

Ana Rita da Costa Martins

**Influência do grau de branqueamento no rendimento industrial
e nas propriedades de cozedura do arroz**

Orientador: Professora Doutora Maria João Mendes Cardoso Barroca Dias

Coimbra, 2024

Ana Rita da Costa Martins

**Influência do grau de branqueamento no rendimento industrial
e nas propriedades de cozedura do arroz**

Relatório de estágio apresentado à Escola Superior Agrária de
Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção
do grau de mestre em **Engenharia Alimentar**

Orientador: Professora Doutora Maria João Mendes Cardoso Barroca Dias

Coimbra, 2024

Agradecimentos

Este relatório representa o culminar de uma das etapas com mais desafios e conquistas da minha vida, mas que sem o apoio de algumas pessoas não teria sido possível.

Primeiramente, gostaria de agradecer a toda a administração da Caçarola- Grupo Valente Marques, por ter permitido a realização do meu estágio curricular nas suas instalações, sem nunca terem colocado qualquer entrave, proporcionando-se assim uma experiência completa numa indústria do ramo alimentar. À Engenheira Paula Pinheiro e Engenheira Liliana Tavares, agradeço pela forma como me integraram na equipa, a confiança depositada desde o início, pela disponibilidade para tudo, e sobretudo, as aprendizagens adquiridas ao longo do estágio. Agradeço também aos restantes colaboradores por todos os ensinamentos, carinho e simpatia que tiveram para comigo.

Quero também agradecer às docentes da Escola Superior Agrária de Viseu, Professora Doutora Paula Correia, a Professora Doutora Raquel Guiné e a Professora Ana Cristina Ferrão, por toda a disponibilidade, compreensão, apoio e acolhimento na escola. Serei-vos sempre grata por isso.

Agradeço à Professora Doutora Maria João Barroca, pela incrível ajuda, pelo seu tempo, conhecimentos transmitidos, apreço e dedicação demonstrada para comigo ao longo deste tempo. A professora foi incansável.

À professora Teresa Grilo, pela sua prontidão para esclarecer as minhas dúvidas na análise estatística dos dados e, o apoio disponibilizado e interesse para melhorar o meu relatório.

Quero fazer um agradecimento especial aos meus pais, sem eles esta jornada teria sido muito mais difícil. Obrigada por todo o apoio, pela força que me deram, por todo o carinho e por permitirem que pudesse alcançar mais um dos meus sonhos.

Ao Pedro, que me acompanhou desde o início desta etapa, agradeço por todas as palavras de coragem, por simplificar o complicado, por acreditar sempre nas minhas capacidades e por me dar a confiança necessária para continuar mesmo nos piores momentos.

A todos, o meu muito obrigada.

Resumo

O presente relatório tem como suporte o estágio curricular realizado em colaboração com a empresa Caçarola- Grupo Valente Marques. O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais importantes mundialmente, estando na dieta diária de metade da população. Para tornar o arroz mais apelativo ao consumidor, o seu processamento sofre uma série de transformações nomeadamente o branqueamento e polimento que retiram as camadas mais externas ao grão tornando-o mais branco e brilhante.

O principal objetivo deste trabalho consistiu em estudar a influência de dois graus de branqueamento (02:40 e 03:10 minutos:segundos) no rendimento industrial e nas propriedades de cozedura do arroz em oito variedades da subespécie *Japónica* (Ariete, Cl-33, Ibérico, Leonardo, Luna, Lusitano, Ronaldo e Velox). Para as oito variedades de arroz determinaram-se as características biométricas, o teor de amilose, teor de água, tempos de cozedura e propriedades reológicas (perfil de viscosidade, força de extrusão e perfil de textura). O comprimento das amostras estudadas, assim como a relação comprimento/largura, diminuíram no segundo grau de branqueamento. Todas as amostras apresentaram um teor de humidade inferior a 14%. O segundo grau de branqueamento resultou em grãos mais brancos, o que diminuiu o rendimento industrial e a quantidade de grãos inteiros, e aumentou a quantidade de trinca. Para estes branqueamentos, e para a mesma variedade, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros de temperatura de gelatinização, tempo do pico, vala da viscosidade, *breakdown* e adesividade, no entanto, todas apresentaram ligeiras variações nos resultados. Nos restantes parâmetros estudados houve diferenças significativas dentro de determinadas variedades. O grão é constituído na sua maioria por amido, o que faz com que a quantidade de amilose/amilopectina influenciem em grande parte o comportamento do arroz no momento da cozedura e posterior degustação. Contudo, a presença de outros compostos, como a proteína, alteram as propriedades de cozedura e de textura, sendo por isso, importante a determinação deste parâmetro, num trabalho futuro. Seria necessário realizar este estudo com graus de branqueamento mais dispares para melhor compreender a sua influência. A continua monitorização dos parâmetros estudados por parte da indústria arroseira garante um arroz com elevada qualidade para o consumidor, pois a composição química e nutricional difere nas variedades de arroz e consequentemente no seu comportamento durante a confeção.

Palavras-Chave: Arroz (*Oryza sativa* L.); *Japónica*; *Kett*; rendimento industrial; cozedura; carolino.

Abstract

This report is supported by the curricular internship carried out in collaboration with the company Caçarola- Valente Marques Group. Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important cereals worldwide, being in the daily diet of half the population. To make rice more appealing to consumers, its processing undergoes a series of transformations, including bleaching and polishing, which remove the outermost layers of the grain, making it whiter and brighter.

The main objective of this work was to study the influence of two degrees of blanching (02:40 and 03:10 minutes:seconds) on the industrial yield and cooking properties of rice in eight varieties of the *Japónica* subspecies (Ariete, Cl-33, Ibérico, Leonardo, Luna, Lusitano, Ronaldo and Velox). For the eight rice varieties, biometric characteristics, amylose content, water content, cooking times and rheological properties (viscosity profile, extrusion force and texture profile) were determined. The length of the studied samples, as well as the length/width ratio, decreased in the second degree of bleaching. All samples had a moisture content below 14%. The second degree of bleaching resulted in whiter grains, which reduced the industrial yield and the quantity of whole grains and increased the quantity of cracks. For these bleaching, and for the same variety, there were no statistically significant differences in the parameters of gelatinization temperature, peak time, viscosity trough, breakdown and adhesiveness, however, all showed slight variations in the results. In the remaining parameters studied, there were significant differences within certain varieties. The grain is mostly made up of starch, which means that the amount of amylose/amylopectin largely influences the behavior of the rice during cooking and subsequent tasting. However, the presence of other compounds, such as protein, alters the cooking and texture properties, making it important to determine this parameter in future work. It would be necessary to carry out this study with different degrees of bleaching to better understand its influence. The continuous monitoring of the parameters studied by the rice industry guarantees high quality rice for the consumer, as the chemical and nutritional composition of the varieties differs and consequently their behavior during cooking.

Keywords: Rice (*Oryza sativa* L.); *Japónica*; *Kett*; industrial yield; cooking; carolino.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	viii
Lista de Abreviaturas, acrónimos e siglas	ix
1.Introdução.....	1
1.1 Objetivos e atividades realizadas	2
2.Caçarola- Grupo Valente Marques.....	4
3.Orizicultura	5
3.1 Cultivo do Arroz.....	5
3.2 Cultivo do Arroz em Portugal	6
3.3 Condições Edafoclimáticas	7
4.Caracterização do Arroz.....	8
4.1 Estrutura Morfológica do Grão	8
4.2 Tipos de Arroz	10
4.3 Composição Nutricional e Química	15
4.3.1 Amido	17
4.3.2 Proteínas	22
4.3.3 Lípidos.....	23
4.3.4 Vitaminas e Minerais.....	24
5.Processo Industrial do Arroz.....	25
5.1 Rendimento Industrial	29
5.2 Qualidade do Arroz	31
6.Materiais e Métodos	32
6.1 Amostras de Arroz.....	32
6.1.1 Determinação dos Graus de Branqueamento	32
6.1.2 Preparação das Amostras.....	33
6.1.3 Identificação das Amostras	34
6.2 Características Biométricas e Rendimento Industrial	35
6.3 Teor de Humidade	37
6.4 Teor de Amilose	38

6.5 Tempos de Cozedura	40
6.6 Propriedades Reológicas	41
6.6.1 Perfil de Viscosidade	41
6.6.2 Força de Extrusão	44
6.6.3 Perfil de Textura	46
6.7 Análise Estatística	48
7.Resultados e Discussão.....	49
7.1 Características Biométricas	49
7.2 Teor de Humidade	53
7.3 Rendimento Industrial	54
7.4 Teor de Amilose	56
7.5 Tempo de Cozedura.....	57
7.6 Propriedades Reológicas	59
7.6.1 Perfil de Viscosidade	59
7.6.2 Força de Extrusão.....	68
7.6.3 Perfil de Textura	69
8.Conclusão e Perspetivas de Trabalhos Futuros	77
Referências Bibliográficas	79
Anexos	96
Anexo 1- Matriz de correlação entre os parâmetros estudados.....	97
Anexo 2- Características biométricas das amostras em estudo.....	98
Anexo 3- Teor de humidade, rendimento industrial, teor de amilose e tempos de cozedura das amostras em estudo.	99
Anexo 4- Perfil de viscosidade das amostras em estudo.....	100
Anexo 5- Perfil de textura das amostras em estudo.	101

Lista de Figuras

Figura 1- Logótipo da empresa Caçarola.	4
Figura 2- Logótipo da norma internacional IFS Food	5
Figura 3- Fases do desenvolvimento da planta do arroz..	5
Figura 4- Estrutura morfológica do grão de arroz..	9
Figura 5- Formação de corpos proteicos no endosperma do arroz. Camada de subaleurona do endosperma.....	10
Figura 6- Subespécies de arroz: <i>Japónica</i> (a) e <i>Indica</i> (b).....	11
Figura 7- Arroz do tipo Agulha, Basmati e Jasmim/Thai.....	12
Figura 8- Arroz do tipo Carolino, Redondo e Risotto..	12
Figura 9- Arroz Selvagem.	12
Figura 10- Arroz Integral e Vaporizado.....	13
Figura 11- Principais constituintes de um grão de arroz.	16
Figura 12- Estrutura química da Amilose (a) e Amilopectina (b).	18
Figura 13- Os seis níveis estruturais do amido.....	19
Figura 14- Ilustração das fases da Gelatinização e Retrogradação do amido durante o processo de cozedura e arrefecimento do arroz.....	21
Figura 15- Imagem de microscopia eletrónica de transmissão dos corpos proteicos tipo I e tipo II da camada sub-aleurona.....	22
Figura 16- Vitaminas e minerais presentes num grão de arroz antes e após o branqueamento.	25
Figura 17- Equipamento à escala laboratorial de descasque e branqueamento de arroz.....	26
Figura 18- Movimento oposto dos rolos de borracha no processo de descasque do arroz.	27
Figura 19- Estrutura morfológica simplificada de um grão de arroz.	27
Figura 20- Fluxograma das principais partes do processamento industrial do arroz.	29
Figura 21- Crivo utilizado para retirar a trinca.....	34
Figura 22- Equipamento <i>Statistic Analyzer S21</i> da empresa <i>AgroMay</i>	35
Figura 23- Colorímetro <i>Rice Whiteness Tester C-600</i>	37
Figura 24- Termobalança <i>Infrared Moisture Analyzer FD-660</i>	37
Figura 25- Amostras para a leitura da absorvência: a) Branqueamento 01 e b) Branqueamento 02.	38
Figura 26- Espectrofotómetro DR3900 da empresa <i>Hach Lange</i>	39
Figura 27- Soluções padrão de amilose.....	39
Figura 28- Difusores onde se colocaram os grãos de arroz a cozer.....	40
Figura 29- Teste de cozedura: a) Dispersão dos grãos, b) Presença de núcleos brancos e c) Arroz cozido (sem núcleos brancos).	41
Figura 30- Equipamento <i>Rapid Visco Analyser</i> da <i>Perten Instruments</i>	42
Figura 31- Perfil típico de viscosidade fornecido pelo RVA.	43
Figura 32- Força de Extrusão: a) Texturómetro TA.XT.Plus (<i>Stable Micro Systems</i>) com a sonda de extrusão HDP/RE e b) Placa perfurada.	44
Figura 33- Arroz a arrefecer após a cozedura.....	45
Figura 34- Procedimento utilizado na análise da força de extrusão.	45
Figura 35- Perfil típico da força de extrusão..	46

Figura 36- Perfil de Textura: a) Texturómetro TA.XT.Plus (<i>Stable Micro Systems</i>) com a sonda P/75 e b) Molde cilíndrico.....	47
Figura 37- Perfil de textura do arroz.	47
Figura 38- Comprimento, largura e respetiva relação comprimento/largura das variedades e graus de branqueamento em estudo.....	49
Figura 39- Grau de brancura (<i>Kett</i>) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	51
Figura 40- Brancura total, vítrea e grau de brancura das amostras estudadas.....	52
Figura 41- Teor de humidade (%) das amostras em estudo e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	53
Figura 42- Rendimento industrial (%), quantidade de trinca (%) e de grãos de inteiros (%) em cada amostra.	54
Figura 43- Teor de amilose (%) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	56
Figura 44- Tempo de cozedura (min) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	57
Figura 45- Temperatura de gelatinização (°C) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	59
Figura 46- Pico de viscosidade (cP) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	61
Figura 47- Tempo do pico de viscosidade (min) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	62
Figura 48- Vala da viscosidade (cP) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	63
Figura 49- <i>Breakdown</i> (cP) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$)...	64
Figura 50- Viscosidade final (cP) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	65
Figura 51- Retrogradação (cP) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	66
Figura 52- Força de extrusão (N) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	68
Figura 53- Parâmetro dureza (N) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	69
Figura 54- Parâmetro adesividade (N.s) das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	70
Figura 55- Parâmetro resiliência das amostras estudadas e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	71
Figura 56- Parâmetro coesividade das amostras e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	72
Figura 57- Parâmetro elasticidade (%) das amostras e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$)..	74
Figura 58- Parâmetro gomosidade (N) das amostras e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$)..	75
Figura 59- Parâmetro mastigabilidade (N) das amostras e respetivo teste <i>t-student</i> ($p<0,05$).	76

Lista de Tabelas

Tabela 1- Classificação dos grãos quanto ao tamanho..	13
Tabela 2- Parâmetros reológicos para o arroz carolino e agulha ..	14
Tabela 3- Denominação e características dos grãos de arroz com defeito.....	15
Tabela 4- Composição nutricional do arroz integral, carolino branqueado e arroz cozido..	17
Tabela 5- Tempos de branqueamento, grau de brancura e quantidade de trinca na amostra teste.....	33
Tabela 6- Codificação dos graus de branqueamento das variedades estudadas e cores associadas.	35
Tabela 7- Quantidade de amostra analisada no equipamento <i>Statistic Analyzer S21</i>	36
Tabela 8- Quantidade de reagentes utilizados nas soluções padrão.....	39
Tabela 9- Ciclos de temperatura e tempos utilizados na análise do perfil de viscosidade...	42

Lista de Abreviaturas, acrónimos e siglas

AACC	<i>American Association of Cereals Chemists</i>
ASAE	Autoridade de Segurança Alimentar e Económica
DGAV	Direção Geral da Alimentação e Veterinária
ESAC	Escola Superior Agrária de Coimbra
ESAV	Escola Superior Agrária de Viseu
EU	União Europeia
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GRiSP	<i>Global Rice Science Partnership</i>
HACCP	<i>Hazards Analysis and Critical Control Point</i>
IFS	<i>International Featured Standards</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
INSA	Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge
IRRI	<i>International Rice Research Institute</i>
ISO	<i>International Organization of Standardization</i>
RVA	<i>Rapid Visco Analyser</i>
TCW	<i>ThermoCline para Windows</i>
TPA	<i>Texture Profile Analysis</i>

1. Introdução

O arroz é um cereal de maior importância a nível mundial, estando presente diariamente na base da dieta de metade da população (Rahman & Zhang, 2023). Apresenta uma maior relevância em países em desenvolvimento, uma vez que tem uma baixa percentagem em lípidos e uma elevada concentração de amido, fornecendo energia, proteínas, vitaminas e minerais aos consumidores (Walter *et al.*, 2008).

A produção deste género alimentício tem aumentado ao longo dos anos em consequência do crescimento populacional e das suas necessidades nutricionais. É estimado que no ano de 2030 a população seja de 9 mil milhões de pessoas, e que a produção de arroz aumente de 150 para 450 milhões de toneladas (IRRI, 2017).

Aproximadamente 90% da produção e consumo de arroz é assegurada pela Ásia, com países como a China e a Índia a terem o maior impacto, pois sustentam metade da produção global deste alimento (FAO, 2023). O cultivo de arroz na Europa representa apenas 0,4% da produção mundial. De entre os principais produtores encontram-se países como Itália, Grécia, Espanha e Portugal (Pinto, 2015; *Sustainable EU Rice*, s.d).

Em Portugal, as três regiões predominantes de cultivo de arroz são os estuários dos rios Tejo e Sorraia, Sado e Mondego, onde prevalece a produção de arroz do tipo carolino (COTArroz, 2024) que, devido à tradição, faz parte da vasta gastronomia portuguesa.

No âmbito nacional, há uma autossuficiência em relação ao arroz carolino, no entanto, o rácio entre cultivo e consumo é insuficiente no arroz agulha, sendo imperativo recorrer à importação para colmatar a escassez no mercado interno (Pinto, 2015; *Sustainable EU Rice*, s.d). Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística referentes à campanha de setembro de 2022 a agosto de 2023, o consumo de arroz no país foi de 14 kg/habitante (INE, 2024).

Todos os anos o Programa de Melhoramento do Arroz realiza ensaios a variedades de arroz utilizando a recombinação de genes, com o intuito de aperfeiçoar as características de interesse (Almeida *et al.*, 2020), como tecnológicas (na forma do rendimento), comerciais (como tamanho, textura, impurezas, aspeto, viscosidade e cor do grão), nutricionais, e organoléticas (sabor e textura após cozedura). As condições edafoclimáticas influenciam o cultivo de arroz, que, por sua vez, são influenciadas pelas alterações climáticas. Deste modo, este programa também permite a continuidade das

variedades já existentes e aplica estes critérios na introdução de novas qualidades de grãos no mercado, nomeadamente do tipo carolino e agulha (Almeida *et al.*, 2021; IRRI, 2019).

O estágio curricular, que decorreu entre fevereiro e agosto de 2024, foi realizado em duas etapas distintas. A primeira etapa ocorreu em ambiente empresarial, no Departamento de Qualidade da empresa Caçarola - Grupo Valente Marques. Posteriormente, a segunda etapa ocorreu em contexto académico, nos laboratórios da Escola Superior Agrária de Viseu (ESAV) e da Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC).

O relatório está estruturado em diversos capítulos. Inicialmente é feita uma descrição das atividades executadas e a apresentação da empresa. De seguida, é realizado um enquadramento teórico ao tema, onde são abordados tópicos referentes ao arroz e que ajudam a interpretar e compreender o presente estudo. Por fim, são abordados os procedimentos, resultados obtidos e, respetiva discussão e as principais conclusões do trabalho realizado durante o estágio.

1.1 Objetivos e atividades realizadas

A realização deste estudo teve como principal objetivo avaliar a influência de dois graus de branqueamento no rendimento de grãos inteiros e nas propriedades de cozedura de oito variedades de arroz *Japónica* (sete do tipo carolino e uma do tipo médio).

A parte do estágio realizada em ambiente empresarial proporcionou uma integração na equipa de trabalho do Departamento de Qualidade da Caçarola- Grupo Valente Marques, onde foi possível colocar em prática os conhecimentos obtidos ao longo do percurso académico. Durante o estágio foram realizadas diversas tarefas relacionadas com as atividades da empresa destacando-se as seguintes:

- Participação nas atividades diárias do departamento de qualidade;
- Acompanhamento de atividades relativas à qualidade de produção;
- Acompanhamento das inspeções às instalações totais da fábrica;
- Colaboração do controlo diário do processo de embalamento;
- Colaboração na revisão e verificação dos estudos HACCP que abrangem os diferentes processos implementados na área de fabrico e embalamento;

- Realização de testes de cozedura para a validação da qualidade do produto final embalado e de mercadoria rececionada;
- Acompanhamento e realização de análises laboratoriais ao arroz produzido;
- Verificação de rótulos de produtos Caçarola, no que se refere à legislação em vigor e à informação que apresentam;
- Acompanhamento e tratamento de reclamações;
- Participação em exercícios de rastreabilidade de produtos produzidos nas linhas de empacotamento;
- Participação em testes sensoriais e organoléticos durante o desenvolvimento de um novo produto.

Para além das atividades realizadas em contexto empresarial, na Caçarola também foram determinadas as características biométricas, o teor de humidade, rendimento industrial e testes de cozedura no laboratório da empresa.

Posteriormente o trabalho decorreu em contexto académico, com o intuito de complementar as análises de caracterização do arroz nos dois graus de branqueamento. Na Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC), foi determinado o teor de amilose e na Escola Superior Agrária de Viseu (ESAV), foram determinadas as propriedades reológicas, nomeadamente o perfil de viscosidade, força de extrusão e perfil de textura das amostras estudadas.

2. Caçarola- Grupo Valente Marques

A Caçarola é uma empresa familiar portuguesa localizada em Oliveira de Azeméis. A sua origem de atividade remonta há mais de dois séculos, num moinho de água situado à beira rio com um processo de produção rudimentar e tradicional (Caçarola, s.d).

Em 1975, o fundador Manuel Valente Marques, constrói a primeira unidade transformação de arroz iniciando a história da empresa Caçarola (Figura 1), que se estabeleceu nos mercados pelos produtos de referência e de qualidade que comercializa até aos dias de hoje, garantindo deste modo a confiança dos consumidores (Valente Marques, 2017).



Figura 1- Logótipo da empresa Caçarola.

Com o crescimento exponencial da marca e atendendo às necessidades de consumo, em 1980, foi instalada uma unidade de produção de arroz vaporizado, que no presente continua a ser a única no país, e em 1991, a área de fabrico e embalamento sofreram uma grande remodelação, devido ao incremento do volume de vendas (Caçarola, s.d; Valente Marques, 2017).

O principal foco da empresa Caçarola é garantir que chega à mesa do consumidor um produto de excelência, e por isso, a qualidade superior do arroz é assegurada por diversas parcerias com orizicultores portugueses através da seleção de sementes com as melhores propriedades para cada variedade, o que se traduz num total acompanhamento do arroz desde a sementeira até à receção nas instalações (Valente Marques, 2017).

Nas suas instalações, a Caçarola abrange operações de descasque, branqueamento e embalamento de diversas qualidades de arroz, como também dos subprodutos resultantes. A empresa possui uma capacidade produtiva diária de 240 toneladas de arroz branqueado, tendo uma capacidade de armazenamento de arroz em casca de 18 000 toneladas.

A empresa é certificada pela IFS Food (*International Featured Standards*) (Figura 2), que demonstra a eficácia da implementação de HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Point*) em todo processo, proporcionando desta forma reconhecimento à marca e total salvaguarda na qualidade e segurança do produto final nos mercados nacionais e internacionais (IFS, 2024).



Figura 2- Logótipo da norma internacional IFS Food (IFS, 2024).

Ao longo dos anos e sempre com visão, ambição e melhoria contínua, o grupo Valente Marques, foi realizando múltiplos investimentos com o objetivo de expansão da marca, nomeadamente, a comercialização de legumes secos, legumes cozidos e massas alimentícias, e a criação de uma unidade de produção de tortilhas de milho e arroz (Caçarola, s.d).

3. Orizicultura

3.1 Cultivo do Arroz

O ciclo de vida do arroz, desde a germinação até à maturação, dura normalmente de três a seis meses. Dependendo da variedade, das condições ambientais e do solo, o período é variável (GRiSP, 2013) podendo ser definido entre os 80 e 220 dias, para variedades de *Indica*, e de 120 a 180 dias para variedades de *Japónica* (Yoshida, 1981).

O desenvolvimento da planta de arroz é dividido em três principais fases: Fase Vegetativa, Reprodutiva e de Maturação/Amadurecimento (Figura 3) (GRiSP, 2013; Guimarães *et al.*, 2002).

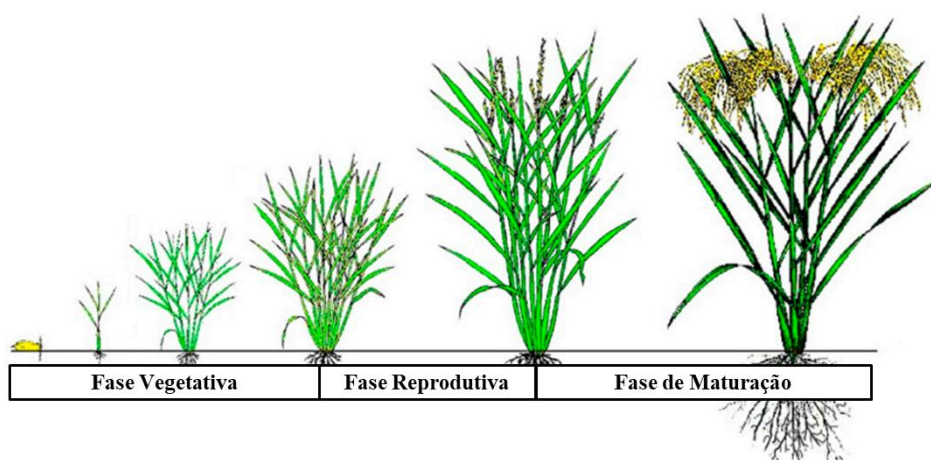


Figura 3- Fases do desenvolvimento da planta do arroz. Adaptado de (Nelson *et al.*, 2014).

A fase Vegetativa é iniciada pela germinação que irá até ao início floral da planta. Nesta fase a semente absorve água e há o desenvolvimento lento da altura da planta (Han *et al.*, 2013; Mohapatra & Sahu, 2022).

Na fase Reprodutiva, com o início floral e que se estende até ao florescimento, a planta cresce substancialmente tendo uma duração constante de 35 dias (Bhattacharya & Ali, 2015). Nesta fase, a planta do arroz, é bastante sensível às condições e *stress* ambiental a que está exposta (Guimarães *et al.*, 2002).

Por último, na fase da Maturação completa da planta, ocorre o desenvolvimento das características físicas como textura, cor e comprimento dos grãos. O período de maturação, depende da temperatura do local de cultivo que pode demorar de 25 a 30 dias, em zonas tropicais, e, de 60 a 65 dias em zonas mais frias. No fim do ciclo de cultivo é concluído o amadurecimento do grão pela acumulação de amido e redução do teor de humidade (Bhattacharya & Ali, 2015; GRiSP, 2013).

Na generalidade, a cultura das variedades de *Indica* é predominante em regiões tropicais, que são tolerantes à seca e intolerantes a temperaturas frias. Contrariamente, as variedades de *Japónica* desenvolvem-se em ambientes com temperaturas mais baixas, com abundância de água e são menos resistentes a pragas e doenças (Kennedy & Burlingame, 2003; Wei & Huang, 2019).

3.2 Cultivo do Arroz em Portugal

A cultura do arroz em Portugal remonta à invasão muçulmana no território que hoje define o país, no entanto, as primeiras evidências inequívocas do seu cultivo datam ao reinado de D. Dinis (1262-1325), com técnicas rudimentares nas margens do estuário do Tejo, cujo consumo se destinava apenas à nobreza (Silva & Faísca, 2015).

No final do século XIX, o cultivo de arroz era restrito às áreas inundadas dos vales de alguns rios. Com o avanço na preparação dos solos e na gestão da água, a cultura do arroz expandiu-se. No início da década de 1920, o arroz tornou-se um componente crucial na dieta dos portugueses. Atualmente, as principais regiões produtoras de arroz em Portugal são a bacia do Mondego (Figueira da Foz e Coimbra), as bacias da Beira Baixa, a bacia do Sado (Alcácer do Sal), e a bacia dos afluentes do Tejo (Almeida *et al.*, 2018; Novarroz, 2023).

Considerando que os três fatores essenciais para o cultivo de arroz são a temperatura, a água e a luz solar, a agricultura portuguesa encontra-se numa situação favorável para o cultivo do arroz (Figueiredo *et al.*, 2013).

Em Portugal, devido às baixas temperaturas dos meses de inverno, o cultivo do arroz é principalmente sazonal. A plantação é realizada nos meses de abril e maio, o crescimento da planta nos meses de verão (de junho a agosto) e a colheita de setembro a outubro (GRiSP, 2013). Durante a campanha de 2023, no que diz respeito à tipologia de arroz plantado, 79% da área semeada correspondeu a arroz carolino, 20% com arroz do tipo médio e redondo e 1% com arroz tipo agulha (COTArroz, 2024).

3.3 Condições Edafoclimáticas

O cultivo desde a semente à planta final do arroz é um processo fisiológico complexo influenciado pelo tipo de solo, água e temperatura/clima (Han *et al.*, 2013; Vidotto & Ferrero, 2000). Para um próspero cultivo de *Oryza sativa* L., a plantação deve ser realizada num solo argiloso com pH ácido e textura ligeiramente mais fina uma vez que possui uma boa capacidade de absorção e retenção de água (GRiSP, 2013).

Sendo uma planta semi-aquática é necessário a presença de água para que floresça. O arroz desenvolve-se normalmente em locais alagados, no entanto, em áreas com alta precipitação não é necessário alagar os solos (Guimarães *et al.*, 2002). Assim sendo, há o benefício do cultivo do arroz num clima com elevada precipitação ou com um sistema de cultivo irrigado em terrenos de baixa altitude (Bhattacharya & Ali, 2015).

A temperatura é um dos fatores mais importantes no crescimento e produtividade da planta (Guimarães *et al.*, 2002). De um modo geral, temperaturas inferiores a 15°C resultam em baixas taxas de germinação e o amarelecimento das plantas, que conduzem a um perfilhamento insuficiente e a um atraso no espigamento impactando negativamente no rendimento das culturas (Sales *et al.*, 2017).

As condições ótimas para o desenvolvimento da planta e do grão correspondem a temperaturas ambientais compreendidas entre 21°C e 35°C. Por esta razão, em climas quentes e tropicais o cultivo é anual (Bhattacharya & Ali, 2015) ao contrário de Portugal, onde o cultivo é apenas realizado nos meses mais quentes (GRiSP, 2013). Ao nível do solo e água, a temperatura ideal difere entre as fases descritas. Na germinação da planta

a temperatura varia entre 20°C a 35°C, na floração de 30°C a 35°C e na maturação de 20°C a 35°C (Guimarães *et al.*, 2002; Rau *et al.*, 2021).

As condições climáticas têm especial relevo durante o desenvolvimento da planta. Nesse sentido, as alterações climáticas têm um impacto significativo no cultivo do arroz. As subidas de temperatura, a alteração da composição dos solos, o aparecimento de mais pragas, a precipitação irregular em determinadas zonas ou a seca noutras, são fatores que levam à perda das culturas, ou a um crescimento irregular da planta, traduzindo-se em grãos com características físicas anormais e composições químicas e nutricionais alteradas (GRiSP, 2013; Guimarães *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2019).

Para obter o máximo rendimento de qualquer variedade de arroz é crucial que a semente, que marca o início do seu desenvolvimento, seja cultivada, colhida e processada de modo adequado. Para isso, a escolha das melhores sementes é um dos passos importantes na produção do arroz. A semente deve ser pura e adaptar-se ao ambiente onde vai ser cultivada, de tamanho completo e uniforme, e livre de ervas daninhas, doenças, insetos, entre outros. A implementação de programas como o Melhoramento do Arroz, que têm em consideração as características das sementes, permitem a continuidade do arroz como alimento (Almeida *et al.*, 2018; Pinto, 2015).

4. Caracterização do Arroz

4.1 Estrutura Morfológica do Grão

Na Figura 4, apresenta-se a estrutura morfológica de um grão de arroz, cujo conhecimento é crucial para se compreender as suas propriedades físicas e químicas. Estruturalmente o arroz pode ser dividido em duas partes, uma camada externa protetora, a casca, e uma camada interna, a cariopse (Juliano & Tũaño, 2019).

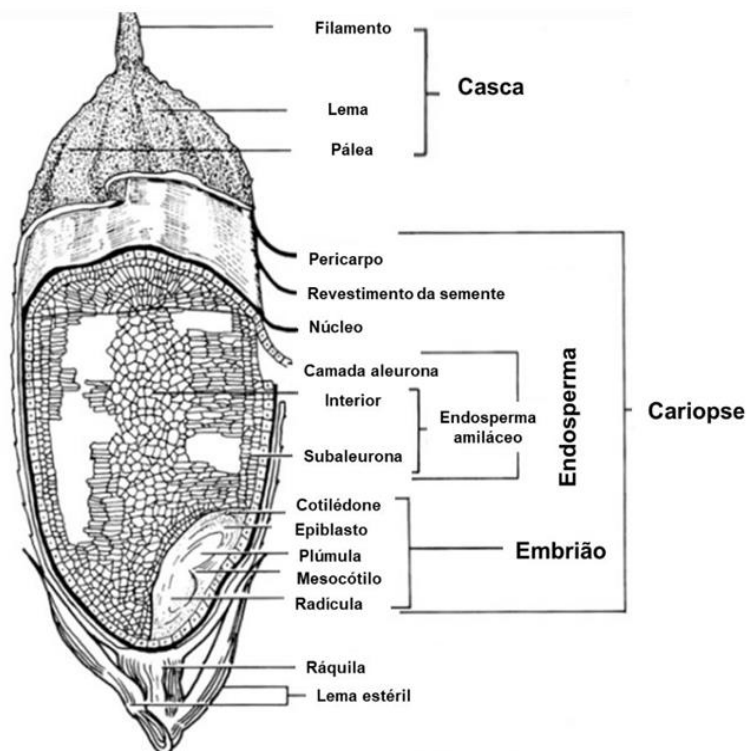


Figura 4- Estrutura morfológica do grão de arroz. Adaptado de (Zhou *et al.*, 2002).

