

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Programa de Pós-Graduação em Agronomia**



**Dissertação**

**Caracterização morfofisiológica e germinação em baixa temperatura  
de genótipos de arroz irrigado**

Michele Macedo Feijó

Pelotas, 2021.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

F297c Feijó, Michele Macedo

Caracterização morfofisiológica e germinação em baixa temperatura de genótipos de arroz irrigado / Michele Macedo Feijó ; Ariano Martins de Magalhães Júnior, orientador. — Pelotas, 2021.

76 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Variabilidade genética. 2. Baixas temperaturas. 3. *Oryza sativa* L. I. Magalhães Júnior, Ariano Martins de, orient. II. Título.

CDD : 633.18

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

**Michele Macedo Feijó**

**Caracterização morfofisiológica e germinação em baixa temperatura  
de genótipos de arroz irrigado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência (área de conhecimento: Fitomelhoramento).

Orientador: Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior

Co-orientador: Dra. Camila Pegoraro

Pelotas, 2021.

**Banca Examinadora:**

Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior – Embrapa (Presidente)

Dra. Gabriela de Magalhães da Fonseca – IRGA

Dr. Gabriel Almeida Aguiar – IFRS Campus Sertão

A minha mãe Seli Macedo Feijó, meu exemplo  
de vida e de determinação.

Dedico

## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, por estar guiando os meus caminhos e por me dar a força diária para alcançar os meus objetivos.

Ao meu orientador Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior pela oportunidade, orientação de mestrado, confiança, ensinamentos transmitidos durante esta trajetória, apoio e amizade.

A minha co-orientadora Prof<sup>a</sup>. Camila Pegoraro pelos momentos de ensinamentos e conhecimentos transmitidos.

A minha mãe Seli Macedo Feijó e meu pai José Ricardo dos Santos Feijó (*in memorium*) pela compreensão nas minhas ausências, sobretudo pelo carinho, amor, apoio constante nas escolhas de minha vida e por serem meu conforto em momentos de dificuldades. Agradeço incondicionalmente por me ensinarem a ser forte, batalhadora, determinada, humilde e a ser firme perante todos os obstáculos.

A todos os pesquisadores da Embrapa Clima Temperado que me proporcionaram a convivência, conhecimentos e amizade.

A todos os funcionários da Embrapa Clima Temperado: as meninas da limpeza (Cecília, Joana, Dona Cleuza), do campo (em especial ao pessoal do arroz que estavam presente diariamente nos meus experimentos Antônio, Jorge, Ivanilso e Marco Antônio, mas também ao pessoal da soja, forrageiras, máquinas, sementes e daninhas que sempre me proporcionaram dias de conhecimento, aprendizado, conversas e muitas risadas), ao pessoal da secretaria (em especial a Jussara por todo carinho e acolhimento), aos técnicos do campo (Mikael, Alcides, Tomé e Vanilton) e a muitos outros funcionários agradeço de coração pela amizade.

Aos todos os colegas do Centro de Genômica e Fitomelhoramento pelos momentos de convivência e trocas de conhecimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/FAEM-UFPel, pela oportunidade de realização do curso.

A CAPES, pela concessão da bolsa.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, pela disponibilização e utilização de sua estrutura física no desenvolvimento dos experimentos.

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

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

**Marthin Luther King**

## Resumo

FEIJÓ, MICHELE MACEDO. **Caracterização morfofisiológica e germinação em baixa temperatura de genótipos de arroz irrigado 2021**. 76p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

As temperaturas baixas são um dos principais fatores que podem limitar a cultura do arroz irrigado, ocorrem frequentemente durante a época de cultivo na região sul do Brasil, podendo ocasionar redução significativa da produtividade de grãos. Existem diversos estudos na procura de cultivares tolerantes as baixas temperaturas em todos os estádios de desenvolvimento. A caracterização morfológica, através dos descritores mínimos é importante para o fornecimento de informações e classificação de genótipos, discriminação caracteres relevantes que servem como base para os programas de melhoramento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética de 20 genótipos de arroz irrigado de diversas localidades do mundo e das testemunhas BRS Pampa e BRS Pampeira utilizando descritores morfológicos, bem como avaliar esses genótipos para caracteres de tolerância ao frio no estágio germinativo. Os genótipos foram avaliados em dois experimentos, sendo o primeiro experimento realizado a campo para caracterização fenotípica e estimativa de suas distâncias genéticas através da utilização de análises multivariadas. No segundo experimento os genótipos foram avaliados em condições de temperaturas de 13°C por 28 dias e 25°C por 7 dias em câmaras de BOD, realizando-se a comparação do desempenho relativo, mensurados pela germinação, comprimento de parte aérea, comprimento de raiz e comprimento de coleóptilo. Os resultados obtidos indicaram que entre os genótipos estudados existe ampla base genética, sendo que alguns genótipos possuem potencial para serem utilizados na ampliação da base genética em programas de melhoramento da cultura. Assim como, na caracterização fenotípica os genótipos estudados demonstraram grande variabilidade genética.

**Palavras-chave:** variabilidade genética, baixas temperaturas, *Oryza sativa* L.

## Abstract

FEIJÓ, MICHELE MACEDO. **Morphophysiological characterization and low temperature germination of irrigated rice genotypes**. 2021. 74p. Dissertation (Masters). Graduate Program in Agronomy. Federal University of Pelotas, Pelotas - RS.

Low temperatures are one of the main factors that can limit the cultivation of irrigated rice, they frequently occur during the growing season in the southern region of Brazil, and can cause a significant reduction in grain productivity. There are several studies on the search for low temperature tolerant cultivars at all stages of development. The morphological characterization, through the minimum descriptors, is important for the supply of information and classification of genotypes, discrimination of relevant characters that serve as base for the breeding programs. The objective of this work was to evaluate the genetic variability of 20 irrigated rice genotypes from different locations in the world and the BRS Pampa and BRS Pampeira controls using morphological descriptors, as well as to evaluate these genotypes for cold tolerance traits in the germinative stage. The genotypes were evaluated in two experiments, the first one being carried out in the field for phenotypic characterization and estimation of their genetic distances through the use of multivariate analyzes. In the second experiment, the genotypes were evaluated under temperature conditions of 13°C for 28 days and 25°C for 7 days in BOD chambers, comparing the relative performance, measured by germination, shoot length, root length and length of coleoptile. The results obtained indicated that among the studied genotypes there is a wide genetic base, and some genotypes have the potential to be used in the expansion of the genetic base in crop improvement programs. As well, in the phenotypic characterization, the studied genotypes showed great genetic variability.

**Keywords:** genetic variability, low temperatures, *Oryza sativa* L.

## Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de produção agrícola da cultura do arroz no Brasil. ....	13
Figura 2. Comparação esquemática de portes e tipos de plantas de arroz, representando as cultivares tradicionais, de porte semi-anão e um novo ideótipo de planta proposto.....	19
Figura 3. Temperaturas mínimas e máximas registradas na zona sul do Rio Grande do Sul, durante os meses de semeadura do arroz. Estação Capão do Leão - A887. ....	23
Figura 4. Características botânicas das plantas de <i>Oryza sativa</i> . ....	26
Figura 5. Visão geral das parcelas no experimento na fase inicial de estabelecimento. ....	42
Figura 6. Área experimental utilizada para a caracterização morfofisiológica. ....	42
Figura 7. Contribuição relativa dos caracteres quantitativos para dissimilaridade genética de 22 acessos de arroz irrigado.....	48
Figura 8. Dendrograma obtido a partir das distâncias Euclidiana Padronizada quanto aos caracteres quantitativos de 22 acessos de arroz, pelo Método de Ligação entre Grupos (UPGMA). ....	49
Figura 9. Dendrograma obtido a partir da matriz de dissimilaridade através dos caracteres qualitativos de 22 acessos de arroz, pelo Método de Ligação Média entre Grupos (UPGMA). ....	51

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Efeitos das baixas temperaturas sobre a cultura do arroz.....	21
Tabela 2. Acessos de arroz irrigado caracterizados fenotipicamente com as respectivas origens. Pelotas-RS, 2021.....	43
Tabela 3. Relação de descritores utilizados na análise morfofisiológica dos acessos de arroz irrigado. Pelotas-RS, 2021. ....	44
Tabela 4. Acessos de arroz irrigado caracterizados fenotipicamente com as respectivas origens. Pelotas-RS, 2021.....	63
Tabela 5. Porcentagem de germinação dos 20 genótipos de arroz irrigado, e das 2 testemunhas BRS Pampa e BRS Pampeira em BOD à temperatura de 25°C. EMBRAPA/FAEM/UFPel-CGF, Pelotas-RS, 2021. ....	65
Tabela 6. Resumo da análise de variância do desempenho relativo dos caracteres comprimento de coleóptilo (DRcc), comprimento de raiz (DRcr), comprimento de parte aérea (DRcpa) e germinação (DRg) avaliados em 22 genótipos de arroz irrigado. EMBRAPA/FAEM/UFPel-CGF, Pelotas-RS, 2021.....	66
Tabela 7. Médias das variáveis germinação (GER), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e comprimento de coleóptilo (CC) de 20 genótipos de arroz irrigado e 2 testemunhas BRS Pampa e BRS Pampeira avaliados morfológicamente aos 28 dias para tolerância ao frio. EMBRAPA/FAEM/UFPel-CGF, Pelotas-RS, 2021. ....	67

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. CAPÍTULO I.....	16
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1 Origem, domesticação e classificação botânica da cultura do arroz .....	16
2.2. Melhoramento Genético do Arroz e suas Perspectivas .....	18
2.3 Estresse por frio e seus efeitos nos estádios de desenvolvimento .....	20
2.4 Resposta ao frio na germinação em genótipos de arroz irrigado .....	22
2.5 Recursos genéticos, variabilidade e base genética na cultura do arroz .....	24
2.6 Caracterização morfológica da Cultura do Arroz Irrigado .....	25
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30
3. CAPÍTULO II .....	37
CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO SELECIONADOS PARA TOLERÂNCIA A BAIXAS TEMPERATURAS .....	37
3. CHAPTER II .....	38
MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF IRRIGATED RICE GENOTYPES SELECTED FOR LOW TEMPERATURE TOLERANCE.....	Error!
Bookmark not defined.	
3.1 INTRODUÇÃO .....	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	47
3.4 CONCLUSÕES .....	52
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
4. CAPÍTULO III .....	58
TOLERÂNCIA AO FRIO NA GERMINAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO.....	58
4. CHAPTER III .....	59
COLD TOLERANCE IN GERMINATION OF IRRIGATED RICE GENOTYPES.....	59
4.1 INTRODUÇÃO .....	60
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....	62
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	64

<b>4.4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>

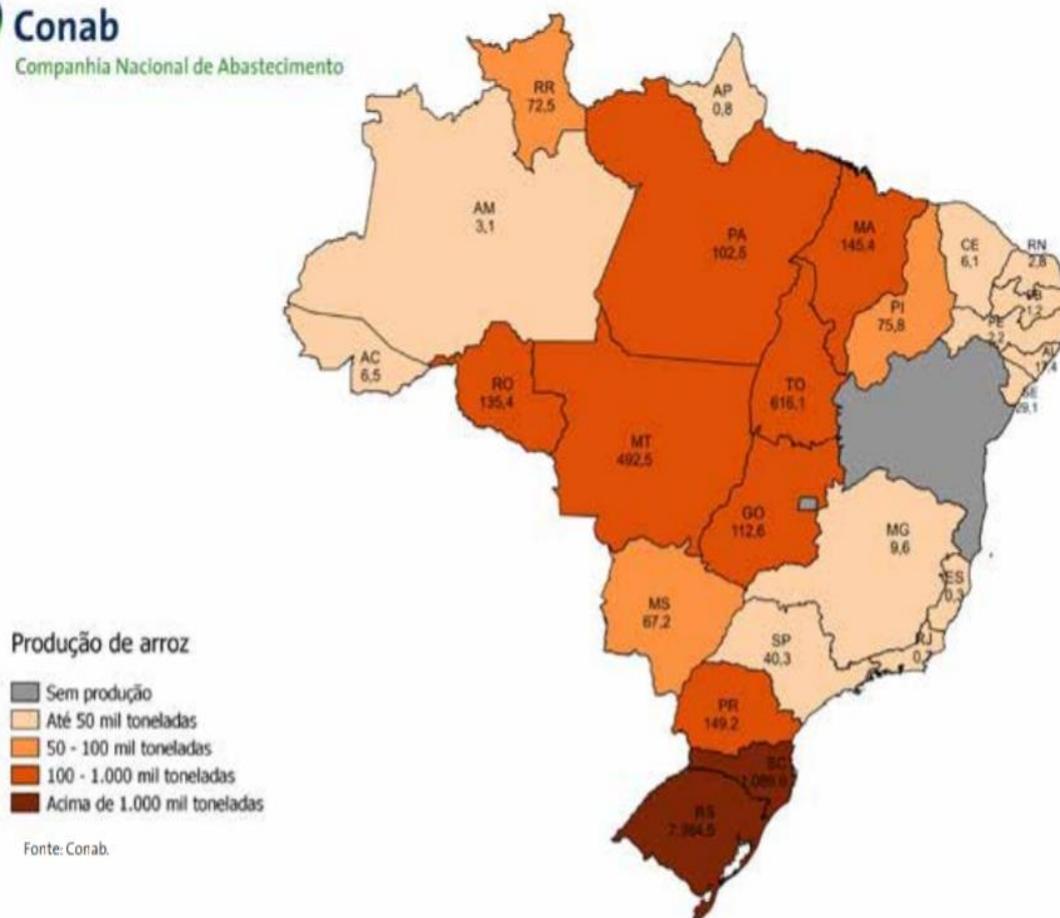
## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura de suma importância para o mundo (MUTHAYYA et al., 2014). Presente principalmente em países em desenvolvimento, a cultura do arroz tem papel estratégico nos níveis de desempenhos econômicos e sociais, tornando-se, um dos alimentos de base nutricional dos seres humanos, fornecendo 20% da taxa de energia necessária a população. A cultura tem grande adaptabilidade a diferentes climas e condições do solo, além de ser extremamente versátil. Por conseguinte, o arroz é considerado a espécie que de maior potencial para o combate à fome mundial (GOMES e MAGALHÃES Jr., 2004).

Além de, ser o segundo cereal mais cultivado mundialmente ocupa uma área aproximada de 161 milhões de hectares (SOSBAI, 2018). A produção mundial, segundo a Food and Agriculture Organization (FAO) no ano safra 2019/2020 foi de 497,82 milhões de toneladas de arroz beneficiado, ligeiramente menor que ano anterior. No continente asiático, estão os maiores produtores mundiais de arroz, estando em primeiro lugar a China, seguida pela Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Myanmar e as Filipinas. A Ásia corresponde a 91% da produção mundial do cereal, seguido pelo continente americano que corresponde aproximadamente a 5% (SOSBAI, 2018).

O Brasil é o nono produtor mundial do cereal, sendo, o maior produtor fora do continente asiático, com uma produção de 10.563,4 milhões de toneladas (CONAB, 2020), abaixo da média histórica de produção com 12,0 milhões de toneladas. Na safra 2019/2020 houve um decréscimo de área plantada de aproximadamente 0,7% em relação à safra anterior com 1.685,8 milhões de hectares (CONAB, 2020).

O Rio Grande do Sul é responsável por quase 70% da produção brasileira do grão (CONAB, 2020), sendo que, no Estado seu cultivo é realizado sob sistema irrigado, contemplando uma maior produtividade em relação ao cultivo de sequeiro.



Fonte: Conab, 2020.

**Figura 1.** Mapa de produção agrícola da cultura do arroz no Brasil.

A contribuição do melhoramento de plantas para produção de grãos tem sido estudada em diversas culturas. Estes estudos evidenciam que majoritariamente o melhoramento de planta resultou em ganhos de produtividade. Com o passar dos tempos houve incrementos significativos em relação ao potencial produtivo das plantas cultivadas que de certa forma, foram obtidos através da seleção de plantas. Uma nova arquitetura da planta possibilitou que o potencial produtivo do arroz aumentasse no final da década dos anos 70. A pesquisa em arroz no Rio Grande do Sul tem sua condução pela Embrapa Clima Temperado e pelo Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), começando com o desenvolvimento de cultivares adaptadas para o Estado. As entidades investiram no desenvolvimento de novas cultivares, especialmente no final dos anos 70, onde proporcionaram um significativo resultado para o desenvolvimento do setor orizícola, considerando-se o aumento obtido pelo rendimento por área plantada. Este acréscimo ocorreu pela adoção de cultivares de porte “moderno”, ou seja, com uma alta capacidade de perfilhamento,

colmos robustos e curtos, e com folhas eretas. As primeiras cultivares lançadas em 1979, com essas características desejáveis foram a BR IRGA 409 e a BR IRGA 410 (MAGALHÃES JR. et al., 2003).

No entanto, existem estresses abióticos que afetam o desenvolvimento e a produtividade de plantas cultiváveis, sendo a temperatura baixa um dos principais condicionantes negativos para o crescimento, desenvolvimento e produtividade do arroz (CRUZ, MILACH, 2000), além de ser considerado um dos elementos que está intimamente relacionado com o decréscimo da produtividade (ALONÇO et al., 2005).

