 2020.

CORDEIRO, A. C. C. Métodos de Melhoramento Genético de Arroz Irrigado. **Embrapa Roraima. Documentos 06**, Boa Vista, dezembro 2008. 10-25.

EDITORA GAZETA. Produção brasileira de arroz está estimada em 10,5 milhões de toneladas. **Agrolink**, 2020. Disponível em: <[IBGE. IBGE - Panorama Cidades. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cachoeirinha/panorama>>. Acesso em: 10 abril 2020.](https://www.agrolink.com.br/noticias/producao-brasileira-de-arroz-esta-estimada-em-10-5-milhoes-de-toneladas_432665.html#:~:text=A%20produtividade%20m%C3%A9dia%20est%C3%A1%20calculada,e%20de%202%2C9%25.>https://www.agrolink.com.br/noticias/producao-brasileira-de-arroz-esta-estimada-em-10-5-milhoes-de-toneladas_432665.html#:~:text=A%20produtividade%20m%C3%A9dia%20est%C3%A1%20calculada,e%20de%202%2C9%25.>>. Acesso em: 16 Maio 2020.</p></div><div data-bbox=)

IBGE. SIDRA - Área plantada Arroz. **IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>>. Acesso em: 15 julho 2020.

IRGA. **Relatório Anual de Pesquisa - Safra 2014/2015**. Instituto Rio Grandense do Arroz. Cachoeirinha - RS, p. 473. 2016.

IRGA. Estação Experimental do Arroz do Irga, uma história com mais de 70 anos. **IRGA**, 2017. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/estacao-experimental-do-arroz-do-irga-uma-historia-com-mais-de-70-anos>>. Acesso em: 10 abril 2020.

IRGA. Conheça o IRGA. **Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA**, 2020a. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/quem-somos>>. Acesso em: 10 abril 2020.

IRGA. **BOLETIM DE RESULTADOS DA LAVOURA – SAFRA 2019/2020**. Instituto Rio Grandense do Arroz. Cachoeirinha, p. 11. 2020b.

IRGA. ARROZ RS - ÁREA x PRODUTIVIDADE. **IRGA - Safras**, 2020c. Disponível em: <<https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/202001/24151001-arroz-rs-area-x-produtividade.pdf>>. Acesso em: 12 ago 2020.

LAVOURA ARROZEIRA. Fato: o arroz está na mesa do brasileiro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, n. 471, p. 36-39, Out/Nov/Dez 2019.

LOPES, J. L. **Caracterização de linhagens endogâmicas recombinantes do cruzamento entre BRS Querência x BRS Bojuru em arroz irrigado**. Universidade Federal de Pelotas - Dissertação (Mestrado). Pelotas, p. 103. 2019.

MAGALHÃES JR., M. D.; GOMES, A. D. S.; SANTOS, A. D. **Sistema de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil**. EMBRAPA - Clima Temperado. Pelotas, p. 270. 2004.

MAPA. **Proteção de Cultivares no Brasil**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, p. 202. 2011.

PEDROSO, B. A. **Arroz Irrigado: Obtenção e manejo de cultivares**. 1^a. ed. Porto Alegre: Sagra, v. I, 1982.

PESSOA, M. L. Clima do RS. **Atlas Fundação de Economia e Estatística - FEE**, 2017. Disponível em: <<http://atlas.fee.tche.br/rio-grande-do-sul/socioambiental/clima/>>. Acesso em: 25 junho 2020.

PLANETA ARROZ. Reação produtiva na Ásia afeta o comércio mundial. **Planeta Arroz**, 2020. Disponível em: <https://www.planetaarroz.com.br/noticias/19147/Reacao_produtiva_na_Asia_afeta_o_comercio_mundial>. Acesso em: 10 abril 2020.

ROSSO, A. F. D. **Caracterização genética e fenotípica para tolerância ao frio e características agrônômicas em arroz irrigado**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 99. 2006.

ROSSO, A. F. D. et al. **CULTIVARES DE ARROZ**. Manejo Integrado da Cultura do Arroz (MICA). Instituto Rio Grandense do Arroz - IRGA. Cachoeirinha - RS, p. 88. 2017.

SEBRAE. Perfil Cidades Gaúchas. **Data SEBRAE**, 2020. Disponível em: <https://datasebrae.com.br/municipios/rs/Perfil_Cidades_Gauchas-Cachoeirinha.pdf>. Acesso em: 15 março 2020.

SILVA, J. W. D. **Emprego da simulação na escolha do número de indivíduos do método "bulk" no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras. 2009.

SOSBAI. XXXII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**, Farroupilha, 08 a 10 Agosto 2018.