A casca, composta pelo lema e pela pálea, representa cerca de 20% do peso do grão (Juliano & Tuaño, 2019; Walter *et al.*, 2008) e é removida na etapa do descasque. A cariopse é a designação atribuída ao fruto do arroz e o pericarpo encontra-se fundido com a semente ao longo da extensão do grão, sendo comumente denominado de arroz integral (Counce & Moldenhauer, 2019) e considerada a zona edível do arroz. A cariopse é formada pela película (o pericarpo, o revestimento da semente e núcleo), o endosperma e o embrião (gérmen).

O pericarpo, que representa 10% do grão (Juliano & Tuaño, 2019), é a camada com maior resistência à água e que confere o pigmento ao arroz, sendo removido pela ação do branqueamento e polimento, por se encontrar na zona mais externa da película (Oliveira *et al.*, 2021).

O endosperma reúne a camada de aleurona e o endosperma amiláceo, este último formado pela camada de subaleurona e o endosperma interior (Zhou *et al.*, 2002). O embrião do grão, corresponde ao gérmen que é rico em proteínas e lípidos (Juliano & Tuaño, 2019). As células que formam o endosperma são constituídas por paredes finas preenchidas por grânulos de amido. Por sua vez, as células da camada subaleurona são preenchidas por moléculas de proteínas, lípidos e grânulos de amido com menor

dimensão, em comparação com os grânulos de amido do endosperma interior (Counce & Moldenhauer, 2019; Zhou *et al.*, 2002). A Figura 5 ilustra a organização da camada de subaleurona adjacente à camada de aleurona dentro do endosperma de um grão de arroz. A proteína está rearranjada na forma de grandes corpos esféricos na totalidade do endosperma, porém os pequenos corpos proteicos, assim como, os corpos proteicos cristalinos estão situados na camada de subaleurona (Juliano & Tũaño, 2019).

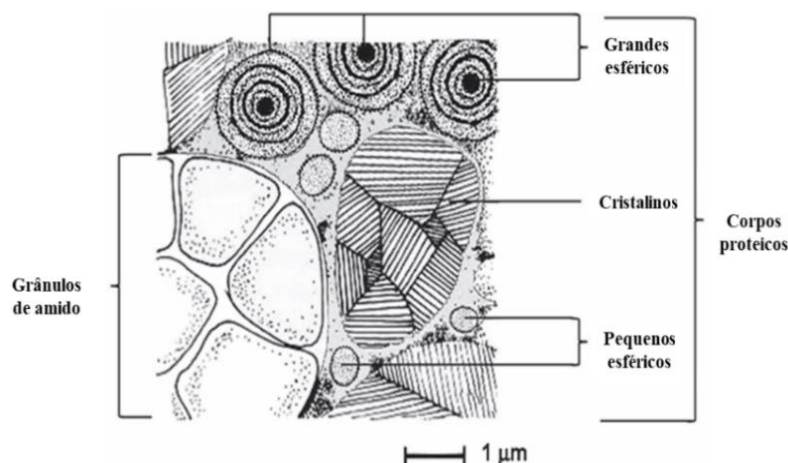


Figura 5- Formação de corpos proteicos no endosperma do arroz. Camada de subaleurona do endosperma. Adaptado de (Juliano & Tũaño, 2019).

É importante salientar que, a estrutura morfológica dos grãos estende-se a todas as variedades de arroz, mas a constituição nutricional e, sobretudo, a composição química variam entre elas (Juliano & Tũaño, 2019; Kim *et al.*, 2019).

4.2 Tipos de Arroz

O arroz é uma planta semi-aquática com uma diversidade genética e multiplicidade de variedades cultivadas (Muthayya *et al.*, 2014). Pertence à família *Poaceae* ou *Gramineae*, e ao gênero *Oryza* que abrange 22 espécies, das quais, 20 estão classificadas como selvagens e as restantes duas espécies, *Oryza sativa* L. e *Oryza glaberrima* Steud., representam uma maior relevância para o ser humano pois são cultivadas e consumidas (Mohapatra & Sahu, 2022).

Oryza sativa L. é proveniente do continente asiático, cultivada globalmente (com exceção dos continentes Ártico e Antártico) e, a grande maioria das variedades derivam desta espécie. A *Oryza glaberrima* Steud é originária do continente africano, sendo apenas

cultivada nesta região, no entanto, tem vindo a ser substituída pela espécie *Oryza sativa* L. (Muthayya *et al.*, 2014).

Apesar do arroz ser reconhecido como um cereal de grande relevo para a população mundial, ainda existe uma incerteza e debate sobre a época em que a planta foi inicialmente domesticada (Huang *et al.*, 2012; Molina *et al.*, 2011), mas diversos estudos genéticos, revelaram que a espécie *Oryza rufipogon* é o ancestral de *Oryza sativa* L., e que o início da sua domesticação foi na China (Fuller *et al.*, 2010; Molina *et al.*, 2011).

Em virtude da domesticação de *Oryza sativa* L., surgiram subespécies que foram combinadas em três principais grupos: *Indica*, *Japónica* e *Javanica*. As subespécies comumente cultivadas são a *Indica*, com 80% do arroz cultivado mundialmente e *Japónica* (Kennedy & Burlingame, 2003; Mohapatra & Sahu, 2022; Sweeney & McCouch, 2007).

De uma forma geral as variedades de *Japónica*, são caracterizadas pelos seus grãos curtos e largos, já as variedades de *Indica*, apresentam grãos médios a longos e estreitos (Figura 6) (Wei & Huang, 2019).

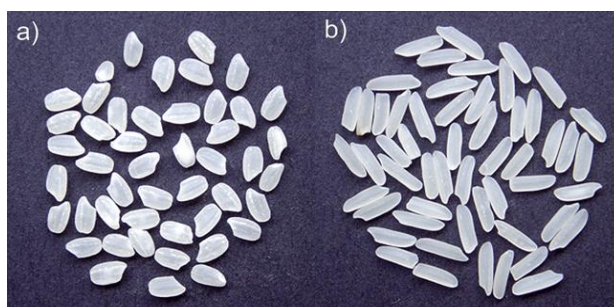


Figura 6- Subespécies de arroz: *Japónica* (a) e *Indica* (b). Retirado de (Kasai *et al.*, 2007).

O arroz Agulha, Basmati e Jasmim/Thai estão inseridos na subespécie *Indica* (Figura 7). O arroz Agulha é caracterizado pelos seus grãos compridos e estreitos, cujo teor de amilose é elevado (superior a 25%) e que depois de cozinhado e arrefecido apresenta uma textura mais firme. O arroz Basmati provém da Índia ou Paquistão, e é considerado um arroz aromático com um grão longo, geralmente utilizado em pratos indianos. Para além do Basmati, o arroz Jasmim/Thai também é um arroz aromático muito utilizado na cozinha chinesa, que apresenta uma textura mais pastosa depois de cozinhar.



Figura 7- Arroz do tipo Agulha, Basmati e Jasmim/Thai. Adaptado de (Cozinha dos Vurdóns, 2016).

Dentro da subespécie *Japónica*, estão incluídas as variedades de arroz Carolino, Médio, Redondo e Risoto (Figura 8). O arroz Carolino apresenta grãos longos e mais arredondados, e um teor de amilose inferior ao do arroz Agulha, absorve facilmente água o que se traduz numa textura menos firme (mais mole) após a sua cozedura, retendo todos os sabores que são adicionados. Muito utilizado na cozinha italiana o Risoto é um arroz com um grão longo que absorve muita água e forma uma pasta cremosa (goma) depois de cozido.



Figura 8- Arroz do tipo Carolino, Redondo e Risoto. Adaptado de (Cozinha dos Vurdóns, 2016).

O arroz selvagem (Figura 9), cultivado na América do Norte, provém de uma semente pertencente ao género *Zizania*, que é uma planta aquática cuja semente é comprida, de cor escura e abundante em vitaminas do complexo B (Comissão Europeia, s.d; Pinto, 2009).



Figura 9- Arroz Selvagem. Adaptado de (Cozinha dos Vurdóns, 2016).

O grão de arroz não branqueado (com película) denomina-se arroz integral e o grão com casca ou película que passa por um processo de imersão em água quente, vaporização e secagem antes do processamento industrial designa-se de arroz vaporizado (Figura 10).



Figura 10- Arroz Integral e Vaporizado. Adaptado de (Cozinha dos Vurdóns, 2016).

Em Portugal, as características do arroz da espécie *Oryza sativa* L. e a trinca de arroz destinados ao consumidor final são regidas pelo Decreto-Lei n.º 157/2017 (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017). Neste, o arroz é classificado quanto ao seu estado físico, dimensão dos grãos, tratamento ao qual é sujeito e subprodutos.

Relativamente ao seu estado físico, o arroz pode ser categorizado de várias formas como: arroz em casca (grão ainda com a casca), arroz descascado, também conhecido como integral ou em película, do qual se removeu somente a casca; arroz semibranqueado, que além da casca, também foi removido parte do gérmen e algumas camadas externas do pericarpo, mantendo as camadas internas; e, finalmente, como arroz branqueado, que é o grão totalmente processado com a remoção da casca, e todas as camadas do pericarpo e do gérmen.

Quanto às suas dimensões os grãos do arroz podem ser classificados como redondos, médios e longos que se encontram descritas na Tabela 1. O arroz com um comprimento do grão inferior a três quartos do comprimento médio do grão inteiro, denomina-se de trinca, e corresponde a um grão partido, podendo ser classificada como trinca grada, média, miúda ou migalha tendo em conta as suas dimensões.

Tabela 1- Classificação dos grãos quanto ao tamanho. (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017).

Classificação	Subespécie	Comprimento (mm)	Relação Comprimento/Largura
Grãos Redondos	<i>Japónica</i>	$\leq 5,2$	< 2
Grãos Médios	<i>Japónica</i>	$\geq 5,2$ e < 6	< 3

Grãos Longos (Categoria A)	<i>Japónica</i> (Carolino)	> 6	> 2,0 e < 3,0
Grãos Longos (Categoria B)	<i>Indica</i> (Agulha)	> 6	≥ 3

Para além das características físicas, o Decreto- Lei nº157/2017 também indica os parâmetros qualificativos para o arroz de tipo Comercial longo e classe Extra (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017).

Os parâmetros qualificativos descritos na Tabela 2 incluem o pico de viscosidade, que indica a viscosidade do arroz, o *setback* (ou retrogradação), que corresponde ao momento em que os grânulos de amido se reorganizam após a entrada de água, e o teor de amilose presente na amostra de arroz.

Tabela 2- Parâmetros reológicos para o arroz carolino e agulha (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017).

Tipo de Arroz	Arroz Carolino (<i>Japónica</i>)	Arroz Agulha (<i>Indica</i>)
Pico de Viscosidade	>2600 cP*	<2500 cP
Retrogradação/ <i>Setback</i>	<600 cP	>750 cP
Teor de Amilose (matéria seca)	<22%	>25%

Nota: Para obter a denominação “extra”, o arroz carolino (longo da categoria A) tem de ser cultivado em Portugal.

*cP- centípoise

Quanto ao tipo de tratamento do arroz, pode ser categorizado como arroz vaporizado no qual o amido está totalmente gelatinizado; arroz pré-cozido que permite a redução do tempo de cozedura devido ao tratamento físico que sofre; arroz glaciado que é envolto por uma película de glicose e talco (próprio para o consumo humano) e arroz matizado que é envolvido por uma camada de óleo comestível. Ainda se pode encontrar o arroz tufado, comumente denominado de “pipoca de arroz”, que resulta do tratamento a alta pressão e calor que o grão em película ou branqueado sofre, obrigando à sua expansão pela perda de humidade, tornando-o inchado/inflado e fofo. É normalmente utilizado no fabrico de barras de cereais, bolachas e outros produtos.

A classificação dos subprodutos do arroz também é definida na legislação (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017), que abrange a casca, um subproduto que cobre a cariopse; o

farelo de casca, obtido pelo processo de descasque através da moagem (trituração) da casca; e, finalmente, a sêmea, um subproduto formado pelos resíduos das camadas do pericarpo, oriundos do desgaste durante o processo de branqueamento e polimento.

Sendo um produto natural, os grãos de arroz apresentam defeitos ao nível da cor e forma. A presença destes grãos no produto final é indesejada e por isso a quantidade limite também está regulamentada. A Tabela 3, apresenta a denominação e as características dos grãos com defeito.

Tabela 3- Denominação e características dos grãos de arroz com defeito (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017).

Denominação do Grão	Características
Grão verde	Maturação incompleta.
Grão deformado	Apresenta características morfológicas claramente divergentes do grão típico da variedade.
Grão danificado	Com deterioração evidente, avariado, germinado, fermentado, ou atacado por predadores.
Grão fendido	Partido longitudinalmente.
Grão gessado	Pelo menos três quartos da superfície tem um aspeto opaco e farinhoso.
Grão estriado de vermelho	Apresenta estrias longitudinais revestidas total ou parcialmente de pericarpo de cor vermelha.
Grão vermelho	Um quarto ou mais da superfície está revestido de pericarpo vermelho.
Grão manchado	Apresenta em pontos da superfície uma alteração da cor natural, com manchas de tons escuros, de tamanho igual ou inferior a metade do grão, ou com estrias negras e profundas.
Grão amarelo	Grão não vaporizado, de cor amarela, no seu todo ou em parte resultante da deterioração.
Grão ambarino	Grão não vaporizado de cor âmbar, que é resultando de uma alteração ligeira, geral e uniforme da coloração natural.
Grão escuro	Grão ou parte de um grão que apresenta em mais de um quarto da superfície coloração escura.

4.3 Composição Nutricional e Química

O arroz é um dos alimentos mais consumidos a nível mundial. A sua composição nutricional e química depende de vários fatores como o uso de fertilizantes, a variação fenotípica, a qualidade do solo, o ambiente, o grau de branqueamento do grão e as condições de armazenamento (Abdul-Hamid *et al.*, 2007; Storck *et al.*, 2005).

Um grão de arroz é composto na sua maioria por amido, e em menor quantidade por proteínas, lipídios, fibras, vitaminas e minerais. A distribuição destes nutrientes não é uniforme pelas frações do grão. As camadas mais externas têm maior concentração de proteínas, fibras, lipídios, vitaminas e minerais, enquanto o centro é abundante em amido (Figura 11) (Roy *et al.*, 2011; Walter *et al.*, 2008).

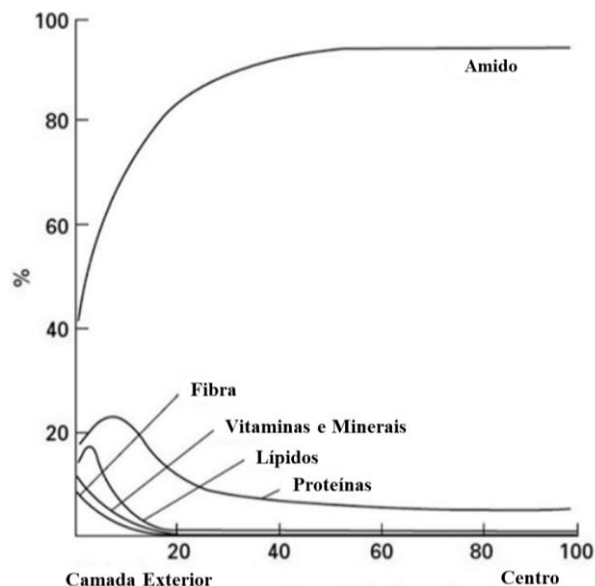


Figura 11- Principais constituintes de um grão de arroz. Adaptado de (Eyarkai Nambi *et al.*, 2017).

Para além do amido, o arroz contém açúcares livres, principalmente na camada externa. A sacarose representa a maior parte desses açúcares (cerca de 90%), embora em quantidades menores, a glucose também pode estar presente. No arroz integral, a concentração de sacarose é de aproximadamente 685 mg/100g e a de glucose é 40 mg/100g. Após o processo de branqueamento, esses valores diminuem consideravelmente, sendo que o arroz branqueado contém 142 mg/100g de sacarose e 20 mg/100g de glucose (Walter *et al.*, 2008).

Durante a transformação do grão, mais especificamente na etapa de branqueamento, são removidas as camadas mais externas do arroz integral, e por consequência, há uma diminuição da quantidade de nutrientes que estão presentes em menor proporção (Figura 11). Assim, quanto maior for o grau de branqueamento do grão, maior será a perda de nutrientes, de forma proporcional (Abdul-Hamid *et al.*, 2007; Zhou *et al.*, 2002).

Na Tabela 4, encontra-se a composição nutricional do arroz integral, do arroz cru branqueado e do arroz carolino cozido.

Tabela 4- Composição nutricional do arroz integral, carolino branqueado e arroz cozido. Adaptado de (INSA, 2023).

Por 100g de arroz			
Composição Nutricional	Arroz Integral	Arroz Carolino Cru Branqueado	Arroz Cozido
Energia (kcal e kJ)	351 e 1490	357 e 1520	125 e 532
Água (g)	12,2	10,7	68,4
Amido (g)	71,6	79,6	28
Proteínas (g)	8,6	7,4	2,5
Lípidos (g)	2,5	0,5	0,2
Fibras (g)	3,8	2,2	0,8

4.3.1 Amido

O amido é o hidrato de carbono predominante no arroz, representa 72 a 82% do peso seco no arroz integral (Frei *et al.*, 2003), e após branqueamento, constitui 90% do peso seco do grão branqueado (Chen & Bergman, 2007; Fitzgerald, 2004). Com função de reserva energética, o amido, é formado por polímeros ramificados de glicose, a amilose e a amilopectina, que diferem no tamanho e grau de ramificação (Ghanbarzadeh & Almasi, 2013; Li *et al.*, 2016).

A amilose (Figura 12a), que retém lípidos no seu interior, é formada por uma cadeia linear e apresenta uma forma helicoidal. É composta por monómeros de D-glucose, denominados de α -D-glicopirranose, unidos por ligações glicosídicas α -D-(1,4), e pode apresentar 0,1 a 2,2% de ligações α -D-(1,6). A amilopectina (Figura 12b), essencial na síntese do amido no grão (Fitzgerald, 2004), exibe uma estrutura ramificada, e é constituída por cadeias de resíduos de α -D-glucopirranose unidas em α -D-(1,4). As ramificações ocorrem em 4 a 6% dos locais através de ligações α -D-(1,6) (Amagliani *et al.*, 2016; Denardin & Silva, 2009; Ghanbarzadeh & Almasi, 2013).

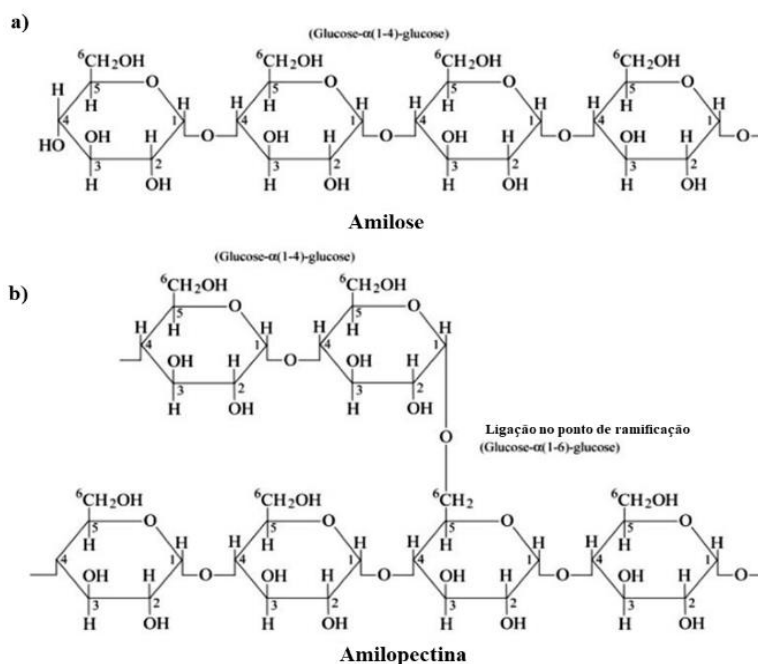


Figura 12- Estrutura química da Amilose (a) e Amilopectina (b). Adaptado de (Ghanbarzadeh & Almasi, 2013).

A organização complexa dos grânulos de amido resulta da interação entre as estruturas moleculares da amilose e da amilopectina, contudo, a mesma pode ser dividida em seis níveis, de forma, a simplificar a sua compreensão (Figura 13).

O nível 1 descreve que as cadeias lineares de amido estão unidas entre si por ligações glicosídicas α -D-(1,4). No nível 2, as ramificações lineares formadas no nível 1, juntam-se através de ligações glicosídicas α -D-(1,6) formando a amilose e amilopectina. O nível 3 representa a união das ramificações das cadeias próximas de amilopectina, que se organizam em estruturas de dupla hélice, criando áreas cristalinas. Estas áreas são intercaladas com regiões amorfas, nas quais se encontram inseridas as cadeias lineares de amilose. O nível 4 corresponde ao crescimento em forma de anel, que é formado de modo intercalar por camadas de semi-cristalinos e camadas amorfas. O nível 5 é relativo à estrutura dos grânulos de amido e apresentam dimensões compreendidas entre 3-8 μ m. Já no nível 6, que corresponde ao último nível, há interação dos grânulos de amido (presentes no grão de arroz desenvolvido) com os restantes constituintes, como proteínas, lípidos e açúcares livres (Bao, 2019).

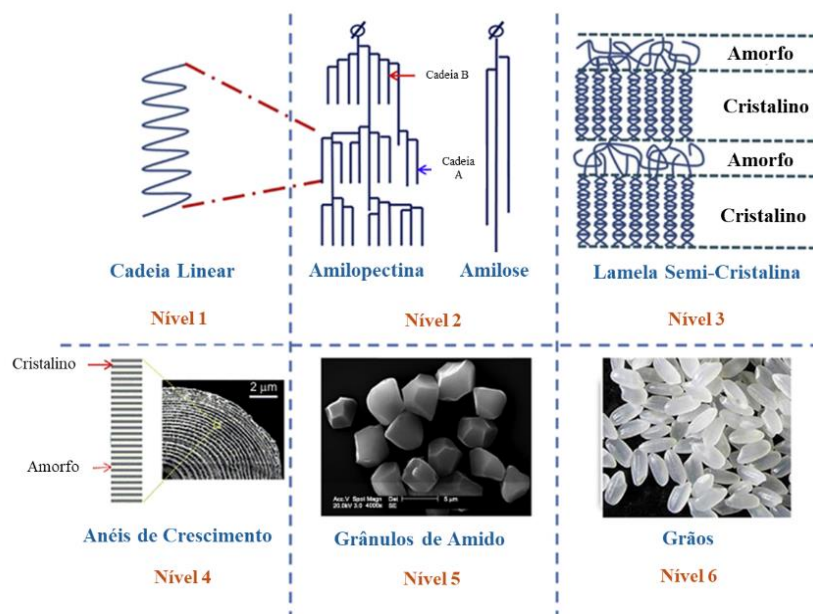


Figura 13- Os seis níveis estruturais do amido. Adaptado de (Bao, 2019).

É importante realçar que a quantidade de amilose e amilopectina, presente na estrutura do amido dentro de um grão, difere consoante o tipo e a variedade de arroz. Geralmente as variedades da subespécie *Indica* são formadas por uma percentagem superior de amilose quando comparadas com variedades de arroz da subespécie *Japónica*. Por conseguinte, esta última subespécie dispõe de um teor de amilopectina superior às variedades da subespécie *Indica* (Amagliani *et al.*, 2016; Bao, 2019).

O teor total de amilose no arroz é um dos fatores que influencia a textura durante o cozimento, e determina a preferência dos consumidores (Kennedy & Burlingame, 2003). Devido às variações nas percentagens de amilose, o arroz pode ser classificado como glutinoso (1 a 2%), muito baixo (7 a 12%), baixo (13 a 19%), intermediário (20 a 25%) e alto (>25%) (Amagliani *et al.*, 2016; Fitzgerald, 2010).

A razão entre amilose e amilopectina determina o grau de expansão dos grânulos de amido, a sua solubilidade em água, as propriedades mecânicas e a habilidade em formar géis, que são aspetos relevantes no comportamento do arroz durante e após o cozimento (Simsek *et al.*, 2013). A amilose tem um papel crucial uma vez que, afeta significativamente a qualidade do arroz quando cozido, bem como a sua textura, capacidade de absorção de água, viscosidade, suavidade, e até mesmo a sua brancura e luminosidade (Zhou *et al.*, 2002). Quando cozinhado, o arroz que dispõe de um baixo teor de amilose fica macio e pegajoso, enquanto um arroz com um teor superior é mais firme e solto (Kennedy & Burlingame, 2003).

➤ Gelatinização e Retrogradação

As características do arroz, nomeadamente a estrutura do amido e as suas propriedades físicas e reológicas permitem caracterizar as diversas variedades de arroz e potenciar o alimento dentro da indústria alimentar (Han & Hamaker, 2001). A distinção das propriedades do amido como a gelatinização e retrogradação, no grão ou na farinha, são alguns dos parâmetros analisados (Bao *et al.*, 2007).

Quando o amido é exposto à água e aquecido a altas temperaturas, ocorre um processo conhecido como gelatinização. Este processo é caracterizado pelo aumento de volume e pela absorção de água pelos grânulos de amido, resultando na quebra da estrutura cristalina interna de forma permanente (Bello *et al.*, 2007). Este fenómeno é influenciado por inúmeros fatores como binómio tempo-temperatura, quantidade de água de cozedura, teor de lípidos, açúcares e de água dos grãos de arroz (Simonelli *et al.*, 2017).

As moléculas de amilose, que formam uma estrutura helicoidal e as cadeiras laterais de amilopectina encontram-se unidas por pontes de hidrogénio. No momento que são aquecidas, há a rutura das pontes de hidrogénio e a água é absorvida (Cornejo-Ramírez *et al.*, 2018; Denardin & Silva, 2009). Assim, a facilidade dos grânulos de amido para absorver água e expandirem-se é determinada pela força das pontes de hidrogénio entre as moléculas, que é afetada pela quantidade de amilose e pela estrutura das cadeias laterais da amilopectina (Schirmer *et al.*, 2015).

Na sequência do aquecimento do amido em água, há transferência de energia (entalpia) e água para os grãos de arroz, conduzindo ao aumento do seu volume, em consequência da absorção da água e hidratação dos mesmos, resultando na perda da cristalinidade da estrutura do amido e a formação de uma pasta viscoelástica que atinge o pico de viscosidade (Kadam *et al.*, 2015).

A temperatura na qual este fenómeno ocorre é denominada de temperatura de gelatinização (Park *et al.*, 2007), e relaciona-se de forma proporcional com a quantidade de amilose, isto é, um grão com teor de amilose maior, tem uma temperatura de gelatinização superior, pois é constituído por mais regiões amorfas e menos regiões cristalinas (Denardin & Silva, 2009; Zhou *et al.*, 2002). Durante a expansão dos grânulos de amido, algumas moléculas de amilose são libertadas para o meio líquido, onde se dissolvem e a viscosidade atinge o seu pico máximo. Com o aquecimento e hidratação contínua dos grânulos de amido, a viscosidade tem tendência a diminuir, uma vez que, há

a quebra das estruturas onde se encontra a amilopectina, que, tal como a amilose, ficam na solução (Denardin & Silva, 2009).

Posteriormente a pasta de amido arrefece e ocorre a retrogradação, que corresponde à recristalização e a reagrupamento das moléculas de amilose e amilopectina (Cornejo-Ramírez *et al.*, 2018) que conduz à formação de zonas cristalinas que alteram o índice de refração e tornam o gel progressivamente mais opaco. A amilose previamente expelida dos grânulos agora inchados formam uma rede com as cadeias de amilopectina ao redor dos grânulos gelatinizados, resultando numa diminuição da viscosidade e na transformação da pasta num gel opaco e viscoelástico (Bao, 2019; Fitzgerald, 2004).

A retrogradação tem uma especial importância na aceitabilidade por parte do consumidor, uma vez que, influencia as características do produto final. A amilose recristaliza mais rápido devido ao facto das suas moléculas serem lineares e unirem-se mais facilmente, ao contrário da amilopectina. Assim sendo, a retrogradação correlaciona-se positivamente com a quantidade de amilose, ou seja, quanto maior for o teor de amilose no grânulo, mais rápida será a retrogradação (Bao, 2019; Cornejo-Ramírez *et al.*, 2018).

A maior velocidade de retrogradação da amilose relativamente à amilopectina justifica que as variedades de arroz com maior conteúdo de amilose, como o arroz agulha, resultem num arroz cozido mais consistente e solto, em contraste com variedades de arroz que possuem menor quantidade de amilose, como o arroz carolino (Yu *et al.*, 2009). A Figura 14, esquematiza o processo que o amido sofre durante a cozedura e posterior arrefecimento.

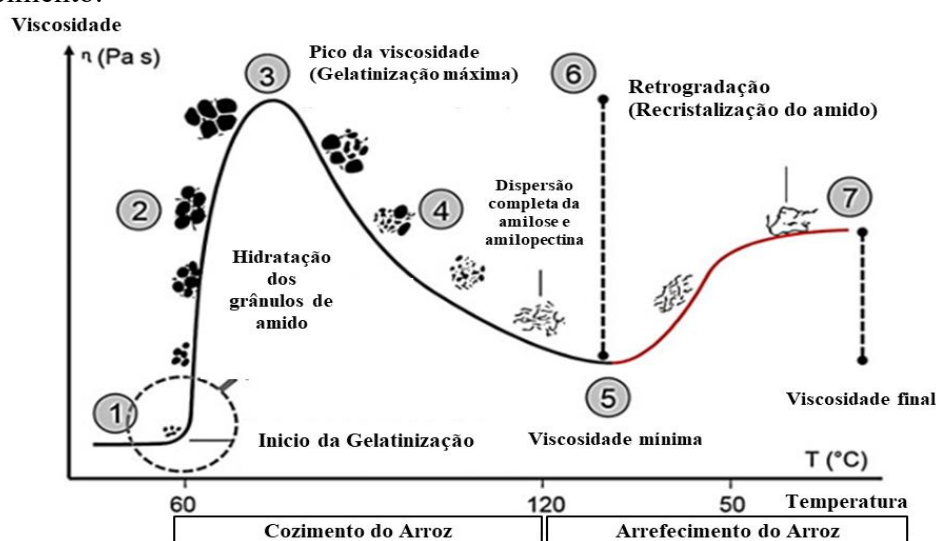


Figura 14- Ilustração das fases da Gelatinização e Retrogradação do amido durante o processo de cozedura e arrefecimento do arroz. Adaptado de (Schirmer *et al.*, 2015).

4.3.2 Proteínas

A proteína é o segundo constituinte em maior proporção no arroz, exibindo, em média, uma concentração de 6 a 7% (Amagliani *et al.*, 2017; Kawakatsu & Takaiwa, 2019) mas pode variar consoante perturbações durante o desenvolvimento do grão como radiação solar, temperatura e fertilizantes ricos em azoto (Walter *et al.*, 2008).

As proteínas encontram-se categorizadas em quatro frações de acordo com a sua solubilidade em água, sal, soluções ácido-base e álcool, respetivamente, a albumina, globulina, prolamina e glutelina, solúveis (Fabian & Ju, 2011; Shih, 2003).

Localizadas no endosperma entre os grânulos de amido, as proteínas estão organizadas consoante a sua morfologia, em dois tipos de corpos proteicos (Figura 15). Os corpos proteicos do tipo I podem ser pequenos ou grandes com forma esférica, contêm anéis concêntricos e uma alta concentração de prolamina. Por outro lado, os corpos proteicos do tipo II têm uma estrutura cristalina segmentada, não possuem estrutura anelar e são compostos principalmente por glutelina e globulina (Fabian & Ju, 2011; Juliano & Tuaño, 2019).

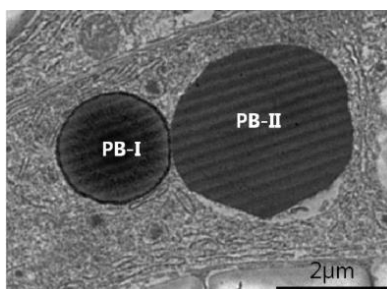


Figura 15- Imagem de microscopia eletrônica de transmissão dos corpos proteicos tipo I e tipo II da camada sub-aleurona. Retirado de (Kim *et al.*, 2013).

Antes de ser branqueado, ou seja, ainda com a sêmea o grão é constituído por 27 a 34% de albumina, 15 a 36% de globulina, 11 a 38% de glutelina e 2 a 6% de prolamina. Após a remoção do farelo, o grão é composto por 70 a 80% de gluteninas, seguido da albumina (4 a 22%), a globulina (5 a 13%) e a prolamina (1 a 5%) (Hoogenkamp *et al.*, 2017; Kawakatsu & Takaiwa, 2019).

A qualidade da proteína do arroz é influenciada pela quantidade de aminoácidos no grão. Relativamente aos aminoácidos proteicos, a lisina, considerado um aminoácido essencial limitante, encontra-se em maior concentração no arroz quando comparado com outros cereais. Em pequenas quantidades, o arroz é constituído por aminoácidos livres,

localizados maioritariamente no gérmen e no farelo e em menor concentração no endosperma. Os principais aminoácidos livres são o aspartato e o glutamato e correspondem a 60% do total (Walter *et al.*, 2008).