A ocorrência do estresse por frio tem se tornado um problema para a cultura em inúmeros países, sendo o Brasil um dos países que possui este problema mais especificamente no sul. Devido a inúmeros efeitos causados pelo frio na cultura do arroz, a busca por cultivares tolerantes tem grande importância em países como a China, Indonésia, Japão, Nepal, Coréia, Austrália, Estados Unidos, Chile e Brasil (YOSHIDA, 1981; CASTILLO e ALVORADO, 2002). Com isso, são relatados grandes esforços para o desenvolvimento de cultivares com tolerância ao frio com foco principalmente na germinação, no estabelecimento de plântulas e no estágio reprodutivo.

Nos programas de melhoramento, os métodos de avaliação para a tolerância ao frio no estágio de germinação são voltados para a caracterização de genótipos tolerantes e sensíveis, buscando identificar nos bancos de germoplasma as fontes de tolerância. Basicamente os métodos consistem na germinação de sementes sob condições controladas em baixas temperaturas, avaliando-se características como a porcentagem de germinação, comprimento de radícula e comprimento do coleóptilo (JONES; PERTESON, 1976; CRUZ; MILACH, 2004).

Outra forma de avaliação é a caracterização morfológica em coleções de germoplasmas visando o fornecimento de informações sobre descritores e classificação dos genótipos, com discriminação de caracteres mais relevantes, mas principalmente servindo de subsídio para os programas de melhoramento genético, pela identificação dos indivíduos desejáveis e quantificação da variabilidade (MELO, 2011). A caracterização morfológica é a base de todo e qualquer estudo, uma vez que a primeira determinação de um indivíduo começa pelo seu fenótipo, ou seja, aspecto geral do ponto de vista morfológico (CHIES; LONGHI-WAGNER, 2003).

As características morfológicas utilizam descritores mínimos da cultura do arroz estabelecidos pela SNPC (Serviço Nacional de Proteção de Cultivares), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 1997) e indicados pelo IRRI (1980).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar os genótipos pertencentes ao banco ativo de germoplasma de arroz da Embrapa, avaliando os caracteres morfológicos dos genótipos a campo e a avaliação de genótipos tolerantes ao frio sob condições controladas.

## 2. CAPÍTULO I

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Origem, domesticação e classificação botânica da cultura do arroz

Taxonomicamente, o arroz engloba duas tribos de importância alimentar: Zizaniae e Oryzae. A tribo Oryzae, que contém o gênero *Oryza*, tem mais de vinte espécies classificadas, com destaque para duas cultivadas: *Oryza glaberrima* Steud. (arroz cultivado africano) e *Oryza sativa* L. (arroz cultivado asiático).

O arroz asiático (*Oryza sativa* L.) postula-se que seja originário da Ásia. Segundo alguns historiadores, sua origem deu-se provavelmente na Índia, mais especificamente ao sul, onde existem condições de solo mais favoráveis para o seu cultivo (PEREIRA, 2002). Escritos índicos descrevem que em 1300 e 1000 anos a.C. existiam certas práticas agronômicas, como o transplante, e exibem uma classificação agronômica e alimentícia do arroz. A propagação do arroz se deu desde o sudeste asiático e Índia, até a China, há cerca de 3000 anos a.C., da China, sendo o arroz introduzido na Coreia e depois no Japão. É igualmente provável que, do sul da China, o arroz foi introduzido nas Filipinas, onde é cultivado há 2000 anos. Paralelamente, através do sul da Índia, pela rota da Malásia, o arroz foi propagado na Indonésia, onde documentos comprovam seu cultivo há mais de 1800 anos a.C.. Também a partir da Índia, o arroz chegou ao Ceilão, onde foi cultivado primeiramente no sistema de sequeiro (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004).

A introdução do *O. sativa* na Ásia Ocidental e no Mediterrâneo é mais recente e deu-se durante o Império Persa (SILVA, 1956). A continuação de sua implantação estendeu-se à Turquia e Síria. A chegada deste cultivo na Grécia, Irã e Babilônia, segundo alguns historiadores, deu-se em consequência das invasões de Alexandre Magno, no ano 320 a.C.. A expansão do cultivo pelos árabes foi muito importante, sendo levado para Marrocos e Espanha, de onde se espalhou para vários países vizinhos. Posteriormente, foi introduzido na América pelos espanhóis e, no Brasil, pelos portugueses, onde se tornou um dos principais alimentos de consumo interno (MAGALHÃES JÚNIOR e OLIVEIRA, 2008). Os mesmos autores consideram que o arroz africano (*Oryza glaberrima* Steud.) teve origem na África Ocidental, onde se encontra praticamente restrita sua área de exploração e consumo, mais precisamente

no Delta Central do Niger. Segundo alguns historiadores, há evidências de que o cultivo deste arroz tenha começado cerca de 1500 anos a.C.. Posteriormente, com a introdução do arroz asiático pelos portugueses e holandeses na costa da África Ocidental, ocorreu a substituição do cultivo do arroz africano pelo asiático, em função da sua melhor adaptação e por apresentar cariopse branca, uma vez que, de uma maneira geral, o *O. glaberrima* possui cariopse com coloração vermelha.

Presume-se que estas duas espécies de arroz cultivado, o asiático e o africano, devam ter um ancestral comum, mas não há, até o momento, um consenso quanto à conexão evolucionária entre eles. Tem sido proposto, como provável genitor comum, o arroz *Oryza perennis*. Porém, qualquer que seja seu ancestral comum, parece claro que as duas formas de domesticação ocorreram de modo paralelo e independente (PEREIRA, 2002).

O nome científico, *Oryza*, foi dado por Linnaeus à planta, e vem de um termo grego muito antigo, que significa “bom grão da vida” (BOTELHO, 1914). O arroz é mencionado, diversas vezes, em escrituras chinesas e hindus, sua taxonomia, como a de outras espécies, foi e continua sendo objetivo de discussão. CHANG (1970) reconheceu somente 20 espécies, entretanto, VAUGHAN (1989) afirmou que o número de espécies classificadas em diferentes estudos varia de 20 a 30.

O número básico de cromossomos do arroz *O. sativa* é 12 ( $2n=24$ ), porém existem espécies poliplóides com  $2n=48$ . As duas espécies cultivadas e seus respectivos ancestrais possuem o mesmo genoma AA, pois seus híbridos não apresentaram nenhum distúrbio cromossômico significativo (MORISHIMA et al., 1992).

O arroz é uma gramínea anual, classificada no grupo de plantas C-3, com adaptação ao ambiente aquático, devido à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, possibilitando a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera (SOSBAI – 2018). Por possuir um único embrião e um só cotilédone está compreendida no grupo das monocotiledôneas, na família Poaceae, na tribo Oryzea, e pertence ao gênero *Oryza* (BOTELHO, 1914). As gramíneas, provavelmente originaram-se na era Mesozóica e evidências circunstanciais sugerem que tenha sido em clima tropical e, então, uma série de linhas evoluíram e adaptaram-se a vários habitats.

## 2.2. Melhoramento Genético do Arroz e suas Perspectivas

A partir da Revolução Verde (1960s), com a introdução de plantas de porte moderno semi-anão, houve incrementos significativos no potencial de produtividade das plantas cultivadas que, de uma maneira geral, foram obtidos através de adaptações no tipo de planta. Essa nova arquitetura de planta permitiu que o potencial de produtividade do arroz duplicasse no final da década de 70, com os lançamentos das cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410, no Rio Grande do Sul. Estima-se, mais de 60% da área mundial é coberta por cultivares semi-anãs (MAGALHÃES Jr. et al, 2003). No entanto, após o impacto da substituição das cultivares tradicionais pelas variedades modernas de porte baixo, tem ocorrido um processo de estagnação dos patamares de produtividade do arroz irrigado desde o final da década de 1980 (CASTRO et al., 1999).

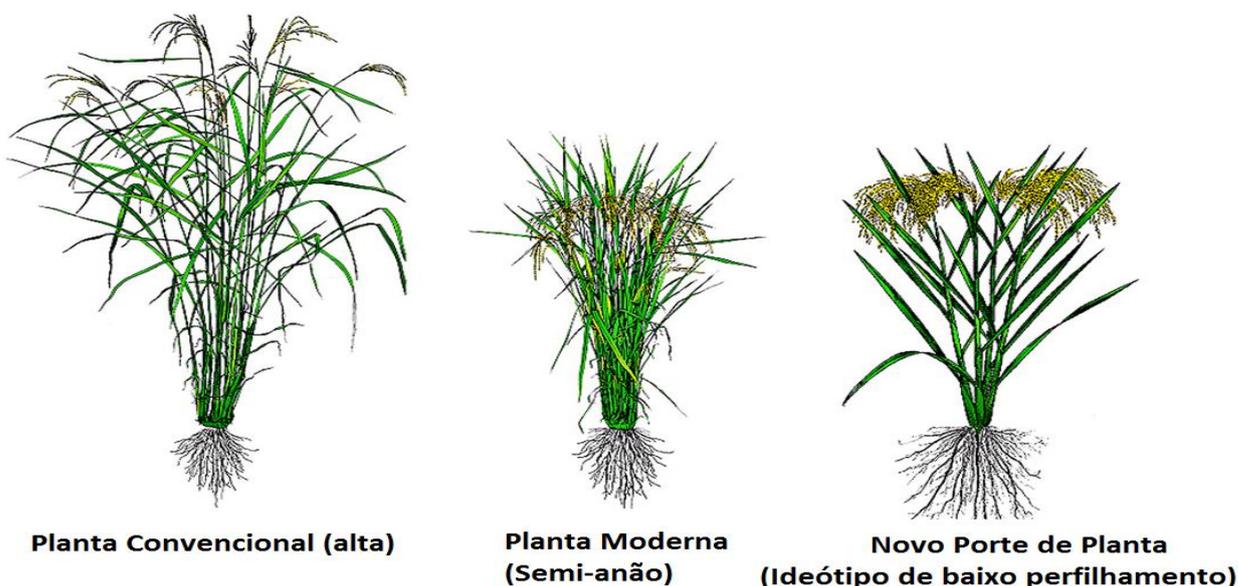
De acordo com RANGEL et al. (1996), no Brasil, até pouco tempo atrás, apenas sete ancestrais eram responsáveis por 70% da composição gênica das cultivares plantadas. Isso ocorre, pois os programas de melhoramento genético de arroz encontram-se baseados na utilização de um número reduzido de genitores com arquitetura moderna e atributos agronomicamente desejáveis, o que tem conduzido a um estreitamento da base genética (FONSECA et al., 2006).

Segundo Breseguello e Coelho (2013) a diversidade genética natural foi esculpida pela seleção humana durante domesticação das plantas, resultando em profundas mudanças no seu fenótipo. Seleção intencional ou não, através de milênios de agricultura tradicional resultou em uma riqueza de diversidade genética, adaptada às diferentes necessidades humanas. Além disso, com o advento de melhoramento de plantas e com o auxílio de ferramentas da biotecnologia, acelerou-se de forma intensiva o ritmo do melhoramento de variedades. Atualmente pela limitação de elevados ganhos genéticos nos programas de melhoramento, torna-se necessário avaliar um grande número de plantas, derivadas a partir de um grande número de cruzamentos para se aumentar as chances de obtenção de genótipos superiores. Para isso, existe uma necessidade de altos investimentos em procedimentos de manuseio de sementes, plantio, avaliação e colheita.

Desta forma, melhoristas vem buscando outros atributos que possam promover algum salto no potencial genético de produtividade da cultura. Sendo que, os incrementos de produtividade obtidos pelo melhoramento convencional

basicamente advém do desenvolvimento de genótipos frente à tolerância e/ou resistência a fatores bióticos e abióticos, além de atributos como qualidade industrial dos grãos e eficiência produtiva.

O Instituto Internacional do Arroz (IRRI) vem realizando estudos, projetando um ideótipo hipotético que alavancaria os potenciais produtivos da cultura (Figura 2). O modelo de planta apresentaria poucos afilhos, mas com caules mais robustos e, panículas compactas e maiores, contendo mais de 200 espiguetas. Assim, estes traços combinados, poderiam resultar em incrementos no índice de colheita e produtividade.



Fonte: IRRI Imagens

**Figura 2.** Comparação esquemática de portes e tipos de plantas de arroz, representando as cultivares tradicionais, de porte semi-anão e um novo ideótipo de planta proposto.

No entanto, o processo de melhoramento de plantas demanda um elevado tempo para avaliação e obtenção de resultados concisos. Assim, os melhoristas têm trabalhado intensamente na geração de novas tecnologias, principalmente aliando o melhoramento tradicional com o uso da biotecnologia, de forma a alavancar a cadeia produtiva do arroz e auxiliar no combate à fome.

### **2.3 Estresse por frio e seus efeitos nos estádios de desenvolvimento**

A temperatura é um fator de natureza abiótica e imprevisível e, por isso, os efeitos negativos de sua ocorrência sobre o arroz são de difícil controle em nível de manejo, o que torna a tolerância genética das cultivares extremamente importante para estabilizar o rendimento de grãos nas áreas sujeitas à ocorrência de frio.

O cultivo do arroz utiliza uma extensa área geográfica, onde a temperatura desfavorável ao desenvolvimento da planta pode ocorrer em um ou vários estádios. A faixa de temperatura ótima para a cultura encontra-se entre 25°C e 30°C, e temperaturas inferiores a 20°C, dependendo do estágio de desenvolvimento, são prejudiciais (YOSHIDA, 1981), sendo comuns em áreas temperadas e/ou subtropicais ou nas regiões de altitude elevada nos trópicos (NANDA e SESHU, 1979), limitando as áreas de produção e o período de cultivo.

As baixas temperaturas podem ser prejudiciais ao desenvolvimento normal das plantas de arroz por estas possuírem uma origem tropical. Nas cultivares sensíveis, o frio desencadeia diversas alterações fisiológicas, morfológicas, bioquímicas e moleculares que geram alterações deletérias em seu metabolismo, afetando a produtividade (SANGUERA et. al., 2011; CRUZ et. al., 2013). O grau de lesão no arroz depende geralmente do período de ocorrência (fase de crescimento), da intensidade do frio e da duração das baixas temperaturas (LI et. al., 1981).

Baixa temperatura tem o potencial de afetar o crescimento e desenvolvimento de plantas de arroz em qualquer fase de desenvolvimento, desde a germinação até o enchimento do grão (YE et. al., 2009). No entanto, Yoshida (1981) mostrou que a sensibilidade ao frio varia entre os estádios de desenvolvimento. Os limites inferiores da temperatura nos estádios de germinação e nos estádios vegetativos situam-se entre 10 e 13°C. Já no estágio reprodutivo esse limite inferior de temperatura situa-se entre 18 e 20°C. Dessa forma percebe-se que as plantas de arroz apresentam sensibilidade ao frio também durante a fase reprodutiva.

Não existe uma característica única na planta que possa diagnosticá-la como danificada pelo frio. Os sintomas visuais variam dependendo da temperatura, do período de exposição, da fase de desenvolvimento, e de outras condições ambientais tais como luz, presença de vento, disponibilidade de água e nutrientes. A maioria dos sintomas necessitam de tempo para aparecer. As plantas podem mostrar uma perda do vigor e uma redução nas taxas de crescimento, na ausência

de outros sintomas visíveis. Um estresse mais severo provoca autólise celular e senescência. Pode ocorrer perda de clorofila, visível pelo amarelecimento, na presença da luz, como consequência da foto-oxidação. Outro efeito é a perda da integridade da célula, que dá aos tecidos uma aparência aquosa produto de mudanças na membrana celular que permitem a perda de fluídos nos espaços intercelulares (apoplasto). Esta perda proporciona um excelente meio de cultura para fungos ou bactérias que podem crescer como agentes patogênicos oportunistas (McKERSIE, 2020).

A Tabela 1 apresenta um resumo dos efeitos das baixas temperaturas na cultura do arroz, adaptada dos trabalhos apresentados por Yoshida (1981), e por Alvarado e Grau (1991).

**Tabela 1.** Efeitos das baixas temperaturas sobre a cultura do arroz.

FASE	TEMPERATURA CRÍTICA (°C)	TIPO DE DANIFICAÇÃO
Germinação	16 - 19	Baixa percentagem e alongamento do período de germinação.
Emergência e estabelecimento	12	Diminuição da taxa de emergência e do nº de plantas emergidas
Enraizamento	16	Poucas e raízes pequenas
Alongamento das folhas e aparelho fotossintético	7 - 12	Diminuição de crescimento e descoloração das folhas
Perfilhamento	9 - 16	Diminuição do nº e de velocidade de crescimento
Primórdio floral	15	Inibição de formação do grão de pólen e das espiguetas; engrossamento do tapetum.
Formação de panícula	15 - 20	Má exerceção de panícula e deformidades nas espiguetas.
Antese	22	Retardamento de abertura das flores.
Fertilização do estigma	22	Não há polinização, espiguetas estéreis.
Maturação e formação do grão	12 - 18	Alongamento da fase de enchimento de grão; mancha de grãos; grãos menores.