SOUZA, A. C. V. D. **Pesquisa com arroz irrigado (Oryza sativa L.) no sistema pré-germinado: melhoramento genético, toxidez por ferro e brusone**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 72. 2012.

SOUZA, T. L. P. O. D. Uso de marcadores moleculares no melhoramento de plantas para resistência a nematoides. **Infobibos - Organização de eventos técnico-científicos**, 2019. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/anais/cbn/36/Palestras/Thiago%20Souza.pdf>>. Acesso em: 20 janeiro 2021.

STRECK, E. A. **Contribuição Genética do Melhoramento de Arroz Irrigado de Terras Baixas para o Rio Grande do Sul**. Pelotas. 2017.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª. ed. Porto Alegre: EMATER/RS - ASCAR, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Ordem cronológica das cultivares modernas lançadas pelo IRGA de 1979 a 2018.

Cultivar	Ano	Ciclo biológico	Principais características	Instituição
BR-IRGA 409	1979	Médio	Produtividade/adaptação	Embrapa/IRGA
BR-IRGA 410	1980	Médio	Produtividade/adaptação	Embrapa/IRGA
BR-IRGA 411	1985	Médio	Alto vigor inicial	Embrapa/IRGA
BR-IRGA 412	1986	Médio	Qualidade de grãos	Embrapa/IRGA
BR-IRGA 413	1986	Médio	Alto vigor inicial	Embrapa/IRGA
BR-IRGA 414	1987	Precoce	Qualidade de grãos	Embrapa/IRGA
BR-IRGA 415	1989	Precoce	Tolerância à toxicidade por ferro	Embrapa/IRGA
IRGA 416	1991	Precoce	Alto vigor inicial	IRGA
IRGA 417	1995	Precoce	Precocidade/produktividade	IRGA
IRGA 418	1999	Precoce	Vigor inicial/produktividade	IRGA
IRGA 419	1999	Precoce	Produktividade/qualidade de grãos	IRGA
IRGA 420	1999	Precoce	Vigor inicial/produktividade	IRGA
IRGA 421	2000	Precoce	Vigor inicial/produktividade	IRGA
IRGA 422 CL	2002	Médio	Vigor inicial/Resistência à imidazolinona	IRGA
IRGA 423	2007	Precoce	Qualidade de grãos/resistência à brusone	IRGA
IRGA 424	2007	Médio	Produktividade/qualidade de grãos	IRGA
IRGA 425	2010	Médio	Sistema pré-germinado/produktividade	IRGA
IRGA 426	2011	Médio	Vigor inicial/resistência à brusone	IRGA
IRGA 427	2011	Médio	Produktividade/qualidade de grãos	IRGA
IRGA 428 CL	2011	Médio	Tolerância à imidazolinona/produktividade	IRGA
IRGA 429	2013	Médio	Sistema pré-germinado/produktividade	IRGA
IRGA 430	2013	Precoce	Qualidade de grãos	IRGA
IRGA 424 CL	2013	Médio	Produktividade/resistência à imidazolinona	IRGA
IRGA 431 CL	2018	Precoce	Produktividade/resistência à imidazolinona	IRGA

Muito precoce (<105dias); Precoce (106 a 120 dias); Médio (121 a 135 dias); Tardio (136 a 150 dias) (SOSBAI, 2018).

Fonte: STOPILHA, 2020.

APÊNDICE B - Blocos de cruzamentos representando as três épocas de semeadura - 2019/2020.



Fonte: STOPILHA, 2020.

APÊNDICE C - Sequência de material coletado a campo (A e B) e limpeza das panículas de arroz (C e D).



Fonte: STOPILHA, 2020.

APÊNDICE D - Formação do grão em panículas, após polinização a partir de cruzamento simples.



Fonte: STOPILHA, 2020.

APÊNDICE E - Ensaio valor de cultivo e uso na EEA – IRGA, demonstrando as diferentes linhagens avaliadas em 2019/2020.



Fonte: STOPILHA, 2020.

ANEXOS

ANEXO A – Estádios de desenvolvimento reprodutivo (R) de arroz com os identificadores morfológicos.

Estádio	Descrição
R ₀	Iniciação da panícula (evento em um dado momento)
R ₁	Diferenciação da panícula (processo através do tempo)
R ₂	Formação do colar na folha bandeira (emborrachamento)
R ₃	Exerção da panícula
R ₄	Antese (uma ou mais espiguetas)
R ₅	Elongação de um ou mais grãos (cariopse) na casca
R ₆	Expansão de um ou mais grãos em profundidade
R ₇	Ao menos um grão da panícula apresenta casca com coloração típica da cultivar
R ₈	Maturidade de um grão isolado (coloração de casca típica da cultivar)
R ₉	Maturidade completa dos grãos na panícula (ponto de colheita)

Fonte: SOSBAI, 2018.