A proteína relaciona-se com a textura após a cozedura do grão, visto que, um maior teor de proteína equivale a um arroz mais rígido que absorve menos água (Balindong *et al.*, 2018).

4.3.3 Lípidos

Os lípidos estão disponíveis em menor quantidade no grão, mas desempenham um papel essencial na conservação do arroz durante o armazenamento, no processamento e no cozimento do arroz.

A maioria dos lípidos do arroz localiza-se na sêmea, representando 15 a 25% do seu peso total, no entanto, o teor de lípidos no arroz branqueado corresponde apenas a 0,09 a 1,52%, dependendo da variedade, condições de cultivo e de branqueamento. Para além do farelo, no grão, os lípidos estão depositados no embrião (gérmen), em frações do endosperma, na camada de aleurona sob a forma de esferossomas (corpos lipídicos) e agregados a grânulos de amido (Tong & Bao, 2019). Assim, os lípidos encontrados no arroz podem ser divididos em lípidos do amido, que estão unidos aos grânulos de amido por meio da interação entre as cadeias de ácidos gordos e a amilose, e em lípidos livres, não associados ao amido e espalhados pelo grão na forma de esferossomas (Zhou *et al.*, 2003). Os principais ácidos gordos que fazem parte da constituição do grão de arroz são o ácido palmítico, ácido oleico e o ácido linoleico (Bhunja *et al.*, 2023).

O arroz que contém maior teor de amilose apresenta uma quantidade superior de lípidos ligados aos grânulos de amido, o que os torna mais resistentes à oxidação. Os complexos de lípidos e amilose constituem outro elemento que influencia as propriedades de gelatinização e retrogradação. Ao nível da retrogradação os complexos de lípidos e amilose ajudam a reduzir a retrogradação do amido, resultando num arroz cozido com textura mais cremosa (Tong & Bao, 2019).

4.3.4 Vitaminas e Minerais

O arroz é rico principalmente por vitaminas do complexo B, com destaque para a tiamina (B1), riboflavina (B2) e niacina (B3), além de vitamina E (α -tocoferol), que se encontram nas camadas externas do grão (Ghosh *et al.*, 2019). As vitaminas D e C encontram-se em quantidades residuais (Walter *et al.*, 2008). Por isso, o processo de branqueamento que remove as camadas externas, tal como o processo de cozimento, resulta numa significativa perda dessas vitaminas (Muthayya *et al.*, 2012). No arroz integral a tiamina (B1) pode apresentar um teor de 2,9 a 6,1 $\mu\text{g/g}$, contudo, após o branqueamento o grão apenas tem disponível 0,2 a 1,1 $\mu\text{g/g}$. O conteúdo de riboflavina (B2) varia entre 0,4 a 1,4 $\mu\text{g/g}$ no arroz integral e 0,2 a 0,6 $\mu\text{g/g}$ no grão polido, já a niacina (B3) é a vitamina mais representativa no arroz e varia de 35 a 53 $\mu\text{g/g}$ para arroz com película e de 13 a 24 $\mu\text{g/g}$ após a sua remoção (Walter *et al.*, 2008).

Os grãos de arroz contêm uma variedade de micronutrientes benéficos para a saúde humana, que incluem o ferro, zinco, cobre e selénio. Dos micronutrientes mencionados, o ferro e o zinco são particularmente importantes para a saúde humana, no entanto, estão disponíveis em baixas concentrações (Norton, 2019).

A composição mineral do arroz é afetada pelo seu genótipo. Em geral, os minerais estão mais concentrados nas camadas externas do grão de arroz. Aproximadamente 72% dos minerais estão no farelo, enquanto 28% estão no grão branqueado. É possível encontrar diferentes minerais, em distintas partes do grão. Na casca, o selénio é o elemento predominante, ao invés do grão, que contém uma maior quantidade de fósforo, potássio e magnésio. Quando o arroz é submetido ao processo de vaporização, há um aumento no conteúdo mineral em comparação com o arroz branqueado. Esse fenómeno está relacionado com a migração de minerais das camadas externas para o endosperma durante o processo (Walter *et al.*, 2008).

Na Figura 16 observa-se a perda dos nutrientes, devido ao processo de branqueamento e polimento do arroz.

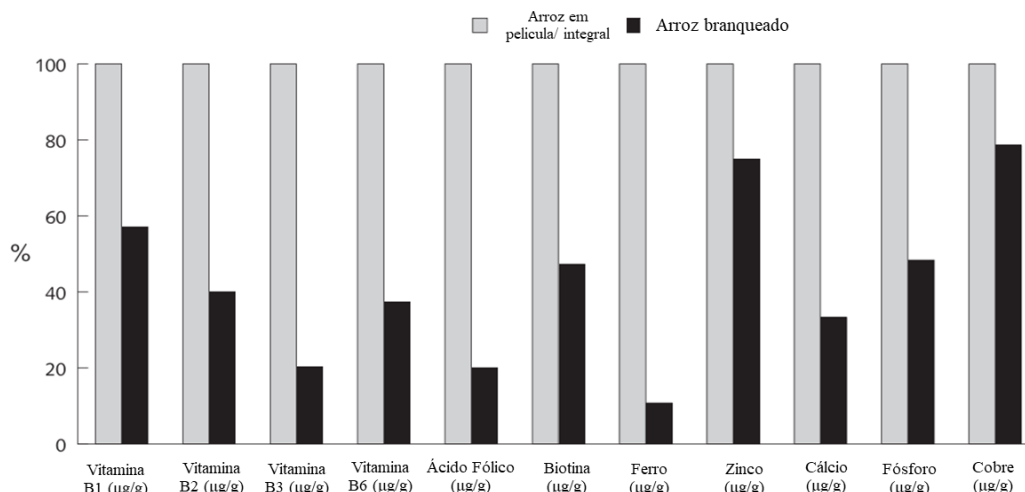


Figura 16- Vitaminas e minerais presentes num grão de arroz antes e após o branqueamento. Adaptado de (Muthayya *et al.*, 2012).

A escassez de micronutrientes no arroz é uma questão nutricional crítica em países em desenvolvimento, especialmente naqueles onde o arroz é um alimento fundamental no dia a dia das populações. Devido a este fator têm sido desenvolvidos estudos com o intuito de aumentar os níveis de vitaminas e de minerais essenciais, como zinco e ferro (Muthayya *et al.*, 2012).

5. Processo Industrial do Arroz

Nas instalações da empresa Caçarola executam-se todas as fases de transformação do arroz que permitem que este chegue ao consumidor com o aspeto e características intrínsecas ao tipo de arroz. No decorrer do processo de transformação do arroz é crucial a implementação e o cumprimento rigoroso das medidas de controlo que asseguram a qualidade e segurança do produto final.

Previamente à chegada da matéria-prima à empresa, o arroz sofre um processo de secagem, ainda no produtor, com o intuito de reduzir a humidade e permitir o armazenamento por períodos longos sem sofrer deterioração. Após a chegada da matéria-prima à unidade fabril, é recolhida uma amostra que é sujeita a análises laboratoriais. No laboratório interno é determinado o teor de humidade que, de acordo com o Decreto-Lei nº 157/2017 de 28 de dezembro, não deve ultrapassar os 14%, no entanto, se o valor for superior não pode exceder os 14,3% (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017).

Nesta fase, para controlar a matéria-prima rececionada, é replicado à escala laboratorial, o processamento que o arroz sofre à escala industrial, com o intuito de examinar visualmente as características físicas, possíveis impurezas e parasitas presentes na matéria-prima, como também determinar o rendimento industrial e a qualidade do arroz branqueado. A análise de parâmetros microbiológicos, reológicos, nutricionais e teor de contaminantes é realizada em laboratórios externos acreditados.

A simulação do processamento do arroz em casca é realizada com recurso a um só equipamento (marca Suzuki) (Figura 17), que abrange o descasque e o branqueamento. No caso do arroz em película (sem casca), o equipamento também permite apenas realizar o branqueamento. O modo de funcionamento do equipamento assenta em dois rolos de borracha para descascar o arroz e duas pedras de esmeril para o branquear (Dhankhar, 2014).



Figura 17- Equipamento à escala laboratorial de descasque e branqueamento de arroz.

Se o arroz cumprir todos os requisitos legais vigentes e impostos pela empresa é autorizada a descarga para silos de armazenamento, onde há uma monitorização contínua da temperatura que permite a ventilação e o controlo de pragas adequados. Este controlo de temperatura no interior dos silos, é indispensável para impedir a fermentação, uma vez que quanto maior for o teor de humidade presente no arroz em casca, maior será a probabilidade de haver o desenvolvimento de microrganismos e posterior fermentação (Zhao *et al.*, 2017). Após a descarga do arroz para o silo, a transformação ocorre de forma automatizada. Inicialmente o arroz deixa o silo e segue para a etapa de limpeza (realizada por tararas e despedradoras)¹ para remover impurezas e objetos estranhos como pedras, areias, terra, milhãs que se juntam com os grãos.

¹ - Equipamentos utilizados na indústria arroseira.

De seguida, o arroz passa por um íman que, retém possíveis partículas metálicas e segue para um aparelho de descasque que por fricção entre dois rolos de borracha que se movimentam com rotações e sentidos opostos (Figura 18), facilita a libertação da casca do restante grão, obtendo-se assim o arroz em película (integral) (Hegazy & Okasha, 2020; SGCIE, 2018).

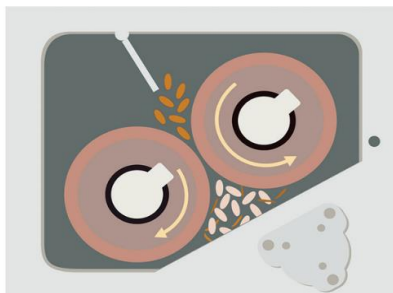


Figura 18- Movimento oposto dos rolos de borracha no processo de descasque do arroz. Retirado de (Oliveira *et al.*, 2021).

Na sequência deste processo, o arroz obtido passa por um sistema que separa o arroz que não foi corretamente descascado, encaminhando-o de novo para a fase do descasque. A casca que se obtém constitui um subproduto do processo que é comercializado para outras indústrias.

Após o descasque, ocorre o branqueamento do arroz em película pela abrasão dos grãos contra uma pedra de esmeril em rotação, onde se remove o pericarpo.

O polimento acontece por fricção suave do arroz contra o próprio arroz e por pulverização com água, que induz brilho e aperfeiçoa os grãos de arroz (Dhankhar, 2014). A quantidade de água utilizada é bastante reduzida para que o grão não a absorva. Nesta etapa, obtém-se o subproduto denominado de sêmea, formado pela película retirada aos grãos descascados. A Figura 19 ilustra a estrutura morfológica de um grão de arroz.

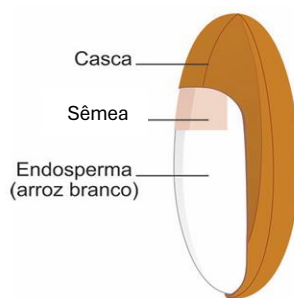


Figura 19- Estrutura morfológica simplificada de um grão de arroz. Adaptado de (Oliveira *et al.*, 2021).

Após o branqueamento o arroz segue em primeiro lugar para os peneiros, onde são removidas as partículas de grãos mais pequenas, e depois para o trior, ambos os equipamentos separam os grãos inteiros dos grãos partidos, segundo o seu tamanho e densidade. Os grãos partidos, denominados de trinca são outro subproduto do processo.

A etapa seguinte consiste na passagem do arroz por uma seletora que escolhe os grãos em conformidade com as suas características cromáticas, rejeitando os grãos defeituosos, ou com alteração de cor dos grãos brancos do produto final. Através da cor, separam-se os grãos não conformes (grãos imaturos, grãos com defeito ou cor preta/castanha, grãos brancos opacos ou verdes, grãos estriados vermelhos e os grãos ambarinos (amarelos)).

Na sequência destes processos, os grãos de arroz que estão de acordo com as normas legais e atendem aos requisitos do cliente são armazenados em silos e posteriormente encaminhados para o embalamento, enquanto os que não cumprem esses critérios são direcionados para a zona de rejeitados e considerados um subproduto. Antes do embalamento, e dependendo dos diferentes mercados e clientes pode ser realizada uma etapa de matização do arroz, onde os grãos são envolvidos com uma pequena camada de óleo vegetal que melhora a sua aparência.

De referir que, a passagem do arroz por ímãs não ocorre apenas na etapa anterior ao descasque, mas sim ao longo de todo o processo de transformação do arroz.

Na fase do embalamento, o arroz entra nas várias linhas, onde é embalado em embalagens desde 500g a 25kg, passando depois por um detetor de metais, de modo a garantir uma segurança acrescida ao produto. Para além do controlo do arroz realizado à receção da matéria-prima, também é efetuado um controlo do teor de humidade e brancura do arroz produzido ao longo do dia, bem como do produto final embalado, para verificar o cumprimento das especificações. O arroz embalado é paletizado e armazenado em condições de humidade e temperatura adequadas, para minimizar a deterioração do produto.

Na Figura 20, apresenta-se o fluxograma do processamento industrial do arroz.

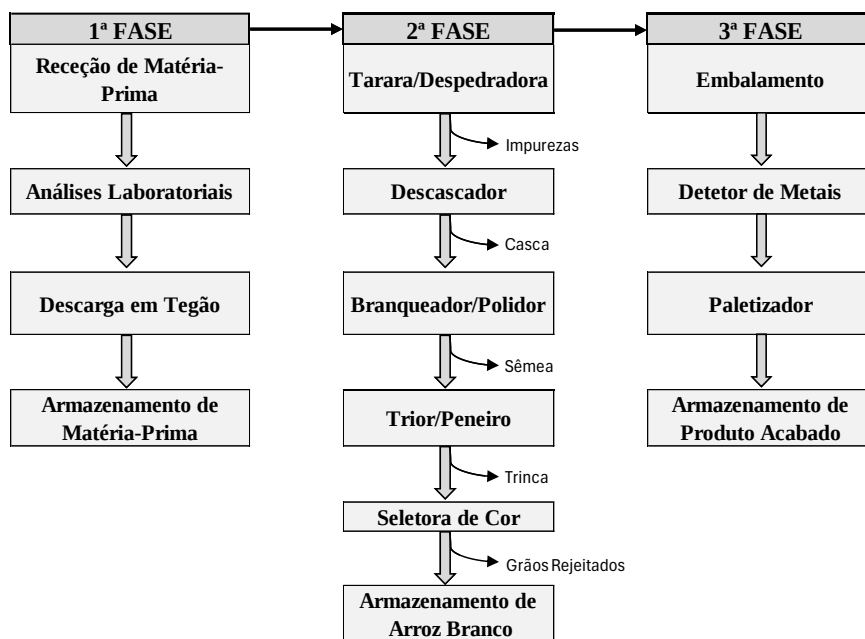


Figura 20- Fluxograma das principais etapas do processamento industrial do arroz.

Devido ao seu elevado valor nutricional, os subprodutos resultantes dos diversos procedimentos (como casca, sêmea, trinca e grãos rejeitados) são reaproveitados para a alimentação animal, ou extração de óleos. Contudo, a trinca também pode ser comercializada para alimentação humana e transformada noutros produtos alimentares (Chaudhari *et al.*, 2018; SGCIE, 2018).

5.1 Rendimento Industrial

Os aspetos relacionados à qualidade do grão de arroz são amplos e complexos. O valor comercial é determinado pela qualidade industrial. Esta qualidade é determinada com base no rendimento útil, determinado pela relação entre a quantidade de grãos inteiros e partidos (trinca) após o processamento do arroz, desde o descasque (Bordin *et al.*, 2016; Salassi *et al.*, 2013). O método utilizado para determinar o rendimento industrial é padronizado pela norma ISO 6646:2011(E) que define o rendimento do arroz branqueado pelo somatório de grãos inteiros com a trinca (ISO 6646:2011, 2011).

A determinação do rendimento industrial numa indústria arroseira também permite avaliar a efetividade de todas as operações de produção e transformação de arroz (Buggenhout *et al.*, 2013).

Existem vários fatores que influenciam o rendimento industrial do arroz, como a secagem, as características naturais do grão e as propriedades mecânicas envolvidas durante o processamento (Salassi *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2003). Quando o arroz termina o seu desenvolvimento, apresenta teores de humidade elevados que são reduzidos pelo processo de secagem, para que os grãos fiquem duros e com um teor de água baixo, cerca de 14%. Se o processo ocorrer por um período prolongado ou a uma temperatura elevada o grão tem tendência a partir (Prabhakaran *et al.*, 2017).

O desenvolvimento da planta do arroz, mais especificamente, das características físicas e químicas é afetado pelas condições edafoclimáticas. Assim, na etapa de descasque do grão, determina-se a percentagem de grãos com defeito na forma, com cor diferente de branco (ou seja, gessados, verdes, amarelos, amarelos, manchados e vermelhos) e impurezas. O valor do arroz a pagar ao produtor é calculado com base nestes parâmetros (Salassi *et al.*, 2013).

Durante o processamento da matéria-prima, desde o grão em casca até ao consumo do produto final, o arroz sofre diversos impactos seja entre os próprios grãos como, nos equipamentos que atravessa, que são influenciados pela velocidade, força, ângulo e posição onde ocorre a colisão, podendo causar fissuras ou mesmo a quebra dos grãos já fragilizados (Han *et al.*, 2021). As etapas principais que afetam o rendimento industrial são o descasque, o branqueamento e o polimento do arroz. Na etapa de descasque a folga entre os dois rolos de borracha, a velocidade de rotação e o tempo de descasque são fatores que ajudam a determinar o rendimento final do arroz. Um grão da subespécie *Japónica*, que é mais curto e arredondado tem menos suscetibilidade de partir no momento do descasque quando comparado com o da subespécie *Indica*, que apresenta um grão comprido e estreito (Prabhakaran *et al.*, 2017).

O branqueamento e polimento torna o arroz mais branco, sendo uma característica bastante apreciada pelos consumidores. A etapa de branqueamento pode ocorrer até três fases, o que diminui a qualidade do grão porque a força abrasiva remove as camadas de nutrientes do arroz (Prabhakaran *et al.*, 2017) e pode causar a quebra do grão ou originar fissuras. No branqueamento e polimento há mais propensão a ocorrer a quebra ou fissura (Zhang *et al.*, 2003), devido à fricção (entre os grãos e dos grãos com o equipamento) e ao calor gerado (Buggenhout *et al.*, 2013; Saleh & Meullenet, 2015).

Comumente existe uma correlação direta entre o rendimento industrial e o preço do arroz. O rendimento é influenciado pelos fatores descritos e que dependem da variedade, das condições de crescimento como a fertilização, data da colheita, doenças que possam surgir e dos processos a que o arroz é submetido (Buggenhout *et al.*, 2013; Salassi *et al.*, 2013).

5.2 Qualidade do Arroz

A qualidade de um produto é vista como um impulsionador da melhoria da cadeia alimentar. Como em qualquer produto, na indústria arroseira, é o consumidor que dita, em parte, o que é considerado um “produto com qualidade”. Por esta razão é fundamental compreender os mercados de consumo, no seu contexto histórico, geográfico e sociocultural (Custodio *et al.*, 2019).

Todavia, é imperativo considerar que ao longo da cadeia produtiva a qualidade dos grãos é afetada por diversos fatores, entre eles encontram-se as práticas pré e pós colheita, a variedade cultivada, as máquinas utilizadas na transformação, o clima e teor de humidade dos grãos (Mohapatra & Bal, 2012). Em geral, o incremento da qualidade do arroz consumido, assenta na investigação, nos produtores e forma de cultivo, na indústria, nas autoridades, e por último no consumidor.

A investigação e os programas de Melhoramento Genético fomentam o desenvolvimento de novas variedades de culturas com propriedades aperfeiçoadas que aumentam o rendimento final do arroz e consequentemente a qualidade. O agricultor visa gerir a cultura para alcançar produções de excelência, seguindo práticas agrícolas responsáveis que garantam o crescimento favorável do arroz e a segurança alimentar do produto. Em Portugal, o método de produção integrado adotado pela maioria dos produtores tem permitido obter produtos de excelência. (Almeida *et al.*, 2018; Mohapatra & Bal, 2012; Sampaio, 2017). O setor da indústria procura um produto que maximize o rendimento durante a sua transformação e que seja apelativo e seguro para o consumidor. Para atingir estes objetivos, tem havido um investimento na compra de matéria prima com qualidade superior a produtores que cumpram as normas impostas, de diversos equipamentos e uma aposta na imagem da embalagem (Custodio *et al.*, 2019) As autoridades, como a ASAE e a DGAV, fiscalizam e asseguram o cumprimento da legislação vigente, garantindo a inexistência de fraude alimentar (Sampaio, 2017). Por

fim, o consumidor é o avaliador das características, como sabor, cor, textura e aparência associadas ao produto final.

O consumidor avalia a qualidade do arroz pelo aspeto visual, no momento da compra, e posteriormente em casa, consolidando a sua preferência pelo produto através do seu comportamento no momento da confeção. Para além das características acima referidas, a preferência por um determinado tipo de arroz depende do prato a confeccionar, do tempo de cozedura, e do comportamento dos grãos quando reaquecidos (Villanova *et al.*, 2014).

6. Materiais e Métodos

Neste capítulo são abordados todos os aspetos essenciais à realização do trabalho experimental, nomeadamente a escolha dos graus de branqueamento do arroz, a identificação das variedades em estudo, a descrição dos procedimentos para a determinação dos parâmetros estudados e por fim, a análise estatística aplicada aos dados obtidos. É importante referir que este trabalho, foi realizado com amostras aleatórias de alguns fornecedores da variedade, e que podem não representar fielmente as características das variedades estudadas.

6.1 Amostras de Arroz

6.1.1 Determinação dos Graus de Branqueamento

Inicialmente, definiu-se o valor do grau de brancura (*Kett*) utilizado industrialmente através da análise de um pacote de “Arroz Carolino” Caçarola. Escolheu-se aleatoriamente uma variedade de arroz utilizada no estudo com o intuito de se definir os dois graus de branqueamento aplicados. Após se ter determinado o grau de brancura e o tempo associado utilizado a nível industrial (03:00 minutos) foram testados outros tempos onde se avaliou o grau de brancura e o rendimento industrial, descrito pela quantidade de trinca.

Na Tabela 5 encontram-se os tempos de branqueamento das amostras, valor de brancura e quantidade de trinca.

Tabela 5- Tempos de branqueamento, grau de brancura e quantidade de trinca na amostra teste.

Amostra Teste		
Tempo (minutos: segundos)	Valor <i>Kett</i>	Trinca+ Lixo (g)
01:30	34,8	11,59
02:40	41,4	12,83
03:00	43,7	15,15
03:10	44,7	16,81
04:00	46,9	18,25

Os graus de branqueamento definidos foram 2:40 e 3:10 minutos:segundos, respetivamente. O tempo 01:30 minutos:segundos não foi considerado, uma vez que o arroz apresentava um grau de brancura baixo, traduzindo-se num arroz mais escuro e não apelativo para o consumidor. Também não foi considerado o tempo 04:00 minutos:segundos, pois o valor de trinca era muito elevado o que representa um baixo rendimento industrial.

6.1.2 Preparação das Amostras

As amostras utilizadas encontravam-se em casca, e, por esta razão foi necessário proceder ao seu descasque e branqueamento consoante os dois graus de branqueamento definidos.

De modo a garantir que todo o arroz era processado uniformemente, e que as condições permaneciam inalteradas, foram descascadas e branqueadas 100g de amostra sistematicamente, cumprindo desta forma a capacidade máxima de funcionamento do equipamento mencionado na secção 5 (Figura 17- marca Suzuki).

O descasque e branqueamento das amostras foram realizados em equipamento próprio que reproduz a nível laboratorial o que acontece à escala industrial. Como referido anteriormente são usados dois rolos de borracha para descascar o arroz e duas pedras de esmeril para o branquear (Figura 17). A casca, farelo e sêmea que provêm deste processo

são rejeitadas por um tubo exterior, e/ou armazenadas em dois dos três depósitos do equipamento, sendo que o arroz fica armazenado no outro depósito.

O arroz que provém deste processo foi crivado três vezes, recorrendo a um crivo com dimensão de 4,8mm (Figura 21), para se eliminar possíveis impurezas que não foram rejeitadas pelo equipamento de descasque e branqueamento e retirar a trinca (grãos partidos) resultante do processo.



Figura 21- Crivo utilizado para retirar a trinca.

6.1.3 Identificação das Amostras

As diferentes amostras de arroz estudadas foram provenientes da campanha do ano 2023/2024 e rececionadas pela empresa Caçarola. De referir, que as variedades utilizadas têm como origem Portugal, sendo que o local exato de cultivo não é especificado, uma vez que, a informação é confidencial à empresa.

Foram analisadas oito variedades de arroz da subespécie *Japónica* (sete do tipo carolino e um do tipo médio), para a avaliação das suas características. Tendo em conta os objetivos descritos, determinaram-se dois graus de branqueamento distintos, perfazendo um total de dezasseis amostras analisadas. Devido a este fator, as amostras foram codificadas para facilitar o processo de identificação durante a realização das análises a que foram sujeitas.

Com o intuito de facilitar o processo de identificação das amostras na apresentação dos resultados e respetiva discussão foi adotada uma cor que é associada a cada uma das variedades. Na Tabela 6 encontram-se de forma detalhada as variedades e cor associada, tipo de arroz, graus de branqueamento e códigos utilizados na realização deste estudo.

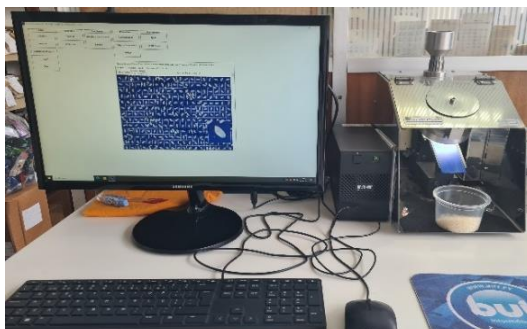
Tabela 6- Codificação dos graus de branqueamento das variedades estudadas e cores associadas.

Variedades	Cor	Tipo de Arroz	2 Graus de Branqueamento - Códigos	
			01 2:40 (minutos:segundos)	02 3:10 (minutos:segundos)
Ariete		Carolino	Ar01	Ar02
Cl-33		Carolino	Cl01	Cl02
Ibérico		Carolino	Ib01	Ib02
Leonardo		Médio	Le01	Le02
Luna		Carolino	Lu01	Lu02
Lusitano		Carolino	Lus01	Lus02
Ronaldo		Carolino	Ro01	Ro02
Velox		Carolino	Ve01	Ve02

As amostras de arroz foram avaliadas em termos das características biométricas, do rendimento industrial, do teor de humidade, do teor de amilose, dos tempos de cozedura, e das propriedades reológicas (viscosidade, força de extrusão e textura).

6.2 Características Biométricas e Rendimento Industrial

As características biométricas dos grãos de arroz são determinadas através das propriedades físicas como comprimento, largura, razão comprimento/largura, brancura (total e vítrea) e grau de brancura (*Kett*). À exceção do grau de brancura, a análise morfológica do arroz foi analisada utilizando o equipamento *Statistic Analyzer S21* da empresa *AgroMay*. Este equipamento, cujo funcionamento assenta na ISO 11746:2020 (E) (ISO 11746:2020, 2020), é composto pelo corpo físico do analisador e pelo programa informático (Figura 22).

**Figura 22-** Equipamento *Statistic Analyzer S21* da empresa *AgroMay*.

O corpo físico consiste num dispensador vertical, onde se coloca a amostra, uma rampa vertical, que separa o arroz por meio de agitação, e uma câmara de alta velocidade, que através de um disparo contínuo fotografa os grãos individualmente. O programa deteta os grãos e agrupa-os consoante as suas características físicas, como a quantidade de trinca, grãos com defeito (grãos gessados/verdes, vermelhos/estriados, defeituosos/danificados) e grãos perfeitos e trata os dados estatisticamente (Agromay-Soluciones Técnicas, S. L., s.d).

A determinação do rendimento industrial foi determinada segundo a norma ISO 6646:2011(E) (ISO 6646:2011, 2011), no entanto, foi necessário efetuar algumas alterações ajustadas à realidade da empresa, que se descrevem de seguida. A quantidade de arroz analisada no equipamento *Statistic Analyzer S21* (Tabela 7), para cada variedade e grau de branqueamento, foi a resultante do procedimento da preparação das amostras.

Tabela 7- Quantidade de amostra analisada no equipamento *Statistic Analyzer S21*.

Amostra	Quantidade Analisada (g)	Amostra	Quantidade Analisada (g)
Ar01	62,86	Ar02	58,69
Cl01	62,73	Cl02	61,21
Ib01	63,29	Ib02	61,19
Le01	53,19	Le02	51,27
Lu01	58,17	Lu02	53,54
Lus01	56,37	Lus02	50,97
Ro01	53,58	Ro02	51,79
Ve01	54,48	Ve02	51,42

Na prática, o rendimento industrial do arroz foi quantificado pelo somatório dos grãos inteiros perfeitos, dos grãos com defeito e pela trinca. A quantidade de trinca presente foi determinada através da soma do método manual (obtido pelo crivo), e pelo valor obtido no aparelho.

➤ Grau de Brancura

O grau de brancura do arroz, denominado de *Kett*, foi determinado com recurso ao colorímetro *Rice Whiteness Tester C-600* (*Kett- Science of Sensing*) (Figura 23).



Figura 23- Colorímetro *Rice Whiteness Tester C-600*.

Para medir o valor *Kett* das amostras estudadas, o equipamento foi previamente calibrado com uma “cassete” com o valor padrão de brancura de 85,2 e, de seguida, a amostra foi colocada numa outra “cassete” cujo valor apresentado corresponde ao grau de brancura da amostra. O equipamento funciona através da quantificação da luz refletida pelas amostras, numa escala que varia entre 5,0 e 69,9 (Kett- US, 2011).

O grau de brancura de uma variedade de arroz, encontra-se relacionado com o seu branqueamento e polimento, assim, quanto mais elevado for o valor de *Kett*, mais branqueada está a amostra. A medição do valor de *Kett* foi realizada em triplicado para cada amostra estudada.

6.3 Teor de Humidade

A humidade foi medida utilizando a termobalança *Infrared Moisture Analyzer FD-660* (Kett- *Science of Sensing*) (Figura 24), que se encontra calibrada segundo a ISO 712:1998 (E) (ISO 712:1998, 1998).



Figura 24- Termobalança *Infrared Moisture Analyzer FD-660*.

Este equipamento determina a percentagem de humidade aquecendo as amostras através de infravermelhos até aos 130°C, e mede as diferenças entre a massa inicial e a massa final após a secagem (ocorre a evaporação da água presente) (Kett Electric Laboratory, 2014). Neste caso, o arroz já branqueado foi moído e pesaram-se 5 a 5,05g de amostra diretamente no equipamento. Para cada amostra realizaram-se três réplicas.

6.4 Teor de Amilose

O teor de amilose das amostras foi determinado segundo o método colorimétrico em meio ácido descrito por Juliano em 1971, com adaptações (Juliano, 1971). A análise baseia-se na afinidade que a amilose tem com o complexo de iodo, apresentando uma cor azul. A intensidade da cor relaciona-se positivamente com a quantidade de amilose presente nas amostras (Pesek & Silaghi-Dumitrescu, 2024).

Inicialmente, pesou-se 100 mg de farinha de arroz (arroz moído no *Laboratory Mill* 120 da *Perten Instruments*) de cada amostra para tubos de ensaio, aos quais se adicionaram 1 mL de etanol (95%) e 9 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 1 M. Com o intuito de gelatinizar o amido, a solução foi aquecida em banho-maria a 100°C durante 10 minutos. Posteriormente, deixou-se arrefecer a solução e transferiu-se para um balão volumétrico de 100 mL aferiu-se com água destilada e agitou-se a solução.

Desta solução foram retiradas três alíquotas de 0,5 mL para tubos de ensaio, aos quais se adicionaram 0,1 mL de ácido acético (CH_3COOH) 1 M, 5 mL de água destilada, 0,2 mL de solução de iodo (0,2 g de iodo (I_2) e 2 g de iodeto de potássio (KI) para um volume final de 100 mL) e 4,2 mL de água destilada. Esta solução foi homogeneizada e deixada em repouso durante 20 minutos para o desenvolvimento da cor (Figura 25 a e b).

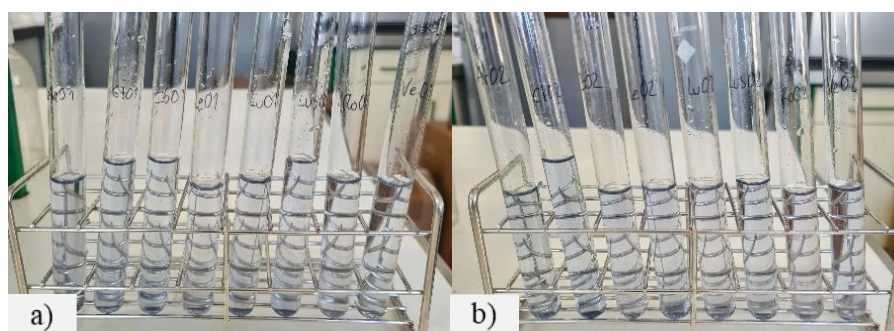


Figura 25- Amostras para a leitura da absorvência: a) Branqueamento 01 e b) Branqueamento 02.

A absorvência de cada amostra foi medida a 620 nm no espectrofotômetro DR3900 (*Hach Lange*) (Figura 26). Paralelamente também foi preparada uma solução de branco. Para o branco utilizou-se o mesmo procedimento experimental, mas a solução de amostra foi substituída por uma solução de hidróxido de sódio 0,09 M.