**Fonte:** Yoshida, 1981; Alvorada e grau, 1991.

A ocorrência de baixas temperaturas durante as fases críticas afetam a produtividade final. Na germinação, pode causar atraso e diminuição no percentual

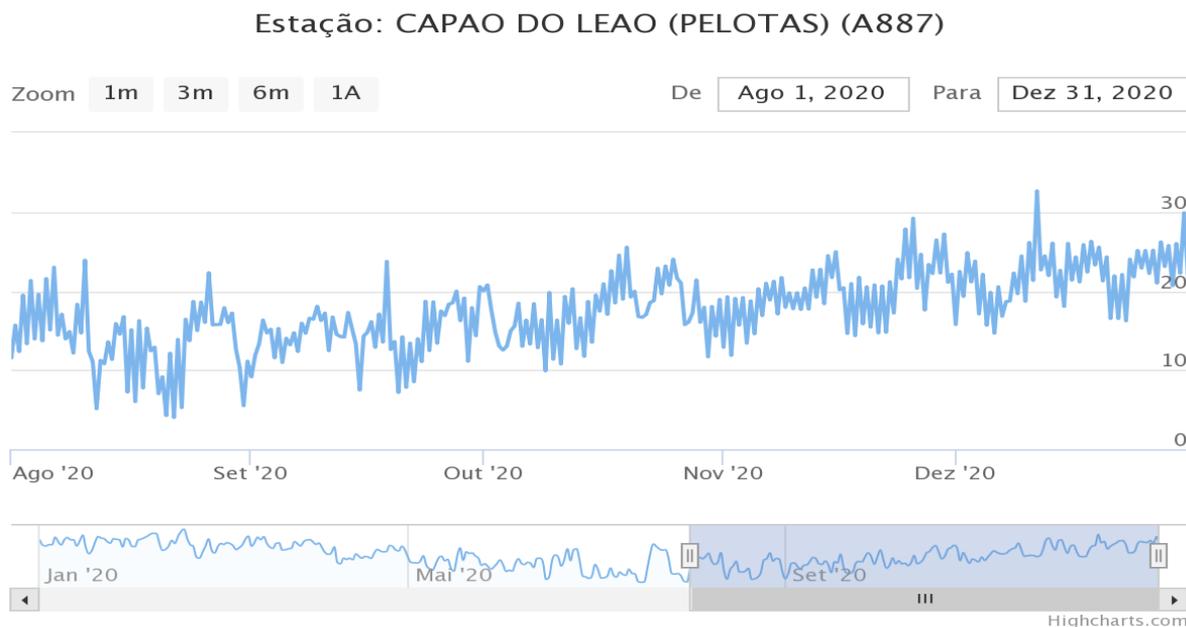
de germinação. Ocorrendo nas fases iniciais, pode causar atraso no desenvolvimento, redução de estatura, amarelecimento de folhas e falha de estande. Na fase reprodutiva afetam a produtividade através da esterilidade de espiguetas (TORO, 2006), bem como pode ocorrer mancha dos grãos afetando a qualidade.

#### **2.4 Resposta ao frio na germinação em genótipos de arroz irrigado**

O arroz é uma cultura que apresenta vulnerabilidade às alterações climáticas, assim como a ocorrência de doenças e pragas, as quais resultam em um decréscimo no desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na sua produtividade (WALTER et al., 2010). Todas as espécies de plantas têm seu próprio requerimento de temperatura ideal nas fases de crescimento e desenvolvimento, sendo que temperaturas consideradas ótimas para determinadas espécies, podem ser estressantes para outras. Para a cultura do arroz a faixa ótima de temperatura encontra-se entre 25 e 30°C, sendo que temperaturas inferiores a 20°C podem ser prejudicial dependendo do estágio de desenvolvimento (CRUZ; MILACH, 2000).

O estresse por frio afeta o desenvolvimento da cultura desde a germinação até o enchimento do grão (YOSHIDA et al., 1997; MACKILL; LEI et al., 1997), não tão somente na germinação, mas também no estabelecimento das plântulas, início do estágio reprodutivo (YE et al., 2009).

No Rio Grande do Sul, a safra da cultura do arroz irrigado ocorre durante as estações de primavera e verão, tendo como período ideal de semeadura de 15 de outubro a 15 de novembro. No entanto, em muitas lavouras do Estado a semeadura ocorre antes deste período. De acordo com informações de dados meteorológicos, nos últimos 30 anos, as temperaturas mínimas marcaram entorno de 13,6 a 15,7°C e médias de 17,5 a 19,6°C nos meses de outubro e novembro respectivamente, demonstrando um grande risco para a semeadura do arroz, pela evidência de condições ambientais adversas, como a baixa temperatura do solo e do ar. Na Figura 3, observa-se que no ano 2020 as temperaturas mínimas estavam em condições desfavoráveis para a semeadura desde o mês de agosto que teve temperatura mínima variando de 5 a 11°C. Contudo, algumas lavouras gaúchas antecipam suas semeaduras, começando suas semeaduras ao final do mês de agosto. Conseqüentemente nos demais meses observam-se temperaturas variando entre 7 a 21°C (INMET, 2020).



Fonte: INMET, 2020.

**Figura 3.** Temperaturas mínimas e máximas registradas na zona sul do Rio Grande do Sul, durante os meses de semeadura do arroz. Estação Capão do Leão - A887.

De acordo com PEDROSO (1989), as cultivares do grupo *indica* sob condições de temperaturas inferiores a 13°C não germinam, enquanto as cultivares do grupo *japônica* com temperaturas abaixo de 11°C não germinam. Porém, observa-se que com temperaturas inferiores a 20°C, ocorre redução na velocidade de germinação das sementes em ambos os grupos.

As variedades do grupo *indica* tem maior adaptabilidade a ambientes tropicais, no entanto são também cultivadas em ambientes subtropicais, sendo um deles o Rio Grande do Sul. Em ambientes subtropicais, condições climáticas de baixas temperaturas são normais de ocorrerem, tendo como problemas para o grupo *indica* a manifestação de sintomas de estresse por frio quando comparadas com o grupo *japonica*, ou seja, surgimento de sintomas de redução e atraso na germinação e no desenvolvimento inicial das plantas, ocasionando comprometimento da produtividade final da lavoura (CRUZ e MILACH, 2004).

Durante a fase de germinação têm-se como principais sintomas de danos causados pelo frio o atraso e a diminuição na porcentagem de germinação das sementes de arroz. As avaliações para a tolerância ao frio durante esta fase são realizadas submetendo-se as sementes a baixas temperaturas durante um período de 30 a 35 dias, onde as variáveis analisadas são: o comprimento da radícula e do

coleóptilo, além da porcentagem e velocidade de germinação (BERTIN et al., 1996; STHAPIT; WITCOMBE, 1998).

A baixa temperatura do solo, na germinação, acarreta em atraso ou inviabilidade na germinação das sementes. A intensidade do frio, a avaliação a recuperação e a duração da exposição são importantes para uma estimativa efetiva da tolerância a baixas temperaturas (LOU ET AL., 2007).

Por se tratar de um fator abiótico de natureza imprevisível, é difícil minimizar os efeitos do frio com medidas de controle. No entanto, a elevação da lâmina de água tem funcionado como termorregulador dos efeitos da temperatura, assim como semeadura rasa, na camada do solo em que o aquecimento é mais rápido e o gasto de energia será menor (SOSBAI, 2018). Com isso, o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes ao frio geneticamente são imprescindíveis para o sucesso da lavoura de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

## **2.5 Recursos genéticos, variabilidade e base genética na cultura do arroz**

O uso de recursos genéticos de arroz disponíveis em bancos de germoplasma é uma estratégia importante para a incorporação de variabilidade genética em programas de melhoramento genético, o que pode potencialmente gerar novas cultivares com base genética ampliada, permitindo a obtenção de novas combinações alélicas (MCCOUCH, 2004).

As variedades tradicionais que são mantidas nos bancos de germoplasmas têm importância na ampliação da base genética nos programas de melhoramento (LONDO et al., 2007; BOSETTI, 2012), apresentando grande relevância na complementaridade do *pool* gênico de cultivares modernas, por possuírem variabilidade genética. As cultivares tradicionais representam um estágio de domesticação entre um ancestral e uma variedade moderna, servindo como reservatório da variabilidade (LONDO ET AL., 2007; MONZÓN, 2015).

De acordo com Acevedo et al.(2007), os germoplasmas que influenciam na variabilidade genética constituem os elementos dos recursos genéticos, sendo muito utilizados para o melhoramento genético de plantas. Neste sentido, para o melhoramento é necessário o conhecimento da base genética, que auxilia na redução da vulnerabilidade genética e no aumento dos ganhos por seleção.

Segundo Raimondi et al. (2014), a vulnerabilidade genética é resultante de um organismo carente de genes e/ou alelos que permite a tolerância a um determinado estresse biológico ou ambiental.

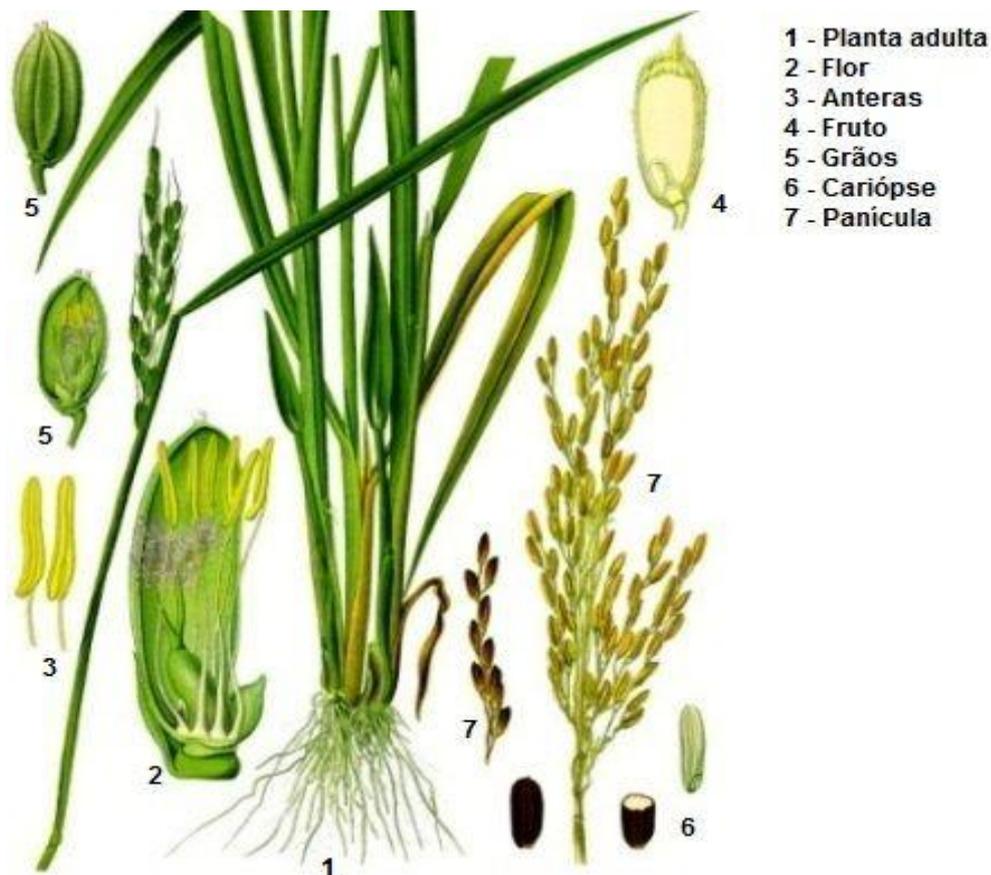
Atualmente, o emprego de caracteres morfológicos em estudos de distância genética é um dos procedimentos mais utilizados pelos melhoristas de plantas, pois estas informações são continuamente obtidas nos testes para caracterização e avaliação da adaptabilidade, estabilidade e potencial de produtividade.

## **2.6 Caracterização morfológica da Cultura do Arroz Irrigado**

As características morfológicas são fundamentais para o melhoramento, além de serem extremamente utilizadas na caracterização da variabilidade genética. A caracterização morfológica corresponde à base do estudo, uma vez que a primeira determinação de um indivíduo começa pelo seu fenótipo (CHIES; LONGHI-WAGNER, 2003). A caracterização morfológica consiste no fornecimento da identidade para cada amostra através da série de dados que permite estudar a variabilidade.

Os materiais, quando introduzidos em bancos de germoplasma, devem ser caracterizados e avaliados, obtendo-se informações sobre características morfológicas, fisiológicas, agronômicas, tolerância a estresses e outros atributos importantes para a espécie. Com a caracterização é possível mensurar a variabilidade fenotípica presente na coleção, como também, identificar materiais denominados duplicatas, os quais apresentam as mesmas características, porém com nome diferente, devido ao cultivo ter se expandido para diferentes regiões e recebido nomes regionais pelos produtores locais (KARIA, 2008).

A planta de arroz é formada por raízes, caule, folhas e conjunto de espiguetas, o qual é chamado de panícula. A Figura 4 ilustra essas características botânicas do arroz.



Fonte: Agrolink (NUNES, 2020)

**Figura 4.** Características botânicas das plantas de *Oryza sativa*.

O sistema radicular é formado basicamente por raízes adventícias, raízes seminais e, em alguns casos específicos, ocorre a formação de raízes mesocótilas (GUIMARÃES et al., 2002). As raízes seminais, ou embriogênicas, desenvolvem-se a partir do promeristema da raiz do embrião, vindo acompanhadas de raízes seminais secundárias, durando pouco tempo após a germinação (CHANG e BARDENAS, 1965).

As raízes adventícias são formadas nos nós inferiores dos colmos e substituem as raízes seminais. Em cada nó, desenvolvem-se, usualmente, entre cinco e 25 raízes adventícias. A raiz diretamente emitida da região nodal do colmo é denominada primária, formando-se, posteriormente, as secundárias, seguidas pelas terciárias e assim por diante (GUIMARÃES et al, 2002).

Em casos especiais, como por exemplo, a semeadura profunda e o tratamento das sementes com indutores químicos de crescimento, podem surgir oito

raízes na região entre o nó do coleóptilo e a base da radícula, chamadas de raízes mesocótilas (GUIMARÃES et al., 2002).

Os pêlos absorventes das raízes têm suas formações na epiderme e são responsáveis pela absorção de água e nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta. O córtex da raiz é formado por células parenquimáticas com espaços intercelulares denominadas de aerênquimas, os quais são estruturas especializadas que armazenam o oxigênio para o consumo das células da raiz. Estas estruturas formam canais que ligam raiz, colmo e folha, e permitem que a planta sobreviva mesmo em ambientes alagados (GUIMARÃES et al., 2002).

O caule da planta de arroz é formado pelo colmo principal e por um número variável de colmos primários e secundários, denominados afilhos (GUIMARÃES et al., 2002). O colmo é constituído por nós e entre-nós, sendo totalmente envolvido pela bainha e, somente na floração, uma pequena parte dele é exposta abaixo da panícula. O total de nós no colmo principal é igual ao total de folhas inseridas no colmo principal mais dois, onde um é o nó do coleóptilo e o outro é o da panícula (CHANG e BARDENAS, 1965). A maioria dos entre-nós mantêm-se compactados na base do colmo e poucos da parte superior se alongam, sendo o último entre-nó o mais longo. O número de entre-nós alongados varia de três a oito, dependendo das condições do ambiente. As características dos entre-nós, tais como diâmetro, comprimento e espessura determinam a resistência ao acamamento (GUIMARÃES et al., 2002).

Durante o crescimento vegetativo, da base das folhas de cada nó não alongado do colmo principal, originam-se os afilhos primários, e estes por sua vez, dão origem aos afilhos secundários, que por sua vez, dão origem aos afilhos terciários. Os afilhos e raízes emergem do mesmo nó e começam a surgir no estádiode quatro a cinco folhas das plantas (GUIMARÃES et al., 2002). A partir do colmo principal originam-se de oito a quatorze folhas, dependendo do ciclo da cultivar. A primeira folha origina-se do coleóptilo, apresenta formato cilíndrico e difere das demais por não apresentar lâmina foliar. Tem a denominação de prófilo ou folha incompleta. A segunda e todas as demais folhas surgem a partir de gemas situadas nos nós e são dispostas de forma alternada no colmo. A última folha que surge em cada colmo é denominada folha bandeira (GUIMARÃES et al., 2002).

A parte da folha que envolve o colmo é denominada bainha e a outra parte pendente é a lâmina. Na junção entre estas duas partes situa-se o colar, onde se apresenta dois pequenos apêndices em forma de orelha, chamados de aurículas, e uma estrutura membranosa em forma de língua, chamada de lígula (CHANG e BARDENAS, 1965). Na lâmina foliar estão dispostas paralelamente as nervuras, onde estão os feixes vasculares e os espaços vazios, os quais também estão distribuídos na bainha (GUIMARÃES et al., 2002).

A panícula é a inflorescência da planta de arroz e está localizada sobre o último entre nó do caule. Pode ser aberta, compacta ou intermediária, dependendo de cada cultivar, como também, pode ser classificado como ereta, pendente ou intermediária, conforme o ângulo de inserção nas ramificações secundárias. É composta pelo raquis, dos quais saem as ramificações primárias, em número de 8 a 10, e destas saem as ramificações secundárias. Geralmente de cada nó do ráquis sai uma ramificação primária, no entanto, em condições especiais de alta luminosidade e fertilidade do solo podem sair até três ramificações (GUIMARÃES et al., 2002).

Os pedicelos surgem a partir dos nós das ramificações primárias e secundárias, das quais surgem as espiguetas. As espiguetas são formadas por dois pares de brácteas ou glumas. Estas brácteas envolvem a flor do arroz e, após a formação do grão, irão constituir a casca. As brácteas superiores são chamadas de lema ou pálea e as brácteas inferiores são chamadas de lemas estéreis (GUIMARÃES et al., 2002).