Figura 26- Espectrofotômetro DR3900 da empresa Hach Lange.

O teor de amilose nas amostras foi obtido por interpolação a partir de uma curva de calibração (Figura 27) construída com amilose pura comercial, de batata *Merck* (Juliano, 1971; Srieiko *et al.*, 2012). As quantidades de reagentes pipetados para a obtenção das soluções dos padrões de amilose, encontram-se descritas na Tabela 8.

Tabela 8- Quantidade de reagentes utilizados nas soluções padrão.

Solução de Amilose (mL)	Ácido Acético (mL)	Solução de Iodo (mL)	Água Destilada (mL)	Concentração de amilose (mg/ mL)
0,1	0,02	0,2	9,68	0,008
0,2	0,04	0,2	9,56	0,016
0,3	0,06	0,2	9,44	0,024
0,4	0,08	0,2	9,32	0,032
0,5	0,1	0,2	9,20	0,04

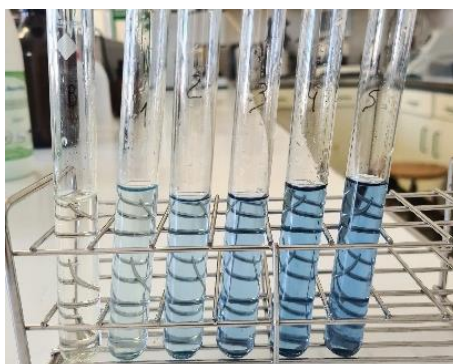


Figura 27- Soluções padrão de amilose.

Esta análise foi realizada nos laboratórios da Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC). Para cada amostra e para cada concentração da solução de amilose usada para a construção da curva de calibração foram realizadas três réplicas.

6.5 Tempos de Cozedura

Os tempos de cozedura foram determinados tendo como referência o método descrito na ISO 14864:1998 (E) (ISO 14864:1998, 1998), sendo necessário efetuar algumas adaptações para otimizar a determinação dos tempos das diferentes variedades.

Para a realização deste teste foram utilizados oito difusores, e selecionados 10 grãos perfeitos que se colocaram em cada um dos difusores (Figura 28). Os difusores foram submersos numa panela com água a ferver e iniciou-se de imediato a contagem do tempo, colocou-se a tampa na panela e ficou a cozer durante um determinado tempo. De acordo com a variedade estudada foi estipulado um tempo mínimo de cozedura e após este tempo foi retirado um difusor a cada minuto e mergulhado em água fria para interromper o processo de cozedura.



Figura 28- Difusores onde se colocaram os grãos de arroz a cozer.

Após este processo, os grãos foram retirados dos difusores e dispersos em placas de Petri (Figura 29a), e esmagados com o auxílio de uma segunda placa. A avaliação da cozedura dos grãos foi efetuada visualmente pela presença ou ausência de núcleos brancos (Figura 29b e c). A ausência de núcleos brancos indicava que os grãos de arroz estavam completamente cozidos ou gelatinizados.

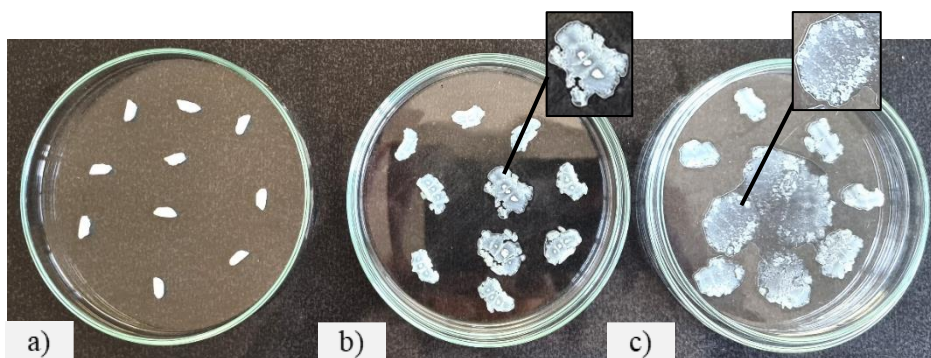


Figura 29- Teste de cozedura: a) Dispersão dos grãos, b) Presença de núcleos brancos e c) Arroz cozido (sem núcleos brancos).

É importante referir que esta análise serve para indicar o tempo de cozedura ideal onde 90% ($t_{90\%}$) dos grãos de arroz estão gelatinizados. Foram executadas três réplicas do procedimento descrito para cada variedade e determinou-se a percentagem de grãos gelatinizados. O tempo de cozedura para que 90% ($t_{90\%}$) dos grãos ficassem gelatinizados foi determinado através de uma interpolação polinomial de uma função de 2ª ordem e posteriormente foi efetuada a média e desvios padrão dos tempos estipulados para as três réplicas.

6.6 Propriedades Reológicas

A determinação dos parâmetros da viscosidade, força de extrusão e perfil de textura das variedades e graus de branqueamento de arroz foi realizada nos equipamentos nos laboratórios da Escola Superior Agrária de Viseu (ESAV).

6.6.1 Perfil de Viscosidade

A viscosidade é uma propriedade de relevo na caracterização do arroz, pois fornece informações importantes para avaliar o comportamento do arroz no momento de cozedura, no instante após e no reaquecimento se necessário.

Esta análise foi realizada utilizando o equipamento *Rapid Visco Analyser* (RVA) modelo *TecMaster 4500* da *Perten Instruments* (Figura 30), que consiste num viscosímetro rotacional e de registo contínuo, que mede a viscosidade através de condições de temperatura controladas que replicam o comportamento do arroz durante a cozedura, ou seja, é simulado o aquecimento (gelatinização) e o arrefecimento (retrogradação) (Agu *et al.*, 2006; Perten Instruments, s.d).

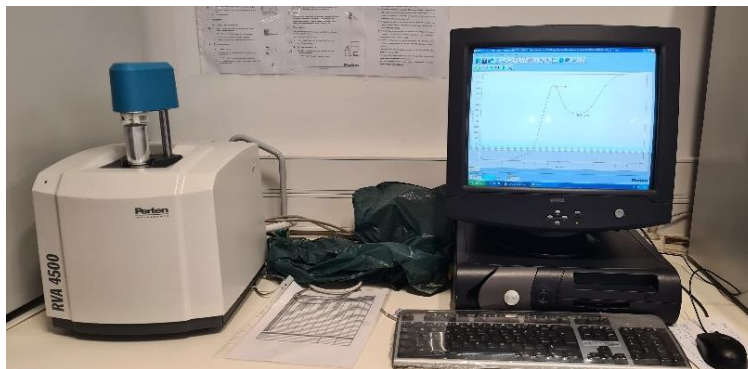


Figura 30- Equipamento *Rapid Visco Analyser* da *Perten Instruments*.

Com o objetivo de se obter farinha de arroz, o arroz branqueado foi triturado no moinho *Laboratory Mill 120* da *Perten Instruments* com uma granulometria igual ou inferior a 0,5 mm. O equipamento RVA está conectado ao programa *ThermoCline* para *Windows* (TCW3) que permite seleccionar o método Internacional 61-02.01 e assim obter a curva típica de viscosidade. Para a execução do teste foi necessário inserir no *software* o valor da humidade de cada amostra de arroz, de modo a calcular a quantidade de água destilada e de farinha de arroz a serem homogeneizadas num copo próprio que é encaixado no aparelho. Os cálculos são realizados com base no peso total de solução de 28g e uma humidade de 12%. Os ensaios foram executados em conformidade com o Método Internacional 61-02.01 da *American Association of Cereals Chemists* (AACC) (Perten Instruments, s.d), cujos ciclos, temperaturas e tempos se apresentam na Tabela 9. Para esta análise foram realizadas três réplicas por cada amostra de arroz.

Tabela 9- Ciclos de temperatura e tempos utilizados na análise do perfil de viscosidade.

	Temperatura (°C)	Tempo (minutos:segundos)
1°	50	01:00
2°	95	04:45
3°	95	07:15
4°	50	11:06
Fim do Teste	----	12:30

No fim do teste, o resultado obtido corresponde a um gráfico que fornece informações sobre o perfil de viscosidade e de temperatura de cada amostra em estudo. As informações obtidas dizem respeito aos parâmetros da temperatura de gelatinização, pico da viscosidade, tempo do pico, vala da viscosidade, *breakdown*, retrogradação (*setback*) e viscosidade final (Figura 31).

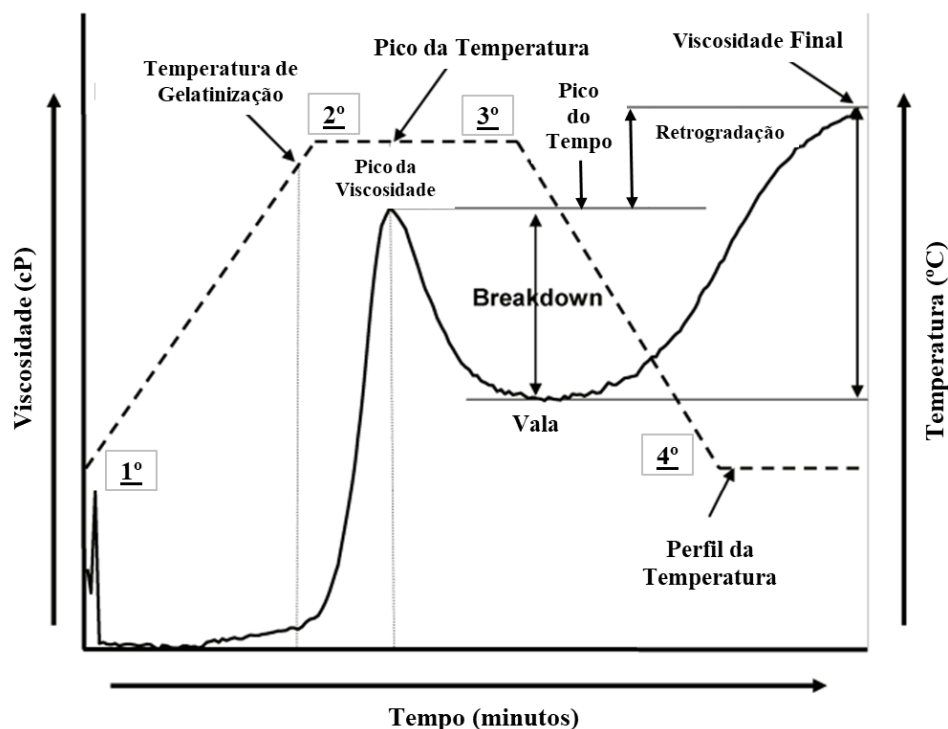


Figura 31- Perfil típico de viscosidade fornecido pelo RVA. Adaptado de (Agu *et al.*, 2006).

A temperatura de gelatinização equivale à temperatura mínima necessária para cozer uma amostra e para que a viscosidade dessa mesma amostra aumente. O pico de viscosidade diz respeito ao valor máximo de viscosidade que a pasta do amido atinge durante a fase de aquecimento, e está relacionado com o tempo do pico, pois corresponde ao tempo necessário para atingir a viscosidade máxima. Estes parâmetros são um indicador da capacidade de retenção de água no amido, possibilitando determinar a expansão dos grânulos na fase de gelatinização, que está relacionada com a qualidade do produto final. O valor da vala da viscosidade corresponde ao valor mínimo de viscosidade que a amostra atinge e ocorre quando há a rotura dos grânulos de amido. O *breakdown* simboliza a desintegração dos grânulos de amido, e é calculado através da diferença entre a viscosidade máxima e a viscosidade mínima (vala). A retrogradação (*setback*) acontece durante a fase de arrefecimento do arroz, e relaciona-se com a textura, uma vez que ocorre

a reorganização da estrutura do amido (amilose e amilopectina). Este valor é calculado pela diferença entre a viscosidade final e a viscosidade do pico máximo. A viscosidade final corresponde ao valor obtido quando a pasta de amido fica estabilizada após um ciclo de aquecimento e arrefecimento, e indica a capacidade que o amido tem para formar uma pasta ou gel mais macia ou mais rígida a uma temperatura mais baixa (Balet *et al.*, 2019; Kesarwani *et al.*, 2016).

6.6.2 Força de Extrusão

A determinação da força de extrusão seguiu o método descrito na norma ISO 11747:2012(E) (ISO 11747:2012, 2012). A análise foi realizada com arroz cozido utilizando o texturómetro TA.XT.Plus (Stable Micro Systems) com uma célula de carga de 50 kg equipado com a sonda de extrusão HDP/RE específica para arroz cujas medidas encontram-se definidas na norma e o *software Exponent* (Figura 32a). A placa perfurada exibida na Figura 32b, apresenta 3 mm de espessura com furos de 6 mm de diâmetro e distância entre eixos de 7 mm (centro a centro), adequado para inserção na base da torre.

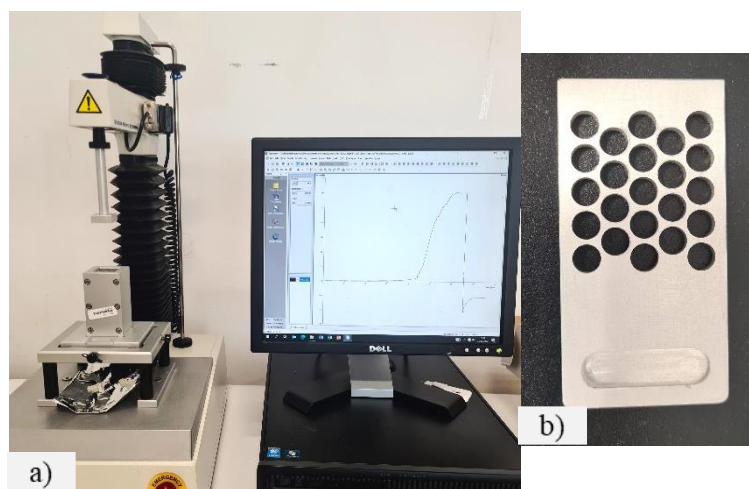


Figura 32- Força de Extrusão: a) Texturómetro *TA.XT.Plus* (Stable Micro Systems) com a sonda de extrusão HDP/RE e b) Placa perfurada.

As amostras utilizadas foram preparadas segundo a ISO 11747:2012(E) (ISO 11747:2012, 2012), com adaptações. Inicialmente foram pesadas 20 g de arroz branqueado em copos, aos quais se adicionaram 38 mL de água destilada e, tapados com papel de alumínio. Posteriormente os copos foram colocados na autoclave (ambiente que replicou o banho-maria) a cozer durante 20 minutos, a 100°C. No fim do tempo deixaram-

se os copos a repousar durante 10 minutos dentro da autoclave. De seguida, os copos foram retirados da autoclave e, colocados a arrefecer durante pelo menos uma hora à temperatura ambiente invertidos (Figura 33).



Figura 33- Arroz a arrefecer após a cozedura.

Para a realização do teste foram pesadas 17 g de arroz cozido, que após a calibração do equipamento foram inseridas dentro da torre. Na torre as amostras foram inicialmente compactadas com recurso à sonda para minimizar os espaços entre os grãos (posição 1) e otimizar os resultados.

No fim do teste a sonda é colocada na posição 2, de forma a ser possível a limpeza. As condições utilizadas na execução de cada réplica encontram-se pormenorizadas na Figura 34.

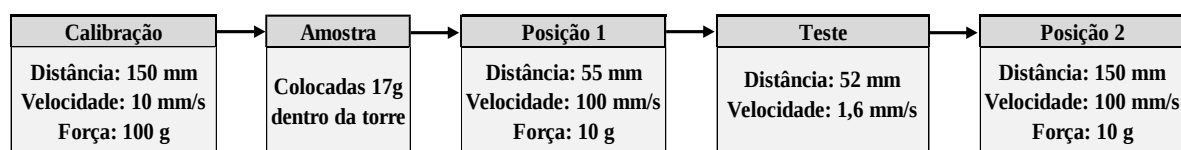


Figura 34- Procedimento utilizado na análise da força de extrusão.

Para cada amostra foram realizadas três réplicas, sendo que o valor da força de extrusão de cada uma foi obtido através de um gráfico (Figura 35).

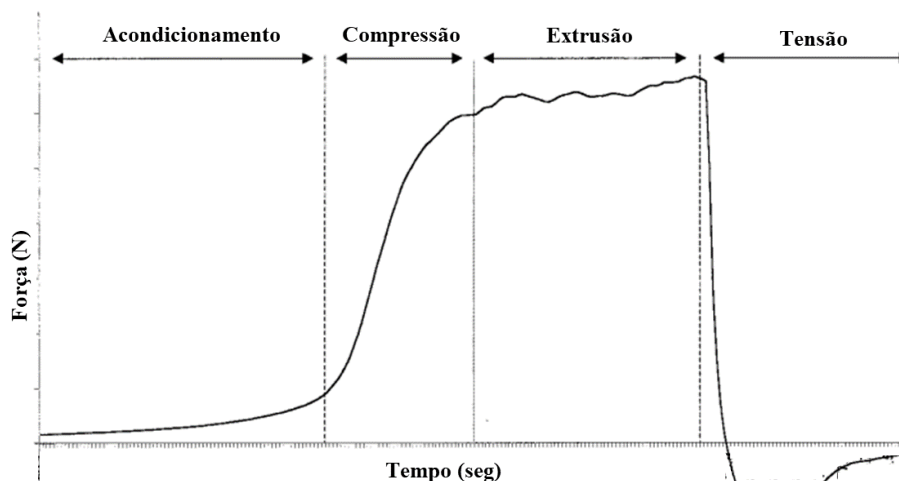


Figura 35- Perfil típico da força de extrusão. Adaptado de (Meullenet *et al.*, 2000).

O acondicionamento corresponde ao instante em que a sonda toca no arroz e reduz os espaços entre os grãos de arroz pela ação da força. A compressão equivale à fase onde há aplicação contínua da força, mas os grãos já se encontram devidamente acondicionados. A extrusão equivale à força máxima de compressão a que o arroz cozido é sujeito. A tensão corresponde ao momento, no qual a sonda inicia o movimento ascendente e começa a separar-se do arroz até ao instante em que a sonda se separa da totalidade dos grãos. A força negativa que o gráfico exhibe encontra-se relacionada com a menor adesividade entre o arroz e a sonda à medida que esta se move no sentido oposto (Kaewsorn *et al.*, 2023).

6.6.3 Perfil de Textura

O *Texture Profile Analysis* (TPA) é uma análise que fornece informações objetivas dos parâmetros de textura, contribuindo para a aceitabilidade dos alimentos. O teste foi projetado para simular a ação de mastigar, através de dois ciclos de compressão, que mimetiza duas dentadas (Trihn & Glasgow, 2012).

Para a preparação das amostras seguiu-se o procedimento da ISO 11747:2012(E), com alterações. As condições de preparação das amostras foram descritas na subsecção 4.6.2. Durante a realização do teste também se recorreu ao mesmo *software* (*Exponent*) e texturómetro (TA.XT.Plus- *Stable Micro Systems*) com uma célula de carga de 50 kg, no entanto, foi utilizada a sonda P/75 (Figura 36a) e um molde cilíndrico específico (5 cm

de altura e 4 de diâmetro) para modelar a amostra a analisar (Figura 36b). No programa foram inseridos os seguintes parâmetros: velocidade de pré-teste, de teste e pós-teste de 1 mm/s, distância de 5 mm, duração de 5 s e força de gatilho de 5 g (0,0490 N), respetivamente.

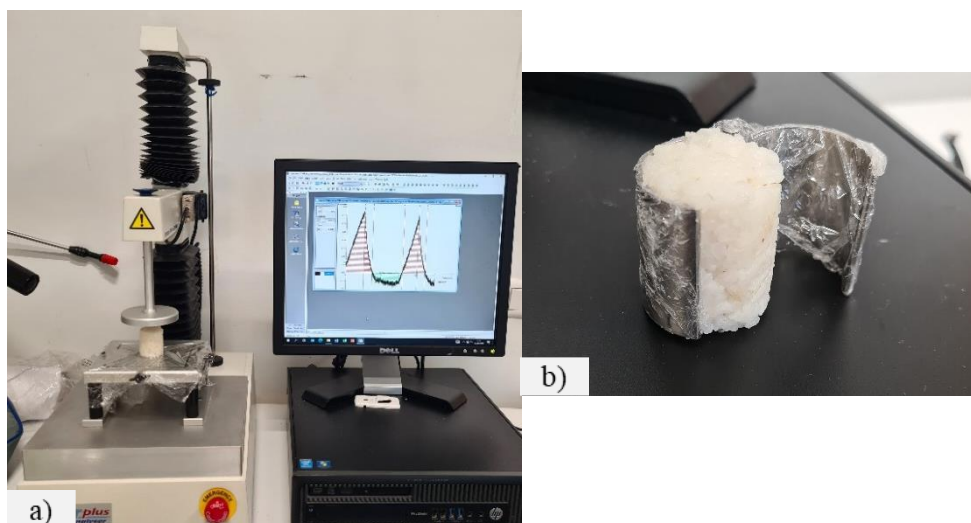


Figura 36- Perfil de Textura: a) Texturómetro *TA.XT.Plus* (Stable Micro Systems) com a sonda P/75 e b) Molde cilíndrico.

O resultado do teste, ilustra-se num gráfico (Figura 37), que fornece informações sobre os parâmetros de dureza, adesividade, resiliência, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade.

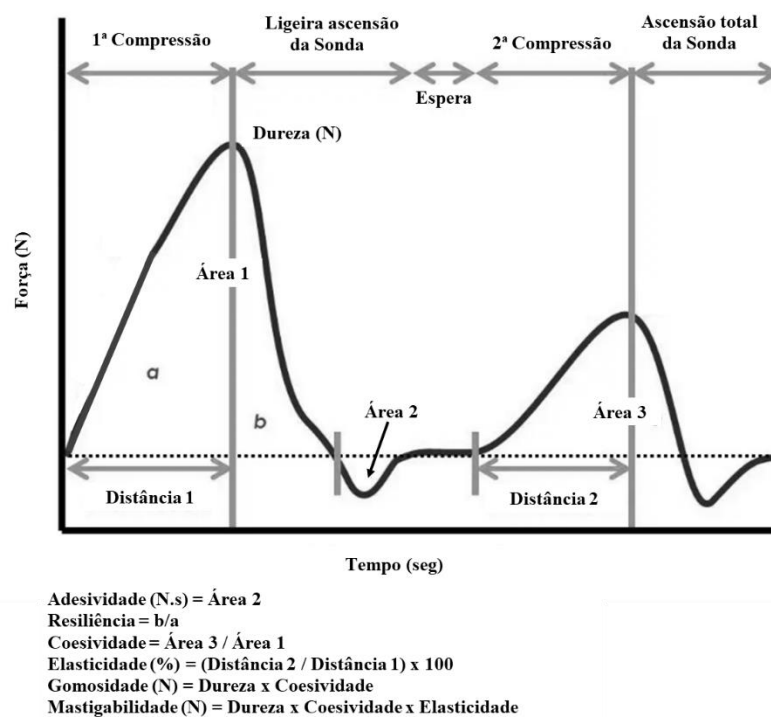


Figura 37- Perfil de textura do arroz. Adaptado de (*Rheology Lab - Centre for Industrial Rheology, s.d*)

A dureza equivale à força necessária para deformar a amostra numa determinada distância. Corresponde ao valor mais elevado durante a primeira compressão, relaciona-se com a consistência da amostra e a força para comprimir a mesma entre os molares, morder com os incisivos e comprimir o alimento entre a língua e o palato. A adesividade simboliza a capacidade de adesão dos grãos a uma superfície específica (como lábios, palato ou dentes) e a capacidade dos grãos se ligarem uns aos outros. É caracterizada como a força necessária para remover uma amostra dessa superfície. A resiliência corresponde à energia utilizada ao aplicar uma força no alimento sem que ocorra rotura, com ou sem qualquer deformação. A coesividade corresponde às forças internas no alimento, que mantêm a amostra coesa, isto é, que mantêm a estrutura dos grãos. Este parâmetro equivale ao grau, no qual, a amostra se deforma antes de se romper ao morder com os molares. A elasticidade é caracterizada pela facilidade que um produto tem para retornar fisicamente à forma original após ser deformado por compressão parcial. A gomosidade, relaciona-se com a energia necessária para mastigar um alimento semissólido. A mastigabilidade é considerada o número de mastigações necessárias para que a amostra apresente uma consistência adequada para engolir (Correia *et al.*, 2016; Johnson, 2023; Peleg, 2019).

6.7 Análise Estatística

Na análise das características biométricas (comprimento e largura), brancura total, vítrea, rendimento industrial, trinca e grãos inteiros apenas foi realizado um ensaio e os resultados obtidos foram tratados pelo *software* do equipamento *Statistic Analyzer S21*.

Para os restantes parâmetros foram realizadas três réplicas e os resultados apresentados correspondem à média e desvios padrão. Com o objetivo de se determinar as diferenças significativas entre as médias nos dois graus de branqueamento para cada variedade estudada, foi realizado o teste *t-student independent* ($p < 0,05$) e as variedades com diferenças relevantes foram identificadas com um *, a ausência deste significa que não existem diferenças nas médias. As correlações entre os vários parâmetros também foram estabelecidas utilizando a correlação de Pearson ($p < 0,05$). Os coeficientes de correlação de Pearson encontram-se no Anexo 1. Na análise estatística deste trabalho utilizou-se o *programa IBM SPSS Statistics*, versão 29.0.

7. Resultados e Discussão

No capítulo sete, são interpretados os resultados obtidos das análises realizadas. As médias e desvios padrão para cada parâmetro, encontram-se em detalhe no anexo 2 (características biométricas, grau de brancura- *Kett*, brancura total e vítrea), no anexo 3 (teor de humidade, rendimento industrial, teor de amilose e tempos de cozedura), no anexo 4 (perfil de viscosidade) e no anexo 5 (força de extrusão e perfil de textura). O grau de branqueamento, variedade e cor associada é identificado na Tabela 6 da secção 6.1.3.

7.1 Características Biométricas

O tamanho e a aparência do grão são elementos que conferem qualidade ao arroz. O consumidor, mesmo que de forma inconsciente, avalia estes parâmetros que influenciam a aceitabilidade do produto e consequentemente a sua compra.

No que diz respeito às indústrias arroseiras, para além destes aspetos é imperativo que o arroz comercializado cumpra as características definidas pela legislação em vigor. Assim, existe uma monitorização continua dessas características e a salvaguarda da qualidade do arroz, que devido a diversas condições de crescimento variam anualmente. Esta monitorização também permite categorizar o arroz tendo em conta as suas dimensões, ou seja, a diferença entre o comprimento, a largura e a relação entre estes.

Na Figura 38, encontram-se as dimensões obtidas para cada variedade e grau de branqueamento. As setas coloridas correspondem a cada variedade, de modo, a ser possível observar as semelhanças e diferenças entre os graus de branqueamento.

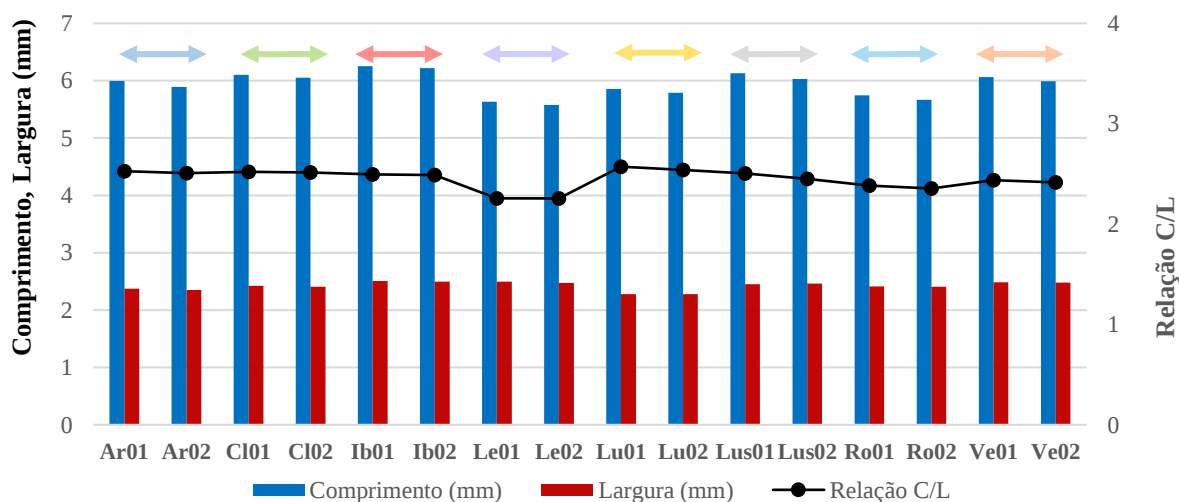


Figura 38- Comprimento, largura e respetiva relação comprimento/largura das variedades e graus de branqueamento em estudo.

A legislação em vigor que refere que, os grãos de arroz do tipo carolino devem ter um comprimento superior a 6 mm, e a relação comprimento/largura deve ser superior a 2 e inferior a 3. Já o arroz de grãos médios deve ter um comprimento igual ou superior a 5,2 mm e inferior a 6,0 mm e a relação entre o comprimento e a largura deve ser inferior a 3 (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017).

No grau de branqueamento 01, o comprimento das variedades de arroz do tipo carolino (Ariete, Cl-33, Ibérico, Luna, Lusitano, Ronaldo e Velox) variaram entre 5,7 mm e 6,3 mm, já a do tipo médio (Leonardo) é de 5,6 mm. No grau de branqueamento 02, o arroz foi sujeito a um processo de branqueamento mais longo, o que resulta numa maior remoção das camadas externas do grão, através de abrasão e fricção. Tendo em conta esta informação é espectável que todas as variedades tenham um comprimento inferior às do grau de branqueamento 01.

Tendo em conta a legislação em vigor as variedades Ronaldo e Luna, não estão de acordo com os valores estipulados no Decreto-Lei nº157/2017 para o comprimento nos dois graus de branqueamento. Os valores obtidos foram de 5,7 mm em Ro01 e Ro02 e 5,8 mm e 5,9 mm, em Lu01 e Lu02, respetivamente. O Decreto-Lei mencionado não faz referência à largura que os grãos devem ter consoante a classificação, no entanto, não há uma diferença considerável nos resultados obtidos entre os dois graus de branqueamento, o que pode estar relacionado com o ajuste das duas pedras de esmeril do equipamento (se estão mais juntas ou afastadas uma da outra) e consequentemente com a posição que os grãos de arroz passam.

A relação do comprimento com a largura encontra-se em conformidade, uma vez que, os valores para os grãos do tipo carolino variam entre 2,4 (Ro01) e 2,3 (Lu01) e o arroz do tipo médio é de 2,7 (Le01 e Le02).

O Decreto-Lei nº157/2017 refere que a classificação é atribuída tendo em conta o comprimento e a relação C/L, ou seja, as variedades Ronaldo e Luna, previamente categorizadas como um arroz longo da categoria A (tipo carolino), não cumprem as especificações de comprimento exigidas.

O grau de brancura do arroz, traduz a luz que é refletida por uma amostra, cujo valor é obtido pela análise de *Kett*. Na indústria arroseira, não existe um valor *Kett* padrão obrigatório, no entanto, esta procura o melhor aspeto para o produto que comercializa.

Por norma, o arroz mais branco é mais apelativo, mas este valor não é uniforme entre as variedades, estando dependente da etapa de branqueamento e polimento, entre outros.

Assim quanto maior o grau de branqueamento do arroz, maior será o valor de *Kett* (porque reflete mais a luz). A Figura 39 apresenta as médias obtidas para a análise do grau de brancura.

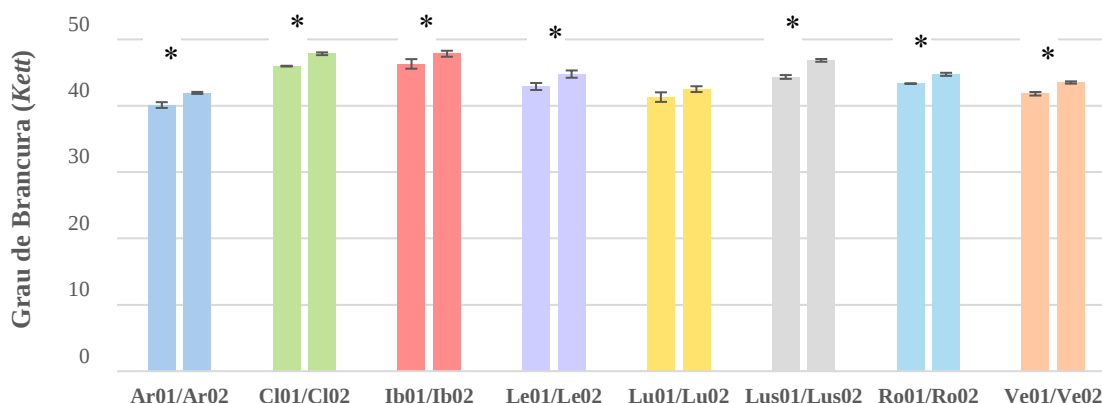


Figura 39- Grau de brancura (*Kett*) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Observando a Figura 39, verifica-se que o grau de brancura de cada amostra aumentou com o tempo de branqueamento. Os valores no primeiro grau de branqueamento (02:40 minutos: segundos) variaram entre 40,10 (Ar01) e 46,30 (Ib01), já no segundo branqueamento (03:10 minutos: segundos) os valores de *Kett* encontravam-se entre 41,93 (Ar02) e 47,83 (Cl01 e Ib02).

O aumento deste parâmetro deve-se à remoção de camadas do grão, tornando-o mais translúcido. À exceção da variedade Luna, as restantes apresentaram diferenças significativas entre as médias nos dois graus de branqueamento.

Na Figura 40, apresentam-se os valores de brancura total que se define como a medida da luz que é refletida e a brancura vítrea que corresponde à quantidade dessa luz que consegue atravessar as amostras de arroz. As setas coloridas correspondem a cada variedade, de modo, a ser possível observar as semelhanças e diferenças entre os graus de branqueamento.

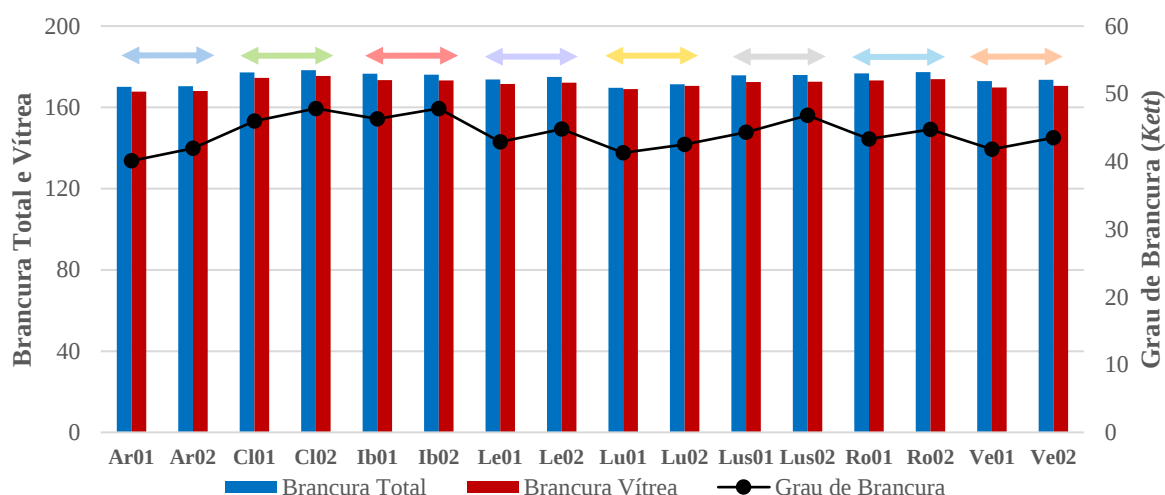


Figura 40- Brancura total, vítrea e grau de brancura das amostras estudadas.

De uma forma geral, tanto a brancura total como a brancura vítrea aumentaram de um grau de branqueamento para o outro. No que se refere à brancura total no primeiro grau de branqueamento (01) os valores estão compreendidos entre 169,64 (Lu01) e 177,19 (Cl01), sendo que no segundo grau de branqueamento (02) o menor valor foi de 170,35 (Ar02) e o mais elevado foi de 178,24 (Cl02). No parâmetro da brancura vítrea os valores variaram entre 167,66 (Ar01) e 174,48 (Cl01) para o menor tempo de branqueamento de 168,11 (Ar01) e 175,49 (Cl02) para o branqueamento mais prolongado.

Um fator que influencia a brancura total, a vítrea e o valor de *Kett* é a presença de grãos gessados que têm um aspeto mais opaco e branco e que desvaloriza o arroz. Isto acontece devido a más formações durante o crescimento da planta, resultado principalmente de temperaturas e humidades elevadas (Noori *et al.*, 2018). Estruturalmente as áreas gessadas são camadas esféricas não organizadas de grânulos de amido com espaços de ar entre eles tornando-o menos resistente, ao invés dos grãos translúcidos que consistem em grânulos de amido poligonais densamente compactas (Kim *et al.*, 2000; Patindol & Wang, 2003).

Por outro lado, verificou-se que a variedade com o grau de brancura (*Kett*), brancura vítrea e total, inicialmente mais baixos, após o segundo branqueamento também se mantiveram mais baixos, com exceção da variedade Ibérico, embora esta diferença não seja significativa. No presente trabalho o parâmetro brancura total apresenta uma correlação positiva com a brancura vítrea dos grãos ($r=0,962$).

7.2 Teor de Humidade

O teor de humidade do arroz é um dos fatores a ter em atenção na indústria do arroz, pois influencia não só o rendimento industrial como o armazenamento e a sua comercialização. Em Portugal, o Decreto-Lei nº157/2017 (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017), define o limite do teor de humidade em 14%, não podendo exceder os 14,3% para o produto final comercializado, visto que, acima deste valor aumenta a probabilidade do desenvolvimento de microrganismos. A Figura 41 ilustra os teores de água para as variedades de arroz e graus de branqueamento.

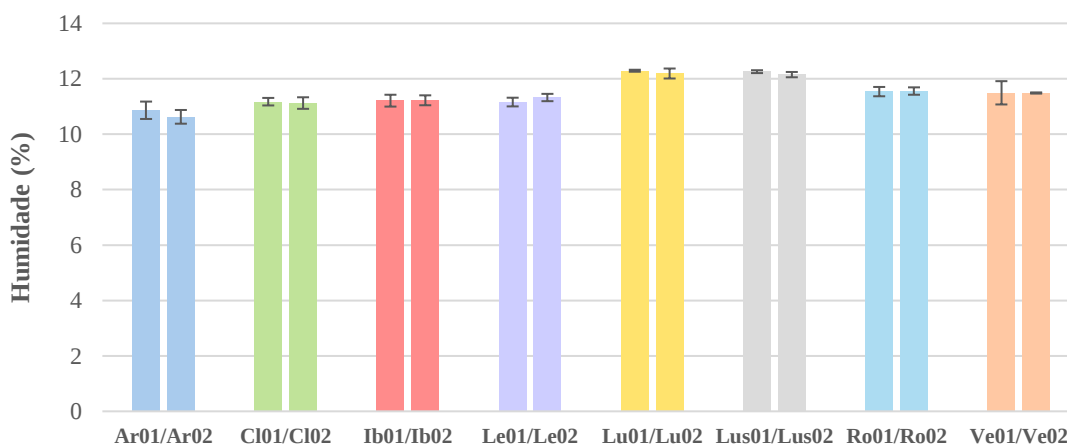


Figura 41- Teor de humidade (%) das amostras em estudo e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Para o branqueamento designado por 01, o teor de humidade está compreendido entre 10,86% (Ar01) e 12,29% (Lu01). No segundo branqueamento (02) a variedade Ariete (Ar02) também apresenta o menor valor de humidade (10,63%), enquanto que a amostra Luna (Lu02) tem o valor de 12,19%. De acordo com o Decreto-Lei mencionado, os resultados obtidos estão em conformidade com a legislação.

No que diz respeito aos dois graus de branqueamento houve um ligeiro decréscimo no teor de humidade das amostras Ariete, Cl-33, Luna e Lusitano, embora não significativo. Contrariamente, amostras como Ibérico, Leonardo e Ronaldo, aumentaram o seu teor de humidade, mas o acréscimo não foi significativo. A variedade Velox manteve o valor de humidade. Estes resultados podem ser justificados pela falta de homogeneidade da estrutura morfológica do grão de arroz, o que contribui para uma distribuição e difusão heterogénea da água no mesmo (Horigane *et al.*, 2006).

7.3 Rendimento Industrial

O rendimento industrial determina o preço a pagar ao produtor. O rendimento industrial obtido durante uma campanha é influenciado pelo seu desenvolvimento natural e pelos processos que ocorrem na sua transformação. Na Figura 42, são apresentados os valores correspondentes ao rendimento industrial, os grãos inteiros e a trinca associada.

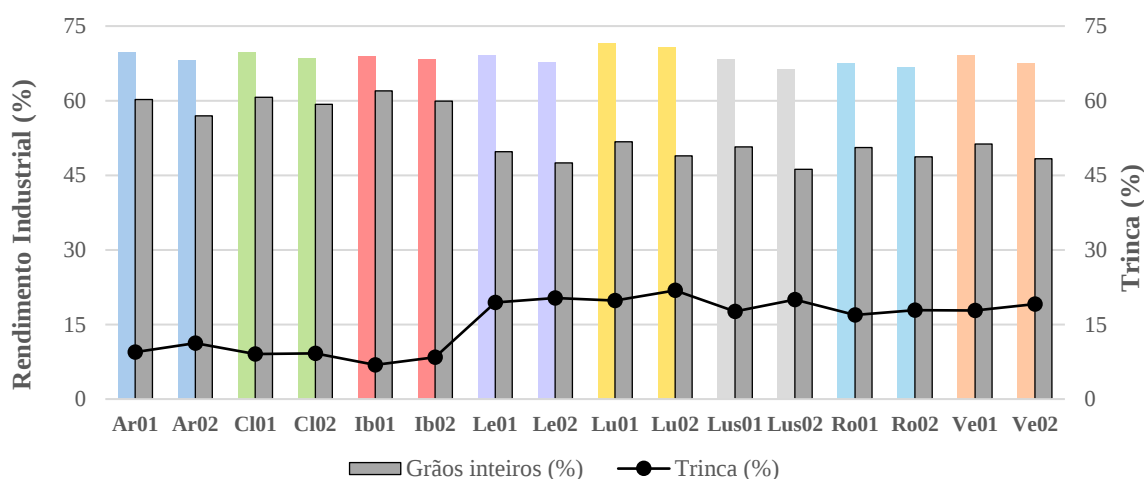


Figura 42- Rendimento industrial (%), quantidade de trinca (%) e de grãos de inteiros (%) em cada amostra.

Observando a figura, verifica-se que há uma diminuição do rendimento industrial e dos grãos inteiros do primeiro para o segundo grau de branqueamento, e consequentemente o aumento da percentagem de trinca. Isto é corroborado pela correlação negativa entre a quantidade de trinca e a quantidade de grãos inteiros ($r = -0,967$).

No rendimento industrial, as amostras Lu01 (71,53%) e Lu02 (70,77%) apresentaram o maior rendimento enquanto que as amostras Ro01 (67,50%) e Lus02 (66,25%) apresentaram o menor rendimento industrial das amostras em estudo.

Relativamente aos grãos inteiros, que se caracterizam pela soma de todos os tipos de grão, verificou-se que as amostras Ib01 (61,94%) e Ib02 (59,89%) apresentaram a maior percentagem de grãos, ao contrário das amostras Le01 (49,77%) e Lus02 (46,22%). A quantidade de trinca foi superior nas amostras Lu01 (19,80%) e Lu02 (21,85%) e menor nas amostras Ib01 e Ib02 com valores de 6,88% e 8,39%, respetivamente.

A amostra Luna revelou ter o maior rendimento industrial nos dois graus de branqueamento e também uma quantidade de trinca superior em comparação com as

restantes amostras. Estes resultados estão relacionados com a quantidade de casca e farelo que são retirados durante as etapas de descasque e branqueamento, ou seja, a menor quantidade de casca e farelo implica um rendimento industrial superior.

No entanto, a quantidade de casca e farelo dependem das condições edafoclimáticas a que a planta do arroz está sujeita havendo variabilidade destes parâmetros, mesmo para uma determinada variedade de arroz (Babaso & Sharanagouda, 2017).

Para a obtenção de um arroz mais branco é necessário que os grãos passem por um processo de branqueamento e polimento mais longo, o que conseqüentemente, torna o grão mais frágil e suscetível de se partir (originando a trinca) devido aos impactos que vai sofrendo (Han *et al.*, 2021). Assim, verifica-se que a percentagem de trinca aumentou com o grau de branqueamento, para todas as amostras.

A quantidade de trinca obtida, também se encontra relacionada com as condições de crescimento, nomeadamente o teor de humidade. Nos dois graus de branqueamento, verificou-se que nas amostras das variedades de Ariete, CI-33 e Ibérico, a quantidade de trinca e o teor de humidade foi menor em comparação com as restantes variedades. Ambos os fatores se relacionam, uma vez que, um grão que apresente um menor teor de humidade, tem menos tendência a partir durante o processo de branqueamento.

Embora não exista um consenso do valor de teor de humidade ótimo para maximizar o rendimento, a literatura refere que o maior teor de água conduz a uma maior tendência de o grão partir ou fissurar.

Importante referir que valores muito baixos de humidade também levam o grão a partir devido à fricção e passagem por todo o processo de transformação de arroz (Alwan *et al.*, 2016; Sadeghi *et al.*, 2012). O teor de humidade das amostras apresenta uma correlação positiva com a quantidade de trinca ($r=0,717$).

7.4 Teor de Amilose

O teor de amilose presente nos alimentos é um dos principais fatores que influenciam a estrutura e as propriedades do amido que no caso do arroz, é composto maioritariamente por este hidrato de carbono que afeta a qualidade e o comportamento do mesmo no momento de confeção e posterior degustação (Luo *et al.*, 2021). A Figura 43 ilustra os teores de amilose para todas as variedades de arroz e para os dois graus de branqueamento.

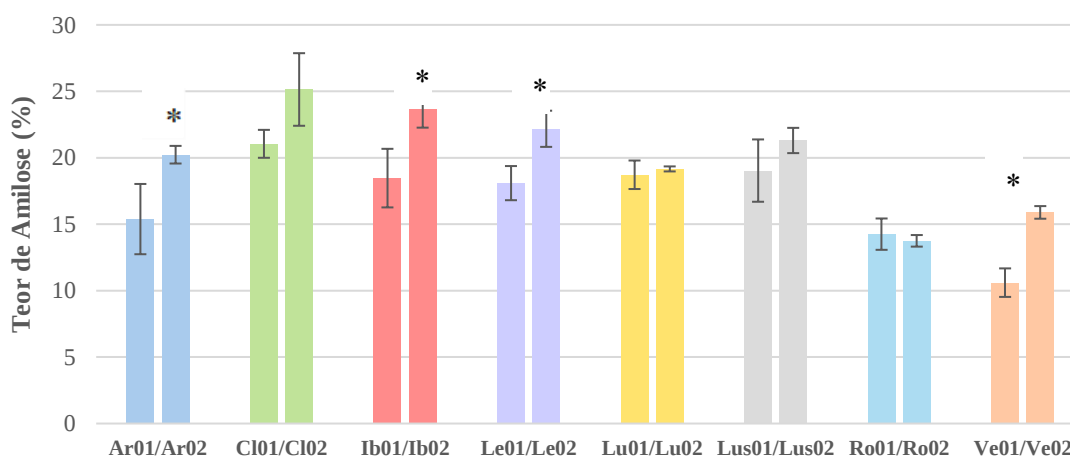


Figura 43- Teor de amilose (%) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Os valores para o primeiro grau de branqueamento estão compreendidos entre 10,60% (Ve01) e 21,05 (Cl01). No segundo grau de branqueamento, a variedade Ro02 apresentou o valor mais baixo com 13,75%, contrariamente a Cl02, cujo valor se encontrou nos 25,14%.

À exceção da variedade Ronaldo, em que o teor de amilose diminuiu do primeiro para o segundo grau de branqueamento, as restantes variedades tiveram um comportamento semelhante, ou seja, a quantidade de amilose disponível aumentou no segundo grau de branqueamento.

O aumento da quantidade de amilose disponível no segundo grau de branqueamento deve-se à diferente distribuição do amido (formado pela amilose e amilopectina) no grão. Segundo Hansen *et al.* (2012), e Takahashi *et al.* (2024), cujos trabalhos se focaram, respetivamente, na distribuição da quantidade de minerais e nas proteínas dos grãos de arroz através do seu branqueamento, os minerais e as proteínas encontravam-se nas camadas exteriores, ao contrário do interior do grão, onde o endosperma, é

predominantemente formado por amido. Comparando os dois graus de branqueamento, verifica-se que o segundo branqueamento, onde se removeu mais camadas externas do grão, o teor de amilose é superior. A amostra Ronaldo teve um decréscimo do teor de amilose do primeiro para o segundo branqueamento, mas não foi estatisticamente significativo.

Do ponto estatístico apenas as variedades Ariete, Ibérico, Leonardo e Velox apresentaram diferenças relevantes, entre os dois graus de branqueamento estudados.

7.5 Tempo de Cozedura

O tempo de cozedura é um dos elementos que define a qualidade do arroz, sendo um fator importante na determinação do seu preço de mercado, bem como na aceitação do consumidor (Yanjie *et al.*, 2018). Na Figura 44, encontra-se o tempo necessário para que 90% dos grãos de arroz estejam gelatinizados. Acima desta percentagem o consumidor não tem perceção dos grãos de arroz que não estão totalmente cozidos (ISO 14864:1998, 1998).

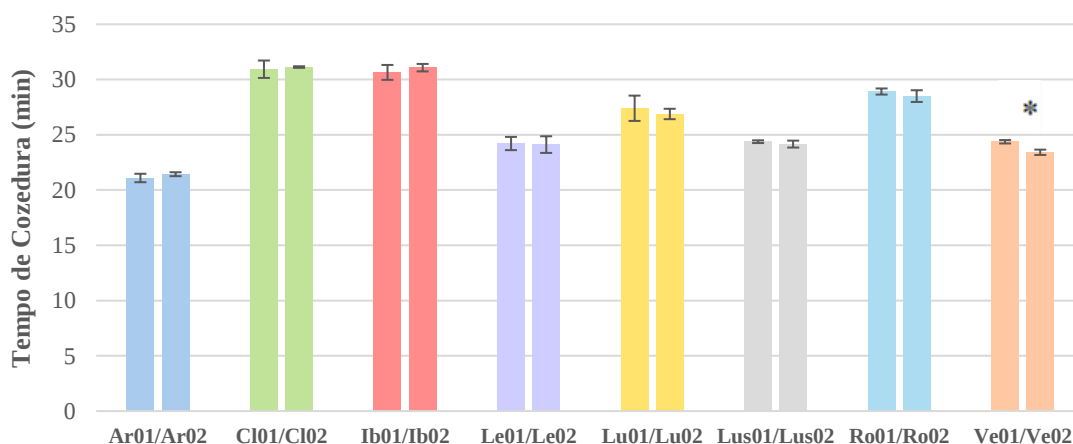


Figura 44- Tempo de cozedura (min) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Atendendo à Figura 44, verifica-se que nas amostras das variedades Ariete, Cl-33 e Ibérico ocorreu um ligeiro aumento no tempo de cozedura entre os dois graus de branqueamento. Contrariamente, o tempo de cozedura diminuiu com o aumento do grau de branqueamento para as amostras das variedades Leonardo, Luna, Lusitano, Ronaldo e Velox. Em ambos os graus de branqueamento, constatou-se que as amostras Ar01 e Ar02, apresentaram os menores tempos de cozimento, respetivamente 21,09 min e 21,43 min, e

que as amostras Cl01 e Cl02, precisaram de um tempo de cozedura mais longo para que 90% dos grãos estivessem gelatinizados, 30,93 min e 31,13 min, respetivamente.

O tempo de cozedura do arroz está relacionado com a gelatinização do amido, que se caracteriza pela desestruturação dos grânulos e pela perda da ordem molecular devido à absorção de água a altas temperaturas. A hidratação e expansão dos grânulos de amido está relacionada com a quantidade de amilose e amilopectina presente no grão, assim, uma quantidade superior de amilopectina provoca, devido à sua estrutura fina, a absorção da água e consequente expansão do grão (He *et al.*, 2018), ou seja, um arroz com um teor de amilose mais elevado, demora mais tempo a cozer, visto que tem menor teor de amilopectina (Karim *et al.*, 2024). Esta característica verifica-se nas amostras de Ariete, Cl-33 e Ibérico, onde o aumento do teor de amilose aumentou o tempo de cozedura. No entanto, para a variedade Ronaldo, que apresenta um menor teor de amilose no grau de branqueamento 02, era espectável que o seu tempo de cozedura também fosse menor.

Como o amido é o componente em maior proporção nos grãos de arroz, tem uma grande influência no comportamento de cozedura do grão, contudo, o arroz também é constituído em menor quantidade, por componentes como lípidos e proteínas que prolongam a cozedura do arroz (Zhou *et al.*, 2002). Os lípidos, por serem hidrofóbicos dificultam a penetração da água nos grãos (Wani *et al.*, 2012), e as proteínas são constituídas por pontes de dissulfeto que reduzem a solubilidade em água, e por esta razão afetam a quantidade de água que o arroz absorve no início da cozedura dificultando o processo de gelatinização (Martin & Fitzgerald, 2002).

Apesar das variedades Leonardo, Luna, Lusitano e Velox apresentarem um teor de amilose no branqueamento 02 superior, houve um decréscimo no tempo de gelatinização. Este facto, poderá dever-se à maior presença de compostos, como lípidos e proteínas na camada externa do grão no branqueamento 01, o que dificultou a gelatinização do amido e consequentemente aumentou o tempo de cozedura do arroz em comparação com o branqueamento 02. Contudo, e apesar destas ligeiras variações nos resultados obtidos só a variedade Velox apresentou diferenças significativas entre os dois graus de branqueamento. No futuro, a quantificação dos lípidos e proteínas será importante para validar esta observação. Os tempos de cozedura apresentam uma correlação positiva com a quantidade de trinca ($r=0,961$) e negativa com a quantidade de grãos inteiros ($r=-0,962$).

7.6 Propriedades Reológicas

Para a avaliação das propriedades reológicas das variedades de arroz estudadas, foram analisados o perfil de viscosidade (temperatura de gelatinização, pico da viscosidade, tempo do pico, vala da viscosidade, *breakdown*, viscosidade final e retrogradação), força de extrusão e perfil de textura (dureza, adesividade, resiliência, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade).

7.6.1 Perfil de Viscosidade

A metodologia do RVA é uma das análises mais importantes para avaliar a qualidade do arroz e antecipar o seu comportamento no momento da cozedura e assim adaptar a tipologia de arroz aos diversos pratos culinários existentes nas diferentes culturas (Shafie *et al.*, 2015; Tong *et al.*, 2014). Esta análise foi determinada através das variações de viscosidade dos grânulos de amido, da textura e da estabilidade do arroz, contribuindo de forma favorável para a aceitabilidade do alimento pelo consumidor (Bao, 2012).

De uma forma geral, esta análise simula o aquecimento e arrefecimento do arroz durante o processo de cozedura. Inicialmente com o aumento da temperatura há absorção de água nos grânulos de amido, até à rotura destes. De seguida, com o arrefecimento ocorre a reorganização da amilose e da amilopectina de cadeias gelatinizadas e desagregadas em estruturas organizadas (Balet *et al.*, 2019; Kesarwani *et al.*, 2016). Os dados desta análise fornecem um perfil de viscosidade que permite obter informações sobre a temperatura de gelatinização, o pico de viscosidade, o tempo do pico, a vala da viscosidade, *breakdown*, a viscosidade final e a retrogradação. A Figura 45, apresenta os resultados referentes à temperatura de gelatinização das amostras.

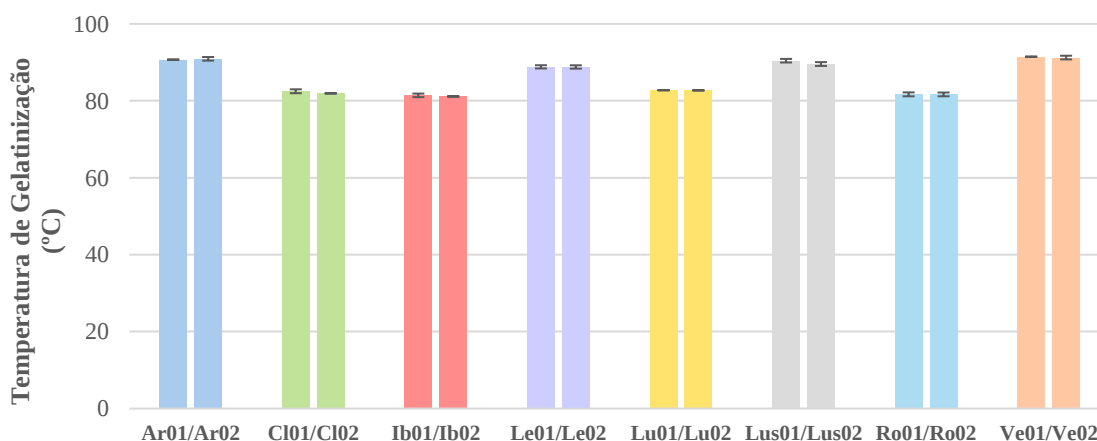


Figura 45- Temperatura de gelatinização (°C) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Do ponto de vista estatístico não se observaram diferenças significativas da média da temperatura de gelatinização entre os graus de branqueamento, para cada variedade. Assim os resultados variaram entre 81,42°C (Ib01) e 91,47°C (Ve01) para o primeiro grau de branqueamento e entre 81,13°C (Ib02) e 91,25°C (Ve02) para o grau de branqueamento 02.

Segundo a literatura, a temperatura de gelatinização de uma amostra de arroz encontra-se relacionada com as moléculas de amilose e as fortes pontes de hidrogénio que fazem a ligação entre estas, isto porque é necessária uma temperatura muito superior para quebrar essas ligações e iniciar a gelatinização (Lin *et al.*, 2010), ou seja, uma amostra de arroz que tenha maior facilidade de expansão após absorver a água tem uma temperatura de gelatinização inferior (Chung *et al.*, 2011)

No entanto, não se observou correlação entre a temperatura de gelatinização e o teor de amilose visto que, todas as variedades estudadas pertencem à subespécie *Japónica*, e a gama de teores de amilose não foi suficientemente elevada, para os vários arrozos estudados.

O tempo de cozedura apresenta uma correlação negativa ($r = -0,908$) com a temperatura de gelatinização, ou seja, à medida que a temperatura aumenta o tempo de cozedura tende a diminuir e vice-versa. Neste caso o que acontece é que há uma maior transferência de calor (relacionado com a entalpia) que auxilia na destruição molecular do amido, no momento de hidratação dos grãos (He *et al.*, 2018), facilitando a gelatinização do arroz.

Neste estudo, a temperatura de gelatinização apresenta uma forte correlação entre a trinca e consequentemente com a percentagem de grãos inteiros. No que diz respeito à quantidade de trinca esta correlação é negativa ($r = -0,952$), isto significa que quanto maior for a quantidade de trinca menor será a temperatura de gelatinização. Este facto deve-se à maior facilidade de gelatinização devido, à menor dimensão dos grãos.

No que diz respeito aos grãos inteiros, a correlação da temperatura de gelatinização é positiva ($r = 0,948$), ou seja, é necessário uma temperatura superior para conseguir a completa gelatinização dos grãos.

Outro parâmetro estudado foi o pico da viscosidade que ajuda a compreender a capacidade de ligação da água às moléculas de amido e a sua expansão após esse processo (Figura 46).

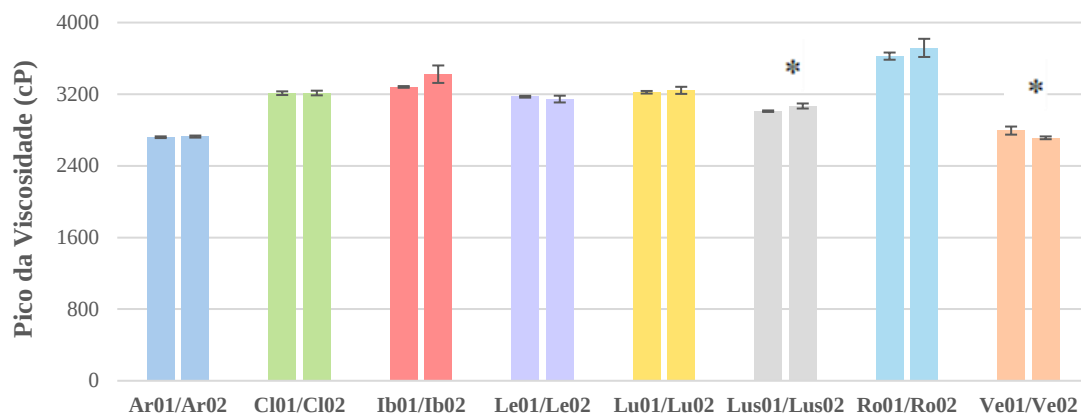


Figura 46- Pico de viscosidade (cP) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

As variedades Ariete, Cl-33, Ibérico, Luna, Lusitano e Ronaldo tiveram um aumento no pico de viscosidade ao contrário das variedades Leonardo e Velox. No grau de branqueamento 01, os resultados estavam compreendidos entre 2719,67 cP (Ar01) e 3625,00 cP (Ro01) e para o grau de branqueamento 02 estes valores estavam compreendidos entre 2713,00 cP (Ve01) e 3717,00 cP (Ro02).

O Decreto-Lei n.º 157/2017, refere que um arroz carolino deve ter o pico de viscosidade acima dos 2600 cP para ser atribuída a classe comercial de “Extra” (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017). De acordo com os resultados obtidos pode ser atribuída esta classificação comercial a todas as variedades em estudo, do tipo carolino.

Estatisticamente, apenas as variedades Lusitano e Velox apresentaram diferenças consideráveis nas médias entre os dois graus de branqueamento.

Na variedade Lusitano houve um aumento do pico de viscosidade. Segundo Park *et al.*, (2007), o comprimento das cadeias da molécula de amilopectina tem um impacto significativo nos parâmetros da viscosidade. Estes autores referem que cadeias curtas de amilopectina facilitam a expansão/hidratação dos grãos, traduzindo-se em picos de viscosidade superiores, sendo que em cadeias longas ocorre o oposto.

Em variedades de arroz com maior teor amilose, a quantidade de amilopectina é inferior. Neste caso, o pico de viscosidade será inferior, porque, os grânulos de amido não conseguem absorver tanta água e consequentemente a expansão e inchaço do arroz será menor (Chung *et al.*, 2011; Fitzgerald *et al.*, 2003). Da análise das amostras estudadas a

variedade Velox é a que apresenta diferenças significativas, uma vez que o segundo grau de branqueamento, à medida que o teor de amilose aumenta, apresenta o pico de viscosidade menor.

Atendendo às correlações entre os diversos parâmetros analisados, o pico de viscosidade tem uma correlação positiva com a quantidade de trinca ($r=0,938$) e o tempo de cozedura ($r=0,739$). Por outro lado, apresenta uma correlação negativa com a quantidade de grãos inteiros ($r=-0,934$) e com a temperatura de gelatinização ($r=-0,837$).

O tempo do pico é considerado o intervalo de tempo que uma amostra demora até atingir o pico de viscosidade, ou seja, a viscosidade máxima do arroz (Figura 47).

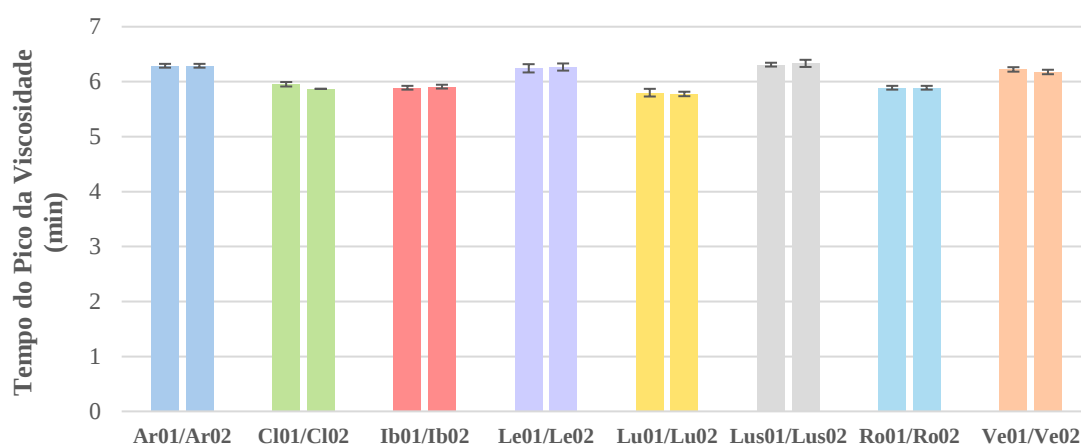


Figura 47- Tempo do pico de viscosidade (min) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p<0,05$).

Relativamente aos tempos do pico da viscosidade, verificou-se que as amostras estudadas necessitaram de 5,80 min (Lu01) e 5,78 min (Lu02) a 6,31min (Lus01) e 6,33min (Lus02) para absorver o máximo de água no grau de branqueamento 01 e 02, respetivamente. Do ponto estatístico não foram registadas alterações relevantes dentro das variedades nos dois graus de branqueamento.

Um tempo de pico da viscosidade menor, na fase de aquecimento, significa que os grânulos de amido conseguem estabelecer facilmente ligações com moléculas de água conduzindo ao inchaço dos grânulos (Balet *et al.*, 2019). Os resultados obtidos corroboram as conclusões de Kong *et al.* (2015), que para uma variedade de arroz com menor teor de amilose mais baixo o tempo varia de 5 a 8 minutos.

O tempo do pico da viscosidade tem uma correlação negativa com a quantidade de trinca ($r=-0,949$) e o tempo de cozedura ($r=-0,807$). Por outro lado, apresenta uma

correlação positiva com a quantidade de grãos inteiros ($r=0,954$) e com a temperatura de gelatinização ($r=0,922$).

Como referido, o pico da viscosidade é atingido quando os grânulos de amido se encontram totalmente hidratados, ou seja, não conseguem absorver mais água. Após este pico, ocorre a gelatinização, e a rotura dos grânulos de amido onde os seus constituintes ficam livres na solução, baixando a viscosidade que atinge um valor mínimo denominado de vala da viscosidade (Figura 48).