A flor do arroz está envolvida pelas brácteas da espiguetas e é constituída de pistilo, estames e lodículas. O pistilo é a parte feminina, sendo composto por estigma, estilete e ovário, e o estame, é a parte masculina, sendo composto por filete e antera (CHANG e BARDENAS, 1965).

O grão de arroz é formado basicamente pelo endosperma e embrião, que se encontra revestido por uma membrana chamada pericarpo, e toda esta estrutura se encontra envolvida pela lema e pálea, que formam a casca (CHANG e BARDENAS, 1965).

Algumas características das plantas de arroz são pouco influenciadas pelo ambiente, como por exemplo, colorações da aurícula, da lígula, do internódio, de antocianina nos nós do colmo, do ápulo, como também, comprimento, cor e forma

da cariopse. O ângulo da folha bandeira e dos afilhos também não sofrem alterações pelo ambiente. Estas características podem ser diferenciadas entre cultivares. No entanto, outras características, como altura de planta, comprimento e espessura do colmo, comprimento da panícula e peso dos grãos são influenciadas pelo ambiente e pela fertilidade do solo, e o tipo e exserção da panícula podem ser influenciados principalmente pela ocorrência de estiagem na fase de emissão e na floração (FONSECA et al., 2001).

A caracterização também é extremamente necessária para a proteção de cultivares comerciais, conforme a Lei nº 9.456 de Proteção de Cultivares, em vigor desde 25 de abril de 1997. A crescente necessidade de proteção de cultivares comerciais tem elevado significativamente o interesse pelo uso da caracterização (BONOW et al., 2007).

## 2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, M.; TORRES, E.; MORENO, O.; ÁLVAREZ, R.; TORRES, O.; CASTRILLO, W.; TORREALBA, G.; REYES, E.; SALAZAR, M.; NAVAS, M. Base genética de los cultivares de arroz de riego liberados en Venezuela. **Agronomia Tropical**. V. 57, p. 197 – 204. 2007.

ALONÇO, A. DOS S.; SANTOS, A. B. DOS; GOMES, A. DA S.; GRUTZMACHER, A. D.; ANDRES, A.; PRABHU, A. S.; MAGALHÃES JR, A. M.; TERRES, A.; FERREIRA, C. M.; NUNES, C. D; FRANCO, D. F.; PAULETTO, E. A.; MARCHEZAN, E.; FERREIRA, E.; VERNETTI JR, F. DE J.; BRAGA, H. J.; AZAMBUJA, E. H. V.; HECKLER, J. C. Fatores climáticos que afetam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade do arroz irrigado. Embrapa Clima Temperado, Sistema de Produção, (EMBRAPA. **Documentos**, 3, versão eletrônica), 2005.

ALVARADO, J. R., GRAU, P. Mejoramiento del arroz em Chile por tolerância ao frio. REUNIÓN SOBRE MEJORAMIENTO DEL ARROZ EM EL CONO SUR, 1991, Goiania. **Trabajos...** Montevideo: IICA – Procisun, 1991. p. 105 - 114.

BERTIN, P.; KINET, J.M.; BOUHARMONT, J. Evaluation of chilling sensitivity in different Rice varieties. Relationship between screening procedures applied during germination and vegetative growth. **Euphytica**, Dordrecht, v.89, p.201-210, 1996.

BONOW, S.; PINHO, E. V. R. V.; SOARES, A. A.; SIÉCOLA JÚNIOR, S. Caracterização morfológica de cultivares de arroz visando a certificação da pureza varietal. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 619-627, maio/jun., 2007.

BOTELHO, C. O Arroz. **Typografia Levi**, 525 p. 1914.

BOSETTI, F. Diversidade genética em germoplasma de arroz japonês utilizando marcadores moleculares e agromorfológicas. **Tese** (Doutorado) Genética e Melhoramento de Plantas. Piracicaba. 2012.

BRASIL. Decreto nº 2.366, de 5 de novembro de 1997. Regulamentada a lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997, que institui a Proteção de Cultivares, dispõe sobre o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares – SNPC, e dá outras providências.

**Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 216, p. 25333 – 25354, 7 nov. 1997. Seção 1, Edição comum.

BRESEGUELLO, F.; COELHO, A.S.G.; **Traditional and Modern Plant Breeding Methods with Examples in Rice (*Oryza sativa* L.)**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, American Chemical Society. 2013. Chap. 61, p. 8277–8286.

CASTILLO, D.; ALVARADO, J. R. Caracterización de germoplasma de arroz para tolerancia a frio em la etapa de germinación. **Agricultura Técnica**, Chillan, v. 62, n. 4, p. 596 – 605, 2002.

CASTRO, E. M.; BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P.H.; MORAES, O.P. Melhoramento do arroz. In: Borém, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. UFV, Viçosa, p. 95-130. 1999.

CHIES, T. T. DE S.; LONGHI-WAGNER, H.M. Polimorfismo morfológico. In: FREITAS, L. B.; BERED, F. (Orgs) **Genética e evolução vegetal**. P. 291-309, 2003.

CHANG, T.; BARDENAS, E. A. The morphology and varietal characteristics of the rice plant. **Technical Bulletin 4**. December, 1965

CONAB 2020. Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos: Sexto Levantamento – Março/ 2020. Disponível em:  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_03\\_10\\_09\\_00\\_11\\_boletim\\_graos\\_agosto\\_2020.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_10_09_00_11_boletim_graos_agosto_2020.pdf). Acesso em: 22 de setembro de 2020.

CRUZ, R.; MILACH, S.C.K. Melhoramento genético para tolerância ao frio em arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 30, n.5, p. 909-917, 2000.

CRUZ, R.; MILACH, S.C.K. Cold tolerance at the germination stage of Rice: methods of evaluation and characterization of genotypes. **Scientia Agricola**, v.61, n.1, p.1-8, 2004.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, R. P. da; SPEROTTO, R. A.; CARGNELUTTI, D.; ADAMSKI, J. M.; TERRA, T. de F.; FETT, J. P. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. **Food Energy Secur**, v. 2, n. 2, p. 96-119, 2013.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/> Acessado em: 10 de Outubro de 2020.

FONSECA, J. R.; CASTRO, E. da M. de; SILVEIRA, P. M. da. Características botânicas e agronômicas de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). Embrapa Arroz e Feijão, **Documentos 130**, ISSN 1516-7518, Santo Antônio de Goiás, Dezembro, 2001

FONSECA, J.R.; BRONDANI, C.; BRONDANI, R.P.V.; RANGEL, P.H.N. Recursos genéticos. In: **A cultura do arroz no Brasil**. SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. (eds). 2 ed. ver. Ampl. – Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 285-320.

GOMES, A. S.; MAGALHÃES JR., A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 899p.

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, v. 27, p. 857-871, 1971.

GUIMARÃES, C. M.; FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Como a planta de arroz se desenvolve. Arquivo do Agrônomo, **Potafós**, vol. 13, 2002

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Gráficos anuais. Disponível em: <http://tempo.inmet.gov.br/GraficosAnuais/A887>. Acessado em: 31 de Dezembro de 2020.

IRRI. Catalogo f descriptors for Rice (*Oryza sativa* L.). Manila: IRRI: IBPGR, 1980. 21p.

JONES, D. B.; PETERSON, M. L. Rice seedling vigor at sub-optimal temperatures. **Crop science**, v. 16, p. 102-105, 1976.

KARIA, C. T. **Caracterização genética e morfoagronômica de germoplasma de *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) SW**. Tese (Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

LI, T. G.; VISPERAS, R. M.; VERGARA, B. S. Correlation of cold tolerance at different growth stages in Rice. **Acta Botanica Sinica**, Beijing, v.23, p.203 – 207, 1981.

LONDO, J.; SCHAAL, B. Origins and population genetics of weedy red Rice in the USA. **Molecular Ecology**, v. 16, p. 4535 – 4523. 2007.

LOU, Q. J.; CHEN, L.; SUN, Z. X.; XING, Y.Z.; LI, J.; XU, X.Y.; MEI, H.W.; LUO, L.J. A major QTL associated with cold tolerance at seedling stage in Rice (*Oryza sativa* L.). **Euphytica**, n. 158, p. 87-94. 2007.

MACKILL, D.J.; LEI, X. Genetic variation for traits related to temperate adaptation of Rice cultivars. **Crop Science**, v. 37, p. 1340-1346, 1997.

MAGALHÃES JR., A. M. de; FAGUNDES, P. R.; FRANCO, D. F. Melhoramento genético, biotecnologia e cultivares de arroz irrigado. In: MAGALHÃES JR. de, A. M.; GOMES, A. Da S. Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognóstico climático. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: **Documentos**, 113).

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; OLIVEIRA, A. C. Arroz. In: **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Rosa Lia Barbieri; Elisabeth Regina Tempel Stumpf – Editores Técnicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.187-218, 2008.

MELO, L.F. Divergência genética em subamostras de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) por meio de marcadores agromorfológicos e microssatélites. **Dissertação**. Universidade Federal Do Piauí. p. 106, 2011.

MORISHIMA, H. et al. Evolutionary studies in cultivated rice and its wild relatives. **Oxford Surveys in Evol. Biol.** v.8, p.135-184,1992.

MONZÓN, D. L. R. Variabilidade genética de germoplasma de arroz (*Oryza sativa* L.) para tolerância ao frio na germinação. **Tese** (Doutorado). Universidade Federal de Pelotas. P. 111. 2015.

MUTHAYYA, S. et al. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1324, n. 1, p. 7-14, 2014.

MCCOUCH, S. R. Diversifying selection in plant breeding. **Plos Biology**, v. 2, p. 1507-1512, 2004.

McKERSIE, B. D. Chilling stress. Disponível em: <<http://www.agronomy.psu.edu/courses/AGRO518/CHILLING.htm>> Acesso em: 26 de Setembro de 2020.

NANDA, J. S.; SESHU, D. V. Report of a Rice cold tolerance workshop. Los Baños: International Rice Research Institute, 1979. **Breeding strategy for cold-tolerant rices**: p.91 -99.

NUNES, J. L. da S. Características do arroz. **Artigo**. Disponível em: [http://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/caracteristicas\\_361559.html](http://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/caracteristicas_361559.html). Acessado em: 05 de Outubro de 2020.

PEDROSO, B.A. Condições Climáticas. In: **Arroz Irrigado; Obtenção e manejo de cultivares**. Porto Alegre, Ed. Sagra, 3ª ed. 1989.

PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história**. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 2002, 226p.

RAIMONDI, J. V.; MARSCHALEK, R.; NODARI, O. Genetic base of paddy Rice cultivars of southern Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v. 14, p. 194 – 199, 2014.

RANGEL, P.H.N.; GUIMARÃES, E.P.; NEVES, P.C.F.N. **Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado no Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.31, n.5, p.349-357, 1996.

SANGUERA, R. S.; WANI, S. H.; HUSSAIN, W.; SINGH, N. B. Engineering Cold Stress Tolerance in Crop Plants. **Current Genomics**, v. 12, p. 30-43. 2011.

SILVA, M. V. **O melhoramento do arroz em Portugal**. Vida Agrícola, Lisboa, v.19, não paginado, 1956.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz irrigado: recomendações técnicas de pesquisa para o Sul do Brasil. **XXXII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**, 2018. Cachoeirinha. 205p.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n. 1, p. 30-40, 1962.

STHAPIT, B.R.; WITCOMBE, J.R. Inheritance of tolerance to chilling stress in Rice during germination and plumule greening. **Crop Science**, v.38, p. 660-665, 1998.

TORO, E. A. T. Avaliação de linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.) suscetíveis e tolerantes a baixas temperaturas em cruzamentos dialélicos parciais. 2006. 143 f. **Tese** (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, São Paulo: USP, 2006.

VAUGHAN, D.A. **The genus *Oryza* L.** Current status of taxonomy. Philippines: IRRI Research Paper Serial, Number 138. 1989.

WALTER, L. C.; STRECK, N.A.; ROSA, H.T.; MENEGASSI, C.A.; KRÜGER, B. Mudança climatic e seus efeitos na cultura do arroz. **Ciência Rural**. V.40, n. 11, p.2411-2428, 2010.

YE, C.; FUKAI, S.; GODWIN, D.I.; REINKE, R.; SNELL, P.; SCHILLER, J.; BASNAYAKE, J. Cold tolerance in rice varieties at different growth stages. **Crop Pasture Science**, v.60, p.1-11.2009.

YE, H.; DU, H.; TANG, N.; LI, X.; XIONG, L. Identification and expression profiling analysis of TIFY family genes involved in stress and phytohormone responses in rice. **Plant Mol Biol**, v. 71, p. 291-305, 2009.

YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. Los Baños: **International Rice Research Institute**, cap. 1, p. 1 – 63. 1981.

YOSHIDA, M.; ABE, J.; MORIYAMA, M.; SHIMOKAWA, S. ANDE NAKAMURA, Y. Seasonal changes in the physical state of crown water associated with freezing tolerance in winter wheat. **Physiologia Plantarum**, n.99, p.363-370. 1997.

### 3. CAPÍTULO II

#### CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO

**RESUMO** – Considerando-se a necessidade no incremento da variabilidade genética nos programas de melhoramento genético de arroz irrigado no Brasil, este trabalho teve como objetivo a caracterização fenotípica de acessos de arroz irrigado selecionados para tolerância ao frio e a estimativa de suas distâncias genéticas através da utilização de análises multivariadas. Foram caracterizados fenotipicamente 22 acessos de arroz irrigado quanto a 35 descritores morfofisiológicos, sendo 14 de herança quantitativa e 21 de herança qualitativa. Os caracteres avaliados discriminaram via distância genética todos os acessos em um total de 4 grupos distinguíveis entre si. Para os caracteres qualitativos discriminou-se 3 grupos distintos através do dendrograma. Portanto, evidenciou-se pela caracterização fenotípica via análise multivariada que os genótipos em estudo demonstraram ampla base genética, evidenciando variabilidade fenotípica para incremento nas bases genéticas dos programas de melhoramento genético da cultura e, posteriormente, obtenção e seleção de progênies superiores geneticamente.

**Palavras-chaves:** Caracteres fenotípicos; variabilidade genética; dissimilaridade genética.

### 3. CHAPTER II

## MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF IRRIGATED RICE GENOTYPES

**ABSTRACT** - Considering the need to increase genetic variability in irrigated rice breeding programs in Brazil, this work aimed at the phenotypic characterization of irrigated rice accessions selected for cold tolerance and the estimation of their genetic distances through the use of multivariate analyzes. 22 accessions of irrigated rice were phenotypically characterized by 35 morphophysiological descriptors, being 14 of quantitative inheritance and 21 of qualitative inheritance. The evaluated characters discriminated via genetic distance all accesses in a total of 4 groups distinguishable from each other. For qualitative characters, 3 distinct groups were discriminated through the dendrogram. Therefore, it was evidenced by the phenotypic characterization via multivariate analysis that the genotypes under study demonstrated a broad genetic basis, showing phenotypic variability to increase the genetic bases of the breeding programs of the culture and, later, obtaining and selecting genetically superior progenies.

**Key words:** Phenotypic characters; Genetic variability; Genetic dissimilarity.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.), desde os últimos milênios, vem exercendo papel fundamental na alimentação humana, fornecendo energia, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais. É caracterizado como principal alimento para mais da metade da população mundial, destacando-se, principalmente, nos países em desenvolvimento, nos quais, desempenha função estratégica nos níveis econômicos e sociais (WALTER et al., 2008).

Devido ao processo evolutivo que auxiliou sua adaptação às diferentes condições edafoclimáticas o cereal é cultivado nos mais diversos ecossistemas (TERRA et al., 2013). O plantio do arroz utiliza uma extensa área geográfica, apresentando amplo cultivo pelo mundo estendendo da latitude 50°N até 40°S (JULIANO et al., 1993), onde as baixas temperaturas podem ser prejudiciais ao desenvolvimento da planta ocorrendo em um ou vários estádios causando diversos danos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e moleculares (SANGUERA et. al., 2011; CRUZ et. al., 2013). Pela sua importância agrônômica, econômica e social, programas de melhoramento buscam o desenvolvimento de genótipos superiores com caracteres agrônômicos, industriais e culinários de interesse, e ainda elevado desempenho produtivo, que atendam às necessidades e preferência dos consumidores (TERRES et al., 2004).

Um dos principais objetivos de qualquer programa de melhoramento genético é desenvolver genótipos mais produtivos, com resistência a fatores bióticos e abióticos e, desta forma, incrementar a produção. Para isto, a rotina dos melhoristas de plantas consiste em criar e ampliar variabilidade, selecionar genótipos desejáveis e testá-los em diferentes ambientes, para um ajuste que permita a expressão máxima do seu potencial. Assim, o melhoramento genético tem desempenhado um importante papel no progresso do arroz, pois possibilita aos agricultores o cultivo de constituições genéticas de alto potencial produtivo e com caracteres agrônômicos de interesse na cadeia produtiva (BERTAN, 2005).

Os estudos de distância genética têm sido de grande importância em programas de melhoramento que envolve hibridações, por fornecerem parâmetros para a identificação de genitores que possibilitem grande efeito heterótico na progênie e maior probabilidade de selecionar genótipos superiores nas gerações segregantes (CRUZ e REGAZZI, 2012). Tal expectativa decorre do fato que,

segundo Falconer (1981), a heterose e a capacidade específica de combinação entre dois genitores dependem da existência de dominância no controle do caráter e da presença de variabilidade genética entre os genitores.

Para o conhecimento da variabilidade genética existente entre os acessos, é necessária a caracterização dos mesmos, ou seja, que suas características morfológicas, fenológicas, fisiológicas, agrônomicas e moleculares sejam identificadas e registradas, por meio de descritores específicos (FONSECA et al., 2006; VIEIRA, 2007).

O emprego de caracteres morfofisiológicos em estudos de distância genética é um dos procedimentos mais utilizados pelos melhoristas de plantas, pelo fato de que as informações morfofisiológicas dos genótipos utilizados pelos programas de melhoramento são continuamente obtidas nos testes para caracterização e avaliação da adaptabilidade, estabilidade e potencial de produtividade. Com essas informações é possível estimar a distância genética entre os genótipos disponíveis para melhoramento, sendo muito empregado como subsídio na escolha das combinações híbridas mais promissoras, capazes de gerar recombinantes com variabilidade superior (BERTAN, 2005).

A caracterização morfofisiológica é uma ação de pré-melhoramento, onde dados obtidos juntamente com a produtividade e outras características de interesse agrônomico são reunidos, podendo auxiliar na escolha de genitores com as características favoráveis para o desenvolvimento de linhagens (MORAIS et al., 2006), além de permitir a discriminação relativamente fácil entre os fenótipos, fornecendo as primeiras estimativas de variabilidade dentro de coleções de germoplasmas. Essa caracterização é fundamental para identificação do germoplasma, fornecendo uma medida da integridade genética dos acessos que estão sendo conservados. Pode, também, fornecer informações úteis para o manejo do germoplasma em coleções, por meio de descritores, como, por exemplo, hábito de crescimento, período de floração, maturação e ciclo total. A caracterização morfológica desempenha papel preponderante por eliminar duplicatas, reduzir custos de manutenção e identificar acessos desejáveis em programas de melhoramento genético (BURLE, 2010).

Outro fato relevante está na questão da caracterização fenotípica de genótipos tolerantes ao frio, pois as baixas temperaturas causam diversos fatores

prejudiciais a planta de arroz. Visualmente o frio causa várias modificações na planta como má exseração da panícula, baixo perfilhamento, desenvolvimento lento da cultura, aumento da esterilidade das espiguetas, deformação dos ápices das panículas e emissão muito lenta da mesma (TERRES, 1991).

A caracterização morfológica utiliza descritores mínimos da cultura do arroz estabelecidos pela SNPC, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 1997) e indicados pelo IRRI - *International Rice Research Institute* (1980). O uso de recursos genéticos de arroz disponíveis em bancos de germoplasma é uma estratégia importante para a incorporação de variabilidade genética em programas de melhoramento genético, o que pode potencialmente gerar novas cultivares com base genética ampliada. Ademais, permite a obtenção de novas combinações alélicas, sendo úteis aos melhoristas (MCCOUCH, 2004).

A caracterização morfológica é à base de todo e qualquer estudo, uma vez que a primeira determinação de um indivíduo começa pelo seu fenótipo, aspecto geral do ponto de vista morfológico (CHIES; LONGHI-WAGNER, 2003). Aponta-se como forma de prever a variabilidade genética, a estimativa de distância genética entre os genótipos (HOSANS *et al.*, 2010), com acompanhamento da utilização de estatísticas multivariadas, revelando uma promissora possibilidade de sintetização de diversas variáveis através de apenas um agrupamento. Dentre as técnicas multivariadas que são empregadas como criteriosas para escolha de genitores estão às medidas de distância genética com base em caracteres fenotípicos.

Neste contexto, a busca de genótipos com tolerância ao frio para utilização no Brasil com incremento de variabilidade genética dentro dos programas de melhoramento é de extrema importância. Logo, este trabalho objetivou avaliar acessos de arroz irrigado de diversas localidades do mundo quanto aos caracteres morfofisiológicos e estimar as suas distâncias genéticas para discriminação de acessos com a utilização de análises multivariadas.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido à campo (Figuras 1 e 2), na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado no município de Capão do Leão (latitude S 31°48'59" e longitude O 52°27'48).



**Figura 5.** Visão geral das parcelas no experimento na fase inicial de estabelecimento.

Fonte: Michele Feijó



**Figura 6.** Área experimental utilizada para a caracterização morfofisiológica.

Fonte: Michele Feijó

O modelo utilizado para a obtenção da caracterização agrônômica foi os descritores mínimos para a cultura do arroz irrigado, obtidos de dados e informações de condução e avaliação dos genótipos do programa de melhoramento.

Na Tabela 2 apresentam-se os genótipos de arroz irrigado utilizados no experimento para a fenotipagem e submissão ao estresse por frio (Capítulo III).

**Tabela 2.** Acessos de arroz irrigado caracterizados fenotipicamente com as respectivas origens. Pelotas-RS, 2021.

<b>Nº</b>	<b>Nome dos genótipos</b>	<b>País de Origem</b>	<b>Subespécies</b>
1	Ta Hai	China	<i>Japonica</i>
2	Chi Nwei Kang Li	China	<i>Japonica</i>
3	AGOSTANO	Itália	<i>Japonica</i>
4	MUSHKAN 41	Bangladesh	<i>Japonica</i>
5	Jen Ching	China	<i>Japonica</i>
6	Hsiao Fang Chu	China	<i>Japonica</i>
7	Ai Yeh Lu	China	<i>Japonica</i>
8	BRS Pampa	Brasil	<i>Indica</i>
9	Hokkajdo	Rússia Federativa	<i>Japonica</i>
10	Chokoto	Japão	<i>Japonica</i>
11	COLOMBIA 1	Colômbia	<i>Indica</i>
12	KULU	Austrália	<i>Indica</i>
13	IRAT 111	Costa do Marfim	<i>Japonica</i>
14	Tsao Sheng Hsu	China	<i>Japonica</i>
15	Chi Liang Hao	China	<i>Japonica</i>
16	Ai Chih Hsu	China	<i>Japonica</i>
17	Pien Chan Ying Tao	China	<i>Japonica</i>
18	Hung Chiao Ju	China	<i>Indica</i>
19	Ge Shen Huar	China	<i>Japonica</i>
20	BRS Pampeira	Brasil	<i>Indica</i>
21	Bantia	Libéria	<i>Japonica</i>
22	San Jou	China	<i>Japonica</i>

A experimentação foi conduzida sob delineamento de blocos inteiramente casualizados com cinco repetições, sendo considerada uma planta a unidade experimental. A adubação de base foi de 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (fórmula 05-20-20) e 90 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de ureia, aplicada 50% da dose no estágio V4 e o restante no estágio R0 (diferenciação do primórdio floral). O controle de plantas daninhas no experimento foi realizado através da aplicação de herbicidas

recomendados para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2018) O sistema de irrigação foi por inundação permanente até o estágio final de maturação dos genótipos.

Foram utilizados 35 descritores morfológicos, sendo 21 caracteres de herança qualitativa e 14 caracteres de herança quantitativa (Tabela 3), de acordo com o *International Rice Research Institute* (IRRI). Também será apresentado os descritores mínimos no formato em texto, demonstrando como os caracteres foram mensurados e avaliados.

**Tabela 3.** Relação de descritores utilizados na análise morfofisiológica dos acessos de arroz irrigado. Pelotas-RS, 2021.

<b>SIGLA</b>	<b>CARACTERES QUALITATIVOS</b>	<b>SIGLA</b>	<b>CARACTERES QUANTITATIVOS</b>
CF	Cor da folha	Alt	Altura (cm)
PF	Pubescência da folha	Ccol	Comprimento de colmo (cm)
CA	Coloração da aurícula	DC	Diâmetro do colmo (cm)
CL	Coloração da lígula	CP	Comprimento de panícula (cm)
AFB	Ângula da folha bandeira	DAF	Dias até a floração (dias)
AP	ângula dos perfilhos	Cic	Ciclo (dias)
CI	Coloração dos internódios	MP	Massa de panícula (g)
CAN	Coloração de antocianina	NGP	Número de grãos por panícula
TP	Tipo de panícula	NEE	Número de espiguetas estéreis
EP	Exserção da panícula	MMG	Massa de mil grãos (g)
ARI	Arista	CC	Comprimento de cariopse (mm)
PG	Pubescência das glumelas	LC	Largura de cariopse (mm)
CAF	Coloração do ápulo na floração	EC	Espessura de cariopse (mm)
CAM	Coloração do ápulo na maturação	RCLC	Relação entre comprimento e largura de cariopse
CG	Coloração das glumelas		
CGE	Coloração das glumas estéreis		
DEG	Degrane		
FC	Forma da cariopse		
CC	Coloração da cariopse		
CFB	Comprimento da folha bandeira (classe)		
LFB	Largura da folha bandeira (classe)		

Os caracteres quantitativos analisados foram todos avaliados através de mensurações: altura de plantas (Alt) (cm), comprimento do colmo (CCol) (cm), diâmetro do colmo (DC) (mm), comprimento de panícula (CP) (cm), dias até a

floração (DAF), ciclo cultural (Cic) (dias), massa de panícula (MP) (g), número de grãos por panícula (NGP), número de espiguetas estéreis (NEE), massa de mil grãos (MMG) (g), comprimento da cariopse (CC) (mm), largura da cariopse (LC) (mm), espessura da cariopse (EC) (mm), relação entre comprimento e largura da cariopse (RCLC).

Os caracteres qualitativos foram avaliados mediante classes fenotípicas sendo: cor da folha (CF) (1 - verde claro, 2 - verde, 3 - verde escuro, 4 - púrpura na ponta, 5 - púrpura na margem, 6 - púrpura, 7 - púrpura na bainha), pubescência da folha (PF) (1 - ausente, 2 - escassa, 3 - média, 4 - forte), coloração da aurícula (CAu) (0 - ausente, 1- esbranquiçada, 2- verde-amarelada, 3 - púrpura, 4 - púrpura-clara, 5 - linhas púrpuras), coloração da lígula (CL) (0 - ausente, 1- esbranquiçada, 2- verde-amarelada, 3 - púrpura, 4 - púrpura-clara, 5 - linhas púrpuras), ângulo da folha bandeira (AFB) (1- ereto, 3 - intermediário, 5 - horizontal, 7 - decumbente), ângulo dos perfilhos (AP) (1 - ereto, 3 - semi-ereto, 5 - aberto, 7 - bem aberto, 9 - procumbente), coloração do internódio (CI) (1 - verde claro, 2 - dourado, 3 - estrias púrpuras, 4 - púrpura), coloração de antocianina (CA<sub>n</sub>) (1 - ausente, 2 - fraca, 3 - média, 4 - forte, 5 - muito forte), tipo de panícula (TP) (1 - compacta, 3 - semi-compacta, 5 - aberta, 7 - horizontal, 9 - inclinada), exserção da panícula (EP) (1- inclusa, 3 - parcialmente exposta, 5 - exposta, 7 - moderadamente bem exposta, 9 - bem exposta), arista (Ar) (0 - ausente, 1 - parcialmente, 3 - totalmente aristado), pubescência das glumelas (PGI) (1 - lisa, 2 - fraca, 3 - média, 4 - forte, 5 - muito forte), coloração do ápulo na floração (CAF) (1 - branca, 2 - palha, 3 - marrom, 4 - verde, 5 - vermelho, 6 - vermelho ápice, 7 - púrpura, 8 - púrpura ápice, 9 - preta), coloração do ápulo na maturação (CAM) (1 - branca, 2 - palha, 3 - marrom, 4 - verde, 5 - vermelho, 6 - vermelho ápice, 7 - púrpura, 8 - púrpura ápice, 9 - preta), cor das glumelas (CGI) (1 - amarelo palha, 2 - dourada, 3 - manchas marrons, 4 - estrias marrons, 5 - marrom, 6 - avermelhada, 7- manchas púrpuras, 8 - estrias púrpuras, 9 - púrpura, 10 - preta), cor das glumas estéreis (CGE) (1- palha, 2- dourada, 3 - vermelha, 4 - púrpura), degrane (Deg) (1 - difícil, 2 - intermediário, 3 - fácil), forma da cariopse (FC) (1 - arredondada, 2 - semi-arredondada, 3 - meio-alongada, 4 - alongada, 5 - muito-alongada), coloração da cariopse (CCar) (1- branca, 2 - pardo-clara, 3 - parda, 4 - vermelha, 5 - púrpura), comprimento da folha bandeira (CFB) (1 - muito curta- < 21cm, 3 - curta- ~30cm, 5 - média- ~50cm, 7 -

longa- ~70cm, 9 - muito longa- > 80cm), largura da folha bandeira (LFB) (3 – estreita- < 1cm, 5 - intermediária, 3 – larga- > 2cm).

Os caracteres de herança genética quantitativa obtidos foram submetidos à análise estatística de variância univariada. Após, os dados passaram por análises multivariadas, em que, primeiramente foram obtidas as medidas de dissimilaridade pela distância Euclidiana Padronizada média entre duas plantas (matrizes)  $X_{ik}$  e  $X_{jk}$ ,  $i \neq j$ , estimada pela Equação abaixo.

$$d_{ij} = \sqrt{\left\{ \sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2 \right\}}$$

A medida de dissimilaridade define-se como a raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre os pares de matrizes (i e j) sobre os caracteres, correspondente à expressão matemática, em que  $X_{ik}$  é o valor do caráter k referente à matriz i e  $X_{jk}$  representa o mesmo caráter k para a matriz j.

Os dados foram padronizados pelo método do desvio padrão 1. Com base nas matrizes de distâncias genéticas geradas, foi construído o dendrograma, utilizando o método de agrupamento das médias das distâncias (UPGMA). Para a estimativa do ajuste entre a matriz de dissimilaridade e o dendrograma gerado foi calculado o coeficiente de correlação cofenética (CCC) (SOKAL; ROHLF, 1962), obtida por Equação 2:

$$CCC = \frac{Cov(F, C)}{\sqrt{V(F)V(C)}} \quad (2)$$

sendo,  $F$  = matriz fenética;  $C$  = matriz cofenética.

Para os dados qualitativos avaliados adotou-se uma medida de dissimilaridade única para todos os tipos de caráter, mas que apresentaram mesmo intervalo de definição. Para isto Gower (1971) propôs um coeficiente geral de similaridade que é aplicável simultaneamente aos vários tipos de caracteres. Assim, foram obtidos valores de similaridade, para o par de indivíduos i e i', para cada par

de caracteres, denotado por  $S_{ij'k}$  de forma que a similaridade entre  $i$  e  $i'$  seja dada por Equação 3:

$$S_{ij'k} = \frac{\sum_{k=1}^p W_{ijk} \times S_{ijk}}{\sum_{k=1}^p W_{ijk}} \quad (3)$$

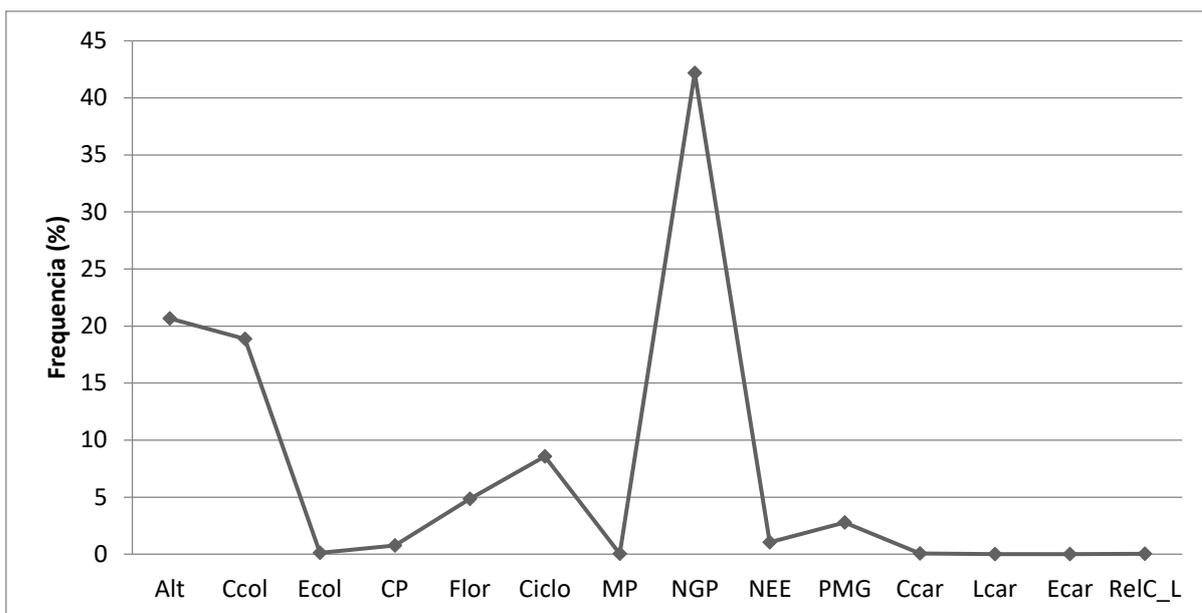
Sendo,  $K$  = número de caracteres ( $k = 1, 2, \dots, p$ );  $i$  e  $j$  = dois indivíduos que representem o acesso;  $W_{ijk}$  = peso dado à comparação  $ijk$ , atribuindo valor 1 para comparações válidas e valor 0 para comparações inválidas (quando o valor do caráter está ausente em um ou ambos indivíduos);  $S_{ijk}$  = contribuição do caráter  $k$  na similaridade entre os indivíduos  $i$  e  $j$ , com valores entre 0 e 1. Para um caráter qualitativo (nominal), se o valor do caráter  $k$  é o mesmo para ambos os indivíduos,  $i$  e  $j$ , então  $S_{ijk} = 1$ , caso contrário, é igual a 0.