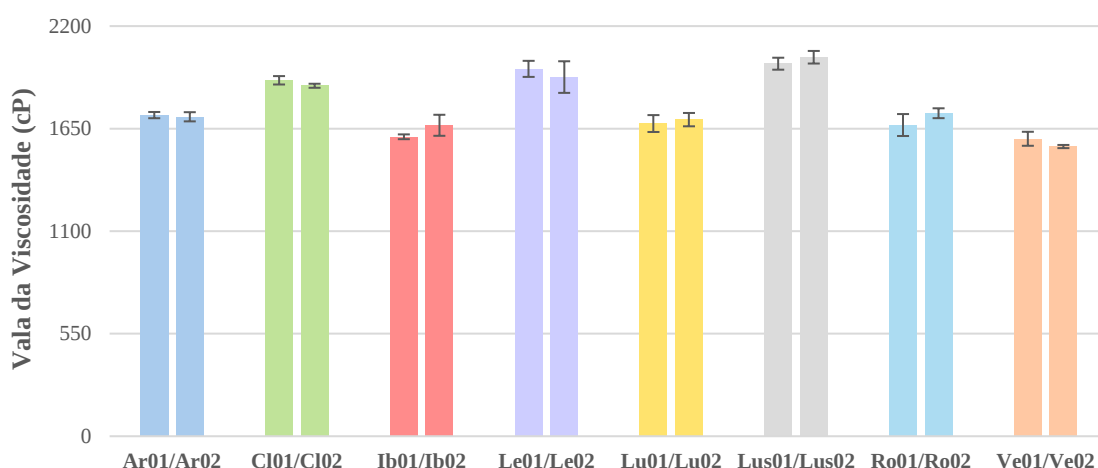


Figura 48- Vala da viscosidade (cP) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p<0,05$).

Para a vala da viscosidade os valores registados encontram-se entre 1595,67 cP (Ve01) e 1998,33 cP (Lus01) no grau de branqueamento 01 e entre 1554,00cP (Ve02) e 2033,00 cP (Lus02) no grau de branqueamento 02. Do ponto de vista estatístico, as diferenças entre os dois graus de branqueamento, para cada amostra de arroz não são significativas.

De uma forma geral, os arrozos pertencentes à subespécie *Japónica* apresentam valores mais elevados para o pico e vala da viscosidade (Maw *et al.*, 2018). Segundo Tao *et al.* (2018), o pico da viscosidade correlaciona-se proporcionalmente com a vala da viscosidade, isto acontece porque grânulos de amido que absorvem mais água têm uma diminuição da vala da viscosidade mais acentuada, visto que, o meio tem mais água aumentando a solubilidade dos componentes.

Analisando os resultados do pico e da vala da viscosidade (Figura 46 e Figura 48, respetivamente), na mesma variedade, e nos dois graus de branqueamento quando o pico é superior, a vala também é superior (valores mais baixos relativamente ao pico).

No entanto, neste trabalho não foi possível esta correlação, uma vez que, a amostragem é pequena e os valores são muito semelhantes para estabelecer essa correlação.

Outro parâmetro em estudo foi o *breakdown*, que simboliza a desintegração dos grânulos de amido ao longo do tempo. Este parâmetro é calculado pela diferença entre o pico da viscosidade (viscosidade máxima) e a vala da viscosidade mínima (vala da viscosidade) (Figura 49).

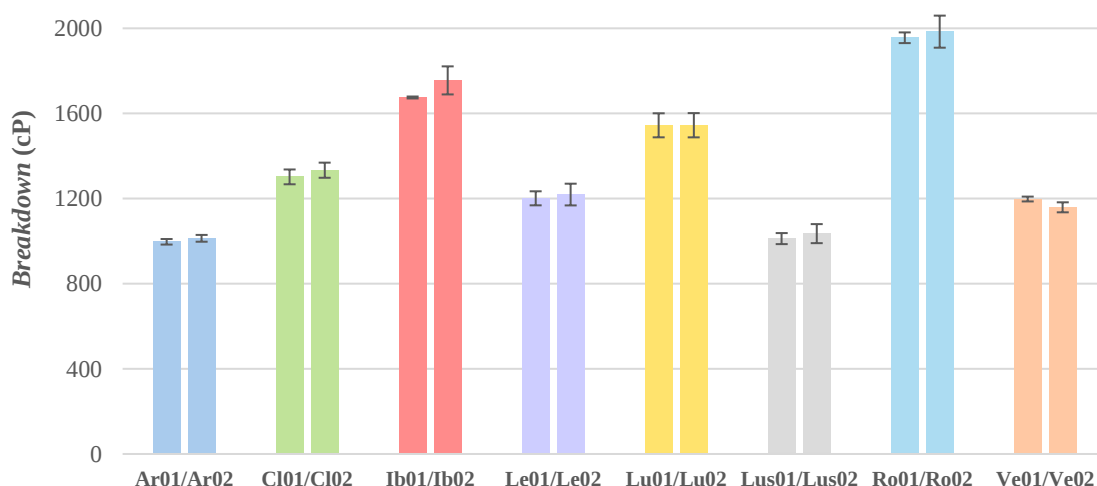


Figura 49- Breakdown (cP) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

No *breakdown*, verifica-se que os valores mínimo e máximo estão compreendidos entre 997,00 cP (Ar01) e 1955,67 cP (Ro01) para o grau de branqueamento 01 e 1013,00 cP (Ar02) e 1984 cP (Ro02) no grau de branqueamento 02. Estatisticamente não existem diferenças entre as médias dentro da mesma variedade.

Como mencionado no ponto anterior, um valor de pico mais elevado, traduz-se numa vala da viscosidade mais expressiva, o que resulta num valor de *breakdown* mais acentuado, e vice-versa. Os valores de *breakdown* correlacionam-se positivamente com o pico de viscosidade ($r=0,880$), portanto, é expectável que as alterações observadas no parâmetro do pico (dentro da mesma variedade e nos dois branqueamentos), sejam verificadas neste parâmetro (Figura 46 e Figura 48).

Este parâmetro retrata a desintegração dos grânulos de amido, podendo ser indicativo da resistência e estabilidade da pasta formada, critério determinante no comportamento do amido aquando da cozedura do arroz (Adebowale *et al.*, 2005; Han & Hamaker, 2001;

Kong *et al.*, 2015). Cadeias mais longas de amilopectina, têm tendência a dispersar menos na solução, uma vez que, são constituídas por ligações mais fortes que mantêm os grânulos de amido estáveis. Assim uma menor absorção de água resultará na menor desintegração dos grânulos e consequentemente menor será a desordem na pasta de amido e haverá uma maior resistência dos grãos gelatinizados (Han & Hamaker, 2001). Valores mais baixos de *breakdown*, equivalem a uma maior resistência e integridade dos grãos.

Para além da correlação com o pico de viscosidade, o *breakdown* tem uma correlação negativa com a quantidade de grãos inteiros ($r=-0,784$) com o tempo do pico ($r=-0,811$) e com a temperatura de gelatinização ($r=-0,847$). Ao mesmo tempo apresenta uma correlação positiva com a quantidade de trinca ($r=0,741$) e com o tempo de cozedura ($r=0,718$).

O resultado da viscosidade final, é obtido após o arrefecimento da amostra quando a pasta de amido formada se torna mais rígida ou macia, ou seja, simula o comportamento final do arroz após ser cozinhado (Figura 50).

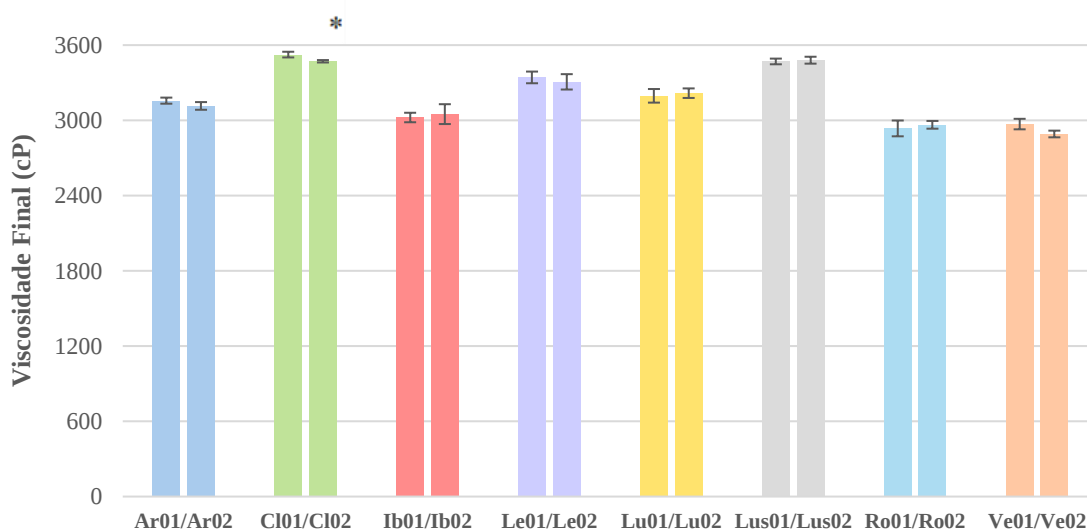


Figura 50- Viscosidade final (cP) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p<0,05$).

No grau de branqueamento 01 os valores da viscosidade variaram entre 2935,67 cP (Ro01) e 2935,67 cP (Cl01), e no grau de branqueamento 02 os resultados variaram entre 2891,33 (Ve02) e 3479,67 cP (Lus02).

Neste parâmetro as moléculas de amilose e de amilopectina já se encontram reorganizadas e, segundo Kou *et al.* (2022), um arroz cujo teor de amilose seja mais elevado, é propenso a apresentar valores na viscosidade final maiores.

Todavia, é a rápida reorganização da amilose que acontece na fase inicial deste processo, que forma uma pasta mais rígida (Kong *et al.*, 2015; Kou *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2002).

Estatisticamente, apenas a variedade CI-33 teve diferenças significativas no que diz respeito às médias entre os dois graus de branqueamento. Para este arroz houve um decréscimo do valor da viscosidade final com o aumento do branqueamento (grau de branqueamento 02), o que contradiz a literatura, visto que, em CI02 devido ao maior branqueamento, a amostra apresenta um teor de amilose superior a CI01.

A diminuição do valor da viscosidade final pode ser explicada pela falta de proteínas na superfície do grão, que, devido à remoção das camadas diminuiu a rigidez e facilitou o rearranjo das moléculas (Zhan *et al.*, 2020).

Correlacionando os parâmetros estudados, apenas a vala da viscosidade apresentou uma correlação positiva forte com a viscosidade final ($r=0,981$).

Outro parâmetro adicional que o RVA fornece é o valor de retrogradação (*setback*), que ocorre durante o arrefecimento da amostra e é calculado pela diferença entre a viscosidade final e o pico de viscosidade. Este parâmetro está relacionado com a capacidade de reorganização dos grânulos de amido (Figura 51).

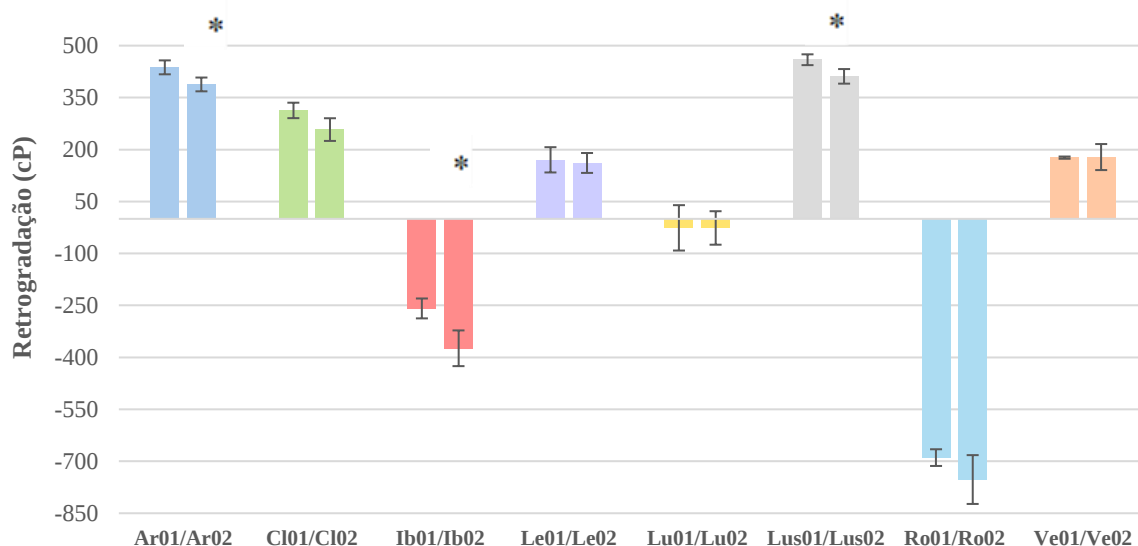


Figura 51- Retrogradação (cP) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p<0,05$).

Os resultados de retrogradação das variedades estudadas, estavam compreendidos entre -689,33cP (Ro01) e 459,33cP (Lus01) em 01, e, entre -752,67cP (Ro02) e 411,33cP (Lus02) em 02.

Ao observar a Figura 51, denota-se que na variedade Luna, a retrogradação foi bastante mais baixa (-26,00cP: Lu01 e -26,33cP: Lu02) que as restantes variedades. Segundo Shi *et al.*, (2022), valores de retrogradação próximos de zero sugerem que o arroz tem elevada qualidade, pois mantém a sua textura cremosa mesmo após o processo de cozedura, ou seja, este arroz não se torna rígido depois de arrefecer.

Após o tratamento estatístico, verificou-se que as variedades Ariete, Ibérico e Lusitano apresentaram diferenças significativas entre as médias nos dois graus de branqueamento.

Nestas variedades pode-se constatar que houve um decréscimo no valor de retrogradação em comparação com o grau de branqueamento 01. Como mencionado no parâmetro da viscosidade final, a falta de proteínas na superfície, faz que o grão seja menos rígido e por consequência os grânulos de amido reorganizam-se mais facilmente, o que justifica os resultados das variedades Ariete, Ibérico e Lusitano.

A variedade Velox teve um aumento no valor de retrogradação no grau de branqueamento 02, quando comparado com o grau de branqueamento 01, o que pode ser explicado pelo aumento do teor de amilose, pois este aumento faz com que as moléculas se reorganizem mais rapidamente.

Em casos como o da variedade Ibérico e Ronaldo o valor de retrogradação é negativo porque durante o arrefecimento o aumento da viscosidade final, não foi superior ao pico da viscosidade.

O Decreto-Lei n.º 157/2017, define que o valor de retrogradação/*setback* (Decreto-Lei n.º 157/2017, 2017) para um arroz do tipo carolino deve ser inferior a 600cP, o que faz com que todas as variedades estudadas deste tipo, se encontrem de acordo com a legislação em vigor.

Os resultados de retrogradação apresentam uma correlação negativa com pico de viscosidade ($r = -0,824$) e com o *breakdown* ($r = -0,967$).

7.6.2 Força de Extrusão

A força de extrusão auxilia a indústria a compreender a textura e consequentemente a qualidade dos alimentos. Este parâmetro mede a resistência de um grão após a sua cozedura no momento da extrusão (ISO 11747:2012, 2012). Na Figura 52, encontram-se os resultados obtidos.

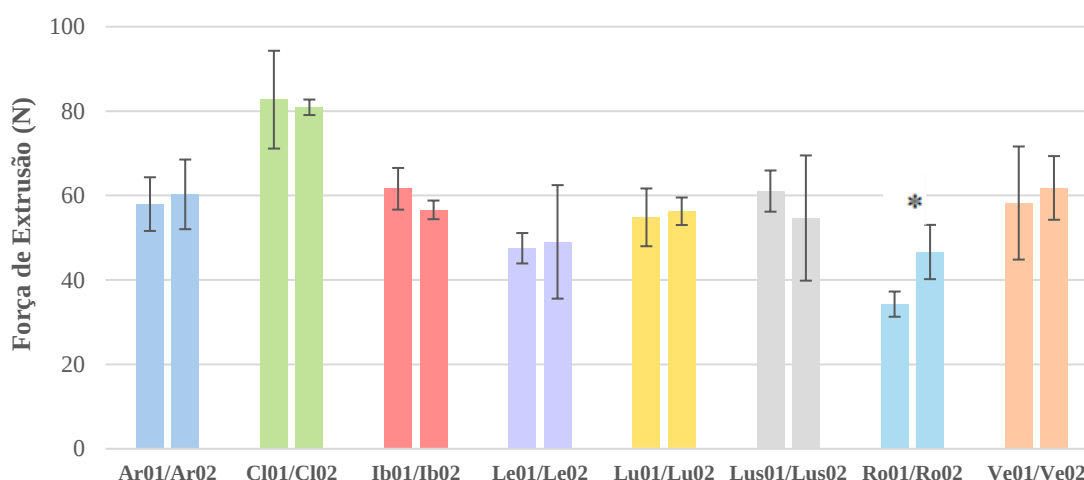


Figura 52- Força de extrusão (N) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Observando a Figura 52, verifica-se que houve um aumento nos valores da força de extrusão nas variedades Ariete, Leonardo, Luna e Velox do branqueamento 01 para o branqueamento 02. Isto acontece porque de uma forma geral, um arroz com maior teor de amilose apresenta uma força de extrusão superior, uma vez que, apresenta uma resistência superior à hidratação dos grãos e ao mesmo tempo tornam-se menos suscetíveis a processos térmicos como é o caso da cozedura (González *et al.*, 2013; Thuwall *et al.*, 2006). Um estudo sobre o índice de absorção da água, seria importante para se perceber mais profundamente a relação com a força de extrusão.

A variedade Ronaldo também sofreu um aumento no valor da força de extrusão, com diferenças significativas na média entre Ro01 e Ro02. Contrariamente as variedades Cl-33, Ibérico e Lusitano tiveram um decréscimo no seu valor com o branqueamento. Os valores variaram entre 34,27N (Ro01) e 82,71N (Cl01) para o grau de branqueamento 01 e 46,62N (Ro02) e 80,90N (Cl02) no branqueamento 02.

Singh *et al.* (2004), referem que a extrusão de alimentos ricos em amido resultam na destruição parcial ou completa da estrutura cristalina, na fragmentação molecular dos

polímeros de amido, bem como desnaturação de proteínas e formação de complexos entre o amido e os lipídios, e entre as proteínas e os lipídios, sendo que estes fatores levam a uma diferença de resultados (Gao *et al.*, 2022).

7.6.3 Perfil de Textura

Szczesniak, (1968) citado por Meullenet *et al.* (1998), afirmou que “A textura é definida como a manifestação sensorial da estrutura de um alimento e a maneira como essa estrutura reage à força aplicada”.

O perfil de textura do arroz foi avaliado em termos de dureza, adesividade, resiliência, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade. A Figura 53, representa os valores obtidos para o parâmetro da dureza, que corresponde à força necessária para deformar uma amostra.

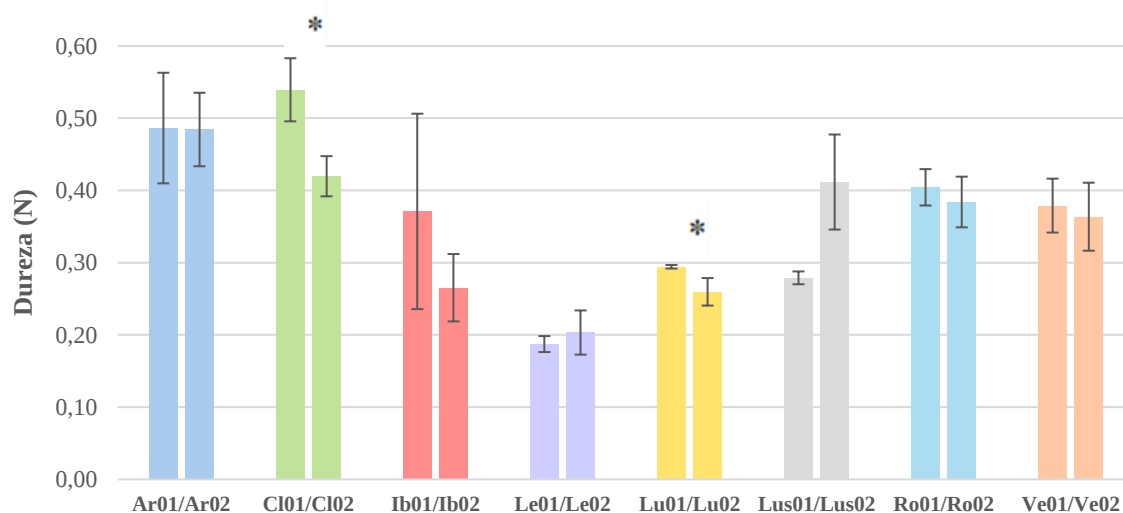


Figura 53- Parâmetro dureza (N) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

No parâmetro da dureza constata-se que no grau de branqueamento 01 os valores variaram entre 0,187N (Le01) e 0,539N (Cl02), e no grau de branqueamento 02 os resultados estavam compreendidos entre 0,203N (Le02) e 0,484N (Ar02). As amostras Ariete, Cl-33, Ibérico, Luna, Ronaldo e Velox tiveram uma diminuição do valor da dureza do branqueamento 01 para 02, enquanto, as variedades Leonardo e Lusitano tiveram um aumento.

Do ponto de vista estatístico, apenas as variedades Cl-33 e Luna apresentam médias diferentes para os dois graus de branqueamento.

Também na dureza, o teor de amilose das amostras constitui um fator importante. Como referido anteriormente, um teor de amilose superior traduz-se numa menor absorção de água e por conseguinte numa resistência superior. No entanto, não se observou esta relação entre a dureza e o teor de amilose dado que os outros compostos do arroz também interferem de igual forma na dureza aquando da compressão da amostra. Os autores Silveira *et al.* (2012), referem que um arroz com maior teor de amilose e com um grau de branqueamento superior tem mais tendência a partir e por essa razão a dureza da amostra será menor.

De acordo com os tempos de cozedura/gelatinização previamente determinados para as variedades em estudo, o período de tempo de 20 minutos estabelecido na norma ISO 11747:2012(E) para a cozedura do arroz, pode estar na origem das diferenças encontradas. Isto porque 20 minutos não são suficientes para promover a gelatinização total dos grãos de arroz.

Bilirris *et al.* (2012), referem que a força do pico da dureza, diminui exponencialmente com o aumento do tempo do cozimento. Roy *et al.* (2008), demonstraram que a força do pico da dureza diminuiu com o aumento da proporção água-arroz, ou seja, o aumento na proporção água-arroz implica um aumento na duração do cozimento.

Singh *et al.* (2004), apontaram que os distintos valores obtidos na dureza do arroz encontram-se relacionadas com as diferenças na sua estrutura granular, onde a maior dureza foi obtida para arroz com grânulos de amido menores.

Na Figura 54, apresentam-se os resultados referentes ao parâmetro da adesividade, que se caracteriza pelo trabalho necessário para quebrar as forças de adesão dos grãos de arroz a uma superfície e entre eles.

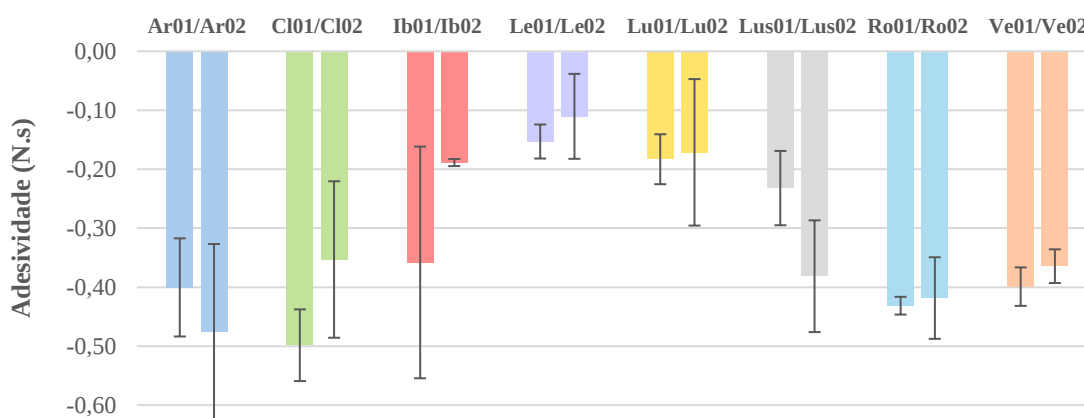


Figura 54- Parâmetro adesividade (N.s) das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Os valores da média na adesividade variaram, em valor absoluto, de 0,153 N.s (Le01) até 0,498 N.s (Cl01), no grau de branqueamento 01, já no segundo grau de branqueamento (02), os valores estavam compreendidos entre 0,110 N.s (Le02) e 0,476 N.s (Ar02). De um grau de branqueamento para outro, dentro da variedade, houve um aumento da adesividade para a variedade Ariete e Lusitano; ao invés as variedades Cl-33, Ibérico, Leonardo, Luna, Ronaldo e Velox tiveram um decréscimo.

De um modo geral, a adesividade correlaciona-se de forma inversa com a dureza e com o teor de amilose, ou seja, um arroz com maior teor de amilose, é provido de uma dureza superior, e portanto terá uma adesividade menor (Singh *et al.*, 2004). Tao *et al.* (2020), também reportaram no seu estudo que, um menor teor de amilose tende a resultar numa maior hidratação do arroz, levando a um arroz mais macio e pegajoso (maior adesividade às superfícies). Esta informação está de acordo com os valores obtidos para as variedades que tiveram uma diminuição do valor de adesividade, com o aumento do branqueamento, uma vez que, no branqueamento 02, houve um aumento do teor de amilose.

Analisando estatisticamente os resultados, nenhuma das variedades apresentou diferenças significativas do primeiro para o segundo branqueamento. Experimentalmente observa-se uma correlação negativa significativa entre a adesividade e a dureza, $r = -0,879$, o que vai ao encontro da literatura, ou seja, enquanto a adesividade aumenta, a dureza tende a diminuir, o que indica que para um arroz mais pegajoso é necessária uma força superior para quebrar as forças de adesão.

A resiliência simboliza a energia utilizada ao aplicar força numa amostra de arroz sem que ocorra rotura ou deformação. A Figura 55, exhibe os resultados obtidos para este parâmetro.

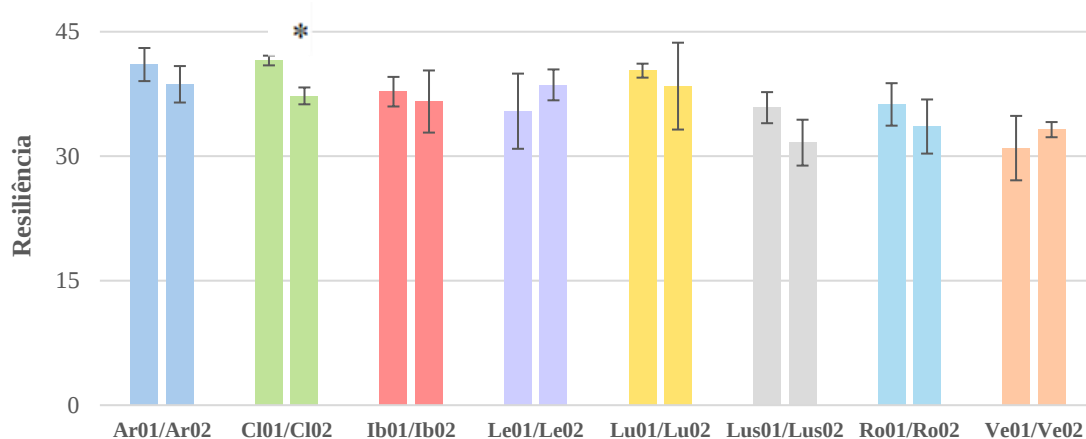


Figura 55- Parâmetro resiliência das amostras estudadas e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

No que diz respeito à resiliência pode-se verificar que à exceção das variedades Leonardo e Velox, houve um decréscimo dos resultados nas restantes variedades do branqueamento 01 para o branqueamento 02. No grau de branqueamento 01, os resultados estão compreendidos entre 30,98 (Ve01) e 41,53 (CI01). Já no grau de branqueamento 02 variaram entre 31,63 (Lus02) e 38,67 (Ar02). Este parâmetro é adimensional.

Segundo Chen *et al.*, (2018) a resiliência de um arroz relaciona-se negativamente com a humidade e positivamente com o conteúdo proteico de um grão. Adicionalmente, refere que um arroz com uma resiliência elevada pode estar relacionado com o teor de proteína, porque, a estrutura do grão é mais compacta, reduzindo o espaço entre os grãos de amido, tornando a absorção mais lenta e com menor absorção de água. Dado que o arroz tem uma quantidade superior de proteína nas camadas externas e que com o branqueamento essas mesmas camadas são extraídas do grão, o conteúdo de proteína diminui no grão e consequentemente a sua resiliência.

Pela análise estatística, apenas a variedade CI-33 demonstrou diferenças significativas nas médias do branqueamento 01 para o branqueamento 02.

Outro parâmetro que a análise do perfil de textura fornece é a coesividade de uma amostra de arroz que é caracterizada pelas forças internas no alimento que mantem a sua estrutura, no momento anterior à sua deformação. A coesividade é um parâmetro adimensional e os resultados obtidos apresentam-se na Figura 56.

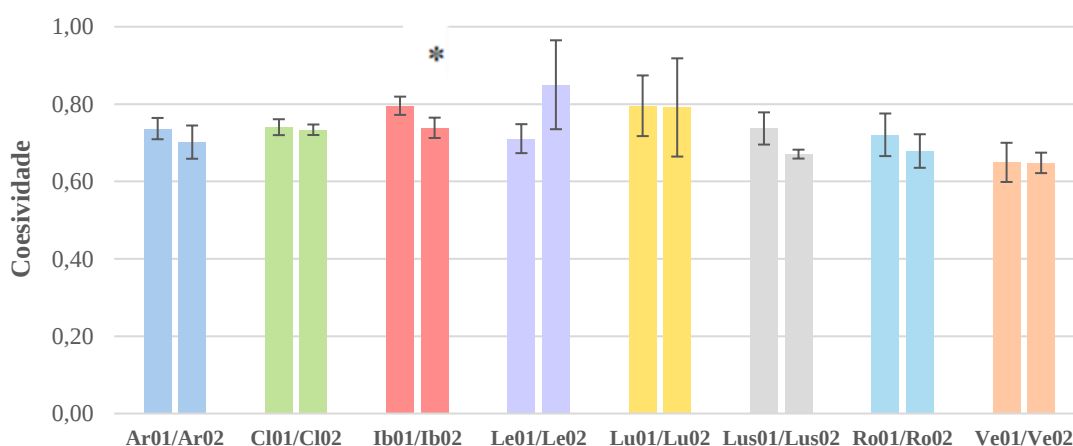


Figura 56- Parâmetro coesividade das amostras e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

No parâmetro da coesividade verifica-se que apenas a variedade Leonardo teve um aumento do seu valor; as restantes variedades tiveram uma diminuição dos valores do branqueamento 01 para o branqueamento 02, sendo que, no grau de branqueamento 01, Ve01 apresentou o valor mais baixo (0,649) e Lu01 juntamente com Ib01 apresentaram o valor mais alto (0,796). Relativamente ao grau de branqueamento 02, Ve02 exibiu o valor mais baixo (0,648), ao invés de Le02 que obteve o valor mais elevado (0,850).

Do ponto de vista estatístico apenas a variedade Ibérico apresentou diferenças consideráveis nas médias entre o primeiro grau de branqueamento e o segundo grau de branqueamento, sendo que, a média diminuiu.

Segundo Jang *et al.* (2016) a coesividade normalmente é proporcional ao teor de amilose, ou seja, uma variedade de arroz com um teor de amilose superior terá maior força de coesão. Pela análise estatística verifica-se que há uma correlação positiva fraca ($r=0,375$), isto porque, neste estudo, as variedades que apresentam valores de amilose superiores nos dois branqueamentos também têm valores de coesividade superiores, tal como observado em Lyon *et al.*, (2000). Contudo, foi descrito que em amostras com teores de amilose semelhantes, mas ricas em proteínas a sua coesão tem tendência a diminuir e o arroz aparenta ser mais macio (Cameron & Wang, 2005). Apesar desta informação, tendo em conta que foram removidas as camadas externas no grau de branqueamento 02 na variedade Ibérico, o grão está desprovido deste constituinte o que sugere que a coesividade diminuiu devido ao branqueamento, pois a proteína permitia que o grão fosse mais coeso.

Um dos parâmetros que se relaciona positivamente com a coesividade é a adesividade (Lyon *et al.*, 2000), facto verificado neste trabalho ($r=0,477$). A resiliência, apresenta uma correlação positiva ($r=0,628$) com a coesividade, ou seja, quando um dos parâmetros aumenta o outro tem tendência a aumentar.

A elasticidade é definida pela facilidade que um produto tem para retornar fisicamente à forma original após ser deformado. A Figura 57, exhibe os resultados obtidos após a compressão das amostras.

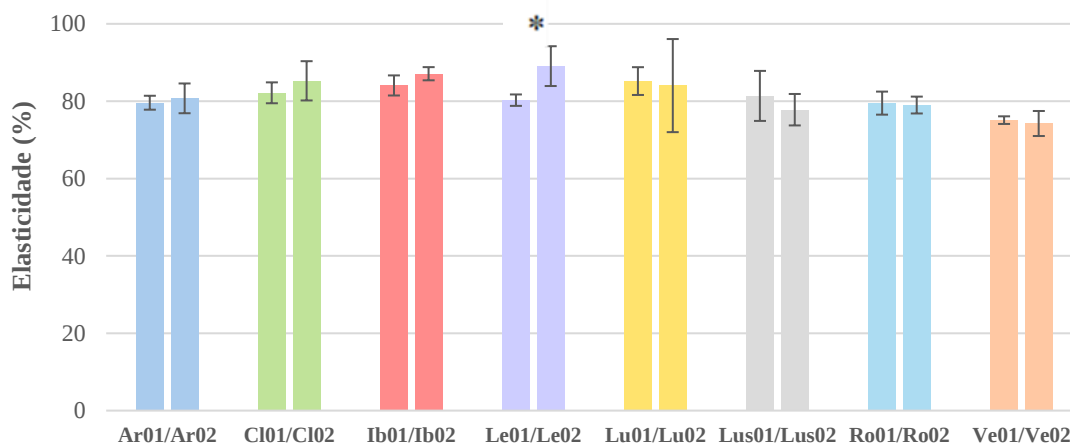


Figura 57- Parâmetro elasticidade (%) das amostras e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Através da Figura 57, observa-se que entre os dois graus de branqueamento há um ligeiro aumento da elasticidade nas variedades Ariete, Cl-33, Ibérico e Leonardo, e o decréscimo dos valores nas variedades Luna, Lusitano, Ronaldo e Velox. Os resultados obtidos no grau de branqueamento 01 encontram-se compreendidos entre 75,10% (Ve01) e 85,20% (Lu01). Relativamente ao grau de branqueamento 02, estão compreendidos entre 74,23% (Ve02) e 89,08 (Le02). Após o tratamento estatístico, apenas se verificou que a variedade Leonardo apresentava diferenças relativamente às médias nos dois graus de branqueamento.

A elasticidade de uma amostra, também se relaciona positivamente com o teor de amilose presente numa amostra (Chen *et al.*, 2018), o que se verificou com os resultados obtidos.

A elasticidade sendo a capacidade de uma amostra de arroz retornar à sua forma inicial após a compressão, relaciona-se positivamente com a coesividade ($r = 0,822$), ou seja, um arroz mais coeso internamente, primeiramente não deforma tanto e consequentemente tem uma facilidade maior a voltar à situação inicial.

Os parâmetros gomosidade e a mastigabilidade são obtidos a partir do valor dos parâmetros da dureza, coesividade e elasticidade.

A gomosidade corresponde à força necessária para mastigar um alimento semissólido. Os resultados obtidos apresentam-se na Figura 58.

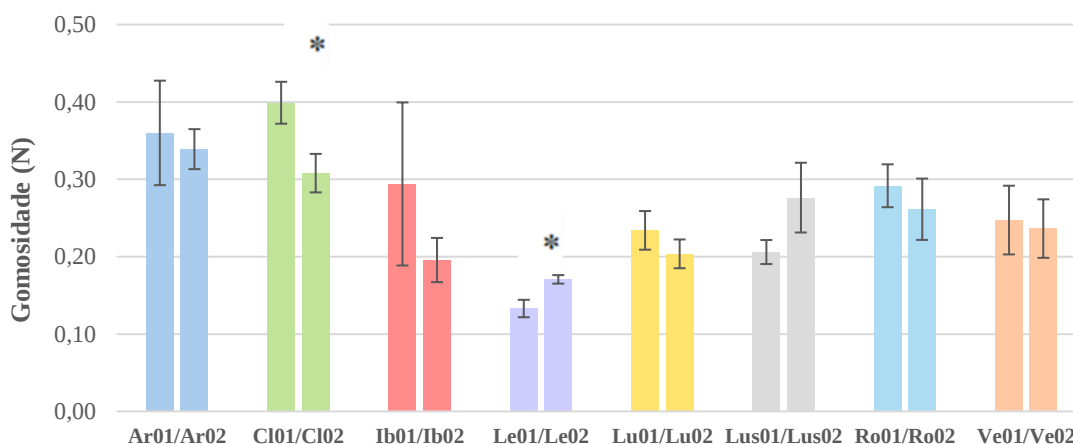


Figura 58- Parâmetro gomosidade (N) das amostras e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Através dos resultados da Figura 58 verificar-se que à exceção das amostras Leonardo e Lusitano, as restantes tiveram uma diminuição da gomosidade do grau de branqueamento 01 para 02. Os intervalos de valores para cada um dos graus foi entre 0,133N (Le01) e 0,399N (Cl01) no grau de branqueamento 01 e no branqueamento 02 os resultados obtidos foram entre 0,171N (Le02) e 0,399N (Ar02).

Do ponto de vista estatístico apenas as variedades Cl-33 e Leonardo, apresentaram diferenças significativas nas médias entre os dois graus de branqueamento estudados. Tal como no parâmetro da dureza e da resiliência o valor de gomosidade na variedade Cl-33 teve um decréscimo significativo do grau de branqueamento 01 para 02. Este comportamento poderá ser justificado pela diminuição do teor de proteínas à superfície, devido ao branqueamento mais prolongado, tornando o grão mais suscetível à força de mastigação.

Também o parâmetro da gomosidade se relaciona positivamente com o teor de amilose, isto é, o aumento do teor de amilose, implica um aumento no valor da gomosidade (Bhattacharya *et al.*, 1999). Este comportamento foi observado na variedade Leonardo. Este parâmetro é obtido através da multiplicação da dureza com a coesividade. Relativamente a este último não foi possível verificar uma correlação forte. A gomosidade apresenta uma correlação positiva com o parâmetro da dureza ($r=0,963$), e negativa com a adesividade ($r=-0,796$), dados que corroboram as conclusões de Chen *et al.*, (2018).

Tendo em conta estas correlações é possível afirmar que se um arroz tiver uma maior dureza, a gomosidade desse mesmo arroz também será superior. Contrariamente, se um arroz tiver uma adesividade superior, a gomosidade será inferior. Um teor de amilose superior terá uma gomosidade superior, o que significa que será necessária maior força para o mastigar e terá uma adesividade inferior, visto que esta característica está associada a um arroz mais viscoso e pegajoso que contém mais amilopectina e menos amilose.

A mastigabilidade é considerado o número de mastigações necessárias para que a amostra possa ser engolida pelo consumidor. Assim na Figura 59, é possível observar os resultados obtidos neste parâmetro.

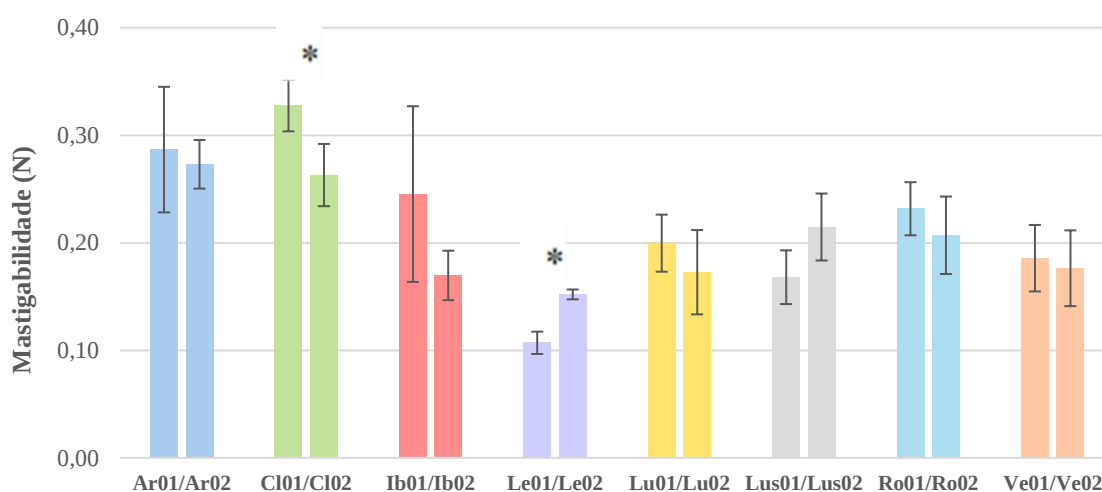


Figura 59- Parâmetro mastigabilidade (N) das amostras e respetivo teste *t-student* ($p < 0,05$).

Tal como na gomosidade, os resultados da mastigabilidade seguiram o mesmo padrão. Pode verificar-se um aumento nos valores das variedades Leonardo e Lusitano e um decréscimo nas restantes variedades. Do ponto de vista estatístico, também as variedades Cl-33 e Leonardo tiveram alterações significativas nas médias entre os dois graus de branqueamento. No grau de branqueamento 01, Le01 teve o resultado mais baixo (0,107) e Cl01 obteve o resultado mais elevado (0,328). Analisando o grau de branqueamento 02, o resultado mais baixo observado é 0,152 (Le02) e o mais alto é 0,273 (Ar02).

Os valores da mastigabilidade são obtidos através da multiplicação da dureza, coesividade e elasticidade. Não foi possível verificar uma correlação deste parâmetro com a coesividade e elasticidade. A mastigabilidade apresenta fortes correlações com os parâmetros dureza e gomosidade. Assim os parâmetros dureza e gomosidade apresentam uma correlação positiva com valores de $r=0,901$ e $r=0,980$, respetivamente.

Em suma, o arroz depende das suas condições de desenvolvimento da planta que são influenciadas pelas condições edafoclimáticas e por isso as diferenças observadas são características dessa variedade e ano de campanha.

8. Conclusão e Perspetivas de Trabalhos Futuros

O estágio curricular realizado na Caçarola, teve como objetivo estudar a influência dos graus de branqueamento (02:40 e 03:10 minutos: segundos) nas diversas variedades de arroz estudadas (Ariete, CI-33, Ibérico, Leonardo, Luna, Lusitano, Ronaldo e Velox).

O rendimento industrial e a quantidade de grãos inteiros diminuíram com o aumento do grau de branqueamento, enquanto a quantidade de trinca aumentou. O valor do grau de brancura (*Kett*), brancura vítrea e total, aumentaram com o branqueamento das amostras tornando o grão mais apelativo ao consumidor. Os graus de branqueamento utilizados não tiveram influência no teor de humidade. A otimização do processo de branqueamento é de extrema importância para a indústria arroseira, porque permite maximizar o rendimento industrial, minimizar a quantidade de trinca e melhorar a eficiência no processamento.

A aplicação de graus de branqueamento mais longos, aumentaram consideravelmente os teores de amilose, uma vez que as camadas externas do grão foram removidas. As camadas externas são compostas principalmente por outros componentes (proteínas, lípidos, vitaminas e minerais) o que afeta as propriedades de cozedura e de textura do arroz.

Por outro lado, a estrutura do grão, a quantidade de amilose/amilopectina e a presença de proteínas influenciam o comportamento do arroz durante a cozedura. O teor de amilose é um fator de maior importância, onde variedades com alto teor de amilose tendem a ser mais firmes e menos pegajosas após a cozedura. Um teor mais elevado de amilose, dificulta a absorção da água e aumenta o tempo de cozedura do arroz.

As diferentes variedades de arroz estudadas possuem diferentes teores de amilose e o impacto do grau de branqueamento pode variar entre elas. Portanto, ao ajustar o grau de branqueamento, é importante considerar o teor de amilose da variedade, para alcançar a qualidade desejada no produto final.

A quantidade de proteínas num grão de arroz está relacionada com o seu grau de branqueamento. A presença de proteínas nas camadas mais externas do grão dificulta a cozedura do arroz, no entanto, o branqueamento reduz significativamente a quantidade deste componente promovendo a cozedura do grão e facilitando a sua mastigação. No perfil da textura pode-se concluir que não existiram alterações significativas em todas as variedades o que indica que a textura pode ser afetada por outros componentes, quando os teores de amilose são semelhantes. Nos parâmetros da temperatura de gelatinização, tempo do pico, vala da viscosidade, *breakdown* e adesividade não se verificou, estatisticamente, diferenças significativas entre as médias na mesma variedade, no entanto, todas apresentaram ligeiras variações nos resultados. Nos restantes parâmetros como grau de brancura (*Kett*), teor de amilose, tempo de cozedura, pico de viscosidade, viscosidade final, retrogradação, força de extrusão, dureza, resiliência, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade foi possível verificar diferenças significativas em certas variedades.

Em suma, o arroz é um produto natural cujas características nutricionais e químicas dependem das condições de desenvolvimento. Deste modo, é fundamental uma avaliação continua por parte da indústria arroseira para garantir que chega à mesa do consumidor um produto de excelência. Este trabalho permitiu concluir que dependendo do ano de colheita, dentro da mesma subespécie (neste caso *Japónica*) em diferentes variedades, o grau de branqueamento aplicado, influencia o rendimento industrial e as propriedades de cozedura e textura.

No futuro seria importante determinar o conteúdo proteico destas amostras, uma vez que, para além da amilose, apresenta uma grande influencia no comportamento do arroz. De igual modo, seria importante estudar o índice de absorção de água para estabelecer correlações com o teor de amilose. Para além disso, um estudo com graus de branqueamento mais dispares também poderia evidenciar diferenças mais significativas entre as amostras.

Referências Bibliográficas

- Abdul-Hamid, A., Raja Sulaiman, R. R., Osman, A., & Saari, N. (2007). Preliminary study of the chemical composition of rice milling fractions stabilized by microwave heating. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(7), 627–637. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.01.005>
- Adebowale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., Olawumi, E. K., & Lawal, O. S. (2005). Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch. *Industrial Crops and Products*, 21(3), 343–351. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.05.002>
- Agromay- Soluciones Técnicas, S. L. (s.d). Analizador estatístico de arroz S21. Agromay. Consultado a 04 de julho de 2024. Disponível em URL: <https://agromay.es/producto/analizador-estadistico-arroz-s21/>
- Agu, R. C., Bringhurst, T. A., & Brosnan, J. M. (2006). Production of Grain Whisky and Ethanol from Wheat, Maize and Other Cereals. *Journal of the Institute of Brewing*, 112(4), 314–323. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2006.tb00737.x>
- Almeida, A. S., Coutinho, J., Brites, C., Maças, B., Marques, P., Silva, C., & Jordão, A. (2020). *Variedades portuguesas de arroz – presente e futuro*. https://www.drapc.gov.pt/base/documentos/vr_variedades_portuguesas_arroz.pdf
- Almeida, A. S., Marques, P., António Jordão, Marques, P., Zambujo, J., Silva, C., Coutinho, J., Brites, C., & Maça, B. (2018). *O Programa Nacional de Melhoramento Genético do Arroz- As primeiras variedades e o futuro*. 10, 11–13. <https://www.cotarroz.pt/2021/08/27/o-programa-nacional-de-melhoramento-genetico-do-arroz-as-primeiras-variedades-e-o-futuro/>
- Almeida, A. S., Marques, P., Jordão, A., Coutinho, J., Palha, L., & Maças, B. (2021). *Melhoramento Genético do Arroz em Portugal- Principais resultados das atividades*. 1–8. https://www.drapc.gov.pt/base/documentos/melhoramento_genetico_do_arroz_e_m_portugal_vida_rural_drapcentro.pdf
- Alwan, S. K., Arabhosseini, A., Kianmehr, M. H., & Kermani, A. M. (2016). Effect of husking and whitening machines on rice Daillman cultivar. 18.
- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., & O'Mahony, J. A. (2016). Chemistry,

- structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 70, 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.014>
- Babaso, P. N., & Sharanagouda, H. (2017). Rice Husk and Its Applications: Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 1144–1156. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.138>
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physiochemical Properties in Cereals: A Review. *Food Analytical Methods*, 12(10), 2344–2360. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Balindong, J. L., Ward, R. M., Liu, L., Rose, T. J., Pallas, L. A., Ovenden, B. W., Snell, P. J., & Waters, D. L. E. (2018). Rice grain protein composition influences instrumental measures of rice cooking and eating quality. *Journal of Cereal Science*, 79, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.008>
- Bao, J. (2019). Rice starch. Em *Rice* (pp. 55–108). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00003-4>
- Bao, J. S. (2012). Toward Understanding the Genetic and Molecular Bases of the Eating and Cooking Qualities of Rice. *Cereal Foods World*, 57(4), 148–156. <https://doi.org/10.1094/CFW-57-4-0148>
- Bao, J., Sun, M., & Corke, H. (2007). Analysis of genotypic diversity in starch thermal and retrogradation properties in nonwaxy rice. *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.05.011>
- Bello, M. O., Tolaba, M. P., & Suarez, C. (2007). Water absorption and starch gelatinization in whole rice grain during soaking. *LWT - Food Science and Technology*, 40(2), 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.017>
- Bhattacharya, K. R., & Ali, S. Z. (2015). *An Introduction to Rice-grain Technology* (1st ed.). WPI Publishing. <https://doi.org/10.1201/b18904>
- Bhattacharya, M., Zee, S. Y., & Corke, H. (1999). Physicochemical Properties Related to Quality of Rice Noodles. *Cereal Chemistry*, 76(6), 861–867. <https://doi.org/10.1094/cchem.1999.76.6.861>
- Bhunja, R. K., Sinha, K., Kaur, R., Kaur, S., & Chawla, K. (2023). A Holistic View of the Genetic Factors Involved in Triggering Hydrolytic and Oxidative Rancidity of Rice Bran Lipids. *Food Reviews International*, 39(1), 441–466. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1915328>

- Billiris, M. A., Siebenmorgen, T. J., Meullenet, J.-F., & Mauromoustakos, A. (2012). Rice degree of milling effects on hydration, texture, sensory and energy characteristics. Part 1. Cooking using excess water. *Journal of Food Engineering*, 113(4), 559–568. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.005>
- Bin Rahman, A. N. M. R., & Zhang, J. (2023). Trends in rice research: 2030 and beyond. *Food and Energy Security*, 12(2), e390. <https://doi.org/10.1002/fes3.390>
- Bordin, L. C., Casa, R. T., Marcuzzo, L. L., Bogo, A., & Zancam, R. L. (2016). Efeito da aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares de arroz irrigado e sua relação com o rendimento industrial. *Summa Phytopathologica*, 42(1), 85–88. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2012>
- Buggenhout, J., Brijs, K., Celus, I., & Delcour, J. A. (2013). The breakage susceptibility of raw and parboiled rice: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(3), 304–315. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.009>
- Caçarola. (s.d). Caçarola- Quem Somos? *Caçarola- Quem Somos?* Consultado a 20 de maio de 2024. Disponível em URL: <https://www.cacarola.com/pt/quem-somos/#certificacao>
- Cameron, D. K., & Wang, Y. (2005). A Better Understanding of Factors That Affect the Hardness and Stickiness of Long-Grain Rice. *Cereal Chemistry*, 82(2), 113–119. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0113>
- Chaudhari, P. R., Tamrakar, N., Singh, L., Tandon, A., & Sharma, D. (2018). Rice nutritional and medicinal properties: A review article. 7(2), 150–156.
- Chen, F., Li, X., Lv, M., & Shi, Y. (2018). Analysis of Compositions and Physical Characteristics of Different Rice From Heilongjiang China. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 322(4), 042009. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/322/4/042009>
- Chen, M.-H., & Bergman, C. J. (2007). Method for determining the amylose content, molecular weights, and weight- and molar-based distributions of degree of polymerization of amylose and fine-structure of amylopectin. *Carbohydrate Polymers*, 69(3), 562–578. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.01.018>
- Chung, H.-J., Liu, Q., Lee, L., & Wei, D. (2011). Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose contents. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 968–975. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.011>

- Comissão Europeia. (s.d). *Classificação do arroz*. Access2Markets. Consultado a 05 de junho de 2024. Disponível em URL: <https://trade.ec.europa.eu/access-to-markets/pt/content/classificacao-do-arroz>
- Cornejo-Ramírez, Y. I., Martínez-Cruz, O., Del Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., & Cinco-Moroyoqui, F. J. (2018). The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 1003–1017. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1518343>
- Correia, P. M. R., Alves, M., Lemos, D., & Guin, R. P. F. (2016). Contribution for the physical characterization of carolino rice.
- COTArroz. (2024). *Campanha Agrícola 2023* (pp. 1–16). https://www.inia.pt/images/Noticias/Campanha_Agr%C3%ADcola_2023.pdf
- Counce, P. A., & Moldenhauer, K. A. K. (2019). Morphology of Rice Seed Development and Its Influence on Grain Quality. Em N. Sreenivasulu (Ed.), *Rice Grain Quality* (Vol. 1892, pp. 57–74). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8914-0_3
- Cozinha dos Vurdóns. (2016, fevereiro 4). *O arroz nosso de cada dia- Um Tailandês, O arroz Thai*. Consultado a 05 de junho de 2024. Disponível em URL: <http://cozinhadosvurdons.blogspot.com/2016/02/o-arroz-nosso-de-cada-dia-um-tailandes.html>
- Custodio, M. C., Cuevas, R. P., Ynion, J., Laborte, A. G., Velasco, M. L., & Demont, M. (2019). Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists? *Trends in Food Science & Technology*, 92, 122–137. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.039>
- Decreto-Lei n.º 157/2017, Pub. L. No. 157/2017, Diário da República n.º 248/2017, Série I (2017-12-28), 6719 a 6723 (2017). <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/157-2017-114420282>
- Denardin, C. C., & Silva, L. P. D. (2009). Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. *Ciência Rural*, 39(3), 945–954. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000003>
- Dhankhar, P. (2014). Rice Milling. *IOSR Journal of Engineering*, 04(5), 34–42. https://www.academia.edu/7322747/IOSR_Journal_of_Engineering_IOSR_JEN_Volume_4_Issue_5_Version_4
- Eyarkai Nambi, V., Manickavasagan, A., & Shahir, S. (2017). Rice Milling Technology

- to Produce Brown Rice. Em A. Manickavasagan, C. Santhakumar, & N. Venkatachalapathy (Eds.), *Brown Rice* (pp. 3–21). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59011-0_1
- Fabian, C., & Ju, Y.-H. (2011). A Review on Rice Bran Protein: Its Properties and Extraction Methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(9), 816–827. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.482678>
- FAO. (2023). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>
- Figueiredo, N., Menino, R., Prazeres, A., Vargues, A., Carranca, C., Marques, P., Pereira, J., Goufo, P., Trindade, H., Carneiro, J., Couto, N., Mateus, E., Ribeiro, A., & Coutinho, J. (2013). O cultivo do arroz e a resposta do agrossistema às alterações ambientais de temperatura e dióxido de carbono. *Vida Rural. Dossier Técnico*, 28–31. https://www.academia.edu/48742552/O_cultivo_do_arroz_em_Portugal_e_a_resposta_do_agrossistema_%C3%A0s_altera%C3%A7%C3%B5es_ambientais_de_temperatura_e_concentra%C3%A7%C3%A3o_de_di%C3%B3xido_de_carbono
- Fitzgerald, M. (2004). CHAPTER 5: STARCH. Em *Rice: Chemistry and Technology* (pp. 109–141). American Association of Cereal Chemists, Inc. <https://doi.org/10.1094/1891127349.005>
- Fitzgerald, M. A. (2010). Rice: Characteristics and quality requirements. Em *Cereal Grains* (pp. 212–236). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845699529.2.212>
- Fitzgerald, M. A., Martin, M., Ward, R. M., Park, W. D., & Shead, H. J. (2003). Viscosity of Rice Flour: A Rheological and Biological Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2295–2299. <https://doi.org/10.1021/jf020574i>
- Frei, M., Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003). Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. *Food Chemistry*, 83(3), 395–402. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00101-8)
- Fuller, D. Q., Sato, Y.-I., Castillo, C., Qin, L., Weisskopf, A. R., Kingwell-Banham, E. J., Song, J., Ahn, S.-M., & Van Etten, J. (2010). Consilience of genetics and archaeobotany in the entangled history of rice. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2(2), 115–131. <https://doi.org/10.1007/s12520-010->

0035-y

- Gao, Y., Sun, Y., Zhang, Y., Sun, Y., & Jin, T. (2022). Extrusion Modification: Effect of Extrusion on the Functional Properties and Structure of Rice Protein. *Processes*, 10(9), 1871. <https://doi.org/10.3390/pr10091871>
- Ghanbarzadeh, B., & Almasi, H. (2013). Biodegradable Polymers. Em R. Chamy (Ed.), *Biodegradation—Life of Science*. InTech. <https://doi.org/10.5772/56230>
- Ghosh, S., Datta, K., & Datta, S. K. (2019). Rice vitamins. Em *Rice* (pp. 195–220). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00007-1>
- González, R. J., Pastor Cavada, E., Vioque Peña, J., Torres, R. L., De Greef, D. M., & Drago, S. R. (2013). Extrusion Conditions and Amylose Content Affect Physicochemical Properties of Extrudates Obtained from Brown Rice Grains. *International Journal of Food Science*, 2013, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2013/584148>
- GRiSP. (2013). *Rice almanac: Source book for the most important economic activities on Earth* (4th Edition). International Rice Research Institute. http://books.irri.org/9789712203008_content.pdf
- Guimarães, C. M., Fageria, N. K., & Filho, M. P. B. (2002). Como a planta do arroz se desenvolve. *Informações Agronômicas*, 99, 12. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100485/1/Encarte.pdf>
- Han, C., Yin, X., He, D., & Yang, P. (2013). Analysis of Proteome Profile in Germinating Soybean Seed, and Its Comparison with Rice Showing the Styles of Reserves Mobilization in Different Crops. *PLoS ONE*, 8(2), e56947. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056947>
- Han, X.-Z., & Hamaker, B. R. (2001). Amylopectin Fine Structure and Rice Starch Paste Breakdown. *Journal of Cereal Science*, 34(3), 279–284. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0374>
- Han, Y., Li, G., Jia, F., Meng, X., Chu, Y., Chen, P., Bai, S., & Zhao, H. (2021). Analysis of breakage behavior of rice under impact. *Powder Technology*, 394, 533–546. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.08.084>
- Hansen, T. H., Lombi, E., Fitzgerald, M., Laursen, K. H., Frydenvang, J., Husted, S., Boualaphanh, C., Resurreccion, A., Howard, D. L., De Jonge, M. D., Paterson, D., & Schjoerring, J. K. (2012). Losses of essential mineral nutrients by polishing of rice differ among genotypes due to contrasting grain hardness and mineral

- distribution. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 307–315.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.07.002>
- He, M., Qiu, C., Liao, Z., Sui, Z., & Corke, H. (2018). Impact of cooking conditions on the properties of rice: Combined temperature and cooking time. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 87–94.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.139>
- Hegazy, R., & Okasha, M. (2020). Rice Milling (p. 4245143 Bytes) [Dataset]. figshare.
<https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.12780116.V3>
- Hoogenkamp, H., Kumagai, H., & Wanasundara, J. P. D. (2017). Rice Protein and Rice Protein Products. Em *Sustainable Protein Sources* (pp. 47–65). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00003-2>
- Horigane, A. K., Takahashi, H., Maruyama, S., Ohtsubo, K., & Yoshida, M. (2006). Water penetration into rice grains during soaking observed by gradient echo magnetic resonance imaging. *Journal of Cereal Science*, 44(3), 307–316.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.07.014>
- Huang, X., Kurata, N., Wei, X., Wang, Z.-X., Wang, A., Zhao, Q., Zhao, Y., Liu, K., Lu, H., Li, W., Guo, Y., Lu, Y., Zhou, C., Fan, D., Weng, Q., Zhu, C., Huang, T., Zhang, L., Wang, Y., ... Han, B. (2012). A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice. *Nature*, 490(7421), 497–501.
<https://doi.org/10.1038/nature11532>
- IFS. (2024). *IFS Food- Benefits*. Consultado a 20 de maio de 2024. Disponível em URL: <https://www.ifs-certification.com/en/food-standard>
- INE. (2024, fevereiro). *Consumo humano de arroz branqueado e semibranqueado per capita (kg/ hab.)* [Instituto Nacional de Estatística]. Consultado a 21 de maio de 2024. Disponível em URL: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000186&contexto=bd&selTab=tab2
- INSA. (2023). *Tabela da Composição de Alimentos*. Instituto Nacional Ricardo Jorge. Consultado a 07 de junho de 2024. Disponível em URL: <https://portfir-insa.min-saude.pt/>
- IRRI. (2017). *Transforming lives through the global rice sector (Strategic Plan 2017/2030)* (pp. 1–36) [Sustentabilidade Alimentar]. International Rice Research Institute. <http://books.irri.org/strategic-plan-2017-2025.pdf>

- IRRI. (2019). *Rice Breeding Innovations* (pp. 1–2). International Rice Research Institute.
<http://books.irri.org/Rice-breeding-innovations.pdf>
- ISO 11746:2020. (2020). Rice: Determination of biometric characteristics of kernels (Versão Second Edition). International Organization for Standardization.
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75733/4909a37ed68943a78183c72f5dc9dad3/ISO-11746-2020.pdf>
- ISO 11747:2012. (2012). Rice: Determination of rice kernel resistance to extrusion after cooking (Versão First Edition). International Organization for Standardization.
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/50736/df4c49fd56b24a1e9ac956c4cd0b9b32/ISO-11747-2012.pdf>
- ISO 14864:1998. (1998). Rice: Evaluation of gelatinization time of kernels during cooking (Versão First Edition). International Organization for Standardization.
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/25793/64c5bf68ab104c75a0e0cf4b58a5f806/ISO-14864-1998.pdf>
- ISO 6646:2011. (2011). *Rice. Determination of the potential milling yield from paddy and from husked rice* (Versão Third Edition). International Organization for Standardization.
<https://linkresolver.bsigroup.com/junction/resolve/000000000030202167?restype=standard>
- ISO 712:1998. (1998). Cereals and cereal products: Determination of moisture content- Routine reference method (Versão Third Edition). International Organization for Standardization.
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/4932/5473c8ecde1340a1848f6733074fcc6a/ISO-712-1998.pdf>
- Jang, E.-H., Lee, S.-J., Hong, J.-Y., Chung, H.-J., Lee, Y.-T., Kang, B.-S., & Lim, S.-T. (2016). Correlation between physicochemical properties of *Japónica* and *Indica* rice starches. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 530–537.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.001>
- Johnson, M. (2023, outubro). What does TPA measure? Texture Technologies Corporation Web Site. <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#tpa-measurements>
- Juliano, B. (1971). A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose. *Cereal Science Today*, 16, 334–360.

https://www.researchgate.net/publication/275886661_A_Simplified_Assay_for_Milled-Rice_Amylose

- Juliano, B. O., & Tũaño, A. P. P. (2019). Gross structure and composition of the rice grain. Em *Rice: Chemistry and Technology* (American Association of Cereal Chemists, pp. 31–53). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00002-2>
- Kadam, S. U., Tiwari, B. K., & O'Donnell, C. P. (2015). Improved thermal processing for food texture modification. Em *Modifying Food Texture* (pp. 115–131). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-333-1.00006-1>
- Kaewson, K., Maichoon, P., Pornchaloempong, P., Krusong, W., Sirisomboon, P., Tanaka, M., & Kojima, T. (2023). Evaluation of Precision and Sensitivity of Back Extrusion Test for Measuring Textural Qualities of Cooked Germinated Brown Rice in Production Process. *Foods*, 12(16), 3090. <https://doi.org/10.3390/foods12163090>
- Karim, M. D., Abuhena, M., Hossain, M. D., & Billah, M. M. (2024). Assessment and comparison of cooking qualities and physio-chemical properties of seven rice varieties in terms of amylose content. *Food Physics*, 1, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.foodp.2024.100014>
- Kasai, M., Lewis, A. R., Ayabe, S., Hatae, K., & Fyfe, C. A. (2007). Quantitative NMR imaging study of the cooking of *Japónica* and *Indica* rice. *Food Research International*, 40(8), 1020–1029. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.05.010>
- Kawakatsu, T., & Takaiwa, F. (2019). Rice proteins and essential amino acids. Em *Rice* (pp. 109–130). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00004-6>
- Kennedy, G., & Burlingame, B. (2003). Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. *Food Chemistry*, 80(4), 589–596. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00507-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00507-1)
- Kesarwani, A., Chiang, P. Y., & Chen, S. S. (2016). Rapid Visco Analyzer Measurements of *Japónica* Rice Cultivars to Study Interrelationship between Pasting Properties and Farming System. *International Journal of Agronomy*, 2016, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2016/3595326>
- Kett Electric Laboratory. (2014). Infrared Moisture Analyzer FD-660- Operating Manual (pp. 1–43). https://www.kett.co.jp/wp-content/uploads/2018/09/fd-660_manual_e_060186-04_web.pdf

- Kett- US. (2011). Instant Rice Whiteness Tester- Model C600 (pp. 1–2). <https://www.kett.com/shop/advanced-rice-whiteness-meter/>
- Kim, H.-J., Lee, J.-Y., Yoon, U.-H., Lim, S.-H., & Kim, Y.-M. (2013). Effects of Reduced Prolamin on Seed Storage Protein Composition and the Nutritional Quality of Rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(8), 17073–17084. <https://doi.org/10.3390/ijms140817073>
- Kim, S. S., Lee, S. E., Kim, O. W., & Kim, D. C. (2000). Physicochemical Characteristics of Chalky Kernels and Their Effects on Sensory Quality of Cooked Rice. *Cereal Chemistry*, 77(3), 376–379. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.3.376>
- Kim, S., Kim, C., Jeong, J., Reinke, R. F., & Jeong, J. (2019). Marker-assisted breeding for improvement of anaerobic germination in *Japónica* rice (*Oryza sativa*). *Plant Breeding*, 810–819. <https://doi.org/10.1111/pbr.12719>
- Kong, X., Zhu, P., Sui, Z., & Bao, J. (2015). Physicochemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinization temperature combinations. *Food Chemistry*, 172, 433–440. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.085>
- Kou, T., Song, J., Liu, M., & Fang, G. (2022). Effect of Amylose and Crystallinity Pattern on the Gelatinization Behavior of Cross-Linked Starches. *Polymers*, 14(14), 2870. <https://doi.org/10.3390/polym14142870>
- Li, H., Prakash, S., Nicholson, T. M., Fitzgerald, M. A., & Gilbert, R. G. (2016). The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains. *Food Chemistry*, 196, 702–711. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.112>
- Lin, Q., Liu, Z., Xiao, H., Li, L., Yu, F., & Tian, W. (2010). Studies on the Pasting and Rheology of Rice Starch with Different Protein Residual. In D. Li & C. Zhao (Eds.), *Computer and Computing Technologies in Agriculture III* (Vol. 317, pp. 407–419). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12220-0_60
- Luo, X., Cheng, B., Zhang, W., Shu, Z., Wang, P., & Zeng, X. (2021). Structural and functional characteristics of *Japónica* rice starches with different amylose contents. *CyTA - Journal of Food*, 19(1), 532–540. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1927194>
- Lyon, B. G., Champagne, E. T., Vinyard, B. T., & Windham, W. R. (2000). Sensory and