A partir da matriz de similaridade, obteve-se a matriz de dissimilaridade, na qual se alocou os acessos em grupos de modo hierárquico, pela ligação média entre grupo (UPGMA), verificando-se o coeficiente de correlação cofenética.

Os procedimentos estatísticos foram processados através do aplicativo computacional em genética e estatística, GENES (CRUZ, 2013).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A contribuição relativa dos caracteres quantitativos para a dissimilaridade genética dos acessos de arroz (Figura 3), através da distância Euclidina Padronizada segundo Singh (1981), demonstrou que os caracteres número de grãos por panícula, altura de planta e comprimento de colmo, foram os que mais discriminaram o grupo de acessos analisados, com 42,17%; 20,65% e 18,87%, respectivamente. Estes três caracteres demonstraram uma maior discriminação destes acessos com uma contribuição acima de 50%. No entanto, os demais caracteres também contribuíram significativamente, porém com menor magnitude.



**Figura 7.** Contribuição relativa dos caracteres quantitativos para dissimilaridade genética de 22 acessos de arroz irrigado.

Alt- altura de plantas; Ccol – comprimento do colmo; Ecol – espessura do colmo; CP – comprimento de panícula; Flor – floração; Ciclo – ciclo cultural; MP – massa de panícula; NGP – número de grãos por panícula; NEE – número de espiguetas estéreis; PMG – peso de mil grãos; Ccar – comprimento da cariopse; Lcar – largura da cariopse; Ecar – espessura da cariopse; RelC\_L – relação entre comprimento e largura da cariopse.

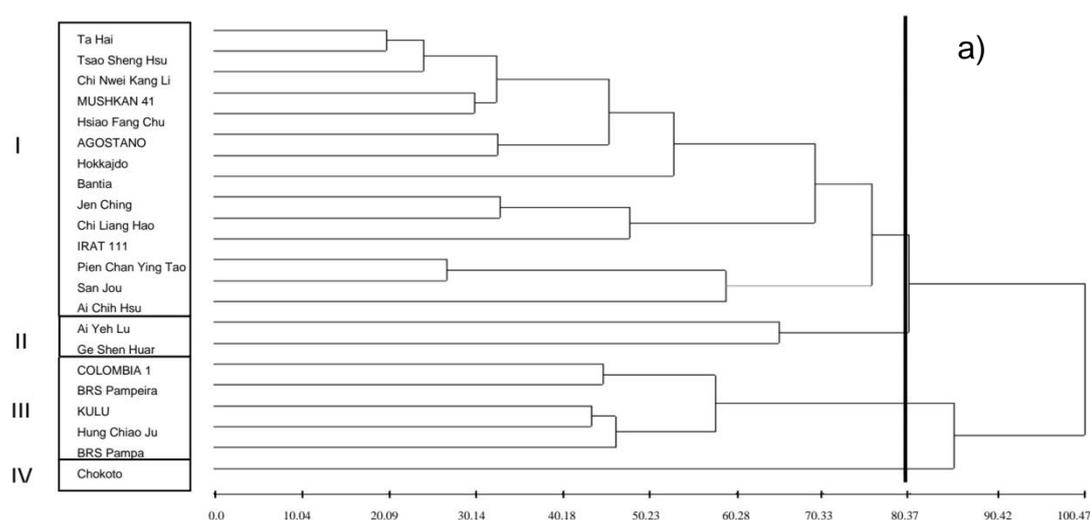
O ciclo variou de 110 a 146 dias, contribuindo com 8,56% para a divergência genética entre os acessos. O caráter ciclo pode ser determinante na produção de arroz no Rio Grande do Sul, no qual cultivares de longo ciclo normalmente sofrem com o estresse por frio na fase reprodutiva (CRUZ e MILACH, 2000). Cultivares desenvolvidas com constituições genéticas que resultem em ciclo menor podem amenizar os efeitos causados por estresses bióticos e abióticos, uma vez que cultivares de menor ciclo permanecem por um tempo menor no campo, minimizando os efeitos prejudiciais do frio.

A variável altura de planta (Alt) variou de 82,4 cm a 155,5 cm, contribuindo com 20,65% para a divergência genética entre os acessos. A altura em plantas de arroz é extremamente importante, plantas muito alta tendem ao acamamento, além de dificultar o desenvolvimento das panículas ocasionado pelo excesso de fotoassimilados utilizados para o desenvolvimento vegetativo da planta (SANTIAGO; BRESEGHELLO; FERREIRA, 2013).

A variável número de grãos por panícula (NGP) apresentou a maior discriminação dentre todas as variáveis avaliadas, sendo uma contribuição relativa de 42,17%. Os genótipos do grupo *japonica* foram os que mais obtiveram grãos nas panículas, ocasionado pelo difícil degrane da panícula. Os genótipos que apresentaram maior NGP foram Chi Liang Hao (140 grãos/pan.) e Ai Chih Hsu (117 grãos/pan.).

O dendrograma obtido pela distância Euclidiana Padronizada (Figura 8) estabeleceu quatro grupos distinguíveis entre si quanto às distâncias genéticas presentes, a partir da contribuição relativa dos caracteres avaliados. O coeficiente de correlação cofenético (CCC) foi de 0,8639 sendo maior que 0,7 preconizado para o método de agrupamento adequado.

O grupo I foi formado por 14 acessos pertencentes à subespécie *japonica*, que apresentam grãos curtos e arredondados. Além disso, destacam-se acessos de grãos intermediários, que encontra-se nesse grupo, sendo um acesso italiano (genótipo AGOSTANO) explicado pelo fato de seu consumo ser realizado na forma de “risoto”. No entanto, as variedades BRS Pampa e BRS Pampeira plantadas no Rio Grande do Sul são da subespécie *indica*, que apresentam grãos longos e finos definidos pelos padrões de qualidade e preferência nacional.



**Figura 8.** Dendrograma obtido a partir das distâncias Euclidiana Padronizada quanto aos caracteres quantitativos de 22 acessos de arroz, pelo Método de Ligação entre Grupos (UPGMA)

a) Medida de similaridade média entre grupos = 79,7412.

Os genótipos Ta Hai e Tsao Sheng Hsu obtiveram maior similaridade dentre os demais genótipos, ou seja, entre esses genótipos houve menor distância genética de 0,0933. Isso, por que ambos continham similaridade entre suas plantas como ciclo de 120 dias e 121 dias para Tsao Fang Chu e Ta Hai, respectivamente. Além de apresentarem um porte de planta menor, com altura variando de 89,2cm a 93,8cm.

No entanto, os genótipos Chokoto (grupo IV) e Ai Chih Hsu (grupo I) apresentaram menor similaridade, com uma distância genética de 0,6447. O genótipo Chokoto foi o que apresentou maior altura (155,5 cm) e comprimento de grão (8,54 mm), assim como o genótipo Ai Chih Hsu apresentando o maior ciclo (146 dias) entre todos os genótipos e maior peso de mil grãos (43,69 g). Logo, demonstra que existe variabilidade genética entre os genótipos cultivados e avaliados.

Plantas de porte alto como o genótipo Chokoto do grupo IV (155,5 cm) tem menor evapotranspiração ocasionado pelo porte e suas folhas decumbentes, no caso de plantas de porte baixo a evapotranspiração é maior devido à baixa estatura da planta e pelas folhas eretas. Outro fator está na resistência ao acamamento, ou seja, plantas de porte alto em condições de solos mais férteis tendem ao acamamento, prejudicando a colheita tanto em perdas de quantidade e especialmente de qualidade de grão. Plantas de porte alto geralmente são menos perfilhadoras e possui excesso de umidade que contribui na diminuição da capacidade de perfilhamento da planta (SANTIAGO; BRESEGHELLO; FERREIRA, 2013).

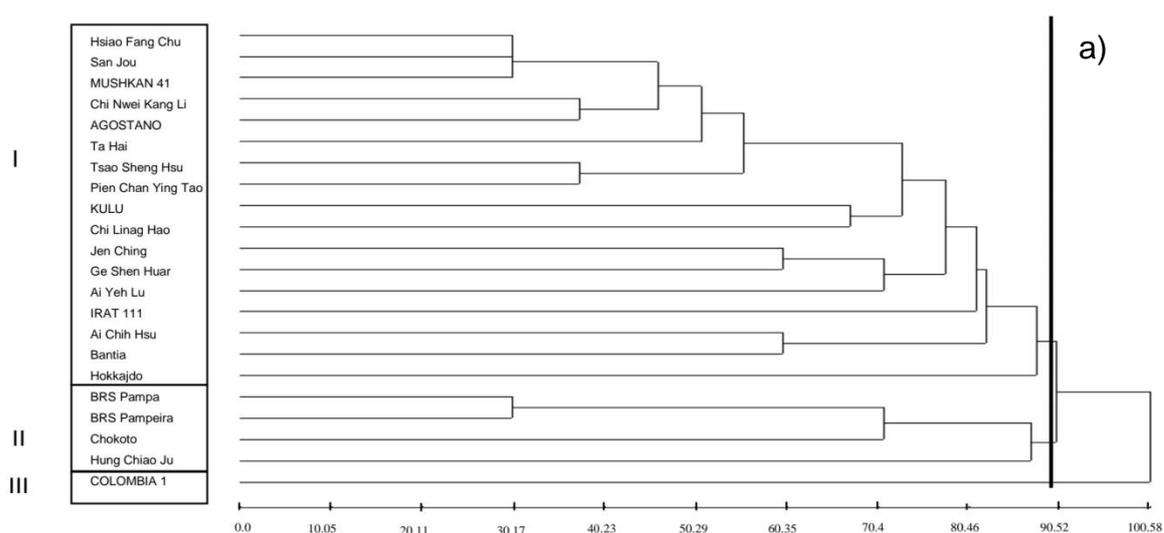
O grupo II foi representado por 2 acessos, o genótipo Ai Yeh Lu e o genótipo Ge Shen Huar apresentaram similaridade entre eles, ou seja, ambos são de porte alto com altura de plantas variando de 120 cm a 141 cm, assim como obtiveram tamanho de grãos bastante similares (comprimento de cariopse ~ 5,80 mm, largura de cariopse ~2,70 mm e espessura de cariopse ~1,80 mm).

O grupo III foi formado por 5 acessos, onde observa-se que a testemunha BRS Pampeira e o genótipo Colombia 1 apresentaram similaridade entre si, sendo que os ciclos de ambos variaram de 135 a 139 dias, porém a maior similaridade entre ambos está nos grãos longos e finos, no qual os dois genótipos apresentaram semelhanças de valores nas variáveis comprimento de cariopse

(~7,36 mm), largura de cariopse (~2,03 mm) e espessura de cariopse (~1,71 mm). Assim como, a testemunha BRS Pampa apresentou similaridade com os genótipos KULU e Hung Chiao Ju, tanto na variável ciclo onde ambos obtiveram um ciclo curto variando de 118 a 121 dias, quanto nas variáveis comprimento (~7,41 mm), largura (~2,04 mm) e espessura de cariopse (~1,67 mm) apresentaram similaridade entre esses genótipos.

Conforme pode-se observar no dendrograma da Figura 9 obtido pela distância Euclidiana Padronizada se estabeleceu três grupos distinguíveis entre si quanto às distâncias genéticas presentes, a partir da contribuição relativa dos caracteres avaliados. O coeficiente de correlação cofenético (CCC) foi de 0,7468 sendo maior que 0,7 preconizado para o método de agrupamento adequado.

O grupo I apresentou 17 acessos, tendo destaque para 3 genótipos que apresentaram menor distância genética, sendo eles: Hsiao Fang Chu, San Jou e MUSHKAN 41. Esses genótipos possuem folhas curtas, estreitas, pilosas e verdes, com grãos arredondados e de coloração branca. Em contrapartida, o genótipo de maior distância foi o Hokkajdo que apresentou as folhas mais curtas (~12,27 cm) dentre todos os acessos do grupo I, assim como aristas e afilhos bem eretos. Esses dois genótipos também demonstraram similaridade com as testemunhas avaliadas.



**Figura 9.** Dendrograma obtido a partir da matriz de dissimilaridade através dos caracteres qualitativos de 22 acessos de arroz, pelo Método de Ligação Média entre Grupos (UPGMA).

a) Medida de similaridade média entre grupos = 88,987.

O grupo II apresentou 4 genótipos, sendo 2 testemunhas a BRS Pampa e a BRS Pampeira que obtiveram similaridade entre elas, assim como apresentaram a menor distância genética dentro do grupo. A cultivar BRS Pampeira caracteriza-se por sua alta capacidade de perfilhamento e folhas pilosas, assim como os seus grãos são longo-finos “Aguilhina” e de alto rendimento de grãos inteiros (SOSBAI, 2018). E a cultivar BRS Pampa que é uma planta do tipo “moderno” de folhas pilosas, altura média de 96 cm, ciclo precoce (118 dias), boa tolerância ao acamamento, de grãos longos-finos, de casca pilosa clara com baixa incidência de centro branco (MAGALHÃES, 2012).

O genótipo Huang Chiao Ju apresentou maior dissimilaridade entre os demais genótipos do grupo II, pois seus caracteres qualitativos apresentaram uma planta de folhas muito largas (~12,54 mm), decumbentes e sem pilosidade. O acesso Chokoto também teve dissimilaridade, devido à coloração marrom das cariopses.

No grupo III obteve-se o genótipo com maior distância genética dentre todos os acessos avaliados, o genótipo Colombia 1. Sendo que o mesmo apresentou uma planta de folhas lisas e eretas, glumelas lisas, apículos vermelhos, com grãos médios-finos e de coloração marrom-claro.

Os agrupamentos da Figura 8 e Figura 9 fornecem parâmetros muito importantes para os programas de melhoramento genético. Pode-se observar que existe ainda uma ampla base genética nas cultivares de arroz irrigado. Streck et al. (2017) agrupou 92 acessos de arroz irrigado quanto à 35 descritores morfológicos, onde se observou que existe variabilidade fenotípica nos acessos avaliados, no entanto os genótipos cultivados no Rio Grande do Sul demonstraram estreita base genética.

### **3.4 CONCLUSÕES**

Este estudo mostrou variabilidade genética dentro dos acessos estudados de arroz irrigado, tanto para os caracteres quantitativos como para os caracteres qualitativos, apresentando genótipos promissores para futuros trabalhos de melhoramento genético. As análises multivariadas são fundamentais para a

caracterização de acessos de arroz irrigado, assim como, os descritores utilizados são adequados para a caracterização dos acessos de arroz irrigado.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTAN, I. *et al.* Morphological, pedigree, and molecular distances and their association with hybrid wheat performance. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 155-163, 2009.

BRASIL. Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997, que institui a Proteção de Cultivares, dispõe sobre o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, Sessão 1, nº 79, pg. 8241 a 8246. Abril, 1997.

BURLE, M. L.; OLIVEIRA, M. S. P. Manual de Curadores de Germoplasma – Vegetal: Caracterização Morfológica. Brasília – DF. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. 16p. 2010. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia: **Documentos**, 312).

CORDEIRO, A. C. C.; RANGEL, P. N. H. Avaliação de populações de arroz irrigado conduzidas por seleção recorrente em várzea de Roraima. **Revista Agroambiente**, v.5, n.3, p.182-187, 2011.

CRUZ, R.; MILACH, S.C.K. Melhoramento genético para tolerância ao frio em arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 30, n.5, p. 909-917, 2000.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, R. P. da; SPEROTTO, R. A.; CARGNELUTTI, D.; ADAMSKI, J. M.; TERRA, T. de F.; FETT, J. P. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. **Food Energy Secur**, v. 2, n. 2, p. 96-119, 2013.

FONSECA, J.R.; BRONDANI, C.; BRONDANI, R.P.V.; RANGEL, P.H.N. Recursos genéticos. In: **A cultura do arroz no Brasil**. SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. (eds). 2 ed. ver. Ampl. – Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 285-320.

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, v. 27, p. 857-871, 1971.

HOSANS. M. *etal.* Genetic divergence in landraces of Bangladesh rice (*Oryza sativa* L.). **The Agriculturists: A Scientific Journal of Krishi Foundation**, v. 8, n. 2, p. 28-34, 2010.

JULIANO, B. O. Rice in human nutrition. Los Baños: International Rice Research Institute and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1993. **Cap. 1: Introduction**: p.1 – 15.

LEITE, W. S.; PAVAN, B. E.; MATOS FILHO, C. H. A.; FEITOSA, F. S.; OLIVEIRA, C. B. Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres agrônômicos em genótipos de soja. **Nativa**, v.03, n.04, p.241-245, 2015.

MAGALHÃES JR., A. M. de; MORAES, O. P.; FAGUNDES, P. R. **BRS Pampa: Cultivar**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; OLIVEIRA, A. C. Arroz. In: **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Rosa Lia Barbieri; Elisabeth Regina Tempel Stumpf – Editores Técnicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.187-218, 2008.