- Instrumental Relationships of Texture of Cooked Rice from Selected Cultivars and Postharvest Handling Practices. *Cereal Chemistry*, 77(1), 64–69. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.1.64>
- Martin, M., & Fitzgerald, M. A. (2002). Proteins in Rice Grains Influence Cooking Properties! *Journal of Cereal Science*, 36(3), 285–294. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0465>
- Maw, Z., Kenji, I., & Department of International Agricultural Development, Tokyo University of Agriculture, Tokyo, Japan. (2018). QUALITY ASSESSMENT ON *JAPÓNICA* AND *INDICA* RICE GENOTYPES BASED ON RAPID VISCO ANALYZER (RVA) PASTING PROFILE. *International Journal of Advanced Research*, 6(1), 917–924. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/6301>
- Meullenet, J. C., Gross, J., Marks, B. P., & Daniels, M. (1998). Sensory Descriptive Texture Analyses of Cooked Rice and Its Correlation to Instrumental Parameters Using an Extrusion Cell. *Cereal Chemistry*, 75(5), 714–720. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.5.714>
- Meullenet, J., Champagne, E. T., Bett, K. L., McClung, A. M., & Kauffmann, D. (2000). Instrumental Assessment of Cooked Rice Texture Characteristics: A Method for Breeders. *Cereal Chemistry*, 77(4), 512–517. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.4.512>
- Mohapatra, D., & Bal, S. (2012). Physical Properties of *Indica* Rice in Relation to Some Novel Mechanical Properties Indicating Grain Characteristics. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2111–2119. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0539-1>
- Mohapatra, P. K., & Sahu, B. B. (2022). Botany of Rice Plant. Em P. K. Mohapatra & B. B. Sahu, *Panicle Architecture of Rice and its Relationship with Grain Filling* (pp. 27–48). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67897-5_2
- Molina, J., Sikora, M., Garud, N., Flowers, J. M., Rubinstein, S., Reynolds, A., Huang, P., Jackson, S., Schaal, B. A., Bustamante, C. D., Boyko, A. R., & Purugganan, M. D. (2011). Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8351–8356. <https://doi.org/10.1073/pnas.1104686108>
- Muthayya, S., Hall, J., Bagriansky, J., Sugimoto, J., Gundry, D., Matthias, D., Prigge, S.,

- Hindle, P., Moench-Pfanner, R., & Maberly, G. (2012). Rice Fortification: An Emerging Opportunity to Contribute to the Elimination of Vitamin and Mineral Deficiency Worldwide. *Food and Nutrition Bulletin*, 33(4), 296–307. <https://doi.org/10.1177/156482651203300410>
- Muthayya, S., Sugimoto, J. D., Montgomery, S., & Maberly, G. F. (2014). An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1324(1), 7–14. <https://doi.org/10.1111/nyas.12540>
- Nelson, A., Setiyono, T., Rala, A., Quicho, E., Raviz, J., Abonete, P., Maunahan, A., Garcia, C., Bhatti, H., Villano, L., Thongbai, P., Holecz, F., Barbieri, M., Collivignarelli, F., Gatti, L., Quilang, E., Mabalay, M., Mabalot, P., Barroga, M., ... Ninh, N. (2014). Towards an Operational SAR-Based Rice Monitoring System in Asia: Examples from 13 Demonstration Sites across Asia in the RIICE Project. *Remote Sensing*, 6(11), 10773–10812. <https://doi.org/10.3390/rs61110773>
- Noori, Z., MujadiDi, M. W., & AmiN, M. W. (2018). Physicochemical properties and morphological observations of selected local rice varieties in northern Afghanistan. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2(3), 99–103. <https://doi.org/10.31015/jaefs.18016>
- Norton, G. J. (2019). Rice minerals and heavy metal(oid)s. Em *Rice* (pp. 169–194). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00006-X>
- Novarroz. (2023, maio 16). *Arroz em Portugal*. Consultado a 07 de junho de 2024. Disponível em URL: <https://www.novarroz.pt/guia-do-arroz/arroz-em-portugal/>
- Oliveira, M., Elias, M. C., & Ferreira, C. D. (2021). Arroz um alimento de verdade- Fonte de nutrientes, aliado da saúde (1a).
- Park, I., Ibáñez, A. M., Zhong, F., & Shoemaker, C. F. (2007). Gelatinization and Pasting Properties of Waxy and Non-waxy Rice Starches. *Starch - Stärke*, 59(8), 388–396. <https://doi.org/10.1002/star.200600570>
- Park, I., Kim, S., Chung, I., & Shoemaker, C. F. (2013). Effect of amylopectin long chains on measured amylose content and their correlation with pasting properties. *Starch - Stärke*, 65(3–4), 227–235. <https://doi.org/10.1002/star.201200121>
- Patindol, J., & Wang, Y.-J. (2003). Fine Structures and Physicochemical Properties of Starches from Chalky and Translucent Rice Kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9), 2777–2784. <https://doi.org/10.1021/jf026101t>
- Peleg, M. (2019). The instrumental texture profile analysis revisited. *Journal of Texture*

- Studies, 50(5), 362–368. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12392>
- Perten Instruments. (s.d). Perten Instruments Method Description (pp. 1–2). https://resources.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/app_rice_method_rva_10-05.pdf
- Pesek, S., & Silaghi-Dumitrescu, R. (2024). The Iodine/Iodide/Starch Supramolecular Complex. *Molecules*, 29(3), 641. <https://doi.org/10.3390/molecules29030641>
- Pinto, A. S. (2015, janeiro 7). O arroz. *Agronegócios*. Consultado a 21 de maio de 2024. Disponível em URL: <http://www.agronegocios.eu/noticias/o-arroz/>
- Pinto, C. (2009). *Caracterização e aproveitamento tecnológico de variedades de arroz autóctone de Timor-Leste* [Instituto Superior de Agronomia- Universidade Técnica de Lisboa]. <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/1898/1/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20e%20Aproveitamento%20Tecnol%C3%B3gico%20de%20Variedades%20de%20Arroz%20Aut%C3%B3ctone%20de%20Timor-Leste.pdf>
- Prabhakaran, P., Ranganathan, R., Kumar, V. M., Rajasekar, R., Devakumar, L., & Pal, S. K. (2017). Review on Parameters Influencing the Rice Breakage and Rubber Roll Wear in Sheller. *Archives of Metallurgy and Materials*, 62(3), 1875–1880. <https://doi.org/10.1515/amm-2017-0284>
- Rau, A., Begmatov, I., & Rau, G. (2021). Study on the influence of rice paddies' water layer temperature on rice yield. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 939(1), 012089. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/939/1/012089>
- Rheology Lab - Centre for Industrial Rheology. (s.d). Texture Analysis And Texture Profile Analysis. <https://www.rheologylab.com/services/texture-analysis/>
- Roy, P., Ijiri, T., Okadome, H., Nei, D., Orikasa, T., Nakamura, N., & Shiina, T. (2008). Effect of processing conditions on overall energy consumption and quality of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Food Engineering*, 89(3), 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.05.015>
- Roy, P., Orikasa, T., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2011). Processing Conditions, Rice Properties, Health and Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6), 1957–1976. <https://doi.org/10.3390/ijerph8061957>
- Sadeghi, M., Hoseinian, S. H., & Hemmat, A. (2012). Influence of moisture content and whitening method on degree of milling and head rice yield of three Iranian rice

- varieties. *Australian Journal of Crop Science*, 1481–1485.
- Salassi, M. E., Deliberto, M. A., Linscombe, S. D., Wilson, C. E., Walker, T. W., McCauley, G. N., & Blouin, D. C. (2013). Impact of Harvest Lodging on Rough Rice Milling Yield and Market Price. *Agronomy Journal*, 105(6), 1860–1867. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0238>
- Saleh, M., & Meullenet, J.-F. (2015). Cooked rice texture and rice flour pasting properties; impacted by rice temperature during milling. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1602–1609. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1180-y>
- Sales, E., Viruel, J., Domingo, C., & Marqués, L. (2017). Genome wide association analysis of cold tolerance at germination in temperate *Japónica* rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *PLOS ONE*, 12(8), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183416>
- Sampaio, P. (2017). Vida Rural. *Vida Rural*, 28–29. https://www.researchgate.net/publication/319619824_Vida_Rural
- Schirmer, M., Jekle, M., & Becker, T. (2015). Starch gelatinization and its complexity for analysis. *Starch - Stärke*, 67(1–2), 30–41. <https://doi.org/10.1002/star.201400071>
- SGCIE. (2018). Descasque, branqueamento e outros tratamentos do arroz (pp. 3–7). Sistema de Gestão dos Recursos Intensivos de Energia. https://sgcie.pt/wp-content/uploads/2019/10/10612-DESCASQUE-BRANQUEAMENTO-E-OUTROS-TRATAMENTOS-DO-ARROZ_Caderno.pdf
- Shafie, B., Cheng, S. C., Lee, H. H., & Yiu, P. H. (2015). Characterization and classification of whole-grain rice based on rapid visco analyzer (RVA) pasting profile. *International Food Research Journal*, 23(5), 2139–2143.
- Shi, S., Wang, E., Li, C., Cai, M., Cheng, B., Cao, C., & Jiang, Y. (2022). Use of Protein Content, Amylose Content, and RVA Parameters to Evaluate the Taste Quality of Rice. *Frontiers in Nutrition*, 8, 758547. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.758547>
- Shih, F. F. (2003). An update on the processing of high-protein rice products. *Food / Nahrung*, 47(6), 420–424. <https://doi.org/10.1002/food.200390093>
- Silva, A. I., & Faísca, C. M. (2015). A orizicultura em Ponte de Sor: Economia e Saúde Pública (1850-1950). *ABELTERIVM II/I*, II(1), 107–120.
- Silveira, L., Heberle, T., Pereira, A., Ramos, A., Fontana, M., & Gularte, M. A. (2012). Propriedades Físico-Químicas e Perfil Tecnológico de Arroz com Diferentes

- Teores de Amilose. 513–519.
- Simonelli, C., Galassi, L., Cormegna, M., & Bianchi, P. (2017). Chemical, Physical, Textural and Sensory Evaluation on Italian Rice Varieties. *Universal Journal of Agricultural Research*, 5(2), 104–112. <https://doi.org/10.13189/ujar.2017.050204>
- Simsek, S., Whitney, K., & Ohm, J.-B. (2013). Analysis of Cereal Starches by High-Performance Size Exclusion Chromatography. *Food Analytical Methods*, 6(1), 181–190. <https://doi.org/10.1007/s12161-012-9424-4>
- Singh, N., Kaur, L., Singh Sodhi, N., & Singh Sekhon, K. (2004). Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chemistry*, 89(2), 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.032>
- Srieko, K., Ariunzaya, D., & Gantogoo, U. (2012). Physico-chemical properties of rice starch gel. 2012 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST), 1–4. <https://doi.org/10.1109/IFOST.2012.6357809>
- Storck, C. R., Silva, L. P. D., & Alves Fagundes, C. A. (2005). Categorizing rice cultivars based on differences in chemical composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(4), 333–341. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.09.005>
- Sustainable EU Rice. (s.d). *Arroz Europeu*. Consultado a 21 de maio de 2024. Disponível em URL: <https://www.sustainableeurice.eu/arroz-europeu/?lang=pt-pt>
- Sweeney, M., & McCouch, S. (2007). The Complex History of the Domestication of Rice. *Annals of Botany*, 100(5), 951–957. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm128>
- Takahashi, K., Kohno, H., & Okuda, M. (2024). Spatial Distribution and Characteristics of Protein Content and Composition in *Japónica* Rice Grains: Implications for Sake Quality. *Rice*, 17(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s12284-024-00708-w>
- Tao, K., Li, C., Yu, W., Gilbert, R. G., & Li, E. (2018). How amylose molecular fine structure of rice starch affects functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 204, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.078>
- Thuwall, M., Boldizar, A., & Rigdahl, M. (2006). Extrusion processing of high amylose potato starch materials. *Carbohydrate Polymers*, 65(4), 441–446. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.01.033>
- Tong, C., & Bao, J. (2019). Rice lipids and rice bran oil. Em *Rice* (pp. 131–168). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00005-8>
- Tong, C., Chen, Y., Tang, F., Xu, F., Huang, Y., Chen, H., & Bao, J. (2014). Genetic

- diversity of amylose content and RVA pasting parameters in 20 rice accessions grown in Hainan, China. *Food Chemistry*, 161, 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.011>
- Trihn, K. T., & Glasgow, S. (2012). On the Texture Profile Analysis Test. 1–12. https://www.researchgate.net/publication/316093466_On_the_texture_profile_analysis_test
- Valente Marques, A. (2017, abril 20). *Valente Marques: «Vamos investir mais um milhão em bolachas de arroz»*. Consultado a 20 de maio de 2024. Disponível em URL: <https://www.dn.pt/dinheiro/valente-marques-vamos-investir-mais-um-milhao-em-bolachas-de-arroz-6231591.html/>
- Vidotto, F., & Ferrero, A. (2000). Germination behaviour of red rice (*Oryza sativa* L.) seeds in field and laboratory conditions. *Agronomie*, 20(4), 375–382. <https://doi.org/10.1051/agro:2000134>
- Villanova, F. A., Antunes, M. D., Bubolz, V., Schwartz, J. Á., Paraginski, R. T., & Oliveira, M. de. (2014). *Parâmetros Viscoamilográficos e de Cocção de Arroz Integral, Parboilizado Integral, Preto e Vermelho Após o Beneficiamento*. 684–691. https://eventos.abrapos.org.br/anais/paperfile/110_20142111_02-11-36_1838.pdf
- Walter, M., Marchezan, E., & Avila, L. A. D. (2008). Arroz: Composição e características nutricionais. *Ciência Rural*, 38(4), 1184–1192. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400049>
- Wani, A. A., Singh, P., Shah, M. A., Schweiggert-Weisz, U., Gul, K., & Wani, I. A. (2012). Rice Starch Diversity: Effects on Structural, Morphological, Thermal, and Physicochemical Properties—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(5), 417–436. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00193.x>
- Wei, X., & Huang, X. (2019). Origin, taxonomy, and phylogenetics of rice. Em *Rice: Chemistry and Technology* (American Association of Cereal Chemists, pp. 1–29). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00001-0>
- Yanjie, X., Yining, Y., Shuhong, O., Xiaoliang, D., Hui, S., Shukun, J., Shichen, S., & Jinsong, B. (2018). Factors Affecting Sensory Quality of Cooked *Japónica* Rice. *Rice Science*, 25(6), 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.10.003>
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals Of Rice Crop Science*. In.

http://books.irri.org/9711040522_content.pdf

- Yu, S., Ma, Y., & Sun, D.-W. (2009). Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. *Journal of Cereal Science*, 50(2), 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.04.003>
- Zhan, Q., Ye, X., Zhang, Y., Kong, X., Bao, J., Corke, H., & Sui, Z. (2020). Starch granule-associated proteins affect the physicochemical properties of rice starch. *Food Hydrocolloids*, 101, 105504. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105504>
- Zhang, Q., Yang, W., & Sun, Z. (2003). *MECHANICAL PROPERTIES OF SOUND AND FISSURED RICE KERNELS AND THEIR IMPLICATIONS FOR RICE BREAKAGE*. ASAE Annual International Meeting, Riviera Hotel and Convention Center. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=15414>
- Zhao, C., Xie, J., Li, L., & Cao, C. (2017). Comparative Transcriptomic Analysis in Paddy Rice under Storage and Identification of Differentially Regulated Genes in Response to High Temperature and Humidity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(37), 8145–8153. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03901>
- Zhou, Z., Blanchard, C., Helliwell, S., & Robards, K. (2003). Fatty Acid Composition of Three Rice Varieties Following Storage. *Journal of Cereal Science*, 37(3), 327–335. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0502>
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., & Blanchard, C. (2002). Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science and Technology*.

Anexos

Anexo 1- Matriz de correlação entre os parâmetros estudados.

	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Relação C/L	Rendimento Industrial (%)	Trinca (%)	Grãos Inteiros (%)	Kett	Brancura Total	Brancura Vitrea	Teor de Humidade (%)	Teor de Amilose (%)	Tempo de Cozedura (min)	Temperatura de Gelatinização (°C)	Pico de Viscosidade (cP)	Tempo do Pico (min)	Vala da Viscosidade (cP)	Viscosidade Final (cP)	Breakdown (cP)	Retrogradação (cP)	Força de Extrusão (N)	Dureza (N)	Adesividade (N.s)	Resiliência	Coesividade	Elasticidade (%)	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N)
Comprimento (mm)	1																										
Largura (mm)	0,288	1																									
Relação C/L	0,658	-0,53	1																								
Rendimento Industrial (%)	0,062	-0,548	0,505	1																							
Trinca (%)	-0,645	-0,178	-0,435	-0,063	1																						
Grãos Inteiros (%)	0,629	0,029	0,543	0,316	-0,967	1																					
Kett	-0,384	0,044	-0,381	-0,202	0,909	-0,915	1																				
Brancura Total	0,200	0,567	-0,281	-0,577	-0,254	0,094	0,027	1																			
Brancura Vitrea	0,158	0,416	-0,196	-0,395	-0,227	0,115	0,035	0,962	1																		
Teor de Humidade (%)	-0,496	-0,248	-0,261	0,127	0,717	-0,649	-0,011	-0,089	-0,033	1																	
Teor de Amilose (%)	0,138	0,249	-0,076	-0,179	0,498	-0,519	0,588	0,038	0,022	-0,100	1																
Tempo de Cozedura (min)	-0,567	0,022	-0,524	-0,186	0,961	-0,962	0,657	-0,067	-0,076	0,051	0,303	1															
Temperatura de Gelatinização (°C)	0,538	0,043	0,450	0,168	-0,952	0,948	-0,455	0,105	0,121	-0,086	-0,256	-0,908	1														
Pico de Viscosidade (cP)	-0,55	-0,021	-0,477	-0,163	0,938	-0,934	0,439	-0,089	-0,105	0,200	0,086	0,739	-0,837	1													
Tempo do Pico (min)	0,497	0,061	0,400	0,204	-0,949	0,954	-0,230	0,113	0,136	-0,176	-0,126	-0,807	0,922	-0,677	1												
Vala da Viscosidade (cP)	-0,215	-0,179	-0,039	0,346	0,385	-0,277	0,33	-0,239	-0,106	0,153	0,443	-0,097	0,180	0,061	0,411	1											
Viscosidade Final (cP)	-0,308	-0,229	-0,084	0,339	0,503	-0,391	0,325	-0,270	-0,143	0,170	0,589	0,035	0,062	-0,061	0,215	0,891	1										
Breakdown (cP)	-0,439	0,058	-0,446	-0,310	0,741	-0,784	0,242	0,019	-0,055	0,109	-0,132	0,718	-0,847	0,880	-0,811	-0,42	-0,479	1									
Retrogradação (cP)	0,273	-0,150	0,374	0,401	-0,484	0,563	-0,162	-0,119	-0,010	-0,062	0,266	-0,564	0,696	-0,824	0,657	0,458	0,615	-0,967	1								
Força de Extrusão (N)	-0,323	-0,370	0,010	0,266	0,62	-0,522	0,309	-0,325	-0,225	-0,176	0,411	0,215	-0,051	-0,278	-0,077	0,143	0,434	-0,32	0,465	1							
Dureza (N)	-0,311	-0,189	-0,113	0,182	-0,223	0,258	-0,025	-0,101	-0,007	-0,349	-0,156	0,037	0,010	-0,199	0,030	-0,138	-0,014	-0,116	0,149	0,288	1						
Adesividade (N.sec)	0,232	0,055	0,147	-0,018	0,184	-0,180	0,012	-0,013	-0,078	0,309	0,299	-0,020	-0,042	0,116	-0,052	0,192	0,164	0,014	0,001	-0,119	-0,879	1					
Resiliência	-0,379	-0,360	-0,037	0,338	-0,176	0,253	-0,156	-0,379	-0,298	-0,233	0,291	0,136	-0,254	0,015	-0,207	0,024	0,214	0,002	0,109	0,194	0,216	0,088	1				
Coesividade	-0,383	-0,261	-0,148	-0,035	0,459	-0,445	0,012	-0,323	-0,395	0,072	0,375	0,217	-0,301	0,190	-0,245	0,102	0,197	0,124	-0,038	0,075	-0,295	0,477	0,628	1			
Elasticidade (%)	0,009	-0,097	0,076	0,049	0,496	-0,459	0,249	-0,089	-0,081	-0,060	0,556	0,339	-0,389	0,283	-0,288	0,170	0,257	0,176	-0,078	0,125	-0,324	0,521	0,527	0,822	1		
Gomosidade (N)	-0,431	-0,290	-0,144	0,178	-0,124	0,164	-0,021	-0,181	-0,095	-0,344	-0,059	0,119	-0,096	-0,142	-0,061	-0,123	0,042	-0,071	0,136	0,329	0,963	-0,786	0,410	-0,038	-0,114	1	
Mastigabilidade (N)	-0,455	-0,338	-0,128	0,203	-0,028	0,079	0,031	-0,203	-0,106	-0,353	0,052	0,197	-0,184	-0,083	-0,133	-0,089	0,100	-0,033	0,122	0,367	0,901	-0,684	0,511	0,116	0,082	0,980	1

A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

Anexo 2- Características biométricas das amostras em estudo.

Amostras	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Relação C/L	Kett	Brancura Total	Brancura Vítea
Ar01	6,00	2,37	2,53	40,10 ± 0,44*	170,15	167,66
Ar02	5,89	2,35	2,51	41,93 ± 0,15*	170,35	168,11
Cl01	6,10	2,42	2,52	45,9 7± 0,06*	177,19	174,48
Cl02	6,05	2,41	2,51	47,83 ± 0,21*	178,24	175,49
Ib01	6,25	2,51	2,50	46,30 ± 0,72*	176,56	173,43
Ib02	6,22	2,50	2,49	47,83 ± 0,45*	176,09	173,24
Le01	5,64	2,50	2,26	42,90 ± 0,53*	173,71	171,51
Le02	5,58	2,47	2,26	44,77 ± 0,55*	175,00	172,15
Lu01	5,86	2,28	2,57	41,30 ± 0,72	169,64	169,01
Lu02	5,79	2,28	2,54	42,50 ± 0,44	171,32	170,62
Lus01	6,13	2,45	2,50	44,33 ± 0,29*	175,76	172,40
Lus02	6,03	2,46	2,45	46,83 ± 0,21*	175,97	172,62
Ro01	5,75	2,41	2,38	43,33 ± 0,06*	176,72	173,21
Ro02	5,67	2,41	2,36	44,73 ± 0,23*	177,34	173,82
Ve01	6,06	2,49	2,44	41,80 ± 0,26*	172,94	169,82
Ve02	5,99	2,48	2,41	43,50 ± 0,17*	173,56	170,56

Nota: O valor de *Kett* apresentado corresponde à média de três réplicas e respetivo desvio- padrão. O *, faz referência ao teste t- *student* para p<0,05 e significa que existem diferenças significativas entre as médias dentro da mesma variedade.

Anexo 3- Teor de humidade, rendimento industrial, teor de amilose e tempos de cozedura das amostras em estudo.

Amostras	Teor de Humidade (%)	Rendimento Industrial (%)	Casca+ Farelo (%)	Trinca (%)	Grãos Inteiros (%)	Teor de Amilose (%)	Tempo de Cozedura (min)
Ar01	10,86 ± 0,31	69,69	30,04	9,46	60,23	15,39± 2,64*	21,09 ± 0,38
Ar02	10,63 ± 0,25	68,19	31,53	11,26	56,93	20,23± 0,66*	21,43 ± 0,18
Cl01	11,17 ± 0,14	69,76	29,87	9,06	60,70	21,05 ± 1,05	30,93 ± 0,79
Cl02	11,12 ± 0,21	68,42	31,37	9,16	59,26	25,14 ± 2,73	31,13 ± 0,07
Ib01	11,21 ± 0,21	68,82	30,96	6,88	61,94	18,47 ± 2,20*	30,64 ± 0,67
Ib02	11,22 ± 0,18	68,28	31,58	8,39	59,89	23,69 ± 1,43*	31,0 ± 0,34
Le01	11,16 ± 0,16	69,18	30,64	19,41	49,77	18,09 ± 1,29*	24,21 ± 0,60
Le02	11,32 ± 0,13	67,78	32,08	20,32	47,46	22,18 ± 1,36*	23,97 ± 1,00
Lu01	12,29 ± 0,04	71,53	28,19	19,80	51,73	18,72 ± 1,07	27,40 ± 1,15
Lu02	12,19 ± 0,18	70,77	28,99	21,85	48,92	19,16 ± 0,19	26,88 ± 0,47
Lus01	12,26 ± 0,05	68,30	31,52	17,59	50,71	19,04 ± 2,35	24,38 ± 0,12
Lus02	12,15 ± 0,10	66,25	33,50	20,03	46,22	21,30 ± 0,95	24,16 ± 0,31
Ro01	11,54 ± 0,17	67,50	32,20	16,90	50,60	14,25± 1,18	28,91 ± 0,28
Ro02	11,56 ± 0,13	66,60	33,23	17,91	48,69	13,75 ± 0,44	28,50 ± 0,53
Ve01	11,49 ± 0,42	69,07	30,78	17,81	51,26	10,60 ± 1,07*	24,37 ± 0,15*
Ve02	11,49 ± 0,02	67,41	32,48	19,11	48,30	15,89 ± 0,48*	23,42 ± 0,24*

Nota: O valor de teor de humidade, amilose e tempos de cozedura apresentados correspondem à média de três réplicas e respetivo desvio- padrão. O *, faz referência ao teste t- *student* para p<0,05 e significa que existem diferenças significativas entre as médias dentro da mesma variedade.

Anexo 4- Perfil de viscosidade das amostras em estudo.

Amostras	Temperatura de Gelatinização (°C)	Pico de Viscosidade (cP)	Tempo do Pico (min)	Vala da Viscosidade (cP)	Breakdown (cP)	Viscosidade Final (cP)	Retrogradação (cP)
Ar01	90,70 ± 0,05	2719,67 ± 9,50	6,29 ± 0,03	1722,67 ± 16,80	997,00 ± 13,08	3157,00 ± 24,25	437,33 ± 20,11*
Ar02	90,92 ± 0,46	2727,00 ± 11,53	6,29 ± 0,03	1713,67 ± 24,66	1013,33 ± 16,01	3115,00 ± 30,64	388,00 ± 19,92*
Cl01	82,48 ± 0,51	3211,33 ± 20,53	5,95 ± 0,04	1909,33 ± 22,50	1302,00 ± 34,77	3524,33 ± 22,74*	313,00 ± 22,27
Cl02	81,93 ± 0,06	3213,33 ± 26,08	5,87 ± 0,00	1880,00 ± 10,82	1333,33 ± 35,57	3471,00 ± 9,54*	257,67 ± 32,72
Ib01	81,42 ± 0,46	3281,33 ± 9,29	5,89 ± 0,00	1606,33 ± 12,86	1675,00 ± 4,58	3022,67 ± 37,87	-258,67 ± 28,71*
Ib02	81,13 ± 0,03	3423,33 ± 97,49	5,91 ± 0,03	1668,00 ± 56,40	1755,33 ± 65,91	3049,67 ± 79,21	-373,67 ± 51,55*
Le01	88,83 ± 0,42	3172,00 ± 10,15	6,24 ± 0,08	1970,67 ± 43,11	1201,33 ± 32,96	3342,33 ± 46,61	170,33 ± 36,47
Le02	88,80 ± 0,43	3145,67 ± 37,90	6,27 ± 0,07	1926,67 ± 84,74	1219,00 ± 51,03	3307,00 ± 61,29	161,33 ± 28,71
Lu01	82,75 ± 0,05	3221,67 ± 14,47	5,80 ± 0,07	1677,33 ± 45,28	1544,33 ± 56,50	3195,67 ± 54,24	-26,00 ± 65,51
Lu02	82,72 ± 0,06	3243,00 ± 39,51	5,78 ± 0,04	1698,33 ± 35,73	1544,67 ± 57,01	3216,67 ± 38,07	-26,33 ± 48,34
Lus01	90,43 ± 0,46	3010,33 ± 8,39*	6,31 ± 0,03	1998,33 ± 32,08	1012,00 ± 25,04	3469,67 ± 22,72	459,33 ± 15,57*
Lus02	89,57 ± 0,49	3068,33 ± 28,11*	6,33 ± 0,07	2033,00 ± 33,78	1035,33 ± 44,79	3479,67 ± 27,59	411,33 ± 21,08*
Ro01	81,68 ± 0,51	3625,00 ± 40,04	5,89 ± 0,03	1669,33 ± 58,86	1955,67 ± 25,11	2935,67 ± 63,07	-689,33 ± 24,09
Ro02	81,67 ± 0,49	3717,00 ± 101,39	5,89 ± 0,03	1732,67 ± 26,50	1984,33 ± 75,38	2964,33 ± 30,92	-752,67 ± 70,47
Ve01	91,47 ± 0,03	2793,67 ± 45,17*	6,22 ± 0,04	1595,67 ± 37,54	1198,00 ± 11,36	2970,33 ± 41,96	176,67 ± 3,21
Ve02	91,25 ± 0,48	2713,00 ± 15,62*	6,18 ± 0,04	1554,00 ± 8,54	1159,00 ± 23,52	2891,33 ± 26,73	178,33 ± 37,55

Nota: Os valores dos parâmetros do perfil de viscosidade apresentados correspondem à média de três réplicas e respetivo desvio- padrão. O *, faz referência ao teste t- *student* para p<0,05 e significa que existem diferenças significativas entre as médias dentro da mesma variedade.

Anexo 5- Perfil de textura das amostras em estudo.

Amostras	Força de Extrusão (N)	Dureza (N)	Adesividade (N.s)	Resiliência	Coesividade	Elasticidade (%)	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N)
Ar01	57,97± 6,26	0,486 ±0,08	-0,400± 0,08	41,04± 1,99	0,737± 0,03	79,60± 1,80	0,360± 0,07	0,287± 0,06
Ar02	60,28 ± 8,25	0,484± 0,05	-0,476± 0,15	38,67± 2,20	0,702± 0,04	80,73± 3,85	0,339± 0,03	0,273± 0,02
Cl01	82,71 ± 11,59	0,539± 0,04*	-0,498± 0,06	41,53± 0,59*	0,740± 0,02	82,17± 2,70	0,399± 0,03*	0,328± 0,02*
Cl02	80,90± 1,84	0,420± 0,03*	-0,353± 0,13	37,27± 1,02*	0,734± 0,01	85,27± 5,07	0,308± 0,02*	0,263± 0,03*
Ib01	61,60 ± 4,94	0,371± 0,14	-0,358± 0,20	37,78± 1,78	0,796± 0,02*	84,07± 2,60	0,294± 0,11	0,245± 0,08
Ib02	56,61 ± 2,21	0,265± 0,05	-0,189± 0,01	36,59± 3,74	0,739± 0,03*	87,10± 1,71	0,196± 0,03	0,170± 0,02
Le01	47,51± 3,60	0,187± 0,01	-0,153± 0,03	35,42± 4,53	0,711± 0,04	80,27± 1,47*	0,133± 0,01*	0,107± 0,01*
Le02	49,02± 13,45	0,203± 0,03	-0,110± 0,07	38,60± 1,86	0,850± 0,11	89,07± 5,15*	0,171± 0,01*	0,152± 0,00*
Lu01	54,83± 6,84	0,294± 0,00*	-0,183± 0,04	40,31± 0,84	0,796± 0,08	85,20± 3,59	0,234± 0,02	0,200± 0,03
Lu02	56,28± 3,26	0,260± 0,02*	-0,171± 0,12	38,45± 5,23	0,791± 0,13	84,03± 12,04	0,204± 0,02	0,173± 0,04
Lus01	61,06± 4,88	0,279± 0,01	-0,232± 0,06	35,85± 1,87	0,737± 0,04	81,37± 6,47	0,206± 0,02	0,168± 0,02
Lus02	54,67± 14,83	0,412± 0,07	-0,381± 0,09	31,63± 2,76	0,671± 0,01	77,80± 4,06	0,276± 0,05	0,215± 0,03
Ro01	34,27± 2,99*	0,404± 0,03	-0,431± 0,02	36,24± 2,56	0,721± 0,06	79,50± 2,98	0,292± 0,03	0,232± 0,02
Ro02	46,62± 6,43*	0,384± 0,04	-0,418± 0,07	33,58± 3,26	0,679± 0,04	79,00± 2,18	0,261± 0,04	0,207± 0,04
Ve01	58,22± 13,40	0,379± 0,04	-0,399± 0,03	30,98± 3,88	0,649± 0,05	75,10± 0,98	0,247± 0,04	0,186± 0,03
Ve02	61,80 ± 7,54	0,364± 0,05	-0,364± 0,03	33,20± 0,92	0,648± 0,03	74,23± 3,23	0,236± 0,04	0,176± 0,04

Nota: Os valores dos parâmetros do perfil de textura apresentados correspondem à média de três réplicas e respetivo desvio- padrão. O *, faz referência ao teste t- student para p<0,05 e significa que existem diferenças significativas entre as médias dentro da mesma variedade.