MCCOUCH, S. R. Diversifying selection in plant breeding. **Plos Biology**, v. 2, p. 1507-1512, 2004.

MORAIS, O. P. de; RANGEL, P. H. N.; FAGUNDES, P. R. R.; CASTRO, E. da M. de; NEVES, P. de C. F.; CUTRIM, V. dos A.; PRABHU, A. S.; BRONDANI, C.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. Melhoramento genético. In.: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. **A Cultura do Arroz no Brasil**. Embrapa Arroz e Feijão, 2ª Ed. rev. ampl. p 257-288. Santo Antônio de Goiás, 2006.

SANGHERA, G. S.; WANI, S. H.; HUSSAIN, W.; SINGH, N. B. Engineering cold stress tolerance in crop plants. **Current Genomics**, v.12, p.30 -43. 2011.

SANTIAGO, C. M.; BRESEGHELLO, H. C. P.; FERREIRA, C. M. Arroz: O produtor pergunta, a Embrapa responde. **Revista e ampliada**. 2. Ed. Brasília, DF, 2013, 252 p.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 41, p. 237-245, 1981.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz irrigado: recomendações técnicas de pesquisa para o Sul do Brasil. **XXXII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**, 2018. Cachoeirinha. 205p.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n. 1, p. 30-40, 1962.

STRECK, E. A.; AGUIR, G. A.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; FACCHINELLO, P. H. K.; OLIVEIRA, A. C. Variabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado via análise multivariada. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, p. 101 – 109, 2017.

TERRA, T. G. R.; LEAL, T. C. A. B.; BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. Tolerância de linhagens de arroz de terras altas à seca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.2, p.201-208, 2013.

TERRES, A. L. Melhoramento de arroz irrigado para tolerância ao frio no Rio Grande do Sul – Brasil. In: REUNIÓN SOBRE MEJORAMIENTO DE ARROZ EM EL

CONO SUR, 1991, Goiânia. **Trabajos...** Montevideo: IICA – Procisur, p. 91 – 103, 1991.

TERRES, A. L. S.; FAGUNDES, P. R. R.; MACHADO, M. O.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. M.; NUNES, C. D. M. Melhoramento genético e cultivares de arroz irrigado. In: GOMES, A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Arroz irrigado**, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 899p.

VIEIRA, E. A.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Comparação entre medidas e distância genealógica, morfológica e molecular em aveia em experimentos com e sem a aplicação de fungicida. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 51-60, 2007.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. de. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, ISSN 0103-8478, v 38, n 4, p 1184-1192. Santa Maria, julho, 2008.

## 4. CAPÍTULO III

### TOLERÂNCIA AO FRIO NA GERMINAÇÃO DE GENÓTIPOS DE ARROZ IRRIGADO

**RESUMO** – O frio na cultura do arroz irrigado causa danos que podem reduzir significativamente a produtividade das lavouras. Levando em vista a representatividade da produção orizícola no sul do Brasil perante o cenário nacional, onde a ocorrência de eventos de frio durante o período de cultivo do arroz é frequente, especialmente durante o estágio inicial, a busca por cultivares mais tolerantes ao frio tem sido constante. Contudo, há uma grande dificuldade em encontrar genótipos adaptados que possibilite sua utilização direta como fonte de tolerância ao frio para o desenvolvimento de cultivares superiores. Observa-se que as cultivares da subespécie *japonica* tem maior tolerância ao frio, porém não apresentam os padrões agrônômicos nem de qualidade de grão visado pelos consumidores e pelo mercado nacional. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a tolerância ao frio em 22 genótipos das subespécies *indica* e *japonica* no período germinativo, através da utilização de câmaras de BOD com temperatura controle de 25°C por 7 dias e temperatura de estresse de 13°C por 28 dias, visando à comparação dos desempenhos relativos dos genótipos perante às baixas temperaturas. O experimento consistiu na avaliação do percentual germinativo das sementes, assim como do comprimento da parte aérea, comprimento da raiz principal e comprimento do coleóptilo. Os dados foram transformados em desempenho relativo e aplicou-se o ANOVA para demonstração de significância dos genótipos perante as temperaturas e o teste de agrupamento Scott Knott para discriminação das diferenças nos genótipos. Os resultados indicaram que a subespécie japônica apresentou maior tolerância ao frio, onde 4 genótipos destacaram-se no desempenho relativo para as temperaturas de 25°C e 13°C, os quais podem ser utilizados como fontes de desenvolvimento de cultivares com tolerância ao frio.

**Palavras-chaves:** tolerância a baixas temperaturas, variabilidade genética, *Oryza sativa* L.

## 4. CHAPTER III

### COLD TOLERANCE IN GERMINATION OF IRRIGATED RICE GENOTYPES

**ABSTRACT** - The cold in the irrigated rice crop causes damages that can significantly reduce the productivity of the crops. Taking into account the representativeness of rice production in southern Brazil in the national scenario, where the occurrence of cold events during the rice growing period is frequent, especially during the initial stage, the search for cultivars more tolerant to the cold has been constant. However, there is a great difficulty in finding adapted genotypes that allow its direct use as a source of cold tolerance for the development of superior cultivars. It is observed that the cultivars of the subspecies japonica have greater tolerance to the cold, however they do not present the agronomic nor quality standards of grain aimed by the consumers and by the national market. Thus, the objective of this work was to evaluate cold tolerance in 22 genotypes of the subspecies indica and japonica in the germination period, through the use of BOD chambers with a control temperature of 25°C for 7 days and a stress temperature of 13°C for 28 days, aiming to compare the relative performance of the genotypes under low temperatures. The experiment consisted of the evaluation of the germinative percentage of the seeds, as well as of the length of the aerial part, length of the main root and length of the coleoptile. The data were transformed into relative performance and ANOVA was applied to demonstrate the significance of genotypes in relation to temperatures and the Scott Knott cluster test to discriminate differences in genotypes. The results indicated that the Japanese subspecies showed greater tolerance to cold, where 4 genotypes stood out in the relative performance for the temperatures of 25°C and 13°C, which can be used as sources of development of cultivars with cold tolerance.

**Keywords:** low temperature tolerance, genetic variability, *Oryza sativa* L.

## 4.1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura importantíssima para a alimentação mundial, sendo o segundo cereal mais produzido no mundo, ficando atrás da produção de milho. A cultura do arroz está presente na dieta de mais da metade da população mundial (SOSBAI, 2018).

Com a expectativa no crescimento populacional do mundo, é importante a minimização dos fatores bióticos e abióticos que acarretam na redução da produtividade das lavouras, para que o aumento da produção de alimentos acompanhe o crescimento da população mundial (SOSBAI, 2018).

O arroz é uma planta originada dos trópicos, sendo cultivada nas mais diversas condições ambientais, no entanto quando comparada com outros cereais como o trigo ou aveia observa-se uma maior sensibilidade às baixas temperaturas (OKUNO, 2003). Apresenta amplo cultivo em diversidade de áreas pelo mundo que se estendem da latitude 50°N até 40°S, sendo cultivada desde o nível do mar até uma altitude de 3000m (JULIANO, 1993). Essa ampla extensão de cultivo tem abrangência de predominância de clima tropical, no entanto, também é cultivado em clima temperado e/ou subtropical, como é o caso do Estado do Rio Grande do Sul (RS) com grande cultivo orizícola, sendo responsável por mais de 70% da produção do Brasil (SOSBAI, 2018).

O cultivo do arroz utiliza uma ampla área geográfica, onde a temperatura desfavorável ao desenvolvimento da planta pode ocorrer em um ou vários estádios. A faixa de temperatura ótima para a cultura encontra-se entre 25°C e 30°C, e temperaturas inferiores a 20°C, dependendo do estágio de desenvolvimento, são prejudiciais (YOSHIDA, 1981), sendo comuns em áreas temperadas e/ou subtropicais ou nas regiões de altitude elevada nos trópicos (NANDA; SESHU, 1979), limitando as áreas de produção e o período de cultivo.

No RS o período preferencial de semeadura conforme o zoneamento agrícola ocorre de 15 de outubro e 15 de novembro (SOSBAI, 2018). No entanto, busca-se a antecipação da semeadura do arroz, evitando que o frio ocorra no estágio reprodutivo, pois neste período é maior a sensibilidade às baixas temperaturas. Porém, essa prática ocasiona em maior incidência do frio no estágio germinativo, diminuindo o aproveitamento da área cultivada e da densidade de plantas na lavoura, além do favorecimento de infestação de plantas daninhas que aumenta o

custo da produção e, conseqüentemente na redução da produtividade e lucratividade. Ou seja, o processo germinativo adequado seguido por um desenvolvimento inicial uniforme das plantas é essencial para o sucesso de uma lavoura (YOSHIDA, 1981; SCHIMIDT, 2009).

O estresse por frio tem dois tipos de classificação que desempenham papel fundamental para determinação da estação de crescimento e distribuição geográfica das plantas, sendo o congelamento ( $<0^{\circ}\text{C}$ ) ou resfriamento ( $0 - 15^{\circ}\text{C}$ ). No entanto, os sintomas e a sensibilidade ao estresse causado nas plantas pelas baixas temperaturas variam com o estágio de desenvolvimento. A temperatura é um fator de natureza abiótica e imprevisível e, por isso, os efeitos negativos de sua ocorrência sobre o arroz são de difícil controle em nível de manejo, o que torna a tolerância genética das cultivares extremamente importante para estabilizar o rendimento de grãos nas áreas sujeitas à ocorrência de frio. Para aumentar a produtividade da cultura do arroz, são necessárias estratégias de minimização nas perdas devido aos estresses abióticos e bióticos, mediante o desenvolvimento de cultivares superiores tolerantes a estes fatores adversos (BOYER, 1982; KHUSH, 1999; JENA; MACKILL, 2008).

No Rio Grande do Sul as cultivares comerciais mais utilizadas são da subespécie *indica*, que provém de origem tropical, apresentando maior suscetibilidade ao frio em todos os estádios de desenvolvimento da planta em relação às cultivares da subespécie *japonica*. Atualmente os genótipos tolerantes ao frio são de outros países, selecionados em diversos ambientes. Sendo estes genótipos da subespécie *japonica*, que apresentam grãos curtos. Porém, os genótipos mais semeados no Brasil são de grãos longos e finos da subespécie *indica*.

Segundo Cruz e Milach (2000) os estádios de desenvolvimento mais afetados pelo estresse por frio ocorre na germinação, estágio vegetativo inicial e no estágio reprodutivo. Durante o estágio germinativo e no período vegetativo o frio afeta a velocidade de germinação das sementes e a emergência das plântulas, podendo ocorrer o retardamento no desenvolvimento vegetativo da cultura. No caso do estágio reprodutivo o rendimento de grãos pode ser afetado diretamente pela ocorrência de temperaturas baixas (CRUZ, 2003). Com isso, cultivares adaptadas às

baixas temperaturas nos diferentes estádios de desenvolvimento é extremamente importante para o sucesso nos Estados do sul do Brasil (EMBRAPA, 2005).

Para a estimativa da tolerância ao frio, considera-se a intensidade do tratamento, o poder de recuperação da planta e da duração de exposição (LOU et al., 2007). Com isso vários procedimentos de avaliação são realizados para seleção de genótipos tolerantes ao frio nos períodos específicos de desenvolvimento da planta (MONZÓN, 2015). No estágio germinativo, as avaliações de tolerância ao estresse por frio ocorrem através da submissão das sementes a temperaturas que variam de 10°C até 25°C por um período de 35 dias, onde as características mais avaliadas por diversos autores são: a porcentagem de germinação e a velocidade germinação, além do comprimento de radícula e de coleóptilo (BERTIN et al., 1996; STHAPIT; WITCOMBE, 1998; DA LUZ, 2011; CRUZ e MILACH, 2004).

A avaliação e caracterização de genótipos tolerantes ao frio são de suma importância para a identificação de genitores para uma possível utilização em cruzamentos direcionados.

Este trabalho tem por objetivo a avaliar genótipos de arroz irrigado do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa quanto ao estresse por frio no estágio germinativo.

## **4.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em câmara de germinação com temperatura controlada (BOD), na Embrapa Clima Temperado na Estação Experimental Terras Baixas, sendo avaliados 20 genótipos de arroz irrigado de diversas localidades do mundo e 2 testemunhas, suscetíveis ao frio, BRS Pampa e BRS Pampeira (Tabela 4).

**Tabela 4.** Acessos de arroz irrigado caracterizados fenotipicamente com as respectivas origens. Pelotas-RS, 2021.

<b>Nº</b>	<b>Nome dos genótipos</b>	<b>País de Origem</b>	<b>Nº</b>	<b>Nome dos genótipos</b>	<b>País de Origem</b>
<b>1</b>	Ta Hai	China	<b>12</b>	KULU	Austrália
<b>2</b>	Chi Nwei Kang Li	China	<b>13</b>	IRAT 111	Costa do Marfim
<b>3</b>	AGOSTANO	Itália	<b>14</b>	Tsao Sheng Hsu	China
<b>4</b>	MUSHKAN 41	Bangladesh	<b>15</b>	Chi Liang Hao	China
<b>5</b>	Jen Ching	China	<b>16</b>	Ai Chih Hsu	China
<b>6</b>	Hsiao Fang Chu	China	<b>17</b>	Pien Chan Ying Tao	China
<b>7</b>	Ai Yeh Lu	China	<b>18</b>	Hung Chiao Ju	China
<b>8</b>	BRS Pampa	Brasil	<b>19</b>	Ge Shen Huar	China
<b>9</b>	Hokkajdo	Rússia Federativa	<b>20</b>	BRS Pampeira	Brasil
<b>10</b>	Chokoto	Japão	<b>21</b>	Bantia	Libéria
<b>11</b>	COLOMBIA 1	Colômbia	<b>22</b>	San Jou	China

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso (DBC), com quatro repetições de 50 sementes de cada genótipo dispostas em papel germitest® umedecido com água destilada com equivalência de 2,5 vezes a massa do papel seco, seguindo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

No experimento foram utilizadas duas temperaturas para a germinação, sendo uma temperatura de 25°C para o tratamento controle, e, outra temperatura de 13°C para o tratamento do arroz com estresse por frio. Os tratamentos foram realizados em rolos montados com quatro folhas, recebendo 50 sementes por repetição, sendo as sementes devidamente desinfestadas em álcool 70% por 30 segundos e hipoclorito de sódio 5% por 20 minutos, e, lavadas com água destilada por três vezes.

Para o ensaio utilizou-se duas câmaras do tipo BOD (mesma marca e modelo de fabricação), com temperaturas ajustadas para 25°C (controle) e a outra para 13°C (estresse), ambas com fotoperíodo de 12 horas.

Para o tratamento controle com temperatura de 25°C, a avaliação foi aos 7 (sete) dias após a semeadura em papel germitest com mensuração dos caracteres: número de sementes germinadas com plântulas normais, comprimento da raiz principal, comprimento do coleóptilo e comprimento da parte aérea.

Para o tratamento com estresse por frio com temperatura de 13°C as avaliações foram aos 7, 14 e 21 dias para contagem de sementes germinadas. E, a

avaliação morfológica aos 28 dias após a semeadura, com as avaliações: plântulas normais, comprimento de parte aérea, comprimento de raiz principal e comprimento de coleóptilo.

Os tratamentos foram avaliados através da comparação de resultados da temperatura de 13°C em relação a temperatura de 25°C, onde o desempenho relativo do comprimento da raiz (DRcr), comprimento do coleóptilo (DRcc) e comprimento de parte área (DRcpa), de acordo com a equação:

$$DR_{\text{variável}} = (\bar{X}_{\text{variável}13^{\circ}\text{C}} / \bar{X}_{\text{variável}25^{\circ}\text{C}}) * 100$$

Para o índice de germinação (IG), foi através da equação:

$$IG = (N14 + N21/2) / 50 * 100$$

Onde: N14= número de sementes germinadas aos 14 dias após a semeadura;

N21= número de sementes germinadas aos 21 dias após a semeadura;

50= número total de sementes em cada repetição.

Importante salientar que somente consideram-se sementes germinadas aquelas que apresentam radícula e coleóptilo. Assim como, para a porcentagem de genótipos foram avaliados somente aqueles com coleóptilos maior de 5 mm e a obtenção para o cálculo de porcentagem ocorreu aos 28 dias após a semeadura.

Os dados foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) e, posteriormente, foi realizada uma análise para discriminação das médias através do teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

Os procedimentos estatísticos foram processados através do aplicativo computacional em genética e estatística, Genes (CRUZ, 2013).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de porcentagem de germinação a 25°C (Tabela 5) evidenciaram excelente qualidade fisiológica das sementes dos genótipos de arroz irrigado utilizados no experimento. Nenhum genótipo apresentou resultado inferior a

90% de germinação à temperatura de 25°C, demonstrando que as perdas na capacidade de germinação sob estresse na temperatura de 13°C resultaram do estresse e não por problemas de qualidade fisiológica ou efeito de dormência nas sementes. As sementes são consideradas dormentes quando mesmo em condições ideais de germinação e desenvolvimento não germinam, necessitando de procedimentos de superação da dormência das sementes antes da semeadura (CARDOSO, 2004).

**Tabela 5.** Porcentagem de germinação dos 20 genótipos de arroz irrigado, e das 2 testemunhas BRS Pampa e BRS Pampeira em BOD à temperatura de 25°C. EMBRAPA/FAEM/UFPel-CGF, Pelotas-RS, 2021.

<b>Genótipos</b>	<b>Germinação( %)</b>
Ta Hai	94,5
Chi Nwei Kang Li	97,5
AGOSTANO	92,5
MUSHKAN 41	96
Jen Ching	93,5
Hsiao Fang Chu	94
Ai Yeh Lu	92,5
Hokkajdo	95,5
Chokoto	93
COLOMBIA 1	96
KULU	91,5
IRAT 111	96,5
Tsao Sheng Hsu	96,5
Chi Liang Hao	93
Ai Chih Hsu	96
Pien Chan Ying Tao	96,5
Hung Chiao Ju	95
Ge Shen Huar	94,5
Bantia	96,5
San Jou	94,5
<b>BRS Pampa</b>	<b>96,5</b>
<b>BRS Pampeira</b>	<b>97</b>

Na Tabela 6, pode-se observar o resumo da análise da variância para os genótipos, os quais apresentaram diferença significativa ao nível de 5% para todas as características avaliadas nos 22 genótipos, indicando a existência de genótipos contrastantes para tolerância ao frio na germinação.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância do desempenho relativo dos caracteres comprimento de coleóptilo (DRcc), comprimento de raiz (DRcr), comprimento de parte aérea (DRcpa) e germinação (DRg) avaliados em 22 genótipos de arroz irrigado. EMBRAPA/FAEM/UFPel-CGF, Pelotas-RS, 2021.

Análise de Variância

FV	GL	DRg		DRcpa		DRcr		DRcc	
		QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM	QM
BLOCOS	4	1,47		244,81		93,64		1193,20	
TRATAMENTOS	21	6547,69	**	4561,78	**	2231,07	**	28247,99	**
RESÍDUO	84	3,53		58,29		66,89		527,17	
TOTAL	109								
MÉDIA		75,52		41,66		30,49		113,59	
CV(%)		2,49		18,33		26,82		20,21	

\*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

O teste de agrupamento de médias de Scott Knott (Tabela 7) permitiu a detecção de diferenças significativas nas respostas de tolerância ao estresse por frio para os quatro caracteres avaliados entre os genótipos do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa e as testemunhas, evidenciando a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados.

**Tabela 7.** Médias relativas das variáveis germinação (GER), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR) e comprimento de coleótilo (CC) de 20 genótipos de arroz irrigado e 2 testemunhas BRS Pampa e BRS Pampeira avaliados morfológicamente aos 28 dias para tolerância ao frio. EMBRAPA/FAEM/UFPel-CGF, Pelotas-RS, 2021.

T	Genótipo	GER		CPA		CR		CC	
1	Ta Hai	95,24	c	60,23	d	60,35	b	173,36	c
2	Chi Nwei Kang Li	92,32	e	102,76	a	57,63	b	142,81	d
3	AGOSTANO	103,79	a	47,82	e	35,73	c	169,72	c
4	MUSHKAN 41	97,95	b	45,51	e	47,90	b	184,68	c
5	Jen Ching	94,15	d	40,81	e	39,02	c	90,00	f
6	Hsiao Fang Chu	89,91	e	77,80	b	71,71	a	270,67	a
7	Ai Yeh Lu	0	j	0	i	0	e	0	h
8	Hokkajdo	84,30	g	69,30	c	22,43	d	87,15	f
9	Chokoto	86,55	f	76,55	b	53,24	b	120,67	e
10	COLOMBIA 1	14,58	i	0	i	0	e	48,33	g
11	KULU	91,80	e	67,41	c	33,57	c	238,11	b
12	IRAT 111	51,84	h	17,65	g	10,92	e	89,87	f
13	Tsao Sheng Hsu	97,43	b	43,49	e	30,96	c	131,20	e
14	Chi Liang Hao	101,64	a	48,11	e	32,94	c	120,69	e
15	Ai Chih Hsu	98,45	b	85,72	b	53,99	b	219,00	b
16	Pien Chan Ying Tao	93,27	d	38,00	f	25,58	d	124,14	e
17	Hung Chiao Ju	95,28	c	12,24	h	18,65	d	39,44	g
18	Ge Shen Huar	91,04	e	22,66	g	25,77	d	68,31	f
19	Bantia	93,82	d	36,03	f	33,78	c	110,18	e
20	San Jou	87,98	f	24,34	g	16,68	d	70,54	f
21	BRS Pampa	0	j	0	i	0	e	0	h
22	BRS Pampeira	0	j	0	i	0	e	0	h

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (teste de agrupamento Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro).

Na variável germinação os genótipos AGOSTANO e Chi Liang Hao apresentaram a melhor classificação “grupo a”, onde o desempenho relativo (DR) demonstrou que esses genótipos apresentaram os melhores resultados perante as duas temperaturas avaliadas (13°C para o estresse e 25°C para temperatura controle). Observou-se que o genótipo AGOSTANO na temperatura controle (25°C) obteve uma percentagem de germinação de 92,5%, assim como para a temperatura estresse (13°C) obteve uma percentagem de germinação de 94%. Para o genótipo Chi Liang Hao também se observou uma excelente percentagem de germinação superior a 90% nas duas temperaturas avaliadas.

Pode-se observar (Tabela 4) que os genótipos da subespécie *indica* BRS Pampa, BRS Pampeira, Ai Yeh Lu e Colombia 1 foram os piores acessos no caráter percentual germinativo para a temperatura de estresse (13°C) em relação aos demais genótipos, esses genótipos apresentaram suscetibilidade ao frio. Em estudos realizados por Steiner et al. (2009) sobre o efeito de diferentes temperaturas sobre a porcentagem de germinação de sementes de rabanete, foi observado que a temperatura influencia negativamente a germinação de duas das cinco cultivares testadas, demonstrando que temperaturas muito altas ou muito baixas podem alterar tanto a velocidade quanto a porcentagem de germinação das sementes.

Em um estudo com 137 cultivares de arroz classificadas como subespécies *indica* e *japonica* através de marcadores moleculares RAPD para tolerância ao frio no estágio de plântula, os resultados comprovam o maior grau de tolerância em cultivares *japonicas* em relação às cultivares *indica* (MACKILL; LEI, 1997). Apesar disso, segundo JENNINGS et al., (1979), há algumas cultivares da subespécie *indica* que são de regiões provenientes de latitude elevada, como o Nepal, que apresentam uma moderada tolerância ao frio, sendo uma boa alternativa ao uso de cultivares *japonica*.

Para a variável parte aérea (Tabela 4) o genótipo com melhor desempenho foi o da subespécie *japonica* Chi Nwei Kang Li com uma média de 2,84 cm de comprimento de parte aérea na temperatura de 13°C e 2,77 cm de parte aérea na temperatura controle (25°C), demonstrando um excelente desempenho relativo perante as temperaturas. A avaliação do comprimento da parte aérea é um bom indicador de vigor das sementes e também tem sido utilizado como parâmetro para avaliar a tolerância ao frio (BARUAH et al. 2009; RANAWAKE; NAKAMURA, 2011).

Savio (2011) observou o comportamento da parte aérea, a porcentagem de redução do comprimento da raiz e a porcentagem de redução da parte aérea, utilizando 65 genótipos de arroz submetidos ao estresse com temperatura de 13°C, concluindo que essas características são as que mais contribuem para a caracterização dos genótipos com tolerância ao frio entre os genótipos.

Para as variáveis comprimento de raiz e comprimento de coleóptilo (Tabela 4) o genótipo da subespécie *japonica* Hsiao Fang Chu apresentou ser o melhor entre todos os genótipos avaliados, tendo como classificação o “grupo a” onde o desempenho relativo (DR) também demonstrou que esse genótipo apresentou o

melhor resultado perante as duas temperaturas avaliadas. Este genótipo apresentou uma média de 3,18 cm para o comprimento de raiz e 0,78 mm para o comprimento de coleóptilo, referente à temperatura de estresse (13°C). Na temperatura de 25°C o genótipo Hsiao Fang Chu apresentou um comprimento de raiz de 4,48 cm e 0,28 mm de comprimento de coleóptilo. O coleóptilo tem a função de recobrir e proteger a primeira folha durante o período de germinação e emergência (TAIZ, ZEIGER e MOLLER, 2017). O comprimento do coleóptilo tem sido usado como parâmetro de classificação de genótipos de arroz sensíveis e tolerantes ao estresse por frio durante a germinação (MERTZ et al., 2009; CRUZ et al., 2013).

A redução no comprimento do coleóptilo permite a identificação de genótipos tolerantes e sensíveis ao frio (CRUZ e MILACH et al. 2004). Em estudo com 20 genótipos de arroz chileno, foi observado uma redução no comprimento do coleóptilo em todos os genótipos avaliados (ÑANCULAO et al. 2013). Em outros estudos conduzidos por CRUZ e MILACH (1999), a tolerância ao frio na germinação foi avaliada em 24 genótipos de arroz das subespécies *indica* e *japonica*. Os resultados demonstraram a existência de variabilidade entre os genótipos estudados, no entanto, os melhores resultados de crescimento de coleóptilos foram observados em alguns genótipos da subespécie *japonica*. Alguns genótipos pertencentes à subespécie *indica*, demonstraram similaridades a subespécie *japonica* com média tolerância.

Para Okumoto (1997), o coleóptilo é fundamentalmente importante para o estabelecimento de uma lavoura, ou seja, é o coleóptilo que protege a plântula no momento de sua emergência, assim como o mesmo estende-se para cobrir a primeira folha jovem. O estresse causado pelas baixas temperaturas ocasiona mudanças fenotípicas, tais como a rigidez na parede celular, a alteração na membrana, assim como a redução no comprimento da raiz (GOWDA ET AL., 2011; ATKINSON e URWIN, 2012). Por isso, para Ghosh; Xu (2014), as respostas da raiz em relação ao estresse abiótico são de grande importância. Um estudo com 20 genótipos de arroz submetidos a uma temperatura de 15°C evidenciou que a variável comprimento de raiz não apresentou diferença significativa entre os genótipos (BOSETTI, 2012).

#### 4.4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que entre os genótipos estudados existe uma ampla variabilidade genética, assim como apresentam diferentes respostas à variação da temperatura na germinação. Portanto, os genótipos avaliados possuem grande potencial para serem utilizados na ampliação da base genética nos programas de melhoramento de arroz irrigado para tolerância ao frio.

Os genótipos que se apresentaram com tolerância ao frio com base nas avaliações foram AGOSTANO e Chi Liang Hao para a variável percentual germinativo, Chi Nwei Kang Li para a variável comprimento de parte aérea e Hsiao Fang Chu para as variáveis comprimento de coleóptilo e comprimento de raiz, ambos da subespécie *japonica*.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINSON, N. J.; AND URWIN, P.E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. **Journal of Experimental Botany**, n.63, p.3523–3544, 2012.

BARUAH, A. R. et al. Cold tolerance at the early growth stage in wild and cultivated rice. **Euphytica**, v. 165, n. 3, p. 459-470, 2009.

BERTIN, P.; KINET, J.M.; BOUHARMONT, J. Evaluation of chilling sensitivity in different Rice varieties. Relationship between screening procedures applied during germination and vegetative growth. **Euphytica**, Dordrecht, v.89, p.201-210, 1996.

BOSETTI, F. et al. Genetic variation of germination cold tolerance in Japanese rice germplasm. **Breeding science**, v. 62, n. 3, p. 209–15, set. 2012.

BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**. v.218, p.443–448. 1982.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNDA/DNDV/CLAV. 365p, 2009.

CARDOSO, V. J. M. Dormência: estabelecimento do processo. In: FERREIRA, A.; BORGHETTI, F. (orgs.) **Germinação: do básico ao aplicado**. Artmed: Porto Alegre, cap.5, 2004, p.95 – 108.

CRUZ, R. P.; MILACH, S. C. K. Avaliação de genótipos de arroz quanto à tolerância ao frio na germinação. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. P.42 – 44.

CRUZ, R.; MILACH, S.C.K. Melhoramento genético para tolerância ao frio em arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 30, n.5, p. 909-917, 2000.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: Editora UFV, 585 p. 2003.

CRUZ, R.; MILACH, S.C.K. Cold tolerance at the germination stage of Rice: methods of evaluation and characterization of genotypes. **Scientia Agricola**, v.61, n.1, p.1-8, 2004.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, R. P. DA et al. Avoiding damage and achieving cold tolerance in rice plants. **Food and Energy Security**, v. 2, n. 2, p. 96–119, 2013.

DA LUZ , V. K.; Identificação de famílias mutantes de arroz (*Oryza sativa* L.) para características de importância agrônômica e tolerância a baixas temperaturas na germinação. **Tese**. 88p. 2011.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO: Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. Sistemas de Produção, Versão Eletrônica: Nov, 2005. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>. Acessado em: Dezembro de 2020.

GHOSH, D.; XU, J. Abiotic stress responses in plant roots: a proteomics perspective. **Frontiers in plant science**, v.5, n.6, p. 1-13, 2014.

GOWDA, V. R. P., HENRY, A., YAMAUCHI, A., SHASHIDHAR, H. E., AND SERRAJ, R. Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. **Field Crops Res.** n.122, p.1–13, 2011.

JENA K.K.; MACKILL D.J. Molecular markers and their use in marker-assisted selection in rice. **Crop Science**. n.48, p.1266-1276. 2008.

JENNINGS, P. R.; COFFMAN, W. R.; KAUFFMAN, H. E. **Rice improvement**. Los Baños: International Rice Research Institute, Philippines, Cap. 10: Temperature tolerance p.183 – 186, 1979.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Los Baños: International Rice Research Institute and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1993. Cap. 1: Introduction: p.1 – 15.

KHUSH, G.S. Green revolution: preparing for the 21st century. **Genome**. v.42, p.646–655. 1999.

LOU, Q. J.; CHEN, L.; SUN, Z. X.; XING, Y.Z.; LI, J.; XU, X.Y.; MEI, H.W.; LUO, L.J. A major QTL associated with cold tolerance at seedling stage in Rice (*Oryza sativa* L.). **Euphytica**, n. 158, p. 87-94. 2007.

MACKILL, D.J.; LEI, X. Genetic variation for traits related to temperate adaptation of Rice cultivars. **Crop Science**, v. 37, p. 1340-1346, 1997.

MERTZ, L. et al. Alterações fisiológicas em sementes de arroz expostas ao frio na fase de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, 2009.

MONZÓN, DAISY LETICIA RAMIREZ. Variabilidade genética de germoplasma de arroz (*Oryza sativa* L.) para tolerância ao frio na germinação. 2015. 111f. **Tese** (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

NANDA, J. S.; SESHU, D. V. Breeding strategy for cold-tolerant rice. **Los Baños**: International Rice Research Institute. p. 91-99, 1979.

ÑANCULAO, G. D.; CÁRCAMO, M. P.; SANTOS, O. A. DE LOS; VELÁSQUEZ, V. B. Cold tolerance evaluation in Chilean Rice genotypes at the germination stage. **Chilean Journal Of Agricultural Research**. V. 73, n.1, p. 3 – 8, 2013.

OKUMOTO, Y. Seedling. In: MATSUO, T.; FUTSUHARA, Y.; KIKUCHI, F. & YAMAGUCHI, H. (Eds.) **Science of the Rice Plant: Genetics**. 3. Ed. P. 256 – 262, 1997.

OKUNO, K. Genetics and molecular biology research on cold tolerance of Rice. In: INTERNATIONAL TEMPERATE RICE CONFERENCE, 3, 2003, Punta del Este. **Symposias and conferences...** Punta del Este: Instituto Nacional de Investigação Agropecuária, 2003.

RANAWAKE, A. L.; NAKAMURA, C. Cold tolerance of an inbred line population of rice (*Oryza sativa* L) at different growth stages. **Tropical Agricultural Research and Extension**, v. 14, n. 2, 2011.

SAVIO, F.L.; BOSETTI, F.; ROCHAR, D.S.; SOUSA, F.F.; CHAMMA, H.P.; NOVENBRE, A.D.L.C.; PINHEIRO, J.B. Análise multivariada da divergência genética de genótipos de arroz sob estresse por frio durante a germina o. **VII Congresso Brasileiro de Agroecologia**, p.252-255, 2011.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). Arroz irrigado: recomenda es técnicas de pesquisa para o Sul do Brasil. **XXXII REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO**, 2018. Cachoeirinha. 205p.

SCHIMIDT, A. B. 2009 – 353f. Desenvolvimento de painéis multiplex de marcadores microsatélites e mapeamento de QTLs de tolerância à seca e ao frio em linhagens puras recombinantes de arroz (*Oryza sativa* L.). **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

STHAPIT, B.R.; WITCOMBE, J.R. Inheritance of tolerance to chilling stress in Rice during germination and plumule greening. **Crop Science**, v.38, p. 660-665, 1998.

STEINER, F.; PINTO JÚNIOR, A. S.; ZOZ, T.; GUIMARÃES, V. F.; DRANSKI, J. A. L.; RHEINHEIMER, A. R. Germina o de sementes de rabanete sob temperaturas adversas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. V.4, p.430-434, 2009.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I. M., & Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre, **Artmed**, 6ª edição, 2017.

YOSHIDA, S. Fundamentals of rice crop science. **Los Banos**: International Rice Research Institute, p. 269, 1981.